وزارت راه و شهرسازی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

مقررات ملی ساختمان ایران

مبحث بیست و یکم

پدافند غیرعامل

دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان

ویرایش دوم (۱۳۹۵)

سرشناسه	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان
عنوان و نام پدیدآور	: پدافند غیرعامل/تهیه کننده دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان؛ [برای] وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
وضعیت ویراست	: [ویراست ۲].
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی،۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۱۱٤ص. مصور، جدول.
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر:ک- ۷٦۹؛ مقررات ملّی ساختمان ایران؛ مبحث ۲۱.
شابک	: ٤-۱۵۵-۱۱۳-٦۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
موضوع	: ساختمان‌سازی -- صنعت و تجارت -- قوانین و مقررات -- ایران
موضوع	: Construction industry -- Law and legislation -- Iran
موضوع	: دفاع غیرنظامی -- ایران -- پیش‌بینی‌های ایمنی
موضوع	: Civil defense -- Iran -- Safety measures
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	: Road, Housing and Urban Development Research Center
شناسه افزوده	: مقررات ملی ساختمان ایران؛ مبحث ۲۱.
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۵ج.۲۱ ۷م۹الف/KMH۳٤۰۲
رده بندی دیویی	: ۳٤۳/۵۵
شماره کتابشناسی ملی	: ٤٦٦۱۹۱۳

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نام کتاب: مبحث بیست و یکم پدافند غیرعامل

تهیه کننده: دفتر تدوین مقررات ملّی ساختمان

شماره نشر: ک- ۷٦۹

ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نوبت چاپ: اول ۱۳۹۵، ویرایش دوم

تیراژ: ۵۰۰۰ نسخه

قطع: وزیری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

قیمت: ٦۰۰۰۰ ریال

شابک: ٤-۱۵۵-۱۱۳-٦۰۰-۹۷۸ **ISBN:** 978-600-113-155-4

کلیهٔ حقوق این اثر برای تهیه کننده محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱٦۹٦-۱۳۱٤۵ تلفن: ٦-۸۸۲۵۵۹٤۲ دورنگار: ۸۸۳۸٤۱۳۲
پست الکترونیکی:pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http:// pub.bhrc.ac.ir

به نام خدا

پیش‌گفتار

مقررات ملّی ساختمان در تمامی کشورها قواعدی هستند که به نحوی اجرای آن‌ها توسط شهروندان الزام قانونی پیدا می‌کند. ادراک مشترک کلیه عوامل و عناصر مرتبط اعم از دولت، دولت‌های محلی، مردم و مهندسان، موجب می‌گردد که منافع ملّی ناشی از حفظ و افزایش بهره‌وری از سرمایه‌گذاری‌های ملّی و هم چنین حفظ جان و منافع عمومی بهره‌برداران ساختمان‌ها بر منافع سازمانی دستگاه‌های اجرایی و یا منافع دولت‌های محلی و هم چنین منافع فوری سرمایه گذاران ترجیح داده شود. بدیهی است توافق و التزام بر این دسته از منافع و خواسته‌ها در قالب برنامه توسعه نظام ملّی ساخت و ساز تحقق می‌یابد.

از سال ۱۳۶۶ مقررات حاکم بر جنبه‌های مهندسی و فنی ساختمان (طراحی - نظارت - اجرا)، توسط وزارت راه و شهرسازی در قالب مقررات ملّی ساختمان به تدریج وضع و استفاده از آن الزامی شده است. توسعه آموزش عالی، مراکز فنی و حرفه‌ای و سازمان‌های نظام مهندسی موجب افزایش نیروی انسانی متخصص و ماهر در سطح کشور گردید و به موازات آن مقررات ملّی ساختمان و استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی نیز به همت اساتید و صاحبنظران شاغل در حرفه به صورت دوره‌ای مورد بازنگری و تجدید چاپ قرار گرفته‌اند. در حال حاضر این مقررات به درجه‌ای از کمال و غنا رسیده است که به عنوان مرجع و منبع آموزشی ضمن تأمین نیاز نسبی دانشگاهیان و جامعه مهندسی کشور، سازندگان و بهره‌برداران، ابزار و مرجع کنترل لازم را برای اطمینان از کیفیت ساخت و سازها برای ناظران و بازرسان فراهم نموده است.

مقایسه کیفیت ساختمان‌ها بویژه از حیث سازه‌ای در سال‌های اخیر با قبل از تدوین مقررات ملّی ساختمان مؤید تأثیر این مقررات در ارتقای کیفیت ساختمان‌ها و سیر تکاملی آن در جهت تأمین ایمنی، بهداشت، رفاه و آسایش و صرفه اقتصادی می‌باشد اما با مقایسه آمار کمی و کیفی، وضع موجود کشور با میانگین شاخص‌های جهانی فاصله قابل توجهی وجود دارد.

برای جبران فاصله شاخص‌های پیش گفته شده لازم است اولاً نهادهای حاکمیتی سیاست‌گذار و برنامه‌ریز و مراجع صدور پروانه ساختارهای کنترل و نظارت را مورد بازنگری قرار داده تا سیستم

نظارت جدی‌تری نسبت به تولید، توزیع و مصرف مصالح استاندارد و اجرای مقررات ملّی ساختمان اعمال گردد. ثانیاً سازمان‌های نظام مهندسی ساختمان، تشکل‌های حرفه‌ای دانشگاه‌ها و مراکز آموزشی و تحقیقاتی بیش از پیش در ترویج و تبیین مقررات وضع شده، الگوسازی و ارایه نمونه‌های عینی رعایت مقررات یاد شده و معرفی فن‌آوری‌های نوین و به نمایش گذاشتن مزایای آن تلاش نمایند. ثالثاً مهندسان و سازندگان که وظیفه اساسی در اعمال ضوابط و مقررات ساختمانی را در طراحی، اجرا و نظارت ساخت و سازها بر عهده دارند با به روز رسانی دانش فنی و مهارت حرفه‌ای و با تکیه بر اصل اخلاق حرفه‌ای خود نسبت به اجرای مقررات ملّی ساختمان بیش از پیش اصرار ورزیده و کارفرمایان و مالکان نیز تشویق یا ملزم به رعایت مقررات ملّی ساختمان آن شوند. همچنین مردم به عنوان بهره‌برداران نهایی می‌توانند با افزایش سطح آگاهی از حقوق خود نقش اساسی در ارتقای کیفیت از طریق افزایش مطالبات در کیفیت و بهره‌وری ساختمان‌ها و ایجاد انگیزه رقابت در ارایه ساختمان‌های با کیفیت ایفا نمایند.

در خاتمه از کلیه اساتید و صاحبنظران و تدوین کنندگان که از ابتدا تاکنون در تدوین و تجدیدنظر مباحث مقررات ملّی ساختمان تلاش نموده و در همفکری و همکاری با این وزارت از هیچ کوششی دریغ ننموده‌اند، سپاس‌گزارم. همچنین برای دست اندرکاران ساخت و ساز از دستگاه‌های نظارتی و کنترلی مراجع صدور پروانه و کلیه عزیزانی که اجرای این مقررات را خدمتگزاری به میهن و مردم خویش می‌پندارند، آرزوی موفقیت و سربلندی در پیشگاه خدای متعال می‌نمایم.

عباس آخوندی

وزیر راه و شهرسازی

بسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

شماره: ۲۸۳۲۰-۵۰-۹۵ تاریخ: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ پیوست:

رئیس
جناب آقای دکتر حناچی - معاون محترم شهرسازی و معماری
جناب آقای دکتر مظاهریان - معاون محترم مسکن و ساختمان
جناب آقای دکتر ایزدی - معاون محترم وزیر و مدیرعامل شرکت عمران و بهسازی شهری ایران
جناب آقای مهندس عظیمیان - معاون محترم وزیر و مدیرعامل سازمان ملی زمین و مسکن
جناب آقای مهندس علیزاده - معاون محترم وزیر و مدیرعامل سازمان مجری ساختمان ها و تأسیسات دولتی و عمومی
جناب آقای مهندس نریمان - معاون محترم وزیر و مدیرعامل شرکت عمران شهرهای جدید
مدیران کل محترم ادارات راه و شهرسازی
روسای محترم سازمان نظام مهندسی ساختمان استان ها
جناب آقای مهندس خندان دل - معاون محترم عمران، توسعه امور شهری و روستایی وزارت کشور
جناب آقای مهندس تابش - رییس محترم بنیاد مسکن انقلاب اسلامی
جناب آقای دکتر گتمیری - رییس محترم جامعه مهندسان مشاور
جناب آقای مهندس رجبی - رییس محترم شورای مرکزی سازمان نظام مهندسی ساختمان
جناب آقای مهندس خندان دل - رییس محترم سازمان شهرداری ها و دهیاری های وزارت کشور
جناب آقای مهندس صارمی‌زاده - مدیر محترم دبیرخانه نشست ادواری شهرداران کلان شهرهای کشور

با سلام و احترام

پس از حمد خدا و درود و صلوات بر محمد و آل محمد (ص) و پیرو دستور وزیر محترم راه و شهرسازی طی نامه شماره ۶۱۹۴۷/۱۱۰/۰۱ مورخ ۹۵/۱۲/۰۸، در اجرای ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان مصوب سال۱۳۷۴، بدینوسیله ویرایش دوم مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان «پنافند غیرعامل» که مراحل تهیه، تدوین و تصویب را در وزارت راه و شهرسازی گذرانده، جهت استحضار و صدور دستور برای اجرا از تاریخ۹۶/۰۴/۱۵ در کل کشور توسط آن معاونت/ اداره کل/ سازمان/ بنیاد/ شورا/ جامعه، ابلاغ می گردد. زمان انقضای ویرایش سال۱۳۹۱ مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان، دوسال بعد از تاریخ این ابلاغ خواهد بود و بنابراین از تاریخ۹۶/۰۴/۱۵ لغایت ۹۷/۱۲/۱۵ استفاده از هر کدام از دو ویرایش فوق الذکر مجاز شمرده خواهد شد.

شایان ذکر است نسخه ای از کتاب مذکور پس از اتمام مراحل چاپ تا انتهای فروردین ماه سال ۱۳۹۶ ارسال خواهد شد.

محمد شکرچی‌زاده

هیأت تدوین‌کنندگان مبحث بیست و یکم مقررات ملّی ساختمان - ویرایش دوم(۱۳۹۵)

(بر اساس حروف الفبا)

الف) شورای تدوین مقررات ملّی ساختمان

- دکتر محمدتقی احمدی — رئیس
- مهندس محمدرضا انصاری — عضو
- دکتر حمید باقری — عضو
- دکتر سعید بختیاری — عضو
- دکتر حمید بدیعی — عضو
- دکتر ناصر بنیادی — عضو
- مهندس محسن بهرام غفاری — عضو
- دکتر محسن تهرانی زاده — عضو
- مهندس سید ابراهیم دادسرشت — عضو
- مهندس سید محمدتقی راتقی — عضو
- دکتر علی اکبر رمضانیانپور — عضو
- دکتر محمد شکرچی‌زاده — عضو
- مهندس علی‌اصغر طاهری‌بهبهانی — عضو
- مهندس شاپور طاحونی — عضو
- مهندس بهروز علمداری میلانی — عضو
- مهندس مسعود غازی سلحشور — عضو
- مهندس یونس قلی‌زاده طیار — عضو
- دکتر بهروز گتمیری — عضو
- دکتر حامد مظاهریان — عضو
- دکتر محمودرضا ماهری — عضو
- دکتر بهروز محمدکاری — عضو
- مرحوم مهندس حشمت ا... منصف — عضو
- دکتر سیدرسول میرقادری — عضو
- مهندس نادر نجیمی — عضو
- مهندس سیدرضا هاشمی — عضو

ب) اعضای کمیته تخصصی

- دکتر محمدتقی احمدی — عضو
- مهندس مجید اشتری فر — عضو
- دکتر احمد اصغریان جدی — عضو
- مهندس علی اصغر شهاب — عضو
- مهندس عباس صمدانی فرد — عضو
- مهندس شاپور طاحونی — رئیس
- مهندس سیدمحمدرضا میرعبداللهی — دبیر

با تشکر از همکاری صمیمانه آقایان :
مهندس آرش برخوردار – دکتر بهشید حسینی – دکتر رضا رفیعی دهخوارقانی و خانم مهندس صبا ترابی

پ) دبیرخانه شورای تدوین مقررات ملّی ساختمان

- مهندس سهیلا پاکروان — معاون دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان و دبیر شورا
- دکتر بهنام مهرپرور — رئیس گروه تدوین مقررات ملی ساختمان
- مهندس سیدمحمدرضا میرعبداللهی — کارشناس معماری دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان

مقدمه ویرایش دوم

انجام مطالعات پدافند غیرعامل به منظور شناخت تهدیدات و تدوین تهدید مبنا، بررسی آسیب‌پذیری‌های زیرساخت‌ها، اماکن و تأسیسات و ارائه راهکارهایی به منظور مصون سازی و پایداری می‌باشد. تهدیدات از تنوع و پیچیدگی زیادی برخوردار هستند و مهندسین با تخصص‌های مختلف برای انجام طراحی ساختمان و تأسیسات، باید قابلیت‌های لازم را با آموزش و بهره‌گیری از اسناد بالادستی پدافند غیرعامل در خود ایجاد نمایند. اجرای الزامات و ملاحظات پدافند غیرعامل، موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها، تأسیسات و تجهیزات حیاتی، حساس و مهم کشور در مقابل تهدیدات غیرطبیعی ایجادشده توسط دشمن، می‌گردد. این امر، باعث تداوم اداره کشور و فعالیت‌های ضروری و کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، اماکن، تأسیسات و تجهیزات مهم کشور در زمان وقوع تهدید می‌گردد.این مبحث اختصاص به ضوابط پدافند غیرعامل در ساختمان‌ها دارد و طراحان، مجریان و ناظرین اجرای پروژه‌های ساختمانی، موظف به رعایت الزامات و ملاحظات پدافند غیرعامل مطابق با ضوابط مندرج در این مبحث می‌باشند.

این مبحث مشتمل بر هفت فصل به شرح زیر می‌باشد:

- فصل اول شامل کلیات، دامنه کاربرد مبحث، تعریف مفاهیم بنیادی در خصوص پدافند غیرعامل و کارکرد آن در مقررات ملی ساختمان می‌باشد. در این فصل ساختمان‌ها برمبنای نوع کاربری، تعداد ساکنین، زیربنا، تعداد طبقات و ارزش سرمایه‌های داخل آن به پنج گروه تقسیم شده‌اند و سطوح مختلف بار انفجار و حداقل سطوح عملکرد سازه‌ای اجزای ساختمان‌ها برای گروه‌های مختلف ساختمانی ارائه شده است.
- فصل دوم به بررسی ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی معماری و محوطه ساختمان‌ها و مجموعه‌های زیستی می‌پردازد.
- در فصل سوم به انواع انفجار، امواج ناشی از آن و مشخصه‌های این امواج و فشار ناشی از انفجار بر سازه پرداخته شده است.
- در فصل چهارم مشخصات مکانیکی مصالح در برابر بار انفجار و سامانه‌های سازه‌ای مقاوم در برابر انفجار معرفی شده اند.
- فصل پنجم شامل روش‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها در برابر بارهای ناشی از انفجار می‌باشد. روش‌های تحلیل دینامیکی غیر خطی و استاتیکی معادل جهت تحلیل اعضای سازه معرفی شده و معیارهای پذیرش اعضا با توجه به سطوح عملکرد ارائه شده است.

- در فصل ششم انهدام پیشرونده و روش‌های طراحی سازه در برابر آن به عنوان جایگزینی برای طرح در مقابل انفجار، بررسی شده است.
- در فصل هفتم نیز ملاحظات تأسیسات مکانیکی و برقی در حوزه پدافند غیرعامل آورده شده‌اند.

موارد شمول فصل‌های فوق برای گروه‌های ساختمانی، مطابق جدول ۲۱-۱-۲ این مبحث می‌باشد.
با توجه به جدید بودن مبحث و لزوم ارزیابی بازخورد آن در جامعه مهندسی، پس از اتمام دوره آزمایشی موارد شمول آن مورد ارزیابی و تجدیدنظر قرار خواهد گرفت.
از آنجا که ضوابط کمی این مبحث برای اولین بار تدوین و ارائه گردیده است، بی‌تردید دارای نواقص و کاستی‌هایی است و از مهندسان و محققان محترم تقاضا می‌شود تا نظرات ارزنده و سازنده خویش را جهت بررسی و اعمال در ویرایش بعدی در اختیار این کمیته قرار دهند.

کمیته تخصصی مبحث بیست و یکم مقررات ملی ساختمان

۱۳۹۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۲۱-۱ کلیات	۱
۲۱-۱-۱ مفاهیم	۱
۲۱-۱-۲ تهدیدها	۱
۲۱-۱-۳ هدف	۱
۲۱-۱-۴ دامنه کاربرد	۲
۲۱-۱-۵ پناهگاه	۲
۲۱-۱-۶ کارکرد میان رشته‌ای پدافند غیرعامل	۲
۲۱-۱-۷ سطوح عملکرد ساختمان‌ها	۴
۲۱-۱-۸ گروه‌بندی ساختمان‌ها	۵
۲۱-۱-۹ بارهای ناشی از انفجار	۷
۲۱-۱-۱۰ حداقل عملکرد سازه‌ای اجزای ساختمان‌ها	۸
۲۱-۱-۱۱ نمودار گردشی طراحی	۹
۲۱-۱-۱۲ تعاریف	۱۰
۲۱-۲ ملاحظات معماری و محوطه	۱۷
۲۱-۲-۱ معماری و پدافند غیرعامل	۱۷
۲۱-۲-۲ ملاحظات برنامه‌ریزی و طراحی محوطه	۱۷
۲۱-۲-۳ طراحی معماری ساختمان	۲۲
۲۱-۲-۴ فضاهای امن	۲۸

۲۱-۲-۵ اتاق مرکز کنترل و مدیریت ساختمان (و بحران) ۳۱

۲۱-۳ بارهای ناشی از انفجار ۳۳
۲۱-۳-۱ انواع موج انفجار ۳۳
۲۱-۳-۲ موقعیت چشمه انفجار ۳۴
۲۱-۳-۳ انفجار در هوای آزاد ۳۵
۲۱-۳-۴ انفجار سطحی ۳۸
۲۱-۳-۵ بارگذاری انفجار خارجی بر وجوه مختلف ساختمان ۳۸
۲۱-۳-۶ انفجار در داخل زمین ۴۳
۲۱-۳-۷ انفجار داخلی ۴۷
۲۱-۳-۸ ترکش‌ها ۴۸

۲۱-۴ مشخصه‌های مکانیکی مصالح و سامانه‌های سازه‌ای ۵۱
۲۱-۴-۱کلیات ۵۱
۲۱-۴-۲ پاسخ استاتیکی- پاسخ دینامیکی ۵۱
۲۱-۴-۳ ویژگی‌های دینامیکی مصالح ۵۲
۲۱-۴-۴ مصالح ۵۴
۲۱-۴-۵ سامانه‌های سازه‌ای مناسب برای مقاومت در مقابل انفجار ۵۶

۲۱-۵ روش‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها ۵۹
۲۱-۵-۱ تحلیل دینامیکی غیرارتجاعی سازه یک درجه آزادی (SDOF) ۵۹
۲۱-۵-۲ ترکیبات بارگذاری ۶۶
۲۱-۵-۳ معیارهای پذیرش رفتار عضو سازه‌ای ۶۶

۲۱-۵-۴ روش استاتیکی معادل ۷۱

۲۱-۶ انهدام پیشرونده ۷۹

۲۱-۶-۱ کلیات ۷۹

۲۱-۶-۲ ره‌یافت‌های طراحی ۷۹

۲۱-۶-۳ انتخاب روش طراحی ۸۰

۲۱-۶-۴ ضوابط روش مقاومت کلافی ۸۰

۲۱-۶-۵ روش مستقیم- روش مسیر جایگزین ۸۳

۲۱-۶-۶ روش مستقیم- روش ظرفیت ویژه ۸۷

۲۱-۷- ملاحظات تأسیسات برقی و مکانیکی ۸۹

۲۱-۷-۱ کلیات ۸۹

۲۱-۷-۲ ملاحظات تأسیسات مکانیکی ۹۲

۲۱-۷-۳ ملاحظات تأسیسات برقی ۱۰۱

۲۱-۷-۴ آسانسورهای اضطراری ۱۰۶

۲۱-۷-۵ تأسیسات فضای امن ۱۰۷

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۹

فهرست مراجع قابل استفاده ۱۱۳

۲۱-۱- کلیات

۲۱-۱-۱- مفاهیم

پدافند غیرعامل، مجموعه‌ای از اقدامات غیرمسلحانه‌ای است که به کارگیری آن‌ها، موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، ارتقای پایداری ملی، تداوم فعالیت‌های ضروری و تسهیل مدیریت بحران در مقابل تهدیدها و اقدام‌های نظامی دشمن می‌گردد.

اجرای الزامات و ملاحظات پدافند غیرعامل، موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها و تجهیزات حیاتی، حساس و مهم کشور در مقابل تهدیدات غیرطبیعی که توسط دشمن ایجاد می‌گردد، می‌شود. این امر، باعث تداوم اداره‌ی کشور و فعالیت‌های ضروری و کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، تأسیسات، اماکن و تجهیزات مهم کشور در زمان وقوع تهدید می‌گردد. در این راستا، ملاحظات معماری، سازه‌ای و تأسیسات مکانیکی و برقی در حوزه‌ی ساختمان و برنامه‌ریزی اقتصادی و مالی، به صورت میان رشته‌ای، مدنظر قرار می‌گیرد.

۲۱-۱-۲- تهدیدها

تهدیدها به دو بخش طبیعی (طوفان، زلزله، سیل و...) و غیرطبیعی (انفجار، حملات نظامی، خرابکارانه و امنیتی) که از طریق دشمن ایجاد می‌گردد، تقسیم‌بندی می‌شود. این مبحث صرفاً به تهدیدهای غیرطبیعی که از طریق دشمن در حوزه ساختمان، تأسیسات و محوطه اماکن ایجاد می‌گردد، می‌پردازد.

۲۱-۱-۳- هدف

هدف این مبحث، تعیین حداقل ضوابط برای طراحی و اجرای ساختمان، تأسیسات و فضای عمومی ساختمان در برابر اثرات ناشی از تهدیدهای غیرطبیعی که از طریق دشمن است، می‌باشد به طوری که با رعایت آن‌ها، انتظار می‌رود:

- ساختمان‌ها بتوانند حداقل عملکرد سازه‌ای را مطابق جدول ۲۱-۱-۴ تامین نموده و خسارات سازه‌ای و تلفات جانی را به حداقل برسانند.

- ساختمان‌های گروه ۱ با درجه اهمیت ویژه، پس از انفجار، قابلیت بهره‌برداری و خدمت‌رسانی خود را حفظ کنند. در صورتی‌که این ساختمان‌ها، به عنوان هدف راهبردی دشمن باشند (برخورد مستقیم)، طراحی براساس دستورالعمل‌های ویژه ابلاغی سازمان پدافند غیرعامل کشور صورت می‌گیرد.

۲۱-۱-۴- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد (و عدم شمول) این مبحث، عبارت است از:

۱- ساختمان‌های جدید که در سه حوزه معماری، سازه و تأسیسات، در برابر بارهای ناشی از اصابت غیرمستقیم[1] (هوایی و سطحی) طراحی می‌شوند. پراکندگی استقرار ساختمان‌ها در مجموعه های زیستی با رعایت اصول پدافند غیرعامل در مباحث شهری، در نظر گرفته شود.

۲- در صورت نیاز می‌توان ساختمان‌های متعارف موجود را با استفاده از تحلیل خطر و در نظر گرفتن سود به هزینه، به کمک این مبحث مقاوم و ایمن‌سازی نمود.

۳- دامنه کاربرد، شامل ساختمان‌های گروه‌های ۱ تا ۵ به شرح مندرج در جدول ۲۱-۱-۲، و توضیحات مربوط به آن می‌باشد.

۴- به منظور ایمن‌سازی ساختمان‌های گروه ۱ و ۲ در برابر اثرات جنگ‌های الکترونیکی و سایبری، بمب‌های گرافیتی و پالس الکترومغناطیسی از آیین‌نامه‌های سازمان پدافند غیرعامل کشور، استفاده شود.

۵- زیرساخت‌های غیرمتعارف (مانند پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، سدها، آب بندها، سیلوها، مخازن، برج‌های صنعتی، دکلها، مستحدثات نظامی و ...) در حوزه‌ی شمول این مبحث قرار نمی‌گیرند و تابع ضوابط مطالعاتی سازمان پدافند غیرعامل کشور می‌باشند.

۲۱-۱-۵- پناهگاه

احداث پناهگاه برای مجموعه های زیستی الزامی است.

۲۱-۱-۶- کارکرد میان رشته‌ای پدافند غیرعامل

پیچیدگی متغیرهای پدافند غیرعامل در مراحل طراحی، اجراء و بهره‌برداری ساختمان، نیاز به استفاده از تخصص‌های میان‌رشته‌ای را ضروری می‌سازد. بررسی این متغیرها، در حوزه‌های علوم

[1] - انفجار هوایی و سطحی پرتابه‌ها (بمب، انواع گلوله توپ و خمپاره، موشک و...) که با فاصله از ساختمان است.

انسانی (برنامه‌ریزی، اقتصاد) و علوم فنی و مهندسی (سازه- تأسیسات)، به رفع نیاز بالا، به صورت همه‌جانبه و مرتبط، کمک می‌کند. در این مبحث، الزامات شهرسازی، معماری، سازه و تأسیسات، با محوریت طراح (مهندس معمار)، به شرح زیر، مطالعه می‌شود.

۲۱-۱-۶-۱- شهرسازی

در طراحی شهرها، برای ایجاد بستر مناسب استقرار ساختمان‌های دارای الزامات پدافند غیرعامل، حصول به اهداف زیر، در راستای حفظ جان مردم، تداوم بی‌وقفه فعالیت‌های ضروری و کاهش آسیب‌پذیری شهرها، توسط مهندسین شهرساز با همکاری طراح، الزامی است:

۱- تعیین کاربری زمین به میزان لازم، برای پناهگاه عمومی به صورت چند عملکردی
۲- استفاده از طبیعت (پدافند غیرعامل طبیعی)
۳- تعیین کاربری‌های چندمنظوره به میزان لازم (به ویژه فضای سبز)، برای بهره‌گیری در بحران (اسکان موقت، امداد، درمان و...)
۴- تأمین قابلیت مدیریت بحران شهرها
۵- پراکندگی و پخشایش مناسب جمعیت، تأسیسات و مراکز حیاتی و حساس
۶- احتراز کامل از استقرار کاربری‌های با پیامد انفجاری در مراکز جمعیتی (نظیر پمپ بنزین، منابع سوختی، انبارهای شیمیایی و...)
۷- در نظر گرفتن تمهیدات پدافند غیرعامل در اطراف کاربری‌های مورد هدف راهبردی دشمن
۸- تعیین کاربری برای جان‌پناه‌ها، به ویژه در تلفیق با فضای سبز
۹- توجه به احداث پناهگاه در فضای باز عمومی به صورت چند عملکردی در بافت‌های متراکم شهری.

مهندس معمار، در مکان‌یابی ساختمان و ارتباط آن با محیط‌های شهری، ملزم به رعایت موارد فوق نیز می‌باشد.

۲۱-۱-۶-۲- معماری

در طراحی فضاهای داخلی ساختمان و دسترسی آنها به یکدیگر و ارتباط ساختمان با اطراف، باید تمهیدات ویژه‌ای برای کاهش خسارات جانی (و مالی) در برابر اثرات انفجار، فراهم شود. تعیین شکل بنا، (با هماهنگی مهندس سازه)، تعیین محل رایزر (با هماهنگی مهندس تأسیسات)، موقعیت

و ابعاد بازشوها و پیش‌بینی فضای امن (به صورت چند عملکردی)، در راستای مدیریت بحران، بر عهده مهندس معمار است.

۲۱-۱-۶-۳- سازه

طراحی سازه ساختمان برای مقاومت در برابر بارهای انفجاری مطابق این مبحث، با حداقل هزینه، برعهده مهندس محاسب (سازه) است. برای دستیابی به سامانه مناسب سازه‌ای و انتخاب مکان صحیح فضای امن، باید هماهنگی لازم با مهندس معمار صورت گیرد.

بررسی سازه‌ای موارد زیر، باید مورد توجه ویژه، قرار گیرد:

الف- نمای ساختمان و قاب‌بندی آن

ب- تیرها و ستون‌های واقع در پوستهٔ ساختمان

پ- خرابی پیش‌روندهٔ سازه

۲۱-۱-۶-۴- تأسیسات

طراحی تأسیسات، با در نظر گرفتن الزامات پدافند غیرعامل، موجب جلوگیری و یا کاهش آسیب‌های ناشی از انفجار و پیامدهای آن (نظیر نشت‌گاز، آب‌گرفتگی، آتش سوزی و برق‌گرفتگی) می‌شود. قابلیت بهره‌برداری محدود و تداوم کارکردهای ضروری، مرمت‌پذیری و یا تغییرپذیری سامانه‌های تأسیسات ساختمان هماهنگ با عملکرد مورد نظر، توسط مهندس تأسیسات برقی و مکانیکی، باید مدنظر قرار گیرد.

۲۱-۱-۷- سطوح عملکرد ساختمان‌ها

عملکرد ساختمان‌ها در برابر انفجار، در چهار سطح زیر مشتمل بر سطوح عملکرد سازه‌ای و غیرسازه‌ای قرار دارد:

- سطح عملکرد I- قابلیت استفاده بی‌وقفه: دارای سطح محافظت زیاد و خسارت سطحی.
- سطح عملکرد II- ایمنی جانی: دارای سطح محافظت متوسط و خسارت متوسط.
- سطح عملکرد III- آستانه فروریزش: دارای سطح محافظت کم و خسارت شدید.
- سطح عملکرد IV- بی‌دفاع (لحاظ نشده): بدون محافظت و خسارت خیلی شدید.

جدول ۲۱-۱-۱، عملکردها، خسارات و مرمت‌پذیری سطوح پیش‌نوشته را، تعیین می‌کند.

بر حسب درخواست کاربر، ساختمان می‌تواند دارای سطوح عملکرد مختلف در پلان یا ارتفاع، با رعایت حداقل‌های این مبحث، باشد.

جدول ۲۱-۱-۱- سطوح عملکرد اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، آسیب انسانی و تلفات، آسیب تأسیساتی و مرمت‌پذیری

سطح عملکرد	میزان محافظت	میزان خسارت	معیارهای تأثیر				
			آسیب سازه‌ای	آسیب غیرسازه‌ای	آسیب انسانی و تلفات	آسیب تأسیساتی	مرمت پذیری[1]
I (قابلیت استفاده‌ی‌وقفه)	زیاد	سطحی	- مقاومت و سختی، تغییر قابل توجهی پیدا نمی‌کند. - تغییر شکل‌های ماندگار در اعضاء رخ نمی‌دهد.	- خرابی جزئی است. - تغییر شکل‌های ماندگار رخ نمی‌دهد. - شیشه‌ها اکثراً سالم مانده و شیشه‌های شکسته در قاب خود باقی می‌مانند. - درها قابل استفاده خواهند بود.	- تنها، لطمات ظاهری و سطحی محتمل است.	- عمدتاً بدون آسیب	- با صرف هزینهٔ کم مرمت می‌شود.
II (ایمنی جانی)	متوسط	متوسط	- خرابی به اندازه‌ای نیست که آسیب انسانی ایجاد شود. - تغییر شکل‌های ماندگار به میزان کمی در اعضا به وجود خواهد آمد.	- خرابی به گونه‌ای نیست که منجر به آسیب جانی گردد. - شیشه‌ها خواهند شکست، اما اکثراً در قاب خود باقی می‌مانند. - درها در قاب خود باقی می‌مانند اما احتمالاً قابل استفاده نخواهند بود.	- تعدادی، آسیب کم خواهند دید و تلفات، غیرمحتمل است.	- آسیب جدی محدود ولی قابل مرمت و بدون آتش‌سوزی و انفجار	- ساختمان با تغییرات و مرمت قابل استفاده مجدد خواهد بود ولی هزینه آن قابل توجه است.
III (آستانه فروریزش)	کم	شدید	- خرابی‌ها گسترده خواهد بود ولی فروریزش اتفاق نمی‌افتد. - تغییر شکل‌ها بسیار زیاد است ولی انهدام پیشرونده خودبخودی، غیر محتمل است.	- تغییر شکل‌ها بسیار زیاد خواهد شکست و تا یک حدودی فروریزش قابل قبول است. - شیشه‌ها خواهند شکست و تا یک متر به درون ساختمان پرتاب می‌شوند و خطر ترکش دارند. - درها می‌شکنند و از قاب خود خارج می‌شوند.	- بسیاری دچار آسیب می‌شوند. - کمتر از ۲۵ درصد تلفات بوجود می‌آید.	- آسیب کلی - احتمال آتش‌سوزی جدی است.	- مرمت‌پذیر نیست و احداث ساختمان جدید به صرفه است.
IV (بی‌دفاع)	پایین‌ترین	بسیار شدید	- فروریزش ناگهانی رخ می‌دهد.	- فروریزش رخ می‌دهد. - شیشه‌ها خواهند شکست و صدمات ناشی از ترکش شیشه زیاد خواهد بود. پنجره‌ها از قاب خود خارج می‌شوند. - درها به درون پرتاب و از قاب خود خارج می‌گردند.	- بسیاری دچار آسیب شدید می‌شوند. - بیش از ۲۵ درصد تلفات بوجود می‌آید.	- آسیب کلی	- غیرقابل مرمت

مهندس معمار، مهندس محاسب و مهندس تأسیسات، با هماهنگی یکدیگر، مرمت‌پذیری را در طراحی خود، لحاظ نمایند.

۲۱-۱-۸- گروه‌بندی ساختمان‌ها

در این مبحث، ساختمان‌ها برمبنای نوع کاربری، تعداد ساکنین و یا شاغلین، زیربنا، تعداد طبقات و ارزش سرمایه‌های داخل آن‌ها، به پنج گروه مطابق جدول ۲۱-۱-۲ تقسیم می‌شوند.

جدول ۲۱-۱-۲- گروه‌بندی ساختمان‌ها[۱و۲]

گروه	درجه اهمیت	ویژگی	نمونه	
۱	ویژه	- ساختمان‌های دولتی حیاتی	• فرماندهی مدیریت بحران کشور • ساختمان‌های راهبردی ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات • ساختمان‌های راهبردی صدا و سیما • وزارتخانه‌های کشور، امورخارجه، ارتباطات و فن‌آوری اطلاعات • بخش‌های راهبردی بانک‌ها بویژه بانک مرکزی و ذخایر آن‌ها (دفینه).	• ساختمان‌های راهبردی آب و انرژی • دفینه موزه‌های مهم • مراکزاسناد، رایانه‌ها و داده‌های حیاتی • ساختمان‌های راهبردی قوای سه‌گانه مجریه، مقنّنه و قضاییه
۲	بسیار زیاد	- ساختمان‌های‌دولتی حساس - محل تجمع و یا استقرار جمعیت بیش از ۵۰۰ نفر - ساختمان بلندتر از ۱۵ طبقه و یا بیشتر از ۱۵۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه د مبحث دوم)	• بیمارستان‌های بیش از ۹۶تختخواب • ساختمان‌های راهبردی فرودگاه‌های بزرگ • ساختمان‌های راهبردی حمل و نقل ریلی و مراکز کنترل ترافیک • بخش‌های حساس شعبات مرکزی بانک‌ها • وزارتخانه‌ها و مراکز اداری حساس • ساختمان‌های راهبردی مراکز صنعتی و تولیدی حساس	• فرماندهی مدیریت بحران و ستادهای امداد و نجات استان • مراکز اسناد، رایانه‌ها و داده‌های حساس • استانداری‌ها
۳	زیاد	- ساختمان‌های مهم - محل تجمع و یا استقرار جمعیت ۲۰۰ تا ۵۰۰ نفر - ساختمان‌های ۹ تا ۱۵ طبقه و یا ۸۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه ج مبحث دوم)	• بیمارستان‌های کمتر از ۹۶ تختخواب • مراکز آموزشی بزرگ • مراکز اداری مهم استانی • ساختمان‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و تولیدی • مراکز خدماتی مهم • فروشگاه‌های بزرگ • مساجد و مراکز مذهبی و فرهنگی بزرگ و متوسط	• دفاتر مرکزی صنایع مادر • بخش‌های مهم شعبات مرکزی بانک‌ها در استان • زندان‌های مهم و یا بزرگ • فرماندهی مدیریت بحران و ستادهای امداد و نجات شهرستان • مراکز اسناد، رایانه‌ها و داده‌های مهم
۴	متوسط	- ساختمان‌های با اهمیت متوسط - محل تجمع و یا استقرار جمعیت کمتر از ۲۰۰ نفر تا ۲۰ نفر - ساختمان‌های ۴ تا ۸ طبقه و یا ۱۰۰۰ تا ۸۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه ب مبحث دوم)	• واحدهای مسکونی، اداری، تجاری و خدماتی • درمانگاه‌ها و کلینیک‌ها • مراکز آموزشی متوسط	
۵	کم	- ساختمان‌های با اهمیت کم - محل تجمع و یا استقرار جمعیت کمتر از ۲۰ نفر - ساختمان‌های تا ۳ طبقه و یا تا ۱۰۰۰ متر مربع زیربنای مفید (گروه الف مبحث دوم)	• واحدهای مسکونی، اداری، تجاری و خدماتی • تعاونی‌ها • ساختمان‌های موقت با مدت بهره‌برداری کمتر از ۵ سال	

۱- این جدول، شامل ساختمان‌های نظامی، انتظامی، امنیتی، اطلاعاتی، ارکان راهبردی و حاکمیتی حیاتی کشور، و پناهگاه‌های در معرض برخوردهای مستقیم نمی‌باشد. طراحی پدافندی اینگونه ساختمان‌ها تابع ضوابط ابلاغی سازمان پدافند غیرعامل کشور می‌باشد.

۲- دامنه شمول فصل‌های این مبحث در ارتباط با گروه‌بندی فوق به شرح جدول ۲۱-۱-۲-الف می‌باشد:

جدول ۲۱-۱-۲- الف- دامنه‌ی شمول فصل‌های مبحث

گروه ساختمانی	فصول						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۲	❊	❊	❊	❊	❊	❊	❊
۳	+	+	+	+	+	+	—
۴	—	—	—	—	—	—	—
۵	—	—	—	—	—	—	—

✓ : الزامی

❊ : توصیه اکید

+ : توصیه

— : موضوعیت ندارد

تبصره: طراحی فضای امن برای ساختمان‌های گروه ۲ و ۳ مطابق مفاد بندهای ۲۱-۲-۴ و ۲۱-۷-۵ الزامی است و برای ساختمان‌های گروه ۴ و ۵ توصیه می‌شود.

۲۱-۱-۹- بارهای ناشی از انفجار

بارهای ناشی از انفجار، برای طراحی ساختمان‌ها، در چهار سطح، در جدول ۲۱-۱-۳ ارائه شده است. در هر مورد خاص، با انجام تحلیل خطر، می‌توان سطح بار انفجار ویژه را تعریف نمود، مشروط بر اینکه از $\frac{۲}{۳}$ مقادیر جدول ۲۱-۱-۳ کمتر نباشد.

در طراحی فضاهای امن، مقادیر فشارهای p_{so}، p_r و p_{go} در سطوح خطر انفجار ۲ تا ۴، دو برابر می‌شوند.

جدول ۲۱-۱-۳- سطح بار انفجار

سطح خطر انفجار	در هوا			در خاک				
	p_{so}[1] (kg/cm²)	p_r[2] (kg/cm²)	t_d زمان تداوم انفجار (میلی‌ثانیه)	p_{go}[3] (kg/cm²)		t_d زمان تداوم انفجار (میلی‌ثانیه)		x حداکثر جابجایی ذرات خاک (cm)
				خاک‌های رسی اشباع و غیراشباع	خاک‌های ماسه‌ای سست تا متراکم	خاک‌های رسی اشباع و غیراشباع	خاک‌های ماسه‌ای سست تا متراکم	برای کلیه خاک‌ها
۱	۱	۲/۷۵	۲۲	۵/۱	۲/۸۵	۱۰۰	۷۵	۲/۳
۲	۰/۵	۱/۲۰	۲۸	۱/۷	۰/۹	۱۲۰	۸۵	۰/۷
۳	۰/۲	۰/۴۳	۳۴	۰/۳	۰/۱۷	۱۴۰	۱۰۰	۰/۳
۴	۰/۰۲۵	۰/۰۵	۵۲	۰/۰۵[4]	۰/۰۵[4]	۲۲۰	۱۶۰	۰/۱

۱ - p_{so} : فشار مبنای انفجار (بند ۲۱-۳-۳-۱)

۲ - p_r: فشار بازتاب (بند ۲۱-۳-۳-۳). این فشار بر پوسته‌ی خارجی ساختمان وارد می‌شود.

۳- p_{go}: فشار ناشی از انفجار درون زمینی بر سازهٔ مدفون

۴- فشار طراحی حداقل

۲۱-۱-۱۰- حداقل عملکرد سازه‌ای اجزای ساختمان‌ها

حداقل عملکرد سازه‌ای اجزای ساختمان‌ها، در برابر سطوح مختلف بار انفجار در هوا، برحسب درجه‌ی اهمیت ساختمان (جدول ۲۱-۱-۲)، مطابق جدول ۲۱-۱-۴ می‌باشد.

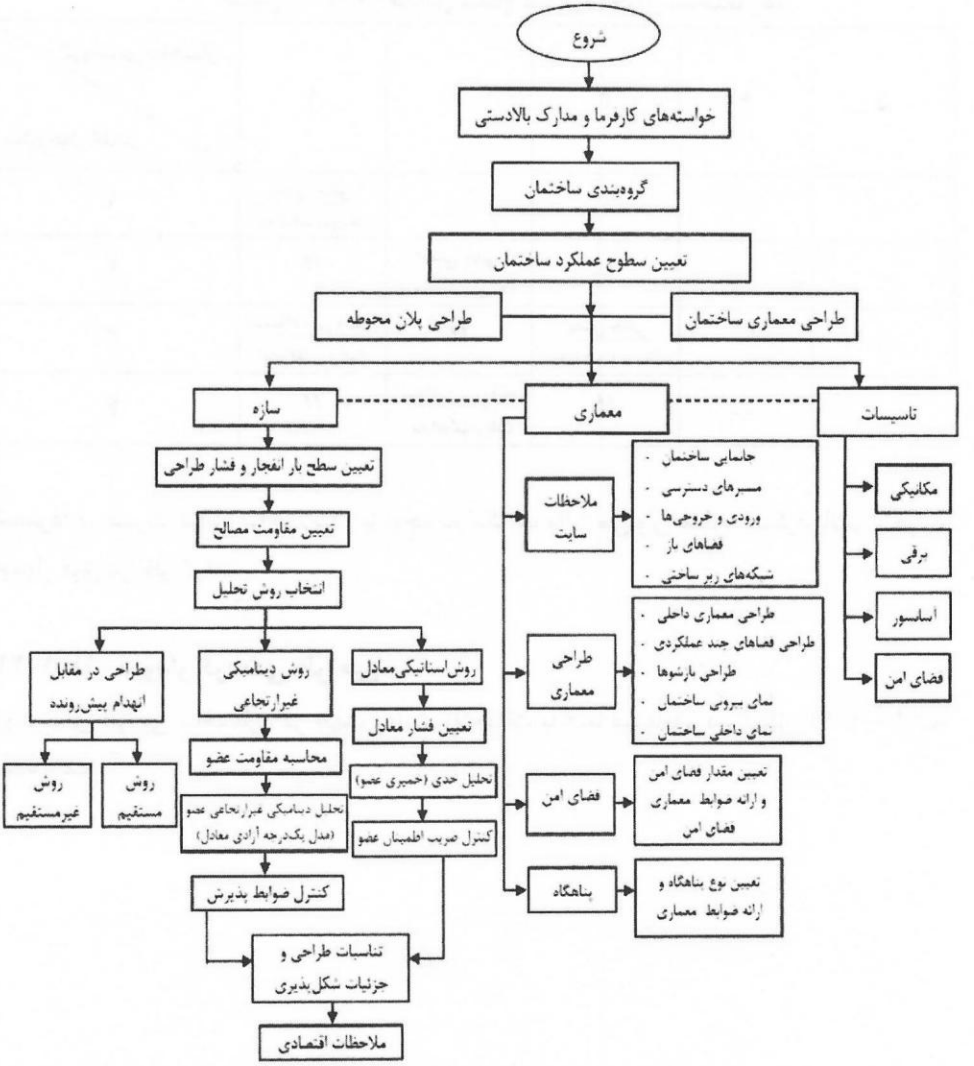
جدول ۲۱-۱-۴- حداقل سطح عملکرد اجزای ساختمان‌ها

گروه‌بندی ساختمان / سطح خطر انفجار	۱	۲	۳	۴	۵
۱	ایمنی جانی (محافظت متوسط)	---	---	---	---
۲	//	ایمنی جانی (محافظت متوسط)	---	---	---
۳	استفاده بی وقفه (محافظت زیاد)	//	ایمنی جانی (محافظت متوسط)	---	---
۴	//	استفاده بی وقفه (محافظت زیاد)	//	---	---

تبصره: در صورت تمایل صاحب بنا و با توجه به امکانات مالی می‌توان سطح عملکرد بالاتر از موارد جدول فوق در نظر گرفت.

۲۱-۱-۱۱- نمودار گردشی طراحی

روند نمای طراحی ساختمان، در جهت رعایت ملاحظات پدافند غیرعامل، در شکل ۲۱-۱-۱ ارائه شده است.



شکل ۲۱-۱-۱- روند نمای طراحی ساختمان‌ها از دیدگاه پدافند غیرعامل

۲۱-۱-۱۲- تعاریف

- **آسانسور و پله برقی**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که در مبحث ۱۵ مقررات ملی ساختمان به آنها پرداخته شده است.

- **انشعاب منفرد**

انشعابی است که صرفاً دارای یک شیر برداشت بوده و خروجی آن در حد لیتر در دقیقه است.

- **انفجار**

واکنشی است که در آن نرخ سوختن مواد با سرعتی به مراتب بیشتر از سرعت صوت انجام می‌شود که در نتیجه آن گرادیان دما و فشار بسیار بالا ایجاد و موج شوک بلافاصله تولید و با سرعت بسیار زیاد منتشر می‌شود.

- **انفجار در سطح زمین**

انفجار در هوا و در فاصله نزدیک به سطح زمین که امواج حاصل از آن به صورت نیم‌کره با زمین برخورد کرده و امواج حاصل از بازتاب با موج اولیه ترکیب می‌شود که معمولاً آن را موج ماخ یا جبهه ماخ می‌گویند.

- **انفجار در هوا**

انفجار در هوای آزاد و در فاصله قابل توجهی از سازه، که امواج حاصل از آن به صورت کروی و بدون هیچگونه برخورد و انعکاس به سازه اثر می‌کند.

- **انفجار شیمیایی**

انفجار ناشی از اکسیداسیون سریع عناصر سوختی موجود در ترکیب ماده منفجره که به همراه آزادسازی مقادیر قابل ملاحظه‌ای انرژی گرمایی با حجم زیادی از محصولات داغ گازی می‌باشد.

- **بازشوهای خارجی**

بخش‌هایی از ساختمان هستند که سازه را به فضای خارج مرتبط می‌سازند.

- **بحران**

پیشامدی است که به طور طبیعی و یا توسط بشر، به طور ناگهانی و گاهی فزاینده رخ می‌دهد و سبب ایجاد وضعیتی خطرناک و ناپایدار برای ساختمان، تجهیزات، فرد، گروه و یا جامعه می‌شود که برطرف کردن آن نیازمند اقدامات اساسی و فوق‌العاده است. بحران معمولاً غیرقابل پیش‌بینی است اما معمولاً غیرمنتظره نیست و یک وضعیت اضطراری و آنی است ولی ماندگار نمی‌باشد.

- **پدافند غیرعامل**

مجموعه اقدامات غیرمسلحانه‌ای که به کارگیری آنها موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، ارتقاء پایداری ملی، تداوم فعالیت‌های ضروری و تسهیل مدیریت بحران در برابر تهدیدها و اقدامات نظامی دشمن می‌گردد.

- **پراکندگی**

گسترش، باز و پخش نمودن و تمرکززدایی ساختمان‌ها، تجهیزات، تأسیسات یا فعالیت‌های خودی به منظور تقلیل آسیب‌پذیری آنها در مقابل عملیات دشمن، به طوری که مجموعه‌ای از آنها هدف واحدی را تشکیل ندهند.

- **پناهگاه**

مکان بسته‌ای است که بخاطر طراحی تخصصی و کاربری خاص در مقابل انواع تهدیدها، نسبت به ساختمان‌های متعارف از درجه حفاظت به مراتب بالاتری برخوردار باشد و امنیت جانی و روانی بیشتری را برای افراد فراهم نماید.

- **تأسیسات اطفای حریق**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که با عمل این تأسیسات، آتش در محل آتش‌سوزی خاموش می‌شود و در مبحث ۳ مقررات ملی به آن پرداخته شده است.

- **تأسیسات برقی ساختمان**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که در مبحث ۱۳ مقررات ملی ساختمان به آنها پرداخته شده است.

- **تأسیسات بهداشتی**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که در مبحث ۱۶ مقررات ملی ساختمان به آنها پرداخته شده است و شامل تأسیسات آبرسانی سرد و گرم و سامانه دفع فاضلاب و آب باران می‌شود.

- **تأسیسات خطرآفرین**

خرابی و از کارافتادگی یک جزء تأسیساتی منجر به ایجاد خطرات دیگر شامل نشت گازهای سمی، انفجارهای متعدد و عوارض دیگر می‌گردد.

- **تأسیسات ساختمان**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که انتظارات مورد نیاز از تأسیسات مکانیکی، برقی و آسانسور را برآورده سازند.

- **تأسیسات کم‌خطر**

خرابی و از کارافتادگی یک جزء تأسیساتی منجر به از بین رفتن کارایی همان عضو می‌شود و لاغیر.

- **تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که در مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان به آنها پرداخته شده است.

- **تأسیسات مکانیکی ساختمان**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که انتظارات مورد نیاز از تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع، تأسیسات بهداشتی، لوله‌کشی گاز طبیعی ساختمان و تأسیسات اطفاء حریق را برآورده می‌سازند.

- **تهویه مطبوع**

توزیع مناسب هوا، همراه با کنترل همزمان دما، رطوبت و پاکیزگی هوا، برای تامین شرایط مورد نیاز فضاهای ساختمان.

- **حد شکنندگی**

معیاری برای ظرفیت تحمل یک وسیله در مقابل ضربه و ارتعاش و عبارت است از مقدار شتابی که وسیله می‌تواند تحمل کند و همچنان قابل استفاده باقی بماند.

- **دریچه پادری یا بازشو با خم اضافی**

دریچه‌ای که برای تهویه و تامین هوای احتراق مولد در حال کار بگونه‌ای تعبیه می‌شود که اثرات انفجار روی مولد اضطراری را کاهش دهد.

- **فضاهای دو یا چند منظوری**

قابلیت بهره‌برداری عملکردهای متفاوت از یک فضای معین در شرایط عادی و بحرانی ناشی از تهدیدهای دشمن.

- **فضای امن**

فضای امن به فضائی اطلاق می‌گردد که در مقابل اثرات بارهای ناشی از انفجار، کمتر در معرض خطر قرار گرفته و نسبت به سایر فضاهای ساختمان از ایمنی و مقاومت بیشتری برخوردار باشد. فضای امن حتی‌المقدور باید به صورت دو یا چند منظوره مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

- **لوله‌کشی گاز طبیعی ساختمان**

به سامانه‌ها، تجهیزات و اجزایی اطلاق می‌شود که در مبحث ۱۷ مقررات ملی ساختمان به آنها پرداخته شده است و شامل لوله‌کشی گاز طبیعی ساختمان، نصب وسایل گازسوز و نصب دودکش‌های ساختمانی می‌شود.

- **مجتمع‌های مسکونی**

مجموعه‌های مسکونی با تعداد بلوک‌های ساختمانی ۴ طبقه به بالا و بیش از ۲ بلوک، مجتمع مسکونی نامیده می‌شود.

- **مجموعه‌ی زیستی**

هر محل حضور انسان‌ها که قالب معماری و شهرسازی دارد و دارای محوطه‌ی باز می‌باشد (مانند مسکونی، مذهبی، آموزشی، فرهنگی، تجاری و خدماتی، درمانی، و...)

- **مرکز کنترل حریق**

مرکزی برای کنترل عملکرد سامانه‌های کنترل دود، ارتباط ساکنین، هشداردهنده‌ها، کنترل آتش‌سوزی و تخلیه افراد می‌باشد.

- **مرمت‌پذیری**

به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن تعمیر ساختمان با مخارج معمول (تا سقف ۴۰ درصد هزینه نوسازی)، جهت پایداری در برابر اثرات انفجار، امکان‌پذیر باشد، مشروط بر اینکه بنا به هر علتی میراث ملی شناخته شود.

- **معایب دایمی**

معایبی که با از کار افتادن وسیله مشخص می‌شوند، شدت آسیب در حدی است که توانایی وسیله در انجام عملکرد مطلوب برای همیشه از بین می‌رود.

- **معایب موقت**

معایبی که اغلب به آن‌ها اختلال یا عیب فنی می‌گویند و با وقفه در عملکرد جاری وسیله همراه است.

- **مکان‌یابی**

انجام اقدامات لازم به منظور انتخاب مکانی مناسب با توجه به تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های مربوطه برای استقرار و احداث ساختمان، تأسیسات و نگه‌داری تجهیزات.

- **موازی‌سازی**

تعدد و چندگانه‌سازی در تجهیزات تأسیساتی با همپوشانی مناسب.

- **موج انفجار**

انرژی زیادی که در اثر انفجار در یک محیط گازی آزاد می‌شود، باعث افزایش ناگهانی فشار در محیط می‌شود که به این فشار نامنظم، موج انفجار می‌گویند. موج انفجار به صورت شعاعی و با سرعت کاهشی که همیشه از سرعت صوت در محیط بیشتر است، از محیط انفجار انتشار می‌یابد.

- **هدف**

موجودیتی مشخص، اعم از جاندار یا بی‌جان که در نظر است با توسل به عملیات نظامی، سیاسی، اقتصادی یا روانی به آن صدمه زده شود، منهدم گردد، تسخیر شود یا تحت کنترل درآید.

- **هواساز**

دستگاهی است که با قرارگیری در فضایی مسدود، گرمایش یا سرمایش هوا و دمیدن و بازگرداندن آن را از طریق کانال‌های هوا، انجام می‌دهد.

۲۱-۲- ملاحظات معماری و محوطه

رعایت الزامات معماری پدافند غیرعامل، باعث پایداری نسبی مجموعه‌های زیستی، ساختمان‌ها و تأسیسات در شرایط بحران ناشی از تهدیدات می‌شود. توجّه و عنایت به مبحث «پدافند غیرعامل» به صورت «میان‌رشته‌ای» و مرتبط با دیگر عوامل اثرگذار در معماری و شهرسازی، پایداری بیشتری را به دنبال خواهد داشت. حوزه شمول این فصل مطابق جدول ۲۱-۱-۲-الف می باشد.

۲۱-۲-۱- معماری و پدافند غیرعامل

رعایت ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی معماری، (که ایمنی مجموعه‌های زیستی، ساختمان‌ها و تأسیسات را بالا می‌برد)، الزامی است.

اثرات موج انفجار (به ویژه ناشی از بمباران)، نه‌تنها باید در برنامه‌ریزی کلان و طراحی مجموعه‌های زیستی، ساختمان‌ها و تأسیسات منظور گردد، بلکه در انتخاب مصالح و طراحی و اجرای جزئیات مهندسی نیز، به صورت همه‌جانبه و متعادل بررسی شده و موردنظر، قرار گیرد.

برای ارائه طرح مایه (مفهوم ذهنی)، طراح باید قادر به نظریه‌پردازی تهاجم احتمالی دشمن بوده و راهکارها را، با اخذ نظرات کارفرما، بهره‌بردار و کارشناسان میان‌رشته‌ای به صورت طرح‌های اولیه ارائه دهد. پس از انتخاب طرح بهینه، طرح‌های تفصیلی (اعم از شهرسازی و یا معماری)، ارائه می‌شود.

۲۱-۲-۲- ملاحظات برنامه‌ریزی و طراحی محوطه

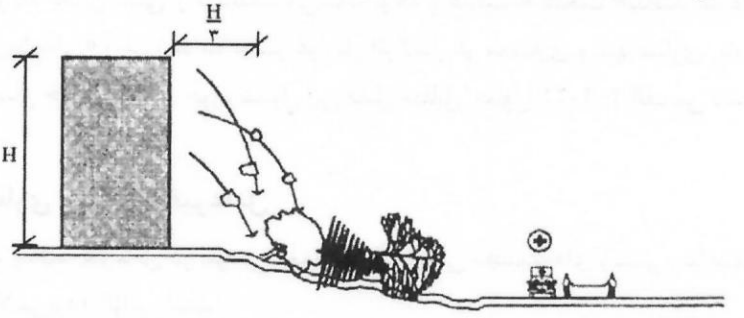
برنامه‌ریزی و طراحی محوطه، همراه ایجاد فضای لطیف و زیبا برای زندگی، باید براساس اصول پدافند غیرعامل، هدایت سریع و مطمئن افراد به پناهگاه‌های خارج از ساختمان و جان‌پناه‌ها، اتخاذ تمهیداتی در جهت کاهش خطرات ناشی از ریزش آوار بر سر افراد و تسهیل اقدامات امداد و نجات برای کاهش خطرسازی ساختمان‌ها، صورت‌گیرد. این بخش، جنبه‌های مختلف طراحی محوطه را مشخص کرده و برخی از ویژگی‌ها را ارائه می‌دهد.

۲۱-۲-۲-۱- جانمایی ساختمان

از آنجا که جانمایی مناسب ساختمان‌ها، می‌تواند تأثیر مهمی بر کاهش آسیب‌پذیری داشته باشد، حداقل تمهیدات لازم برای طراحی، به شرح زیر است:

۲۱-۲-۲-۱-۱- با توجه به افزایش خطرپذیری در تمرکز ساختمان‌ها، افراد، فعالیت‌ها و سرمایه‌ها، طراحی باید به صورت غیرمتمرکز صورت گیرد.

۲۱-۲-۲-۱-۲- به منظور کاهش خسارات و اثرات انفجار، توصیه می‌شود بین ساختمان و راه دسترسی اصلی، فضاهای حایل ایجاد گردد. (شکل ۲۱-۲-۱)



شکل ۲۱-۲-۱- ایجاد فضای حایل با استفاده از پوشش گیاهی

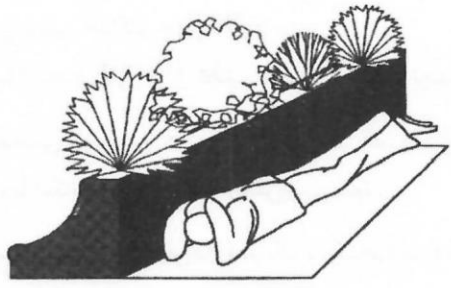
۲۱-۲-۲-۱-۳- به منظور کاهش خطر ریزش‌آوار، فضایی با عرض حداقل $\frac{۱}{۳}$ ارتفاع ساختمان، به عنوان **حریم آوار**، باید در نظر گرفته شود. در این حریم، صرفاً ایجاد فضای سبز و مستحدثات ایمن در برابر آوار، مجاز است.

۲۱-۲-۲-۱-۴- مکانیابی ساختمان تا حد امکان هماهنگ با عوارض طبیعی و یا مصنوعی (دفاع غیرعامل طبیعی) و یا مدفون، صورت‌گیرد.

۲۱-۲-۲-۱-۵- به منظور پرهیز از پیامدهای انفجار، احداث مخازن سوخت غیر ایمن در حریم آوار، مجاز نیست.

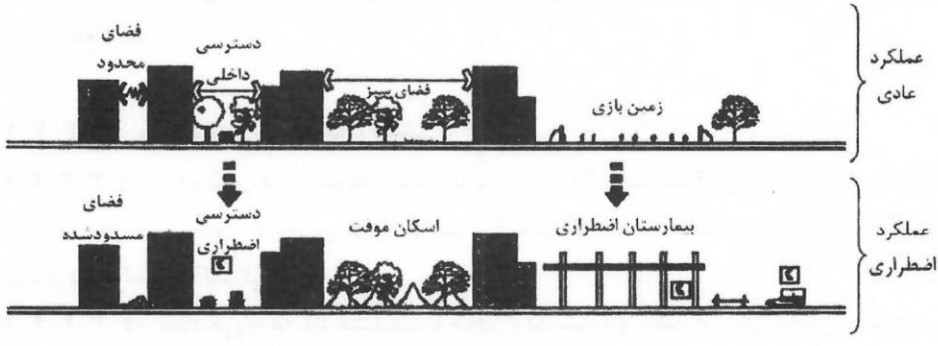
۲۱-۲-۲-۲- فضاهای باز پیرامون ساختمان

۲۱-۲-۲-۲-۱- در فضاهای باز، باید مکان‌ها و دیوارک‌هایی به عنوان جان‌پناه ایجادگردد. (شکل ۲۱-۲-۲)



شکل ۲۱-۲-۲- عملکرد دیوارک در مواقع اضطراری به عنوان جان پناه

۲۱-۲-۲-۲-۲- اجزای فضاهای باز باید براساس اصل انعطاف‌پذیری و با عملکردهای چند منظوره، طراحی شوند به نحوی که در شرایط عادی، امکان فعالیت‌های معمول را فراهم نموده و در شرایط بحرانی، به عملکردهای اضطراری اختصاص یابند. (شکل ۲۱-۲-۳)



شکل ۲۱-۲-۳- انعطاف‌پذیری و طراحی چند منظوره فضاهای باز

۲۱-۲-۲-۲-۳- در عناصر و اجزای مبلمان شهری، تا حد امکان از احداث و ایجاد لبه‌های تیز گوشه (تا ارتفاع ۲ متری از زمین)، جلوگیری شود.

۲۱-۲-۲-۲-۴- به منظور انجام عملیات امداد و نجات، مکان‌هایی در فضای باز با عملکرد چندمنظوره پیش‌بینی شود که تا حد امکان دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- دسترسی مناسب به ساختمان‌ها
- خارج از حریم آوار
- مصون از اثر عوامل نامساعد طبیعی

- کف هموار و شیب حداکثر چهار (۴) درصد
- دارای زیرساخت‌های لازم برای نصب سریع و استقرار تجهیزات امدادرسانی

۲۱-۲-۲-۲-۵- در مجموعه‌های زیستی و هر محله شهری، در حد امکان باید محل‌های مناسبی برای عملیات امداد و نجات، با امکانات فرود بالگرد، پیش‌بینی شوند.

۲۱-۲-۲-۲-۶- جانمایی ساختمان در خیابان‌های باریک و یک‌طرفه، به‌نحوی‌که عملیات امداد و نجات با اخلال و تأخیر مواجه شود، مجاز نمی‌باشد.

۲۱-۲-۲-۲-۷- در کلیه ساختمان‌هایی که در خیابان‌های باریک و یک‌طرفه قرار دارند و امکان تعریض معابر دسترسی وجود ندارد، تجهیزات اطفاء حریق در داخل مجموعه باید به نحوی تأمین گردد که تأخیر و کندی عملیات امداد و نجات و اطفاء خودروهای آتش‌نشانی را جبران نماید.

۲۱-۲-۲-۲-۸- محوطه تا حد امکان باید از چمن و یا درخت و گیاه مناسب پوشیده شود. نصب سنگ‌های بزرگ تزئینی، که ایجاد نوعی جان‌پناه مقاوم می‌نمایند، در صورت نداشتن گوشه‌های تیز، بلامانع است.

۲۱-۲-۲-۳- ورودی‌های مجموعه زیستی

۲۱-۲-۲-۳-۱- محوطه‌ی هر مجموعه زیستی با بیش از ۲۰۰ واحد مسکونی (یا معادل آن)، باید دارای حداقل دو ورودی- خروجی (دروازه) باشد که با فاصله مناسب و دور از یکدیگر قرار گیرند(رعایت اصل پراکندگی).

۲۱-۲-۲-۳-۲- ابعاد دروازه‌ها باید متناسب با حجم تردد سواره و پیاده در زمان بحران، پیش‌بینی شوند.

۲۱-۲-۲-۳-۳- دروازه ها باید به گونه‌ای باشند که در صورت تخریب، موجب انسداد تردد وسایل نقلیه نشوند.

۲۱-۲-۲-۴- دسترسی‌های مجموعه زیستی

۲۱-۲-۲-۴-۱- مسیرهای دسترسی باید به نحوی طراحی شوند که با حداقل نمودن تداخل حرکت عابرین پیاده و وسایل نقلیه، کارایی به حداکثر برسد.

۲۱-۲-۲-۴-۲- طراحی هندسی مسیرهای محوطه باید به‌گونه‌ای باشد که تقاطع اضلاع، نرم (منحنی) و فاقد زوایای تند باشند و مسیریابی اضطراری در آن‌ها، به سادگی صورت گیرد.

۲۱-۲-۲-۴-۳- تا حد امکان، ریزش آوار و شیشه نباید موجب انسداد مسیرهای دسترسی و ایجاد خطر برای افراد شود (حریم آوار رعایت شود).

۲۱-۲-۲-۴-۴- در حاشیهٔ مسیرهای پیاده و سواره‌رو، حداقل یک ردیف درخت در ترکیب با پشته‌ی خاکی چمن‌کاری شده و یا جعبه گلدان، طراحی و اجرا شود.

۲۱-۲-۲-۴-۵- در طراحی شبکه سواره‌رو داخل مجموعه‌های زیستی با بیش از ۲۰۰ واحد مسکونی (یا معادل آن) به بالا، لازم است حداقل یک مسیر دسترسی محوری سواره‌رو متناسب با ترافیک زمان بحران (بویژه حمله هوایی) پیش‌بینی شود. حریم آوار ساختمان‌های مجاور این مسیر، نصف ارتفاع آن‌ها است.

۲۱-۲-۲-۴-۶- معابر پیاده باید فاقد ناهمواری، برآمدگی و سطوح لغزنده باشند و از بکاربردن مصالح کندکننده حرکت در آنها خودداری شود.

۲۱-۲-۲-۴-۷- برای سهولت حرکت در مواقع بحران ناشی از تهدیدات، هر آنچه سرعت گریز از خطر را محدود نماید، باید از طرح محوطه حذف شده و یا مناسب‌سازی شود.

۲۱-۲-۲-۴-۸- ابعاد پله‌ها در فضای باز، برای حفظ ایمنی و راحتی، باید به صورت زیر باشند:

- عرض حداقل ۱/۵ متر
- ارتفاع حداکثر ۱۵ سانتیمتر
- حداقل کف مفید ۳۰ سانتی متر
- به ازاء هر ۱۰ پله یک پاگرد (فضای استراحت).

۲۱-۲-۲-۴-۹- شیبراهه نباید بیش از ۵ درصد شیب داشته باشد. عرض آن باید بیش از ۱/۸ متر بوده و کف آن زبر باشد.

۲۱-۲-۲-۴-۱۰- برای خروج افراد از ساختمان، طراحی معبر (کانال) تأسیساتی آدم‌رو و مقاوم در برابر موج انفجار (موضوع بند ۲۱-۳-۳-۳)، در هماهنگی با مهندس تأسیسات، الزامی است. این‌گونه معابر باید قابلیت گذر تأسیسات اصلی و زیرساخت‌ها (موضوع بند ۲۱-۷-۲-۸-۳) را داشته و خروجی‌های متعدد به محوطه در آن پیش‌بینی شود.

۲۱-۲-۲-۵- جان‌پناه‌ها

۲۱-۲-۲-۵-۱- فضاهای‌باز، باید به‌نحوی طراحی شوند که درترکیب باعوارضی نظیر پشته‌ی چمن‌کاری‌شده، فرورفتگی، جعبه گلدان و دیوارک، ضمن ارتقاء محیط برای تامین فعالیت‌های شرایط عادی (مانند بازی و نشستن)، جان‌پناه‌های مناسب در آن‌ها، ایجاد شوند.

۲۱-۲-۲-۵-۲- محل استقرار جان پناه‌ها باید خارج از حریم آوار باشد.

۲۱-۲-۲-۵-۳- جان‌پناه‌ها باید با ظرفیت کم و پراکندگی مناسب، در خارج مسیرها و فضای باز، ایجاد شوند.

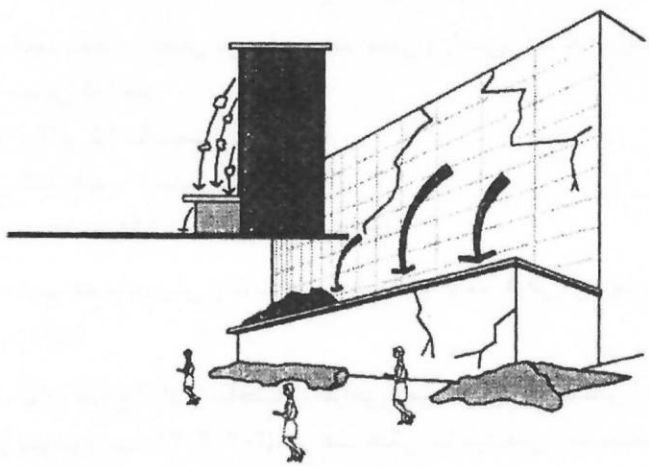
۲۱-۲-۲-۵-۴- شکل جان پناه‌ها باید نرم (منحنی) و فاقد نقاط تیز گوشه بوده و سازه‌ی آنها، مقاوم در برابر موج انفجار باشند.

۲۱-۲-۲-۵-۵- فاصله جان‌پناه‌ها از یکدیگر، حداکثر ۲۰ متر باشد.

۲۱-۲-۳- طراحی معماری ساختمان

۲۱-۲-۳-۱- طراحی حجم ساختمان

۲۱-۲-۳-۱-۱- شکل (فرم) ساختمان بیش از ۶ طبقه باید به صورتی باشد که آوار آن باعث انسداد دسترسی‌ها به ساختمان نشود (نظیر اشکال پلکانی- شکل ۲۱-۲-۴).



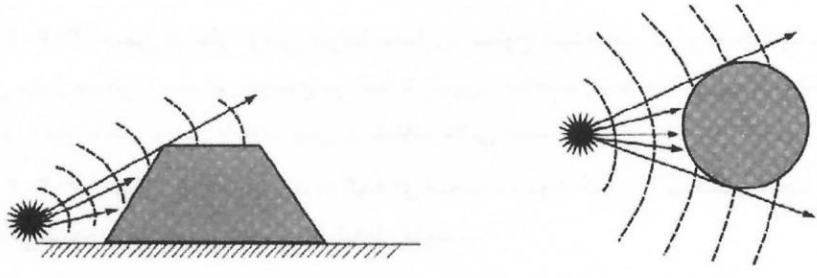
شکل ۲۱-۲-۴- شکل‌های مناسب نمای ساختمان برای کاهش ریزش آوار به محیط

۲۱-۲-۳-۱-۲- شکل کلی ساختمان‌های مجاور خیابان اصلی، به‌گونه‌ای باشد که در صورت تخریب، سبب انسداد معبر نشوند (با رعایت بند ۲۱-۲-۲-۱-۳).

۲۱-۲-۳-۱-۳- طراحی پیلوت‌های از دو طرف باز، توصیه می‌شود (شکل ۲۱-۲-۵).

شکل۲۱-۲-۵- تخلیه موج انفجار از پیلوت باز

۲۱-۲-۳-۱-۴- شکل ساختمان تا حد امکان باید محدب و یا مدور باشد. استفاده از اشکال مقعر توصیه نمی‌شود (شکل ۲۱-۲-۶). با توجه به اهمیت شکل ساختمان در بارگذاری انفجار، در راستای اجرای بند ۲۱-۳-۳-۳، تعامل با مهندس سازه، الزامی است.



پلان مناسب **نمای مناسب**

شکل ۲۱-۲-۶- پلان و نمای مناسب در برابر موج انفجار

۲۱-۲-۳-۲- مسیرهای حرکت

۲۱-۲-۳-۲-۱- طراحی فضای ورودی ساختمان، با رعایت الزامات معماری، به نحوی باشد که ورودی موج انفجار به ساختمان، کمینه (حداقل) گردد.

۲۱-۲-۳-۲-۲- در فضاهای مکث بزرگ (مانند هال، لابی و...) ساختمان، مسیرهای حرکت نباید روبروی هم و مستقیم باشند.

۲۱-۲-۳-۲-۳- از ایجاد فضاهای دارای طرح خطی (مانند راهروهای طولانی و مستقیم) پرهیز شود و درهای داخل آن‌ها، روبروی یکدیگر قرار نگیرند.

۲۱-۲-۳-۳- نمای ساختمان

۲۱-۲-۳-۳-۱- کلیات

در هنگام وقوع انفجار، پوشش بیرونی و نمای سازه به عنوان جزء غیرسازه‌ای نقش بسیار مهمی در کاهش خسارات و تلفات ناشی از انفجار دارد. در اثر فشار انفجار مقادیر زیادی از اجزا نما مانند شیشه و سایر مصالح به صورت ترکش در فضای داخل و بیرون ساختمان پراکنده می‌شوند. قسمتی از تلفات ناشی از انفجار مربوط به عدم انتخاب صحیح هندسه پیرامونی سازه و استفاده از مصالح و سامانه‌های نامناسب نما می‌باشد. برای کاهش این اثرات مضر لازم است تا موارد زیر برای طراحی و اجرای هندسه پیرامونی و نمای سازه در نظر گرفته شوند.

۲۱-۲-۳-۳-۲- هندسه پیرامونی سازه باید ساده، صاف و دارای شکل محدب باشد. اشکال مقعر و دارای پیش آمدگی (مانند بالکن) و فرورفتگی باعث محبوس شدن امواج و تشدید اثرات انفجار می‌شوند.

۲۱-۲-۳-۳-۳- ضمن در نظر گرفتن ضوابط معماری، سطوح شیشه خور نما و تعداد بازشوها به کمترین مقدار ممکن برسد. این موضوع در طبقات پایین‌تر ساختمان باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد زیرا فشار انفجار در این طبقات بیش از طبقات بالایی است.

۲۱-۲-۳-۳-۴- مصالح رو کار نما باید به گونه ای انتخاب شوند که در اثر فشار انفجار دچار خردشدگی نشده و به قطعات کوچک تیز تبدیل نشوند.

۲۱-۲-۳-۳-۵- برای نصب مصالح روکار نما باید از قاب‌های مجزا استفاده شده و این قاب‌ها با اتصالات مستقیم به دیافراگم سقف‌ها متصل شوند تا از انتقال لنگر خمشی موضعی به ستون‌ها جلوگیری شود.

۲۱-۲-۳-۳-۶- قاب‌بندی نمای ساختمان به گونه ای طراحی شود که امکان بازرسی و در صورت نیاز تعویض و نصب قطعات آسیب دیده به راحتی فراهم شود.

۲۱-۲-۳-۳-۷- بکارگیری نماهای شکننده و عناصر دارای اتصال سست به سازه (در نمای ساختمان) و یا بدون اتصال مناسب به سازه، ممنوع است.

۲۱-۲-۳-۳-۸- اتصال دیوارهای خارجی به سازه، ضمن حفظ انعطاف‌پذیری لازم، باید بطور مطمئن، طبق فشار وارده انجام شود.

۲۱-۲-۳-۳-۹- در نمای مجاور معابر، از طبقه‌ی چهار به بالای ساختمان‌ها، احداث بالکن یا شبه بالکن سراسری الزامی است. در صورت وجود عقب‌نشینی در طبقات بالای پایه (پودیوم)، لزومی به اجرای بالکن نمی‌باشد.

۲۱-۲-۳-۳-۱۰- قسمت بیرونی ورودی ساختمان، باید با ایجاد سقف و یا هرگونه حائل مقاوم در برابر ریزش آوار، محفوظ و ایمن‌سازی شوند.

۲۱-۲-۳-۳-۱۱- قرارگیری عناصر الحاقی شکننده و یا فاقد اتصال مناسب به‌سازه، در لبه بام مجاز نیست.

۲۱-۲-۳-۳-۱۲- تأسیسات مستقر در بام، باید به فاصله کمینه ۲ متر از لبه‌ی مجاور معابر و حیاط قرار گیرند.

۲۱-۲-۳-۳-۱۳- اجرای انواع نمای اندودی از ملات ماسه‌سیمان یا مشابه، نقش مؤثری در پایداری دیوارهای خارجی داشته و آسیب‌پذیری آنها را نسبت به دیوارهای خارجی بدون اندود نما به مراتب کاهش می‌دهد . هم‌چنین در برابر نیروی لغزشی، مقاوم‌تر از نماهای آجری و سنگ بوده و احتمال ریزش آنها کمتر است.

۲۱-۲-۳-۳-۱۴- در صورت استفاده از نمای آجری، آن را باید با ضخامت کمینه ۲۲ سانتیمتر، به صورت مسلح و با اتصال لازم به سازه، اجرا نمود.

۲۱-۲-۳-۳-۱۵- از کاربرد سنگ (و مشابه نظیر سرامیک و دیگر مصالح شکننده) بصورت خشک در نما، خودداری شود و لازم است عناصر نمای ساختمان دارای قاب‌بندی با مقاومت و انعطاف‌پذیری مناسب باشند.

۲۱-۲-۳-۳-۱۶- نماهای پیش‌ساخته بتن مسلح، با اتصال لازم به سازه، در برابر انفجار بسیار مناسب می‌باشند. اتصال نمای پیش‌ساخته بتنی به اعضای محیطی ساختمان، باید قابلیت تحمل بارهای ناشی از انفجار (مطابق جدول ۲۱-۱-۳) را دارا باشد. به طور کلی، عناصر نما نباید موجب ایجاد ترکش و آوار شوند و آسیب‌رسان باشند.

۲۱-۲-۳-۴- پنجره‌ها و بازشوها

۲۱-۲-۳-۴-۱- تا حد امکان از پنجره‌های کم‌تر و یا کوچک‌تر، استفاده شود.

۲۱-۲-۳-۴-۲- استفاده از پنجره‌های بزرگ، مشروط به قاب‌بندی داخلی و تقسیم به اجزای کوچک و رعایت تمهیدات ضروری برای جلوگیری از آسیب‌رسانی شیشه‌ها (مانند استفاده از روکش‌های چسبنده به شیشه)، بلامانع است.

۲۱-۲-۳-۴-۳- ارتفاع پنجره‌ها تا جایی که ممکن است به سقف طبقات نزدیک باشد تا ترکش‌های ناشی از خرد شدن شیشه‌ها به افراد داخل ساختمان برخورد نکند.

۲۱-۲-۳-۴-۴- جنس شیشه‌های به کار رفته در پنجره ها باید از نوع لمینیت (چندلایه) باشد تا پس از گسیختگی قطعات خرد شده به اطراف پرتاب نشوند.

۲۱-۲-۳-۴-۵- در نورگیرهای (سقفی) ساختمان، باید از صفحات شفاف نشکن، به جای شیشه، استفاده شود.

۲۱-۲-۳-۴-۶- قاب پنجره‌ها باید دارای استحکام و مقاومت بیشتری از شیشه‌ها باشند. این قاب‌ها باید با اتصال مناسب به اطراف متصل شوند تا در صورت وقوع انفجار، قاب و شیشه‌های متصل به آن به صورت یک قطعه منفرد به داخل پرتاب نشوند.

۲۱-۲-۳-۴-۷- چهارچوب پنجره‌ها به سازه باید کاملاً مهار شوند.

۲۱-۲-۳-۴-۸- مهاربندی‌ها و چهارچوب‌های جداره خارجی به سازه در ترکیب با بازشوها(درها، کرکره‌ها و دیگر بازشوها)، باید برای تحمل فشار بازتاب (بند ۲۱-۳-۳-۳)، طراحی شوند.

۲۱-۲-۳-۴-۹- درهای ورودی ساختمان مراکز تجمع و پنجره‌ها، باید به سمت خارج باز شوند (با رعایت عقب‌نشینی لازم در معابر عمومی).

۲۱-۲-۳-۴-۱۰- چارچوب درهای ورودی (و سایر چارچوب‌ها) باید با بتن مناسب پرشده و دارای اتصال لازم به سازه باشند.

۲۱-۲-۳-۵- اجزای غیرسازه‌ای

۲۱-۲-۳-۵-۱- اجزای غیرباربر (مانند تیغه، سقف کاذب و...) باید به گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که در برابر آثار انفجار، کمترین آسیب به آنها وارد شود و یا پس از شکستن به قطعات لب تیز تبدیل نشوند.

۲۱-۲-۳-۵-۲- دیوارهای غیرباربر باید دارای اتصال لازم به سازه باشند.

۲۱-۲-۳-۵-۳- دیوارهای بنایی باید با شبکه‌ی میلگرد، مسلح شوند.

۲۱-۲-۳-۵-۴- لازم است:

- از کاربرد مصالحی که پس از شکستن، تیز گوشه و برنده می‌شوند، خودداری گردد.
- وسایل، تجهیزات و تزئینات سنگین، در زیر سقف و بالای دیوار، نصب نشوند.
- وسایل، تجهیزات و تزیینات نیمه‌سنگین و سبک، با اتصال مناسب، نصب گردند.
- از شیشه غیرایمن در سقف کاذب و دیوار جداکننده، استفاده نشود.
- عناصر غیرساختمانی (مانند کتابخانه، قفسه، ویترین، کمد، دکور)، به نحو مناسب، به سازه و یا اجزاء ساختمانی، متصل شوند.

۲۱-۲-۳-۵-۵- ضروری است:

- دیوارهای جداکننده داخلی تاحد امکان، سبک، انعطاف‌پذیر و دارای بهم پیوستگی (با استفاده از الیاف‌های طبیعی و یا مصنوعی) باشند.
- اتصالات اجزای غیرسازه‌ای و تزئینات داخلی، باید براساس حداقل‌های اشاره شده در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) و برمبنای خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد ($A = ۰/۳۵$) طرح شوند.
- اتصالات دیوارهای جداره‌ی خارجی ساختمان و قاب‌بندی نما و اجزای نمای پیش‌ساخته بتنی باید برای فشار بازتاب بند ۲۱-۳-۳-۳ طراحی شوند.
- از نصب هرگونه تزئینات و تابلوهای شکننده آسیب‌رسان، خودداری شود.
- مبلمان تا حد ممکن، دور از پنجره‌های خارجی، قرار گیرند.

۲۱-۲-۳-۶- آسانسور و راه‌پله

۲۱-۲-۳-۶-۱- در چاهک (شافت) آسانسورها باید تمهیداتی در نظر گرفته شود که از انتقال موج انفجار، دود و آتش و آسیب‌رسیدن به راه‌پله و راهروهای طبقات، تا حد امکان، جلوگیری شود.

۲۱-۲-۳-۶-۲- راه‌پله باید از چاه آسانسور، فاصله مناسبی داشته و ورودی آن، مقابل درب آسانسور نباشد (در این خصوص ضوابط مبحث سوم رعایت شود).

۲۱-۲-۳-۶-۳- ارتفاع کف اتاقک آسانسور (درصورت وجود) از روی بام، باید به میزان ۵۰ سانتیمتر افزایش یابد و این فاصله با دیوارهای سبک پران (رو به بیرون) پوشانده شود.

۲۱-۲-۳-۶-۴- برای امداد و تخلیه اضطراری، باید راه‌پله‌ای در جداره‌ی خارجی آن‌ها، طراحی و اجرا شود.

۲۱-۲-۳-۶-۵- راه‌پله ساختمان‌ها، باید از فضاهای پرخطر (مانند منابع سوخت) دور باشد. این مکان می‌تواند به عنوان فضای امن درنظر گرفته شده و برمبنای بند ۲۱-۲-۴ طراحی شود.

۲۱-۲-۴- فضاهای امن

۲۱-۲-۴-۱- تعریف

فضای امن، بخشی از ساختمان، با عملکرد چند منظوره است که به میزان کمتر، در برابر آثار ناشی از انفجار، قرار می‌گیرد. این فضا نسبت به سایر قسمت‌ها، از مقاومت و ایمنی بیشتری برخوردار است. فضای امن حفاظت نسبی افراد را، تامین کرده و دارای قابلیت‌های زیر می‌باشد:

- ایمنی بیشتر در برابر ریزش آوار
- مقاوم در برابر ترکش‌های ثانویه
- حداقل نمودن نفوذ دود و غبار به داخل خود.

۲۱-۲-۴-۲- مکان‌یابی

۲۱-۲-۴-۲-۱- مکان فضای امن، نباید در مسیر مستقیم موج انفجار قرار گیرد و تاحدامکان، در بین سایر فضاها و در محدوده مرکزی ساختمان پیش‌بینی شود و بین آن تا جداره خارجی، حداقل یک دیوار باشد. راهروهای داخلی، اتاق‌ها، انبارها، زیرزمین و سایر فضاهای مشابه عملکرد فضای امن را می‌توانند داشته باشند.

۲۱-۲-۴-۲-۲- فضای امن عمومی باید در هر طبقه‌ی ساختمان عمومی (برای عموم) و فضای امن خصوصی در واحدهای آپارتمانی بیش از ۱۲۰ مترمربع، در نظر گرفته شود.

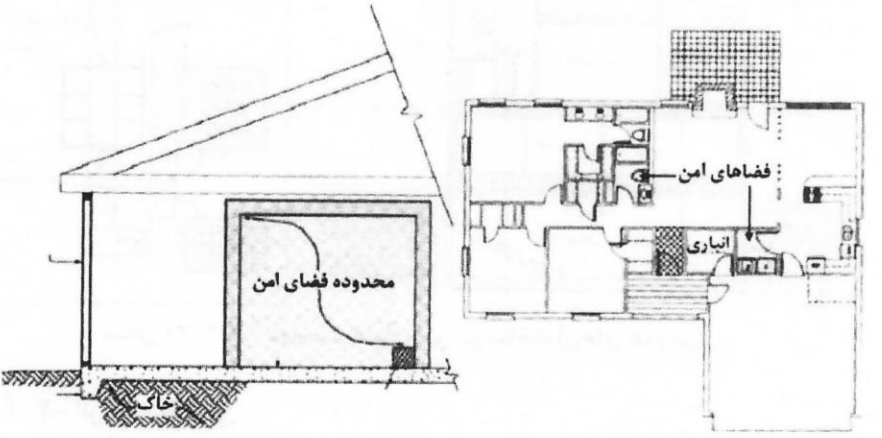
۲۱-۲-۴-۲-۳- مکان فضای امن باید به‌گونه‌ای باشد که دسترسی آن به راه خروج، به راحتی و در امنیت حاصل شود.

۲۱-۲-۴-۲-۴- در ساختمان‌های عمومی، مکان فضای امن می‌تواند بخشی از اماکنی مانند پارکینگ، کتابخانه، نمازخانه، محل اجتماعات، غذاخوری، بخصوص در طبقات زیرزمین و یا بخش میانی باشد.

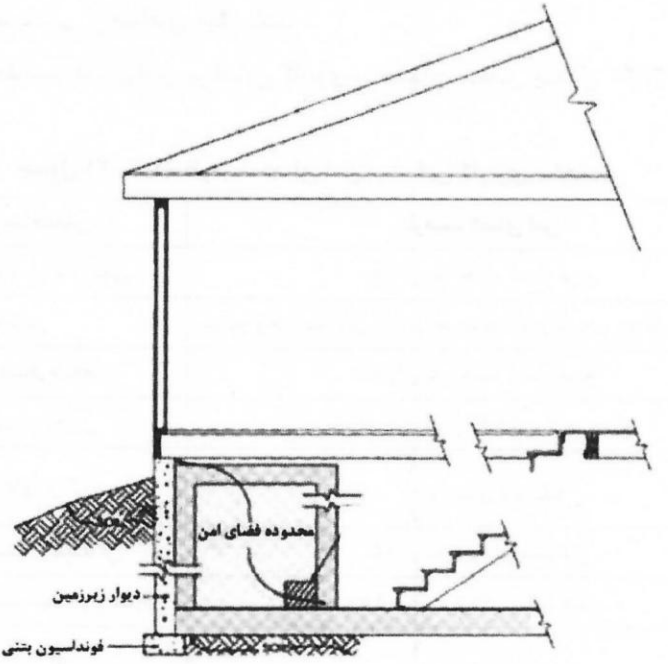
۲۱-۲-۴-۲-۵- در واحدهای مسکونی، باید قسمت کوچکی (نظیر اتاق اندرونی، انباری، پستو و کمد دیواری) برای فضای امن، منظور شود.

۲۱-۲-۴-۲-۶- راهروها و راه‌پله‌های داخلی هم می‌توانند به عنوان فضای امن، منظور شوند.

۲۱-۲-۴-۲-۷- فضاهای واقع در زیرزمین‌های ساختمان ، باید با طراحی مناسب زیرساخت‌ها، در حداقل زمان قابل تبدیل به فضای امن برای ادامه‌ی فعالیت‌های ساختمان باشند.

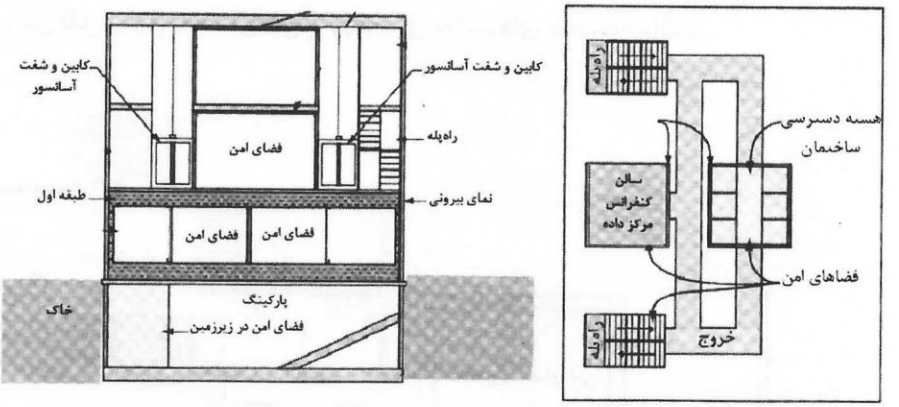


الف: فضای امن در طبقات



ب: فضای امن در زیرزمین

شکل ۲۱-۲-۷- موقعیت فضای امن در ساختمان‌های مسکونی



شکل ۲۱-۲-۸- موقعیت فضای امن در ساختمان‌های عمومی

۲۱-۲-۴-۳- الزامات طراحی

۲۱-۲-۴-۳-۱- در برنامه‌ریزی فضایی- عملکردی ساختمان، فضای امن باید مستقل و چندمنظوره بوده ولی نمی‌تواند بخشی از فضاهای دیگر باشد.

۲۱-۲-۴-۳-۲- ظرفیت فضای امن، بر اساس کاربری ساختمان، مطابق جدول ۲۱-۲-۱ محاسبه می‌شود:

جدول ۲۱-۲-۱- ظرفیت فضای امن بر اساس کاربری ساختمان

کاربری ساختمان	ظرفیت فضای امن
بیمارستان ها و مراکز درمانی	به ازای هر تخت، ۱ متر مربع
مسکونی	در هر واحد مسکونی به ازای هر فرد، ۱ متر مربع و حداقل ۶ مترمربع
هتل‌ها و مسافرخانه‌ها	به ازای هر تخت، ۱ متر مربع
مراکز اداری و تجاری	به ازای هر یک از کارکنان، ۱ متر مربع
فروشگاه‌های بزرگ	$\frac{۱}{۸}$ زیربنای فروشگاه
مسجد، حسینیه و مانند آن	۱۵ درصد زیربنای شبستان
اماکن عمومی (مانند سینما و رستوران)	۱۵ درصد زیربنای سالن اصلی
انبار و نمایشگاه	$\frac{۱}{۱۰۰}$ سطح کل زیربنا
مراکز آموزشی	به ازای هر دانش‌آموز، ۰/۲۵ مترمربع

۲۱-۲-۴-۳-۳- مسیرهای دسترسی به فضای امن (اعم از راهروها و راه‌پله‌ها)، خود باید فضای امن باشند، ولی جزو مساحت فضای امن موردنیاز جدول ۲۱-۲-۱ منظور نمی‌شوند. لازم است مسیرهای دسترسی و فضای امن، با علائم استاندارد، مشخص شوند.

۲۱-۲-۴-۴- باربری و مصالح

۲۱-۲-۴-۴-۱- فشار طراحی فضای امن، برای مقاومت در برابر موج انفجار و آتش، باید مطابق بند ۲۱-۱-۹ تعیین شود.

۲۱-۲-۴-۴-۲- دیوار، سقف و کف تاحد امکان، از بتن مسلح باشند. در دیوارها، از آجر مسلح (توپر) و یا پوشش مقاوم کننده پلیمری، می‌توان بهره گرفت.

۲۱-۲-۴-۴-۳- کاربرد مصالح و اجسام تیز، لبه‌دار، ترد و شکننده در فضای امن، مجاز نیست.

۲۱-۲-۴-۴-۴- بازشوی درب باید به سمت بیرون باشد و مقاومت لازم (جزء ۲۱-۲-۴-۴-۱) را داشته باشد.

۲۱-۲-۴-۴-۵- دریچه خروج اضطراری مستحکم با عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر و با رعایت جزء ۲۱-۲-۴-۴-۱، در ارتفاع حدود ۹۰ سانتی‌متری از کف (با بازشوی رو به داخل فضای امن) نصب شود. لازم است تمهیداتی برای نحوه خروج پیش‌بینی شود.

۲۱-۲-۴-۴-۶- ایجاد نورگیر و پنجره و نصب هرگونه تزئینات مجاز نیست.

۲۱-۲-۴-۴-۷- تأسیسات روشنایی، باید ساده و ایمن باشند.

۲۱-۲-۵- اتاق مرکز کنترل و مدیریت ساختمان (و بحران)

مکان‌یابی و طراحی فضایی خاص برای مدیریت بحران، در ساختمان الزامی بوده و باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

الف- طراحی چیدمان مناسب برای تجهیزات بند ۲۱-۷-۱-۷.

ب- مقاومت و ایمنی لازم در برابر پیامدهای موج انفجار.

پ- مقاوم دربرابر آتش و نفوذ دود.

ت- تسهیلات لازم برای دسترسی و حضور متخصصین ایمنی و امنیتی.

ث- طراحی دسترسی به منظور جلوگیری از ورود افراد غیرمجاز.

۲۱-۳- بارهای ناشی از انفجار

انفجار واکنش شیمیایی مواد منفجره است که انرژی قابل ملاحظه‌ای را آزاد می‌نماید. در اثر فشار و دمای بسیار زیاد، مواد منفجره به گاز تبدیل شده و با افزایش بسیار سریع فشار هوا، موج انفجار بوجود می‌آید که با سرعت اولیه حدود ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر بر ثانیه منتشر می‌شود. بارهای ناشی از برخورد موج انفجار به سازه و زمان تاثیر آن، براساس مفاد این فصل تعیین می‌شود. حوزه شمول این فصل مطابق جدول ۲۱-۱-۲- الف می‌باشد.

۲۱-۳-۱- انواع موج انفجار

امواج انفجار بر حسب منشأ آن به دو نوع «موج ضربه» و «موج فشار» تقسیم می‌شوند.

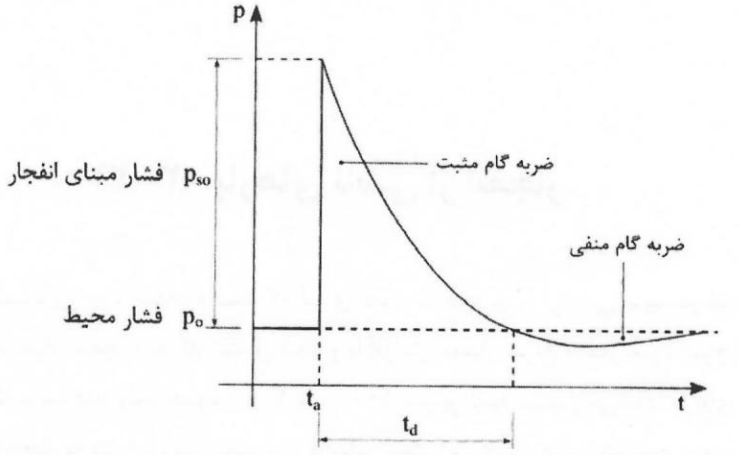
۲۱-۳-۱-۱- موج ضربه

موج ضربه، ناشی از انفجار، در حوزه نزدیک مواد منفجره‌ی جامد است. در هر نقطه از مسیر انتشار موج، در مرحله‌ی اول، فشار محیط به فشار مبنای انفجار افزایش یافته و با گذشت زمان به فشار محیطی کاهش می‌یابد که به آن گام مثبت گویند.

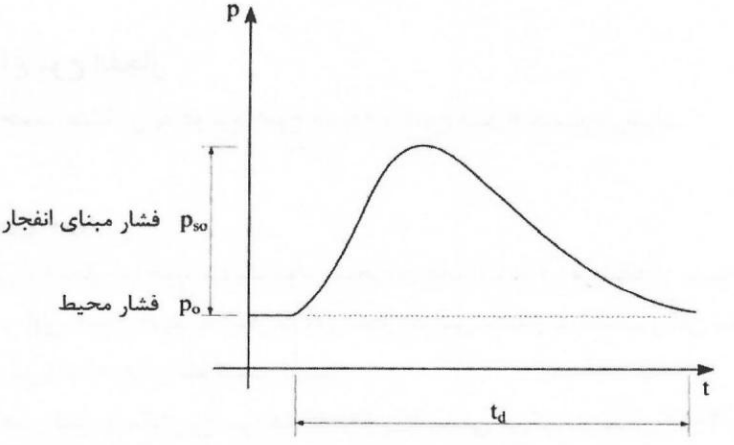
با عبور موج، کاهش فشار یا مکش رخ می‌دهد که به آن گام منفی می‌گویند (شکل ۲۱-۳-۱-الف). فشار گام منفی، نسبتاً کوچک و تدریجی بوده و در اکثر مواقع، از اثر آن صرف نظر می‌شود.

۲۱-۳-۱-۲- موج فشار

موج فشار، از انفجار حوزه نزدیک مواد منفجره گازی و مایع و حوزهٔ دور مواد منفجره جامد ایجاد می‌شود. در هر نقطه از مسیر انتشار آن، میزان فشار محیط به صورت تدریجی تا فشار مبنای انفجار افزایش یافته و سپس به فشار محیطی کاهش می‌یابد و معمولاً گام منفی ندارد. (شکل ۲۱-۳-۱-ب)



(الف) موج ضربه



(ب) موج فشار

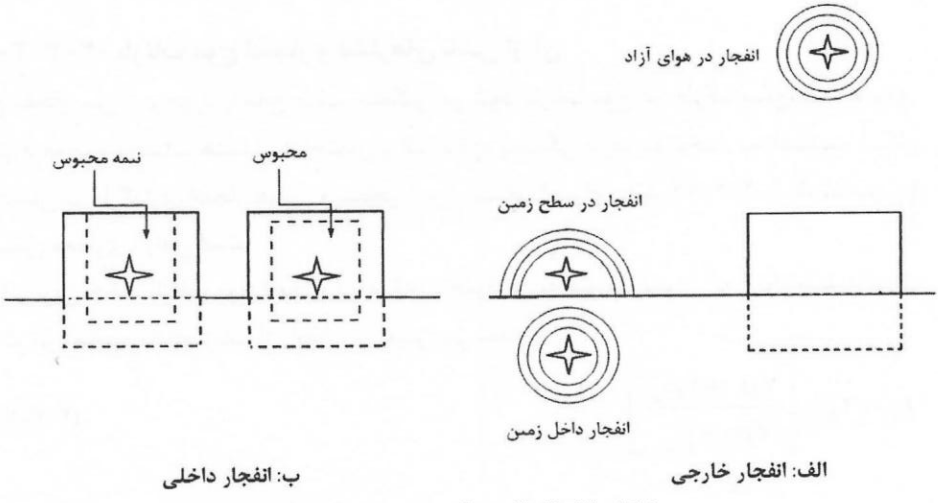
شکل ۲۱-۳-۱- شکل‌های موج ضربه و موج فشار

۲۱-۳-۲- موقعیت چشمه انفجار

انفجارها از نظر موقعیت چشمه انفجار نسبت به سازه به دو دسته اصلی «انفجار خارجی (خارج از سازه)» و «انفجار داخلی (داخل سازه)» تقسیم می‌شوند.

انفجار خارجی خود به سه دسته‌ی «انفجار در هوا (هوایی) »، «انفجار در سطح زمین (سطحی)» و «انفجار در داخل زمین (زیرزمینی)» تقسیم می‌گردد. (شکل ۲۱-۳-۲)

در انفجار هوایی، امواج به صورت کروی منتشر شده و مستقیماً به سازه برخورد می‌کنند.
در انفجار سطحی، انتشار امواج در هوا، بصورت نیم‌کره بوده و مستقیماً به سازه برخورد می‌کنند. علاوه بر آن، انتشار امواج در زمین نیز رخ خواهد داد (مشابه زمین لرزه).
در انفجار زیرزمینی، انرژی حاصل از انفجار به صورت امواج فشاری و برشی در زمین منتقل شده و با انتشار آن‌ها، شوک‌های شدیدی ایجاد می‌گردند که می‌توانند اثرات تخریبی شدیدی بر سازه‌های زیر زمینی داشته باشند.
علاوه بر بارهای ناشی از موج انفجار، اثر ترکش‌های انفجاری نیز باید در نظر گرفته شود.
انفجارداخلی، بسته به شرایط ساختمان و نحوه تهویه آن به دو دسته محبوس و نیمه محبوس تقسیم می‌گردد. در انفجار محبوس گاز ناشی از انفجار امکان تخلیه ندارد و فشار ناشی از آن مجموع فشار انعکاسی و فشار گاز است. در انفجار نیمه‌محبوس با تعبیه‌ی دریچه‌های پران و یا دریچه‌های باز، امکان تخلیه گاز انفجار مهیا شده و فشار ناشی از انفجار داخلی نسبت به حالت محبوس کاهش می‌یابد.



الف: انفجار خارجی

ب: انفجار داخلی

شکل ۲۱-۳-۲- موقعیت چشمه انفجار

۲۱-۳-۳- انفجار در هوای آزاد

انفجار در هوای آزاد، باعث فشردگی شدید هوا و ایجاد جبهه موج می‌شود. در پشت این جبهه، هوا با سرعت کمتری حرکت می‌نماید. برخی اثرات انفجار در هوا و مشخصات آن‌ها، در این بخش آمده است.

۲۱-۳-۳-۱- فشار مبنای انفجار p_{so}

مقدار حداکثر اضافه فشار ناشی از انفجار هوایی در هر نقطه را «فشار مبنای انفجار» گویند. در این مبحث مقادیر فشار مبنای انفجار از جدول ۲۱-۱-۳ برای سطوح بار مختلف، به دست می‌آید.

۲۱-۳-۳-۲- حداکثر فشار دینامیکی(q_s)

در هنگام انتشار موج انفجار در هوا، هوای پشت جبهه‌ی موج با سرعت کمتری، به طرف خارج منتشر می‌شود، که اثر آن همانند جریان هوا یا باد می‌باشد. به این پدیده، «فشار دینامیکی» یا «فشار هوا» گویند و حداکثر آن (q_s)، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_s = \frac{۵p_{so}^{۲}}{۲(p_{so} + ۷p_o)} \qquad (۱-۳-۲۱)$$

که در آن:

p_{so} فشار مبنای انفجار و p_o فشار محیطی (جو) می‌باشد.

۲۱-۳-۳-۳- بازتاب موج انفجار و فشارهای ناشی از آن

موج انفجار پس از برخورد با مانع صلب، منعکس می‌شود. بازتاب موج در اطراف مانع، به زاویه‌ی برخورد موج، مشخصات هندسی ساختمان و اندازه آن، بستگی دارد. با توجه به اهمیت شکل ساختمان در بارگذاری انفجار هوایی و سطحی، در راستای اجرای بند ۲۱-۲-۳-۱-۴، تعامل با مهندس معماری الزامی است.

بحرانی‌ترین حالت بازتاب موج انفجار، در هنگام برخورد آن به صورت عمودی به دیوار صلب است که در این حالت، فشار بازتاب از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$p_r = ۲p_{so}\left[\frac{۷p_o + ۴p_{so}}{۷p_o + p_{so}}\right] \qquad (۲-۳-۲۱)$$

۲۱-۳-۳-۴- مشخصه‌های مهم موج انفجار در هوا

الف: سرعت جبهه‌ی موج انفجار (U_s)

سرعت انتشار جبهه‌ی موج انفجار (موج فشار و موج ضربه) در هر نقطه، از رابطه ۲۱-۳-۳ محاسبه می‌شود:

$$U_s = ۳۴۰\sqrt{۱ + ۰/۸۳p_{so}} \qquad (۳-۳-۲۱)$$

که در این رابطه U_s، سرعت انتشار موج بر حسب متر بر ثانیه و p_{so}، فشار مبنای انفجار برحسب کیلوگرم برسانتیمترمربع است.

ب: مدت زمان گام مثبت (زمان تداوم انفجار- t_d)

مدت زمان گام مثبت (t_d)، زمانی است که فشار، بیش از فشار محیطی است. و مقدار آن برای سطوح بارگذاری مختلف در جدول ۲۱-۱-۳ ارایه شده است.

پ: تکانه ویژه انفجار (i_s)

سطح زیر منحنی فشار- زمان را تکانه ویژه انفجار برای هر نقطه محدوده انفجار گویند که به دو جزء مثبت و منفی تقسیم می‌گردد (شکل ۲۱-۳-۱-الف). تکانه مثبت از رابطه ۲۱-۳-۴ بدست می‌آید.

$i_s = ۰/۵ \times p_{so} \times t_d$ برای موج ضربه (۲۱-۳-۴)

$i_s = ۰/۶۴ \times p_{so} \times t_d$ برای موج فشار

به دلیل کوچک بودن مقدار تکانه منفی، از آن صرف نظر می‌شود. برای موج انعکاسی، در روابط فوق p_r جایگزین p_{so} می‌شود.

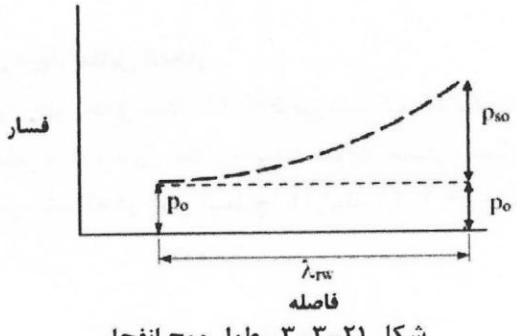
ت: طول موج (λ_{rw})

فاصله هر نقطه تحت فشار مبنا واقع در سطح جبهه انفجار تا اولین نقطه تحت فشار محیطی واقع در پشت جبهه انفجار، «طول موج» نامیده می‌شود. مقدار طول موج برحسب متر، از رابطه ۲۱-۳-۵ محاسبه می‌شود.

$$\lambda_{rw} = U_s \times t_d \qquad (۲۱-۳-۵)$$

U_s = سرعت انتشار موج، برحسب متر بر ثانیه

t_d = مدت زمان (زمان تداوم) گام مثبت بر حسب ثانیه.



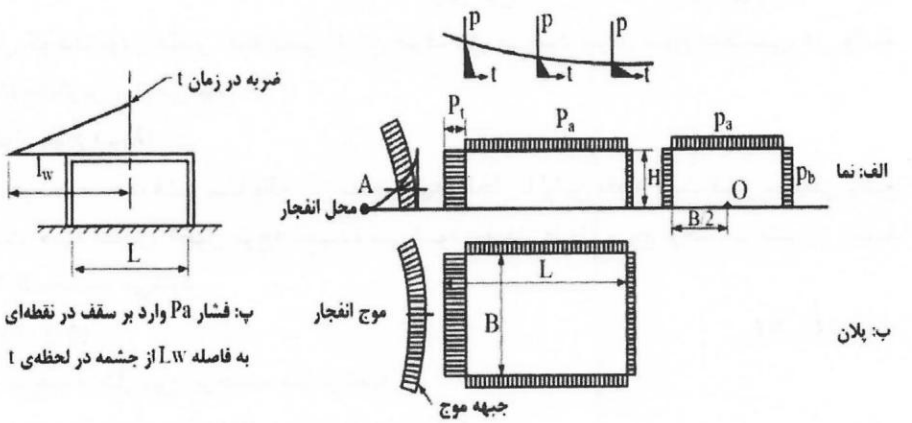
شکل ۲۱-۳-۳- طول موج انفجار

۲۱-۳-۴- انفجار سطحی

انفجار سطحی، انفجاری است که در سطح زمین و یا خیلی نزدیک به آن، رخ می‌دهد. در اثر بازتاب موج انفجار و تقویت آن در همان لحظات اولیه، موج واحدی به وجود می‌آید که فشار مبنای آن ۱/۸ برابر فشار مبنای انفجار هوایی است. در این نوع انفجار، نیروی وارد بر سازه‌های رو زمینی و تکانه زمین وارد بر سازهٔ زیرزمینی اهمیت زیادی دارد.

۲۱-۳-۵- بارگذاری انفجار خارجی بر وجوه مختلف ساختمان

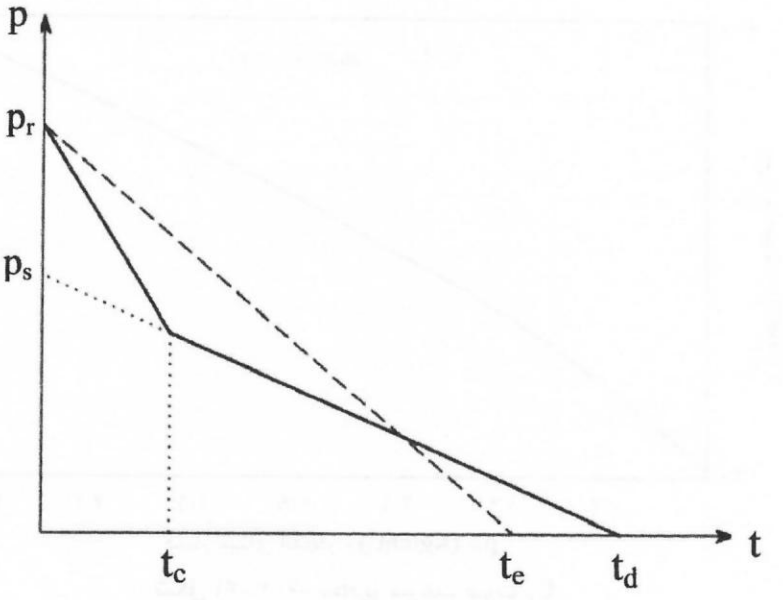
در شکل ۲۱-۳-۴ صورت ساده شده بارهای انفجاری وارد بر ساختمان با فرض انفجار در نقطه A و اعمال فشار از چپ به راست، نشان داده شده است که L طول ساختمان در جهت انتشار موج، B عرض ساختمان و H ارتفاع متوسط آن است.



شکل ۲۱-۳-۴- بارگذاری عمومی انفجار برای ساختمان مستطیلی

۲۱-۳-۵-۱- بارگذاری دیوار مقابل انفجار

فشار دوخطی وارد بر دیوار جلو مطابق شکل ۲۱-۳-۵ می‌باشد که به بار مثلثی معادل تبدیل می‌شود. حداکثر اضافه فشار وارد بر دیوار مقابل (جبهه موج) انفجار ، معادل فشار بازتاب (p_r مطابق رابطه ۲۱-۳-۲) می‌باشد که در زمان تسطیح t_c (رابطه ۲۱-۳-۶) به فشار رکود p_s (رابطه ۲۱-۳-۷) می‌رسد.



شکل ۲۱-۳-۵- بارگذاری دیوار جلو

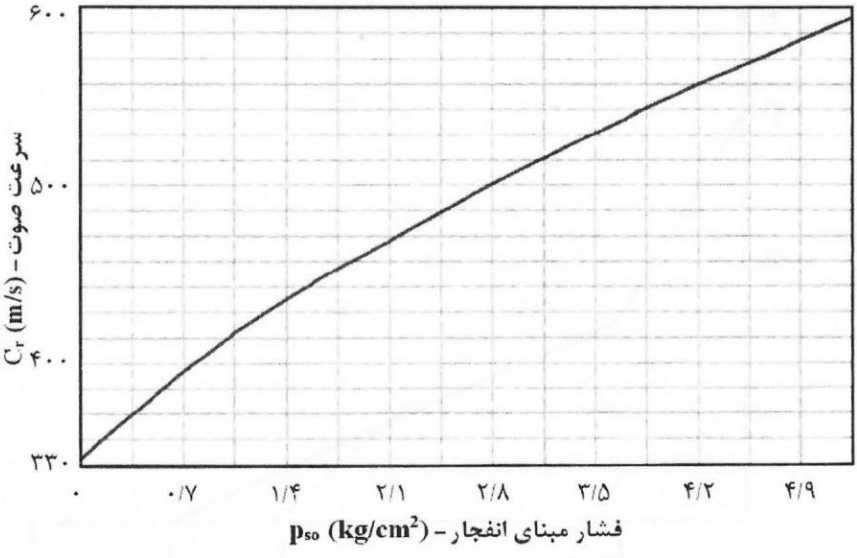
$$t_c = \frac{۴S}{(۱+R)C_r} \qquad (۶-۳-۲۱)$$

در رابطه فوق:

S = فاصله تسطیح که کوچکترین B (عرض ساختمان) و $\frac{H}{۲}$ می‌باشد.

R = نسبت $\frac{S}{G}$ که G ، بزرگترین B (عرض ساختمان) و $\frac{H}{۲}$ می‌باشد.

C_r = سرعت صوت که مقدار آن از نمودار شکل ۲۱-۳-۶ به دست می‌آید.



شکل ۲۱-۳-۶- مقادیر سرعت صوت C_r

$$p_s = p_{so} + C_d q_s \qquad (۷-۳-۲۱)$$

که در رابطه فوق:

p_{so} = فشار مبنای انفجار

q_s =حداکثر فشار دینامیکی (رابطه ۲۱-۳-۱)

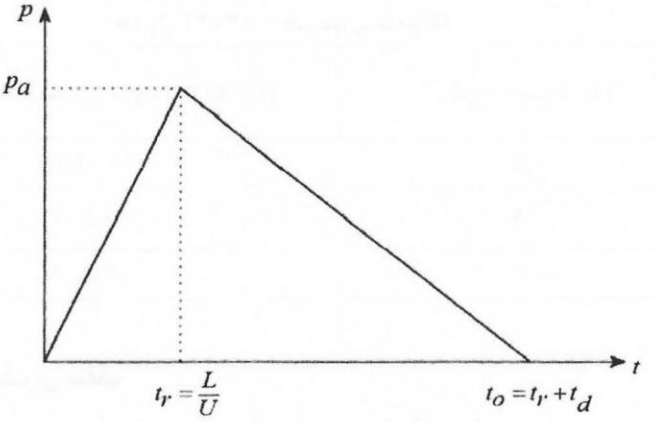
C_d = ضریب پسا (کشانی) که برای دیوار جلو در محدوده‌ی فشارهای حاضر برابر یک درنظر گرفته می‌شود.

با توجه به فشار رکود(p_s)، زمان تسطیح (t_c) و زمان تداوم انفجار(t_d) ، زمان تداوم موثر بـار مثلثـی معادل از رابطه ۲۱-۳-۸ به دست می‌آید.

$$t_e = (t_d - t_c)\frac{p_s}{p_r} + t_c \qquad (۸-۳-۲۱)$$

۲۱-۳-۵-۲- بارگذاری دیوارهای جانبی

بار وارد بر دیوارهای جانبی، به علت عدم وجود بازتاب موج، کمتر از بار دیوار مقابل انفجـار اسـت و مطابق شکل ۲۱-۳-۷ به صورت مثلثی می‌باشد.



شکل ۲۱-۳-۷- بارگذاری دیوارهای جانبی و سقف

مقدار اضافه فشار حداکثر (p_a) برابر است با:

$$p_a = C_e p_{so} + C_d q_s \qquad (۹-۳-۲۱)$$

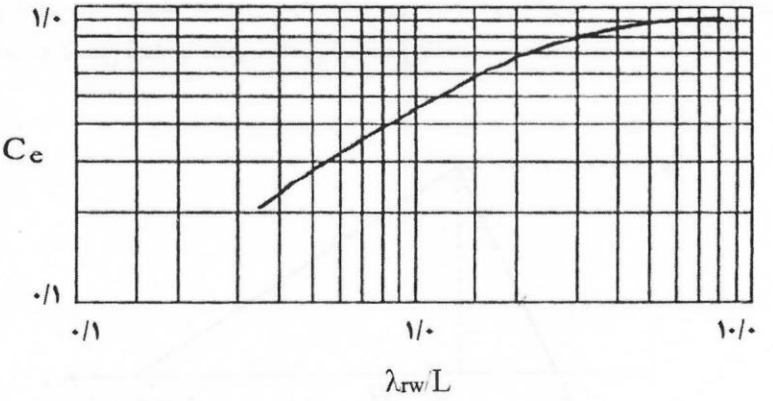
در رابطه فوق:

C_e = ضریب کاهش انفجار که به طول سازه (L) در امتداد حرکت موج و طول موج انفجار (λ_{rw}) بستگی دارد و مقدار آن از نمودار شکل ۲۱-۳-۸ محاسبه می‌گردد.

q_s = حداکثر فشار دینامیکی (رابطه‌ی ۲۱-۳-۱)

C_d = ضریب پسا (کشانی) که از جدول ۲۱-۳-۱ محاسبه می‌گردد.

λ_{rw} = طول موج انفجار (رابطه‌ی ۲۱-۳-۵)



شکل ۲۱-۳-۸- مقادیر ضریب کاهشی C_e

جدول ۲۱-۳-۱- ضریب پسا (C_d)

حداکثر فشار دینامیکی (q_s) (kg/cm^2)	ضریب پسا (C_d)
۰ -۱/۷۵	-۰/۴
۱/۷۵ -۳/۵	-۰/۳
۳/۵ -۹	-۰/۲

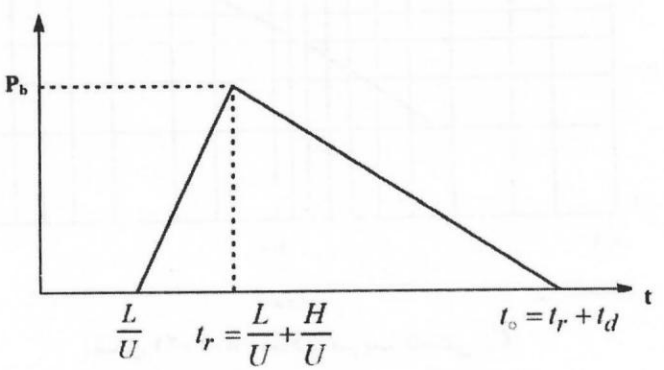
۲۱-۳-۵-۳- بارگذاری سقف

در ساختمان‌های با سقف مسطح (شیب کمتر از ۱۰ درجه) هنگامی که موج انفجار به صورت افقی حرکت می‌نماید، بازتاب رخ نخواهد داد، در نتیجه اضافه فشار وارد بر سقف، همانند دیوارهای جانبی مساوی p_a در نظر گرفته می‌شود.

۲۱-۳-۵-۴- بارگذاری دیوار پشت

فشار وارد بر دیوار پشت، مشابه دیوارهای جانبی از رابطه ۲۱-۳-۹ به دست می‌آید. در دیوار پشت، برای محاسبه ضریب کاهش C_e، ارتفاع سازه(H) نیز به طول سازه (L) اضافه می‌شود و فشار وارده، معادل p_b در نظر گرفته می‌شود.

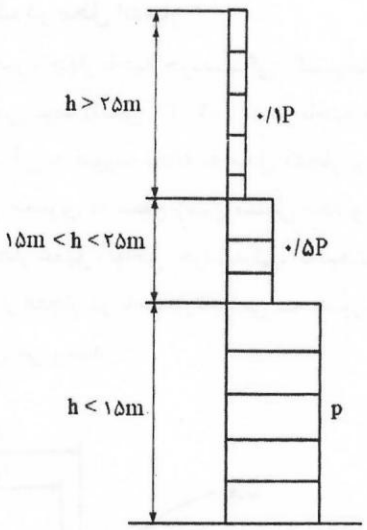
بار دیوار پشتی جهتی مخالف با بار دیوار جلویی داشته و در نتیجه، نقش کاهنده‌ای در کل بار جانبی انفجار خواهد داشت. در این راستا از اثرات دیوار پشتی بر روی رفتار کل قاب یا ساختمان در بسیاری از اوقات و در جهت اطمینان صرف نظر می‌شود، لیکن، اجزای نما و عناصر الحاقی دیوار پشت، باید قادر به تحمل فشار یا مکش حاصل از انفجار باشند.



شکل ۲۱-۳-۹- بارگذاری دیوار پشت

۲۱-۳-۵-۵- توزیع فشار انفجار در ارتفاع

برای بارگذاری ساختمان‌ها تحت انفجار تا ارتفاع ۱۵ متر از سطح زمین، از مقادیر فشار معرفی شده در بندهای ۲۱-۳-۵-۱ تا ۴، استفاده می‌شود. برای ارتفاع ۱۵ تا ۲۵ متر، از ۵۰ درصد این فشار و برای ارتفاع بالاتر، از ۱۰ درصد فشار مذکور استفاده می‌شود (شکل ۲۱-۳-۱۰).



شکل ۲۱-۳-۱۰ – توزیع فشار انفجار در ارتفاع

۲۱-۳-۶- انفجار در داخل زمین

انفجار بمب (یا پرتابه‌های دیگر) در زیرزمین، با فشار گاز حاصل از انفجار و انبساط بدنه، منجر به تشکیل موج فشار تقریباً کروی، در تمام جهات می‌شود که سرعت انتشار کمتری (نسبت به انفجار هوایی و سطحی) دارد.

با توجه به اثرات تخریب این موج بر سازه‌های مدفون، رعایت شرایط بارگذاری انفجار زیرزمین، برای قسمت مدفون سازه الزامی است.

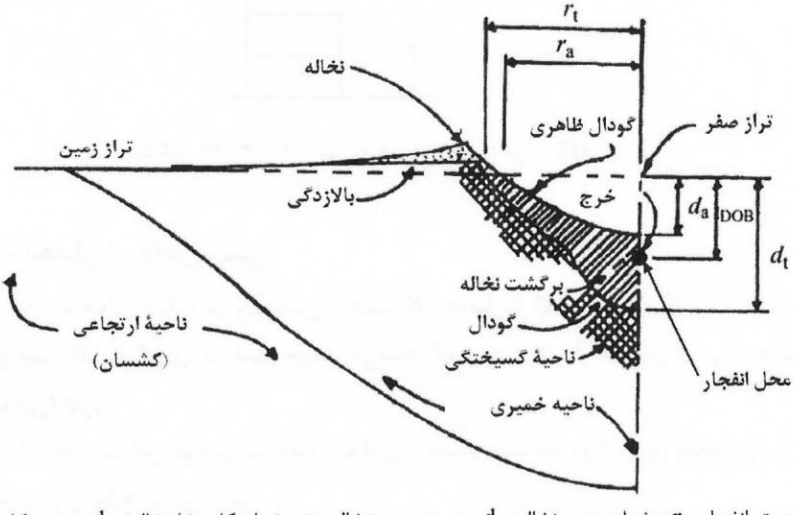
۲۱-۳-۶-۱- میزان نفوذ بمب در داخل زمین

میزان نفوذ بمب‌ها در داخل زمین به سرعت و زاویه برخورد، جرم و سختی سر بمب و جنس زمین بستگی دارد. در نفوذهای کم عمق، آثار انفجار مشابه انفجار سطحی است، اما در نفوذهای عمیق،

تکانه انفجار بزرگی در زیر زمین بوجود می‌آید. بمب‌های مدرن قدرت نفوذی بیش از ۳۰ متر در درون خاک و قدرت عبور از لایه‌های بتن مسلح به ضخامت بیش از ۶ متر را دارا می‌باشند[۲]. در طراحی سازه‌های مدفون باید با شناسایی بمب‌های مورد استفاده دشمن، میزان نفوذ آن‌ها به دست آید.

۲۱-۳-۶-۲- ناحیه‌بندی خاک در محل انفجار

در اثر فشار ناشی از انفجار زیرزمین، چهار ناحیه خردشدگی، گسیختگی، خمیری و ارتجاعی در خاک اطراف محل انفجار ایجاد می‌شوند (شکل ۲۱-۳-۱۱). در ناحیه خرد شدگی پس از پرتاب ذرات خاک به اطراف، مقداری از آن به صورت نخاله به محل انفجار بر می‌گردد. در انفجار کم عمق نواحی خردشدگی، گسیختگی و خمیری به سطح زمین منتقل شده و باعث بروز تغییر شکل هایی در سطح زمین می شوند. در انفجار عمیق، نواحی خردشدگی، گسیختگی، و خمیری از سطح زمین دور بوده و با انتشار امواج ناشی از انفجار در ناحیه ارتجاعی به صورت امواج حجمی و سطحی (مشابه زمین‌لرزه) به سطح زمین می رسند.



DOB = عمق انفجار، r_a = شعاع بدون نخاله، d_a = عمق بدون نخاله، r_t = شعاع کلی (با نخاله)، d_t = عمق کلی

شکل ۲۱-۳-۱۱- ناحیه‌بندی خاک در محل انفجار

۲- برای اطلاعات دقیق‌تر، رجوع به منابع تخصصی ضروری است.

۲۱-۳-۶-۳- تکانه زمین

به آثار انتشار امواج (ناشی از انفجار عمیق یا سطحی) در سطح و یا زیر زمین، تکانه زمین می‌گویند. قویترین تکانه زمین ناشی از انفجار درون زمین است که هیچگونه فاصله‌ای بین ماده منفجره (بمب) و زمین موجود نباشد.

امواج ناشی از انفجار (سطحی یا مدفون) شامل امواج حجمی و امواج سطحی (مشابه زمین لرزه) می‌باشند. امواج حجمی، خود شامل موج طولی یا فشاری (P) و موج عرضی یا برشی (S) می‌باشند.

در انفجارات زیرزمینی، در فاصله نزدیک به انفجار، امواج طولی و عرضی موثر بوده و امواج رایلی (R) علاوه بر حوزه نزدیک، در فواصل دور نیز حاکم هستند. ذرات نزدیک به سطح زمین تحت تأثیر حرکات چرخشی ناشی از امواج رایلی (R) قرار می‌گیرند.

۲۱-۳-۶-۴- مشخصه‌های اصلی تکانه زمین

مشخصه‌های اصلی تکانه زمین شامل حداکثر فشار، حداکثر سرعت ذرات، حداکثر جابجایی ذرات، سرعت موج در زمین و تکانه ویژه انفجار می‌باشد. مقدار این مشخصه‌ها، با افزایش فاصله از مرکز انفجار کاهش می‌یابند و نرخ میرایی آن‌ها تابع نوع خاک است.

۲۱-۳-۶-۴-۱- حداکثر جابجایی ذرات خاک (x)

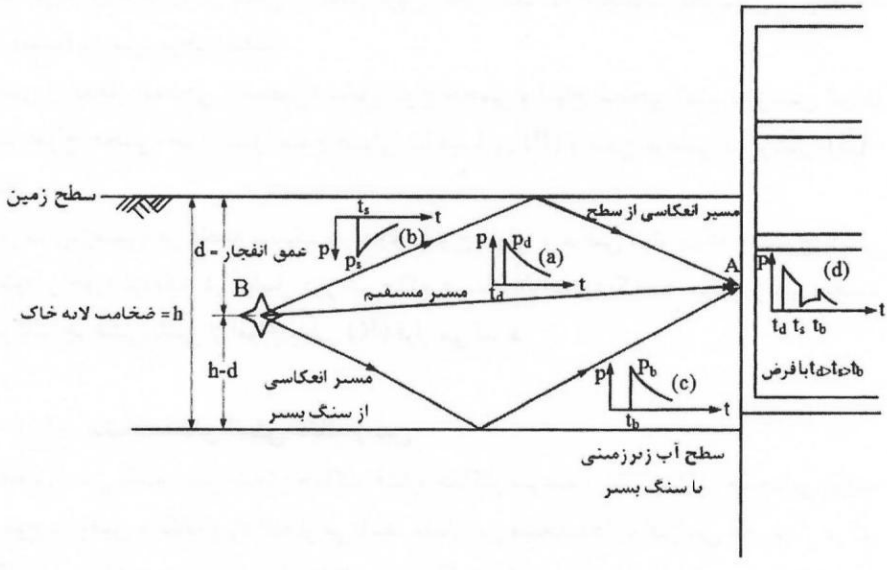
حداکثر جابجایی ذرات (در اثر انفجار زیرزمین)، منجر به حرکت سازه‌های مدفون و تجهیزات متصل به آنها، می‌شود. مقادیر جابه‌جایی بر اساس سطح خطر انفجار و نوع خاک از جدول ۲۱-۱-۳ به دست می‌آید.

۲۱-۳-۶-۴-۲- فشار انفجار بر سازه مدفون (p_{go})

مقدار فشار ناشی از انفجار زیرزمینی بر سازه مدفون، بر اساس سطح خطر انفجار و نوع خاک، از جدول ۲۱-۱-۳ به دست می‌آید. این فشار ممکن است در اثر بازتاب امواج انفجار از سنگ بستر و همچنین از سطح زمین تغییر یابد. با توجه به موقعیت انفجار بمب و بازتاب موج از سطوح مختلف، فشار ناشی از انفجار زیر زمینی بر وجه های مختلف سازه، تغییر می‌کند.

برای تشریح موضوع بالا، با فرض انفجار در نقطه B، در شکل ۲۱-۳-۱۲ دیده می‌شود که فشار مستقیم انفجار (نمودار a)، زودتر از امواج بازتاب به سازه (نقطه A) می‌رسد. موج بازتاب از سطح زمین، که موج کششی است (نمودار b) و موج بازتاب از سنگ بستر که موج فشاری است (نمودار

c)، باعث کاهش و افزایش فشار در نقطه A می‌شوند و مجموع آن‌ها فشار نهایی را به وجود می‌آورند (نمودار d).



شکل ۲۱-۳-۱۲- موقعیت انفجار و نیروهای وارده بر سازه زیرزمینی

۲۱-۳-۶-۵- اثرات تکانه بر سازهٔ مدفون و اجزای غیرسازه‌ای

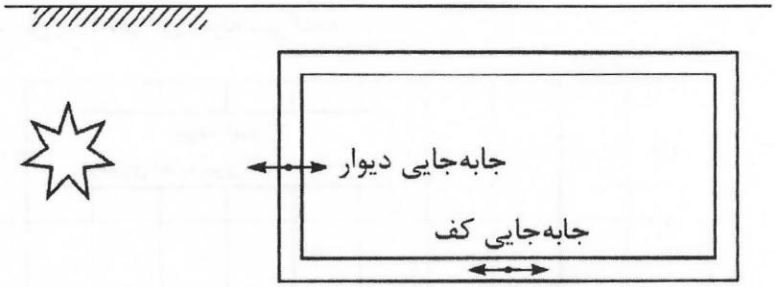
بر اثر تکانه زمین، به پی سازه مدفون ضربه وارد شده و تکان‌هایی را ایجاد نموده و اجزای غیرسازه‌ای نصب شده بر روی دیوار یا کف سازه حرکت خواهند نمود. در ادامه روش ساده‌ای برای محاسبه این حرکات، ارائه شده است.

۲۱-۳-۶-۵-۱- حرکات دیوار و کف

حرکت افقی دیوار قائم، که در طراحی اجزای سازه مدفون، مبنای بارگذاری است، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$x_W \leq 2x \qquad (۱۰-۳-۲۱)$$

که در آن x_W مقدار جابجایی دیوار و x مقدار جابجایی ذرات خاک در میدان آزاد در اثر تکانه زمین مطابق جدول ۲۱-۱-۳ می‌باشد.



شکل ۲۱-۳-۱۳- حرکات افقی دیوار و کف

حرکت افقی کف، به علت هم‌سو بودن با جهت موج انفجار، برابر جابجایی ذرات خاک در میدان آزاد (جدول ۲۱-۱-۳)، می‌باشد.

$$x_f = x \qquad (۲۱-۳-۱۱)$$

که در آن x_f مقدار جابجایی کف می‌باشد.

۲۱-۳-۶-۵-۲- حرکات اجزای غیرسازه‌ای

حداکثر میزان حرکت اجزای غیرسازه‌ای که دارای اتصالاتی با میرایی ۵ تا ۱۵ درصد به دیوار یا کف سازه های مدفون هستند، از رابطه ۲۱-۳-۱۲ به دست می‌آید:

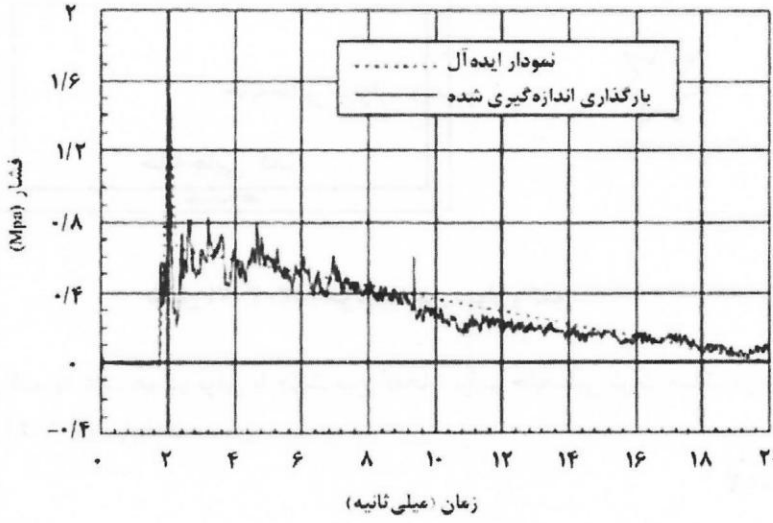
$$x_S = ۱/۲ x_W \qquad (۲۱-۳-۱۲)$$

که در آن x_S حداکثر جابجایی تجهیزات می‌باشد.

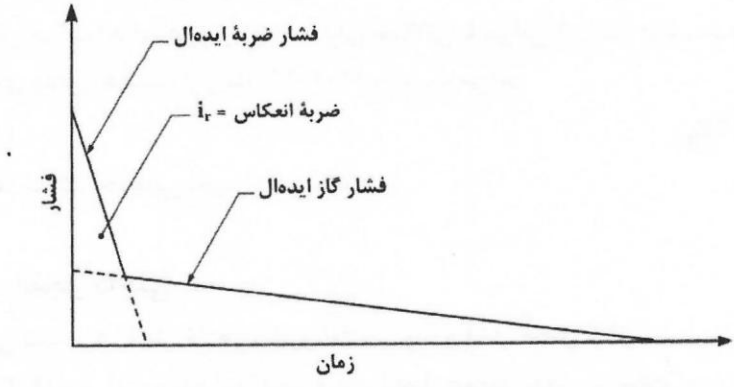
۲۱-۳-۷- انفجار داخلی

انفجار داخلی نسبت به انفجار خارجی، خارق‌العاده‌تر بوده و فشار حاصل از آن نیز بدین روال است (شکل ۲۱-۳-۱۴). در این پدیده ابتدا فشار مبنای انفجار همانند انفجار در سطح زمین رخ می‌دهد و سپس این فشار تحت انعکاس‌های متعدد دیوارهای محدود کننده انفجار قرار می‌گیرد. در ادامه فشار گاز با زمان تداوم بزرگتر تولید می‌شود. نتیجه عمل، فشار دوخطی مطابق شکل (۲۱-۳-۱۵) خواهد شد. قسمت اول این بارگذاری مطابق فشار محاسبه شده برای دیوار جلو (سمت انفجار) بوده

و قسمت دوم آن فشار مثلثی گاز با شدت کمتر و زمان تداوم بزرگتـر خواهـد بـود و از نمودارهـای تخصصی بدست می‌آید که در این مقوله نمی‌گنجد.



شکل ۲۱-۳-۱۴- فشار حاصل از انفجار داخلی



شکل ۲۱-۳-۱۵ – فشار دوخطی ناشی از انفجار داخلی

۲۱-۳-۸- ترکش‌ها

زمانی که فشار به وجود آمده در داخل بمب باعث انفجار بدنه آن مـی‌شـود، پوسـته مـاده منفجـره متلاشی و ترکشهای اولیه ایجاد می‌گردد. ترکشها مثل گلوله‌های انفجاری با شکل‌های نامنظم عمل

می‌کنند. اثر این ترکش‌های پرتاب شده بر روی هدف به شکل، وزن، سرعت اولیه و هم چنین فاصله بین هدف و نقطه انفجار، موقعیت ساختمان، جهت محور ماده منفجره و نیز محور هدف بستگی دارد.

خصوصیات اصلی ترکش‌های اولیه سرعت اولیه بسیار زیاد، تعداد زیاد و اندازه نسبتاً کوچک آنها می‌باشد.

ترکش‌های اولیه ترکش‌هایی هستند که بطور مستقیم از بدنه سلاح انفجاری و ملحقات آن ایجاد می‌شوند.

ترکش‌های ثانویه ترکش‌هایی هستند که در اثر انفجار بر روی سازه‌ها و یا تجهیزات مجاور محل انفجار تولید می‌گردند.

اثر ترکش‌ها بیشتر باعث صدمات انسانی و بر عناصر غیرسازه‌ای است و تاثیر عمده‌ای بر سازه باربر اصلی ندارد.

۲۱-۴- مشخصه‌های مکانیکی مصالح و سامانه‌های سازه‌ای

۲۱-۴-۱- کلیات

طراحی سازه‌ها در برابر انفجار، مستلزم آگاهی از ویژگی‌های دینامیکی مصالح است. مصالح تحت بارگذاری دینامیکی، افزایش مقاومتی از خود نشان می‌دهند که به طور قابل ملاحظه‌ای مقاومت سازه‌ای را افزایش می‌دهد.

سازه‌ها برای جذب انرژی بارهای انفجاری، وارد محدودهٔ تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی می‌شوند. بدین‌رو مصالح سازه‌ها باید دارای طاقت کافی و سامانه‌های سازه ای باید دارای رفتار فرا ارتجاعی و شکل‌پذیری مناسب باشند که در این فصل به آن پرداخته شده است. حوزه شمول این فصل مطابق جدول ۲۱-۱-۲-الف می‌باشد.

۲۱-۴-۲- پاسخ استاتیکی- پاسخ دینامیکی

بارهای رایج، نظیر بار باد و بارهای قائم، با آهنگ آهسته به سازه وارد می‌شوند که زمان تداوم بسیار بزرگتر از زمان تناوب سازه را دارا هستند.

در بارهای انفجاری، اعمال بار و افزایش تنش در اعضاء، بسیار سریع (درحد چند ده میلی‌ثانیه) اتفاق می‌افتد. این بارها به صورت آنی و گذرا هستند و زمان تداوم آن‌ها در اکثر موارد بسیار کوتاه‌تر از زمان تناوب سازه می‌باشد.

در طراحی انفجاری، پذیرش تسلیم اعضا (از جنبه‌ی اقتصادی) ضروری است. همچنانکه عضو، وارد محدوده فرا ارتجاعی می‌شود، جذب انرژی انفجار با ایجاد تعادل بین انرژی انفجار در مقابل انرژی کرنشی عضو، ادامه می‌یابد.

مقدار انرژی کرنشی قابل جذب توسط سازه، تابعی از ویژگی‌های مکانیکی مصالح، جزییات‌بندی اعضا (شکل‌پذیری) و مقدار تغییرشکل‌های خمیری مجاز می‌باشد. سازه باید بتواند در محدوده ارتجاعی، فرا ارتجاعی و یا سایر مکانیزم‌های میرایی، انرژی حاصل از انفجار را جذب و مستهلک نماید.

پاسخ مصالح تحت بارگذاری دینامیکی، به طور محسوسی متفاوت از بارگذاری استاتیکی است. در بارگذاری سریع، مصالح نمی‌توانند با نرخ مشابه بار وارده، تغییر شکل دهند. این خاصیت، باعث افزایش تنش تسلیم و تنش نهایی قبل از گسیختگی می‌شود. بطور کلی، هر چه نرخ کرنش بزرگتر باشد، مصالح مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند.
افزایش مقاومت مصالح، به علت بارگذاری سریع، به عضو اجازه می‌دهد تا مقاومت بیشتری نسبت به حالت استاتیکی از خود نشان دهد. این تاثیرات در طراحی انفجاری، با استفاده از ضریب افزایش دینامیکی در نظر گرفته می‌شود.

۲۱-۴-۳- ویژگی‌های دینامیکی مصالح

این بخش به تشریح ویژگی‌های دینامیکی مصالح مورد استفاده در سازه‌های مقاوم انفجاری می‌پردازد.

۲۱-۴-۳-۱- ضریب افزایش مقاومت (SIF)

ضریب افزایش مقاومت مطابق جدول ۲۱-۴-۱ برای مصالح فولادی و بتنی منظور شود.

جدول ۲۱-۴-۱ ضریب افزایش مقاومت[۳]

مصالح	ضریب افزایش مقاومت
میلگردهای رده ۵۰۰ S وکمتر	۱/۱۵
فولاد ساختمانی نورد شده ۳۷ St و ۵۲ St	۱/۱۵
تیر ورق‌ها وسایر اعضای ساخته شده از ورق	۱/۱۵
بتن ۲۸ روزه	۱/۱
بتن ۶ ماهه	۱/۲۱
بتن یکساله	۱/۲۶

۳- مقاومت بتن در طول زمان افزایش می‌یابد. مقاومت واقعی مصالح فولادی نیز از مقدار مقرر ارائه شده توسط کارخانه بیشتر است. برای منظور کردن این عوامل، مقاومت مشخصه بتن و مقاومت مقرر فولاد در ضرایب افزایش مقاومت برای طراحی مقاوم در مقابل انفجار، ضرب می‌شوند.

۲۱-۴-۳-۲- ضریب افزایش دینامیکی (DIF)

ضریب افزایش دینامیکی برای بتن مسلح (بتن و میلگرد) و مصالح بنایی مطابق جدول ۲۱-۴-۲ و برای فولاد مطابق جدول ۲۱-۴-۳ اعمال شود.

جدول ۲۱-۴-۲- ضریب افزایش دینامیکی برای بتن مسلح و مصالح بنایی

تنش	ضریب افزایش دینامیکی			
	میلگردها		بتن	مصالح بنایی
	$\frac{f_{dy,y}}{f_y}$	$\frac{f_{dy,u}}{f_u}$	$\frac{f'_{dy,c}}{f'_c}$	$\frac{f'_{dy,m}}{f'_m}$
خمشی	۱/۲	۱/۰۵	۱/۲	۱/۲
فشار محوری	۱/۱۰	۱/۰۰	۱/۱۵	۱/۱۵
کشش قطری	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
برش مستقیم	۱/۱۰	۱/۰۰	۱/۱۰	۱/۰۰
چسبندگی	۱/۲۰	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰

جدول ۲۱-۴-۳- ضرایب افزایش دینامیکی برای سازه‌های فولادی

مصالح	ضریب افزایش دینامیکی		
	تنش تسلیم		تنش نهایی
	خمش - برش	فشار - کشش	
	$\frac{f_{dy,y}}{f_y}$	$\frac{f_{dy,y}}{f_y}$	$\frac{f_{dy,u}}{f_u}$
St ۳۷	۱/۳	۱/۲	۱/۱۰
St ۵۲	۱/۲	۱/۱۵	۱/۰۵

برای در نظر گرفتن تاثیر افزایش مقاومت مصالح به علت نرخ کرنش سریع، ضریب افزایش دینامیکی به مقادیر مقاومت استاتیکی اعمال می‌شود. این ضریب به ماهیت تنش (مثلاً خمشی، برش مستقیم) بستگی دارد. تنش‌های خمشی خیلی سریع شکل می‌گیرند، در حالیکه برش‌های

حداکثر به طور نسبی با تاخیر بیشتری به خاطر نرخ کرنش پایین در برش رخ می‌دهند. مقدار نرخ کرنش برای کشش و فشار محوری در اعضا فولادی و بتنی نیز، کمتر از حالت خمشی است.
آزمایشات نشان می‌دهد که مدول الاستیسیته دینامیکی نسبت به مدول الاستیسیته استاتیکی در مصالح فولادی تغییر نمی‌کند و در بتن اندکی افزایش می‌یابد که در محاسبات تاثیرگذار نیست.

۲۱-۴-۳-۳- تنش تسلیم طراحی در سازه‌های مقاوم در برابر انفجار

تنش تسلیم دینامیکی طرح (f_{dy}) و تنش نهایی دینامیکی طرح (f_{du}) که در طراحی‌های انفجاری به کار می‌روند، با اعمال ضریب افزایش مقاومت و ضریب افزایش دینامیکی به تنش تسلیم و تنش نهایی بدست می‌آیند.

الف: فولاد

$$f_{dy}=(SIF)\times(DIF)\times f_y \qquad (۲۱-۴-۱)$$

$$f_{du}=(SIF)\times(DIF)\times f_u \qquad (۲۱-۴-۲)$$

ب: بتن

$$f'_{dc}=(SIF)\times(DIF)\times f'_c \qquad (۲۱-۴-۳)$$

۲۱-۴-۴- مصالح

۲۱-۴-۴-۱- بتن غیرمسلح

بتن غیرمسلح، به علت رفتار ترد، به‌تنهایی مصالح مناسبی برای سازه انفجاری نمی‌باشد، اما در ضخامت و حجم زیاد، برای عملیات پدافندی کاربرد دارد.

۲۱-۴-۴-۲- بتن مسلح

بتن مسلح به طور ویژه‌ای در برابر بارهای انفجاری، آتش و نفوذ ترکش مقاومت مناسبی دارد و از مصالح ممتاز برای سازه‌های مقاوم در برابر انفجار به شمار می‌آید.
بتن مسلح در سازه‌های مقاوم در برابر انفجار باید بر حسب اهمیت ساختمان، علاوه بر رعایت ضوابط فصل ۵ این مبحث، ضوابط شکل‌پذیری ویژه سازه‌های انفجاری را نیز برآورده نماید که تا تدوین چنین ضوابطی، می‌توان از ضوابط شکل‌پذیری ویژه مبحث نهم مقررات ملی ساختمان استفاده کرد.

۲۱-۴-۴-۳- بتن الیافی

بهره‌گیری از الیاف در بتن یکی از راه‌های افزایش شکل‌پذیری بتن است. به منظور کاهش تردشکنی بتن و ایجاد محیط همگن و همسان، رشته‌های نازک و نسبتاً بلند الیاف در بتن به طور یکنواخت پخش می‌شوند. استفاده از الیاف در بتن، باعث افزایش مقاومت خمشی، برشی و کششی، مقاومت در برابر بارهای دینامیکی بویژه بارهای ضربه‌ای، مقاومت مقطع در ترک خوردگی و میزان جذب انرژی و هم‌چنین کاهش در میزان انقباض، خزش و سایش سطحی و کاهش نفوذ پرتابه‌ها می‌شود.

قابلیت انعطاف‌پذیری بتن الیافی باعث می‌شود که گسیختگی ناگهانی اتفاق نیفتاده و از گسترش ترک نیز جلوگیری گردد. الیاف بلند و شکل‌پذیر قابلیت شکل‌پذیری مقطع را بیشتر از الیاف ترد و کوتاه افزایش می‌دهند.

۲۱-۴-۴-۴- مصالح بنایی غیر مسلح

مصالح بنایی غیر مسلح به علت تردشکنی و عدم یکپارچگی، مصالح مناسبی برای سازه‌های مقاوم در مقابل انفجار نمی‌باشند.

۲۱-۴-۴-۵- مصالح بنایی مسلح

مصالح بنایی مسلح، به دلیل جرم زیاد می‌توانند برای بارهای انفجاری حوزهٔ دور، در ساختمان مورد استفاده قرار گیرند.

مسلح نمودن دیوارهای بنایی با میلگردگذاری داخلی یا شبکه سطحی و بتن‌پاشی، و یا تسلیح با نوارهای FRP انجام می‌شود. در این خصوص باید به مبحث ۸ مراجعه شود.

۲۱-۴-۴-۶- مصالح سنگدانه‌ای و خاک

مصالح سنگدانه‌ای ریز و خاک، به علت قابلیت استهلاک انرژی بارهای انفجاری، می‌توانند به صورت کیسه‌ای برای ساخت فضاهای امن سطحی و حفاظت جنبی ساختمان‌ها در کارهای پدافندی مورد استفاده قرار گیرند. در صورت اضافه شدن سیمان و آهک به این مصالح، کیسه‌های خاک پس از جذب رطوبت و گیرش، استحکام و یکپارچگی بیشتری کسب می‌نمایند.

با استفاده از مصالحی نظیر ژئوگرید، خاک حالت مسلح پیدا کرده و دارای یکپارچگی و مشخصات مکانیکی برتری خواهد شد.

۲۱-۴-۴-۷- فولاد ساختمانی

فولادهای ساختمانی ردهٔ St ۳۷ و St ۵۲ از شکل‌پذیری کافی برای طراحی انفجاری برخوردار هستند. فولادهای با مقاومت بالاتر می‌توانند در موقعیت‌های مشخص، نظیر درهای انفجاری و پیچ‌ها استفاده شوند. به طور کلی سازه‌های فولادی مقاوم در مقابل انفجار، باید بر حسب اهمیت آنها، علاوه بر رعایت ضوابط فصل ۵ این مبحث، ضوابط شکل‌پذیری ویژه سازه‌های انفجاری را نیز برآورده نمایند که تا تدوین چنین ضوابطی، می‌توان از ضوابط شکل‌پذیری ویژه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان استفاده کرد.

۲۱-۴-۵- سامانه‌های سازه‌ای مناسب برای مقاومت در مقابل انفجار

۲۱-۴-۵-۱- تاثیر جرم

بار ضربه‌ای انفجار به علت تاثیر بسیار کوتاه مدت آن بر سازه، برخلاف نیروهای زلزله، قادر به تحریک تمام جرم سازه نیست. بدین رو، در سازه‌های مقاوم در مقابل انفجار، افزایش جرم، تاثیر مثبت بر مقاومت سازه دارد. به همین علت، سازه‌های بتن مسلح بر سازه‌های سبک (مثل فولاد و چوب) ارجح هستند.

۲۱-۴-۵-۲- سازه‌های بتن مسلح

روش‌های ساده شده طراحی انفجاری سازه‌های بتن مسلح بر اساس پاسخ خمشی بوده و مشروط به حذف مودهای شکست ترد شکن می‌باشند. برای رسیدن به پاسخ شکل‌پذیر، جزئیات‌بندی مناسبی از میلگردها ضروری است. با افزایش تنش و کرنش در مقطعی از عضو، میلگردها به تسلیم می‌رسند و اجازه شکل‌گیری مفصل پلاستیک می‌دهند. بتن در این نواحی در سطح کششی دچار ترک شده و متعاقباً به حد کرنش فشرده شدن در سطح فشاری می‌رسد. اگر دوران مفصل این نقطه افزایش یابد، بتن فشاری خرد و مقاومت خمشی آن از بین می‌رود.

ظرفیت دوران اضافی برای اعضای بتن مسلح را می‌توان با میلگردگذاری دو طرفه و خاموت‌بندی با فاصله کم ایجاد نمود. در این حالت در نواحی مفصل پلاستیک، لنگر مقاوم مقطع توسط زوج‌نیروی ایجادشده در میلگردهای مسلح کننده تامین می‌شود. استفاده از مقاطعی که به صورت یکطرفه، میلگردگذاری می‌شوند در طراحی انفجاری توصیه نمی‌شود.

جلوگیری از ایجاد مودهای شکست ترد با محدود کردن تنش‌های برشی بتن یا افزایش مقاومت بتن و یا افزایش ضخامت مقطع یا تنگ‌های محصور کننده برشی حاصل می‌شود.

مقدار میلگردهای خمشی نیز در یک عضو باید محدود شود تا عضو دچار گسیختگی ترد نشود. استفاده از تنگ با فاصله‌بندی مناسب جهت افزایش مقاومت و محصور کردن میلگرد خمشی و جلوگیری از کمانش میلگردها قابل توصیه است.

میلگردهای S ۵۰۰ و کمتر دارای شکل پذیری کافی برای بارگذاری دینامیکی می‌باشند. میلگردهای خاص با مقاومت تسلیم بالاتر ممکن است شکل‌پذیری مورد نیاز برای خم‌کاری را نداشته باشند.

وصله‌های جوشی و اتصالات بوشنی (مکانیکی) در صورت انطباق با مشخصات فنی می‌توانند به جای وصله‌های پوششی مورد استفاده قرار گیرند.

دیوارهای بتن مسلح، به‌عنوان دیوارهای محیطی و نما از اجزای مقاوم در برابر بارهای انفجاری شناخته می‌شوند.

۲۱-۴-۵-۳- سازه‌های فولادی

مصالح فولادی تحت اثر بارهای استاتیکی و دینامیکی با نرخ کرنش بالا، قادرند پس از عبور از مرحله تسلیم، بدون اعمال تنش اضافی، تا رسیدن به مرحله سخت‌شدگی مجدد، حدود پانزده برابر کرنش حدتسلیم را تحمل کنند. این خاصیت برای مقابله با بارگذاری انفجاری بسیار مفید می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین مسائل در سازه‌های فولادی مقاوم در برابر انفجار، اتصالات آن‌ها می‌باشد که باید تا حدامکان به صورت شکل‌پذیر طراحی شوند. شکل‌پذیری اتصالات در سازه‌های فولادی معمولاً به صورت قابلیت چرخش اتصال تحت بارهای وارده تعریف می‌شود. سازه‌ها یا اتصالات شکل‌پذیر می‌توانند با مقاومت استاتیکی نسبی کمتر، نیروی بیشتری را در هنگام اعمال بارهای دینامیکی و ضربه انفجار جذب نمایند.

هم‌چنین سازه‌های در معرض انفجار، واکنش‌های تکیه‌گاهی قابل توجهی دارند و این واکنش‌ها منجر به لزوم طراحی صفحه ستون به همراه میل‌مهارهای با ظرفیت بالا می‌شود. هنگامی که مهارها به طور کامل و براساس اصول محاسباتی در بتن مهار شوند، سازوکار شکست آن‌ها از نوع شکست شکل‌پذیر و کششی است. ناکافی بودن فاصله از لبه‌های صفحات یا فاصله ناکافی بین پیچ‌ها باعث ایجاد ظرفیت کمتر لنگر خمشی و وقوع شکست ترد خواهد شد.

در روند تحلیل و طراحی انفجاری، اجازه تشکیل مفاصل پلاستیک در سراسر طول عضو داده می‌شود، بنابراین مقاطع باید به گونه‌ای باشند که در حین تشکیل این مفاصل، دچار کمانش موضعی نشوند و شرایط مقاطع فشرده لرزه‌ای را مطابق مبحث ۱۰ برآورده سازند.

موضوع مهمی که در طرح دینامیکی سازه‌های فولادی تحت اثر بارهای انفجاری مطرح می‌شود، احتمال معکوس شدن جهت تنش‌ها است. سازه‌های فولادی تحت اثر انفجار، در معرض تنش‌های

معکوس نسبتاً بزرگی قرار می‌گیرند. تامین مهاربندی جانبی برای بال‌های مقاطع فشاری مهار نشده که قبل از معکوس شدن تنش‌ها در کشش بوده‌اند، از اهم موارد قابل توجه است که این مساله برای اعضایی که بارهای مرده سبکی را تحمل می‌کنند و یا اعضایی که در معرض فشارهای انفجاری کوتاه‌مدت قرار دارند، بحرانی‌تر است.

۲۱-۴-۵-۴- مستهلک‌کننده‌های انرژی

استفاده مناسب از وسایل مکانیکی مانند میراگرها و جداسازها که باعث افزایش استهلاک انرژی و جداسازی سازه از پایه می‌شوند، برای سامانه‌های سازه‌ای مقاوم در مقابل انفجار ، قابل توصیه است. جداسازها و میراگرها باعث بهبود رفتار کلی سامانه‌های سازه‌ای می‌شوند، لیکن تاثیر چندانی در جلوگیری از خرابی‌های موضعی که می‌توانند باعث گسیختگی‌های پیش‌رونده (فصل ۲۱-۶) شوند، ندارند. بنابراین، این وسایل کاربرد مناسبی در بهبود رفتار سامانه‌های سازه‌ای در مقابل انفجارهای حوزه دور دارند زیرا در این انفجارها بخش‌های وسیعی از سازه تحت تاثیر بارهای انفجاری قرار می‌گیرند و بار وارده باعث تحریک کل سازه می‌شود.

چالش اصلی در استفاده از جداسازها، امکان بروز تغییرشکل‌های بزرگ در پایه سازه (در هنگام بروز انفجارهای شدید) می‌باشد. این پدیده می‌تواند باعث خرابی جداسازها و همچنین برخورد ساختمان به دیوار یا سازه‌های هم‌جوار شده و ضربه ایجاد شده، می‌تواند باعث بروز خرابی‌های بیشتر شود. بدین‌رو، باید دقت کافی در تامین ظرفیت تغییرشکل جداسازها صورت گیرد. در صورت فراهم نبودن فاصله لازم برای تامین ظرفیت تغییرشکل، می‌توان از تجهیزات کنترلی فعال و غیرفعال (کنش‌گر و واکنش‌گر) مناسب (علاوه بر جداسازها) استفاده نمود.

جداسازها و میراگرها باعث کاهش تغییرشکل‌های کلی و بین طبقاتی سازه می‌شوند ولی توانایی کاهش سرعت و شتاب حداکثر وارد بر سازه را ندارند.

۲۱-۵- روش‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها

در این مبحث به عنوان روش اصلی برای تحلیل ساختمان در مقابل فشارهای ناشی از انفجار، از روش دینامیکی غیرارتجاعی و برای طراحی از معیارهای تغییرشکل شامل ضریب شکل‌پذیری (μ) و دوران‌های انتهایی اعضا و مفاهیم عملکردی استفاده می‌شود. به عنوان روش جایگزین، روش تجویزی استاتیکی معادل نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. حوزه شمول این فصل مطابق جدول ۲۱-۱-۲-الف می‌باشد.

۲۱-۵-۱- تحلیل دینامیکی غیرارتجاعی سازه یک درجه آزادی (SDOF)

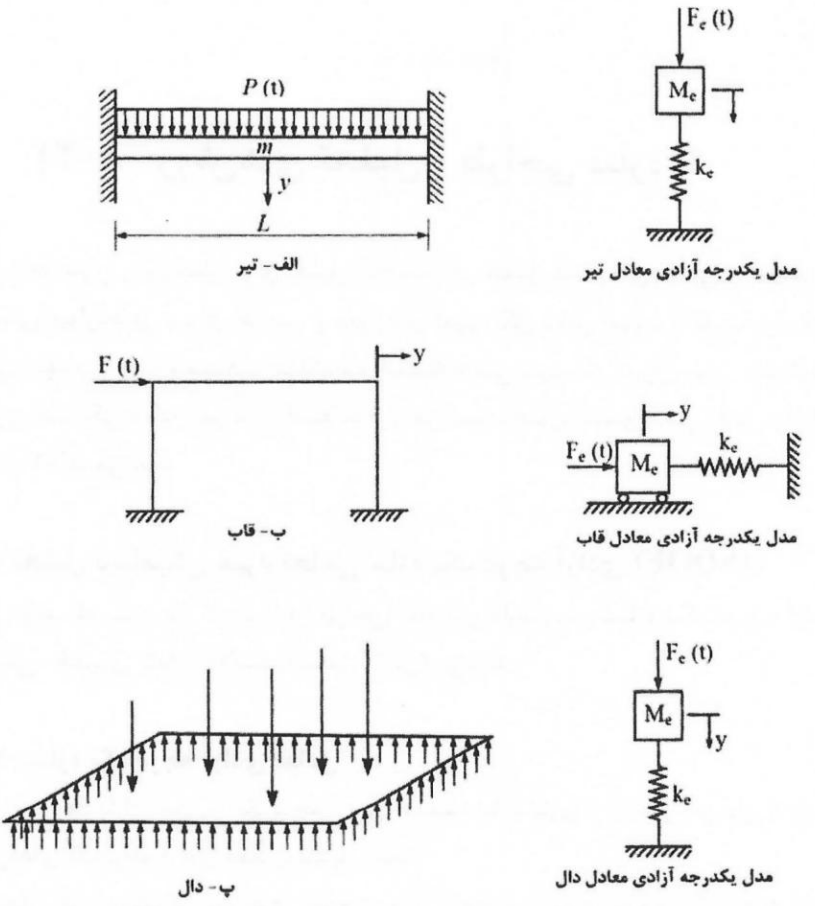
مدل تحلیلی پایه، که بیشترین کاربرد را در طراحی انفجاری دارد، روش سازه یک درجه آزادی معادل ارتجاعی- خمیری کامل[۴] (الاستوپلاستیک کامل) می‌باشد.

۲۱-۵-۱-۱- سازه یک درجه آزادی معادل

اغلب اعضای سازه‌ها، دارای بیش از یک‌درجه آزادی هستند، اما بسیاری از آن‌ها را می‌توان با دقت کافی به سازه‌های یک‌درجه آزادی معادل، تبدیل نمود.

بسیاری از تحلیل‌های دینامیکی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، بر مبنای سازه یک‌درجه آزادی معادل است. عناصر اصلی در معرض فشار مستقیم انفجار نظیر قاب‌های صفحه‌ای یک طبقه، دیوارهای طره‌ای، تیرها و دال‌ها، قابل معادل‌سازی با سازهٔ یک‌درجه آزادی می‌باشند (شکل ۲۱-۵-۱). در مدل یک‌درجه آزادی معادل، مفاهیم نیروی خارجی، جرم و سختی با نیروی معادل (F_e)، جرم معادل (M_e) و سختی معادل (K_e) جایگزین می‌شوند که در بند ۲۱-۵-۱-۴ تعریف می‌شوند.

۴ - از این به بعد این عبارت به صورت ساده ارتجاعی- خمیری بیان می‌شود.



شکل ۲۱-۵-۱- معادل‌سازی سازه‌ها با مدل یک‌درجه آزادی

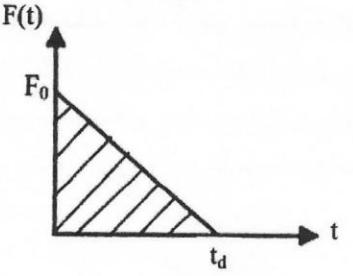
۲۱-۵-۱-۲- بار دینامیکی ضربه‌ای

بار تابع زمان انفجار را می‌توان مطابق شکل ۲۱-۵-۲ بصورت مثلثی مدل کرد که مقدار حداکثر آن F_o و مدت تأثیر آن بر سازه t_d می‌باشد. در نتیجه نیروی تابع زمان برابر خواهد شد با:

$$F(t) = F_\circ \left(۱ - \frac{t}{t_d} \right) \qquad (۱-۵-۲۱)$$

ضربه انفجار (i)، تقریباً مساوی سطح زیر نمودار بارگذاری است و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$i = \frac{۱}{۲} F_\circ t_d \qquad (۲-۵-۲۱)$$



شکل ۲۱-۵-۲- تغییرات بار انفجاری روی سازه یک‌درجه آزادی

۲۱-۵-۱-۳- سازه یک درجه آزادی ارتجاعی- خمیری

در شکل‌های ۲۱-۵-۳-الف و ب سازه‌های یک‌درجه آزادی ارتجاعی- خمیری و در شکل ۲۱-۵-۳-پ نمودار مقاومت سازه در مقابل تغییرشکل آن رسم شده است.

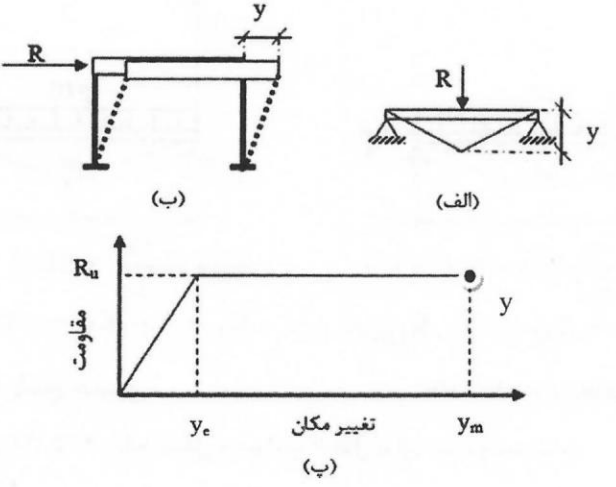
در این شکل R نیروی وارده، R_u مقاومت نهایی سازه یک‌درجه آزادی است.

با توجه به شکل ۲۱-۵-۳-پ، ضریب شکل‌پذیری سازه ارتجاعی- خمیری (μ)، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\mu = \frac{y_m}{y_e} \qquad (۳-۵-۲۱)$$

y_m = تغییرمکان حداکثر نظیر تراز عملکردی

y_e = تغییرمکان حد ارتجاعی



شکل ۲۱-۵-۳- سازه یک‌درجه آزادی ارتجاعی- خمیری

۲۱-۵-۱-۴- ضرائب تبدیل به سازه یک درجه آزادی معادل ارتجاعی- خمیری

برای تبدیل سازه با جرم، سختی و بارگذاری گسترده به سازه یک‌درجه آزادی معادل ارتجاعی- خمیری، از ضرائب تبدیل استفاده می‌شود. مقادیر جرم معادل، سختی معادل، نیروی معادل و مقاومت معادل با استفاده از ضرائب تبدیل، از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$K_e = K_L \times K \qquad \text{سختی معادل}$$

$$M_e = K_M \times M \qquad \text{جرم معادل}$$

$$F_e = K_L \times F \qquad \text{نیروی معادل} \qquad (۴-۵-۲۱)$$

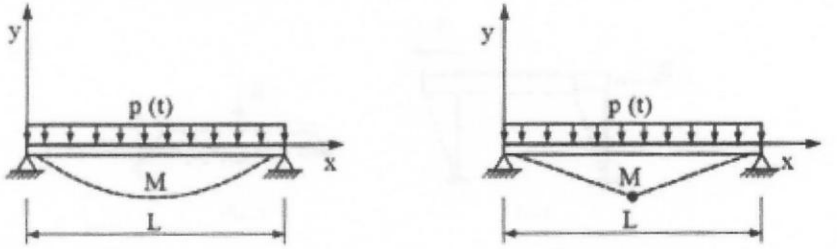
$$R_e = K_L \times R \qquad \text{مقاومت معادل}$$

که در آن‌ها، K_L، ضریب تبدیل بار یا سختی و K_M، ضریب تبدیل جرم می‌باشند.

همچنین داریم:

$$K_{LM} = \frac{K_M}{K_L} \qquad (۵-۵-۲۱)$$

مقادیر ضرایب تبدیل، بستگی به نوع تغییرشکل عضو سازه‌ای دارند. به عنوان مثال، برای تیر ساده شکل ۲۱-۵-۴، بر حسب نوع تغییرشکل در رفتار ارتجاعی و خمیری، مقادیر ضرایب تبدیل متفاوتی بدست می‌آید. در موارد عملی ضرائب تبدیل در طول تحلیل، ثابت فرض می‌شوند. برای انتخاب ضرایب مناسب، از قضاوت مهندسی و متناسب با ماهیت پاسخ حاکم سازه (عضو)، استفاده می‌شود. گاهی از میانگین ضرایب انتقال ارتجاعی و خمیری نیز استفاده می‌شود. درصورت تغییر رفتار اعضای سازه از حالت ارتجاعی به خمیری و بر عکس ضرایب تبدیل نیز تغییر می‌کنند.



$$\phi_e(x) = \frac{۱۶}{۵L^۴}(L^۳x - ۲Lx^۳ + x^۴) \qquad \phi_p(x) = \frac{۲x}{L}, \; x \le L/۲$$

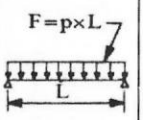
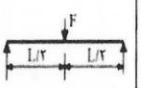
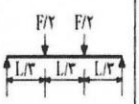
$$K_L = ۰/۶۴, K_M = ۰/۵۰, K_{LM} = ۰/۷۸ \qquad K_L = ۰/۵۰, K_M = ۰/۳۳, K_{LM} = ۰/۶۶$$

(الف) پاسخ ارتجاعی **(ب) پاسخ خمیری**

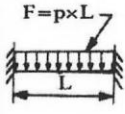
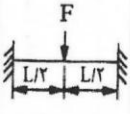
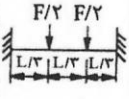
شکل ۲۱-۵-۴- تابع شکل و ضرایب انتقال برای تیر دو سر ساده

ضرایب تبدیل و روابط واکنش‌های تکیه‌گاهی اعضای مختلف برای بارگذاری و شرایط مختلف تکیه‌گاهی، در جداول ۲۱-۵-۱ تا ۳ ارائه شده است. در این جدول‌ها، M_{pc} ظرفیت خمشی نهایی اسمی مقطع در وسط دهانه و M_{ps} ظرفیت خمشی نهایی اسمی مقطع در تکیه‌گاه است که با ضرب مقاومت مصالح در ضرایب افزایش مقاومت و افزایش دینامیکی (DIF و SIF) و با فرض ضرایب‌های تقلیل ظرفیت برابر یک ($\Phi = ۱$) و شکل مقطع، محاسبه می‌شوند.

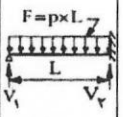
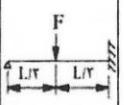
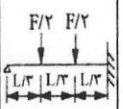
جدول ۲۱-۵-۱- ضرایب تبدیل برای اعضای یک طرفه (تیر یا دال یکطرفه) با تکیه‌گاه‌های ساده

بارگذاری	محدودهٔ کرنش	ضریب سختی و بار (K_L)	ضریب جرم متمرکز (K_M)	ضریب جرم گسترده (K_M)	مقاومت حداکثر (R_u)	سختی (K)	واکنش تکیه‌گاهی دینامیکی (V)	نقاط کنترل
	ارتجاعی	۰/۶۴	—	۰/۵۰	$\frac{۸M_{pc}}{L}$	$\frac{۳۸۴EI}{۵L^{۳}}$	$۰/۳۹R + ۰/۱۱F$	تکیه‌گاه‌ها + وسط دهانه
	خمیری	۰/۵۰	—	۰/۳۳	$\frac{۸M_{pc}}{L}$	۰	$۰/۳۸R_u + ۰/۱۲F$	
	ارتجاعی	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۴۹	$\frac{۴M_{pc}}{L}$	$\frac{۴۸EI}{L^{۳}}$	$۰/۷۸R - ۰/۲۸F$	تکیه‌گاه‌ها + وسط دهانه
	خمیری	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۳۳	$\frac{۴M_{pc}}{L}$	۰	$۰/۷۵R_u - ۰/۲۵F$	
	ارتجاعی	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۵۲	$\frac{۶M_{pc}}{L}$	$\frac{۵۶/۴EI}{L^{۳}}$	$۰/۵۲۵R - ۰/۲۵F$	تکیه‌گاه‌ها + یک سوم دهانه
	خمیری	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۶	$\frac{۶M_{pc}}{L}$	۰	$۰/۵۲۵R_u - ۰/۰۲F$	

جدول ۲۱-۵-۲- ضرایب تبدیل برای اعضای یک طرفه (تیر، ستون یا دال یکطرفه) با تکیه‌گاه‌های گیردار

بارگذاری	محدودهٔ کرنش	ضریب سختی و بار (K_L)	ضریب جرم متمرکز (K_M)	ضریب جرم گسترده (K_M)	مقاومت حداکثر (R_u)	سختی (K)	واکنش تکیه‌گاهی دینامیکی (V)	نقاط کنترل
	ارتجاعی	۰/۵۳	—	۰/۴۱	$\frac{۱۲M_{ps}}{L}$	$\frac{۳۸۴EI}{L^{۳}}$	۰/۳۶R + ۰/۱۴F	تکیه‌گاه‌ها + وسط دهانه
	ارتجاعی خمیری	۰/۶۴	—	۰/۵	$\frac{۸(M_{ps}+M_{pc})}{L}$	$\frac{۳۸۴EI}{۵L^{۳}}$	۰/۳۹R + ۰/۱۱F	
	خمیری	۰/۵۰	—	۰/۳۳	$\frac{۸(M_{ps}+M_{pc})}{L}$	۰	۰/۳۸R_u + ۰/۱۲F	
	ارتجاعی	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۳۷	$\frac{۴(M_{ps}+M_{pc})}{L}$	$\frac{۱۹۲EI}{L^{۳}}$	۰/۷۱R − ۰/۲۱F	تکیه‌گاه‌ها + وسط دهانه
	خمیری	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۳۳	$\frac{۴(M_{ps}+M_{pc})}{L}$	۰	۰/۷۵R_u − ۰/۲۵F	
	ارتجاعی	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۵۲	$\frac{۶(M_{ps}+M_{pc})}{L}$	$\frac{۵۶/۴EI}{L^{۳}}$	۰/۵۳R − ۰/۰۳F	تکیه‌گاه‌ها + یک سوم دهانه
	خمیری	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۶	$\frac{۶(M_{ps}+M_{pc})}{L}$	۰	۰/۵۲R_u − ۰/۰۲F	

جدول ۲۱-۵-۳- ضرایب تبدیل برای اعضای یک طرفه (نظیر دیوار، ستون، سقف، قاب) با تکیه‌گاه های ساده و گیردار

بارگذاری	محدودهٔ کرنش	ضریب سختی و بار (K_L)	ضریب جرم متمرکز (K_M)	ضریب جرم گسترده (K_M)	مقاومت حداکثر (R_u)	سختی (K)	واکنش تکیه‌گاهی‌دینامیکی (V)	نقاط کنترل
	ارتجاعی	۰/۵۸	—	۰/۴۵	$\frac{۸M_{ps}}{L}$	$\frac{۱۸۵EI}{L^{۳}}$	$V_{۱} = ۰/۲۶R + ۰/۱۲F$ $V_{۲} = ۰/۴۳R + ۰/۱۹F$	تکیه‌گاه‌ها + وسط دهانه
	ارتجاعی خمیری	۰/۶۴	—	۰/۵	$\frac{۴(M_{ps} + ۲M_{pc})}{L}$	$\frac{۳۸۴EI}{۵L^{۳}}$	$۰/۳۹R + ۰/۱۱F \pm M_{ps} / L$	
	خمیری	۰/۵۰	—	۰/۳۳	$\frac{۴(M_{ps} + ۲M_{pc})}{L}$	۰	$۰/۳۸R_{u} + ۰/۱۲F \pm M_{ps} / L$	
	ارتجاعی	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۴۳	$\frac{۱۶M_{ps}}{۳L}$	$\frac{۱۰۷EI}{L^{۳}}$	$V_{۱} = ۰/۲۵R + ۰/۰۷F$ $V_{۲} = ۰/۵۴R + ۰/۱۴F$	تکیه‌گاه‌ها + وسط دهانه
	ارتجاعی خمیری	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۴۹	$\frac{۲(M_{ps} + ۲M_{pc})}{L}$	$\frac{۴۸EI}{L^{۳}}$	$۰/۷۸R - ۰/۲۸F \pm M_{ps} / L$	
	خمیری	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۳۳	$\frac{۲(M_{ps} + ۲M_{pc})}{L}$	۰	$۰/۷۵R_{u} - ۰/۲۵F \pm M_{ps} / L$	
	ارتجاعی	۰/۸۱	۰/۶۷	۰/۴۵	$\frac{۶M_{ps}}{L}$	$\frac{۱۳۲EI}{L^{۳}}$	$V_{۱} = ۰/۱۷R + ۰/۱۷F$ $V_{۲} = ۰/۳۳R + ۰/۳۳F$	تکیه‌گاه‌ها + یک سوم دهانه
	ارتجاعی خمیری	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۵۲	$\frac{۲(M_{ps} + ۳M_{pc})}{L}$	$\frac{۵۶EI}{L^{۳}}$	$۰/۵۲۵R - ۰/۰۲۵F \pm M_{ps} / L$	
	خمیری	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۵۶	$\frac{۲(M_{ps} + ۳M_{pc})}{L}$	۰	$۰/۵۲R_{u} - ۰/۰۲F \pm M_{ps} / L$	

۲۱-۵-۱-۵- جرم سازه یک‌درجه آزادی معادل

جرم سازه یک درجه آزادی معادل، شامل جرم اعضای سازه‌ای و جرم تجهیزاتی است که به صورت دائم روی آن قرار دارند و با تقسیم وزن آن‌ها به شتاب جاذبه بدست می‌آید.

۲۱-۵-۱-۶- سختی سازه یک‌درجه آزادی معادل

ضریب تبدیل سختی سازه یک‌درجه آزادی معادل، با توجه به شرایط تکیه‌گاهی و بار وارده، از جدول‌های ۲۱-۵-۱ تا ۳ محاسبه می‌شود.

۲۱-۵-۱-۷- تحلیل سازه یک‌درجه آزادی معادل

پس از تعیین مشخصات سازهٔ یک‌درجه آزادی معادل، آن را تحت بار دینامیکی وارده، به یکی از روش‌های دینامیکی تحلیل نموده و تغییرشکل حداکثر (y_m) محاسبه می‌شود. با انجام تحلیل استاتیکی نیز تغییرمکان (y_e) تعیین شده و از رابطه ۲۱-۵-۳، ضریب شکل‌پذیری (μ) به دست می‌آید. دوران‌های تکیه‌گاهی و وسط دهانه نیز از شکل ۲۱-۵-۵ قابل محاسبه است.

تغییرشکل عضو، صرفاً بر اثر بارهای ناشی از انفجار محاسبه شده و فرض می‌شود بارهای عادی طراحی بر تغییرشکل عضو بی‌تاثیر است. فرض برآن است که انرژی کرنشی معادل، گشتاور خمشی، نیروی برشی، تغییرمکان، سرعت و شتاب سازه یک درجه آزادی، برابر پاسخ نقاط کنترلی سازه اصلی باشد. نقاط کنترل، معمولاً نقاطی از سازه هستند که بیشترین پاسخ سازه‌ای را دارند (مانند محل مفصل خمیری داخل دهانه و یا تکیه‌گاه گیردار عضو).

۲۱-۵-۲- ترکیبات بارگذاری

بارهای انفجار، تنها با بارهایی که به هنگام آن حضور دارند، ترکیب می‌شوند. بنابراین، بار انفجار با بار زلزله و باد ترکیب نمی‌شود. ترکیب بارگذاری عموماً مطابق زیر می‌باشد:

$$۱/۲(DL) + ۰/۵\,(LL) + ۱/۰(BL) \text{ یا } ۰/۹ \qquad (۲۱-۵-۶)$$

که در آن، DL بار مرده، LL بار زنده و BL بار انفجار است.

۲۱-۵-۳- معیارهای پذیرش رفتار عضو سازه‌ای

معیارهای پذیرش طراحی اعضای سازه‌ای در مقابل انفجار، شامل محدودیت‌هایی است که در موارد زیر اعمال می‌شود:

الف- سطوح عملکرد سازه‌ای

ب- محدودیت تغییر شکل اعضاء (شامل ضریب شکل‌پذیری μ و میزان دوران حداکثر θ_m)

پ- محدودیت تغییرشکل جانبی نسبی طبقات

معمولاً ملاحظات بهره برداری مربوط به طراحی متعارف سازه‌ها، در سازه‌های مقاوم در برابر انفجار موردنظر قرار نمی‌گیرند.

الف- سطوح عملکرد

سطوح عملکرد مطابق جدول ۲۱-۱-۴ فصل اول این مبحث تعیین می‌شوند.

ب- محدودیت تغییر شکل اعضاء (ضوابط پذیرش)

محدودیت‌های تغییر شکل، برای کسب اطمینان از پاسخ مناسب در برابر بارهای انفجاری، اعمال می‌گردند و براساس مفاهیم ایمنی و ضوابط حفاظت در برابر اثرات انفجار، براساس سطح عملکرد ساختمان تعیین می‌شوند.

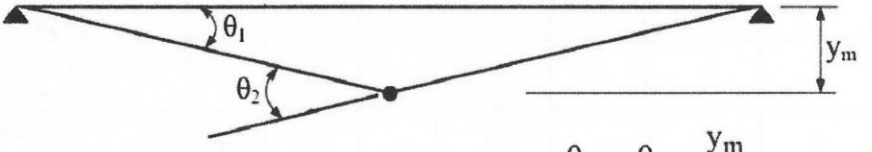
در طراحی انفجاری میزان تغییر شکل‌های فراارتجاعی، مبنایی برای قضاوت پذیرش سازه بر اساس سطح عملکرد آن می‌باشد. این محدودیت‌ها، بر اساس مقادیر آزمایشگاهی یا شواهد تجربی، تعیین می‌شوند. از آنجا که بارهای ناشی از انفجار قابل پیش‌بینی دقیق نیستند، مقدار محافظه‌کارانه‌ای برای اطمینان از عملکرد سازه، در نظر گرفته می‌شود.

روش اولیه برای اندازه‌گیری پاسخ سازه، تعیین ضریب شکل‌پذیری (μ) برای اعضای سازه‌ای می‌باشد (رابطه ۲۱-۵-۳). این مقدار، مشخصه‌ای از درجه پاسخ غیر ارتجاعی عضو می‌باشد.

میزان دوران در محل مفصل (θ)، نیز معیار دیگری است که پاسخ تغییر شکل حداکثر را تابعی از طول دهانه عضو می‌نماید و نشان‌دهنده درصد ناپایداری در نواحی بحرانی عضو می‌باشد. این مقدار، با دو روش تعیین می‌شود(شکل ۲۱-۵-۵). روش اول تعیین دوران مفصل در تکیه‌گاه (θ_1) و روش دوم، دوران مفصل در وسط دهانه (θ_2) است. در این مبحث، از روش اول استفاده شده و مقادیر مجاز آن، بر اساس سطح عملکرد، در جداول ۲۱-۵-۴ تا ۷ ارائه شده است.

اگر عضو سازه‌ای قاب باشد، باید علاوه بر موارد اخیر ضوابط اضافی دیگری را نیز برآورده نماید. محدودیت‌های حرکت جانبی نسبی طبقه (دریفت) به سامانه‌های قابی شکل جهت کاهش خطر انهدام پیشرونده و کاهش اثرات $P-\Delta$ در ستون‌ها، مطابق جدول ۲۱-۵-۸ اعمال می‌گردد.

تیر یا دال



$$\theta_m = \theta_1 = \frac{y_m}{L/n}$$

دوران مفصل در تکیه‌گاه - θ_1

دوران در وسط دهانه - $\theta_2 = 2 \times \theta_1$

n وابسته به محل نقاط کنترلی است.

شکل ۲۱-۵-۵- دوران مفصل خمیری

مقادیر ضریب شکل‌پذیری (μ) و دوران تکیه‌گاهی محاسبه شده، باید با مقادیر جداول ۲۱-۵-۴ تا ۷ مقایسه شوند تا با توجه به سطح عملکرد مورد نظر، در دامنه مجاز قرار گیرند. این مقادیر، با نوع

مصالح و شکل مقطع تغییر می‌کنند. ضریب شکل‌پذیری، به عنوان مقیاس اولیه پاسخ برای اعضا و چرخش مفصل، به عنوان ضابطه کنترل‌کننده در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۲۱-۵-۴- معیارهای پذیرش بتن مسلح

نوع	سطح عملکرد (خسارت مورد انتظار)							
	قابلیت استفادهٔ بی‌وقفه (سطحی)		ایمنی جانی (متوسط)		آستانه فروریزش (زیاد)		بی‌دفاع (خیلی شدید)	
	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}
بتن مسلح- اعضای خمشی								
تیرها و دال‌ها با میلگرد تک سفره	۱	----	----	۲°	----	۵°	----	۱۰°
تیرها و دال‌ها با دو سفره میلگرد فوقانی و تحتانی، بدون میلگرد برشی	۱	----	----	۲°	----	۵°	----	۱۰°
تیرها و دال‌ها با دو سفره میلگرد فوقانی و تحتانی با میلگرد برشی	۱	----	----	۴°	----	۶°	----	۱۰°
بتن مسلح- اعضای فشاری								
تیر-ستون‌ها و دال‌ها با یک یا دو سفره میلگرد، بدون میلگرد برشی	۱	----	----	۲°	----	۲°	----	۲°
تیر-ستون‌ها و دال‌ها با دو سفره میلگرد فوقانی و تحتانی با میلگرد برشی	۱	----	----	۴°	----	۴°	----	۴°
دیوارها و تیر-ستون‌ها با خاموت‌گذاری ویژه	۰/۹	----	۱	----	۲	----	۳	----
تیر-ستون‌ها بدون خاموت‌گذاری ویژه	۰/۷	----	۰/۸	----	۰/۹	----	۱	----

جدول ۲۱-۵-۴- ادامه

نوع	سطح عملکرد (خسارت مورد انتظار)							
	قابلیت استفادهٔ بی‌وقفه (سطحی)		ایمنی جانی (متوسط)		آستانه فروریزش (زیاد)		بی‌دفاع (خیلی شدید)	
	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}
بتن پیش تنیده								
تیرها و دال‌ها با $\omega_p>0.3$	۰/۷	----	۰/۸	----	۰/۹	----	۱	----
تیرها و دال‌ها با $0.15<\omega_p<0.3$	۰/۸	----	$\frac{۰/۲۵}{\omega_p}$	۱^o	$\frac{۰/۲۹}{\omega_p}$	$۱/۵^o$	$\frac{۰/۳۳}{\omega_p}$	۲^o
تیرها و دال‌ها با $\omega_p<0.15$ بدون میلگرد برشی	۰/۸	----	$\frac{۰/۲۵}{\omega_p}$	۱^o	$\frac{۰/۲۹}{\omega_p}$	$۱/۵^o$	$\frac{۰/۳۳}{\omega_p}$	۲^o
تیرها و دال‌ها با $\omega_p<0.15$ با میلگرد برشی	۱	----	----	۱^o	----	۲^o	----	۳^o

مقدار ω_p به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\omega_p = \left(\frac{A_{ps}}{bd}\right)\left(\frac{f_{ps}}{f'_c}\right) \qquad (۷-۵-۲۱)$$

که در آن A_{ps} سطح مقطع میلگرد پیش‌تنیده در ناحیه کششی و f_{ps} تنش موجود در فولاد پیش‌تنیده تحت بارهای طراحی می‌باشد.

جدول ۲۱-۵-۵- معیارهای پذیرش دیوارهای با مصالح بنایی

نوع	سطح عملکرد (خسارت مورد انتظار)							
	قابلیت استفادهٔ بی‌وقفه (سطحی)		ایمنی جانی (متوسط)		آستانه فروریزش (زیاد)		بی‌دفاع (خیلی شدید)	
	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}
دیوار بنایی								
غیرمسلح	۱	----	----	$۱/۵^o$	----	۴^o	----	۸^o
مسلح	۱	----	----	۲^o	----	۸^o	----	۱۵^o

جدول ۲۱-۵-۶- معیارهای پذیرش اعضای سازه‌ای فولادی

نوع	سطح عملکرد (خسارت مورد انتظار)							
	قابلیت استفادهٔ بی‌وقفه (سطحی)		ایمنی جانی (متوسط)		آستانه فروریزش (زیاد)		بی‌دفاع (خیلی شدید)	
	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}
فولاد نورد گرم								
تیرها با مقطع فشرده	۱	----	۳	۳°	۱۲	۱۰°	۲۵	۲۰°
تیرها با مقطع غیرفشرده	۰/۷	----	۰/۸۵	----	۱	----	۱/۲	----
خمش درون صفحه حول محور ضعیف	۴	۱°	۸	۲°	۲۰	۶°	۴۰	۱۲°
تیرچه‌های جان باز								
بارگذاری روبه پایین	۱	----	----	۳°	----	۶°	----	۱۰°
بارگذاری رو به بالا	۱	----	۱/۵	----	۲	----	۳	----
پاسخ برشی	۰/۷	----	۰/۸	----	۰/۹	----	۱	----
فولاد نوردسرد								
لاپه‌ها	۱	----	----	۳°	----	۱۰°	----	۲۰°
ستونک	۰/۵	----	۰/۸	----	۰/۹	----	۱	----
ستونک دیوار که از بالا و پایین متصل‌اند	۰/۵	----	۱	----	۲	----	۳	----
ستونک دیوار به همراه صفحات کششی	۰/۵	----	۱	۰/۵°	۲	۲°	۵	۵°
صفحه‌های کروگیت (یکطرفه) با پوسته کششی کامل	۱	----	۳	۳°	۶	۶°	۱۰	۱۲°
صفحه‌های کروگیت (یکطرفه) با پوسته کششی جزئی	۱	----	----	۱°	----	۴°	----	۸°
صفحه‌های کروگیت (یکطرفه) با پوسته کششی محدود	۱	----	۱/۸	۱/۳°	۳	۲°	۶	۴°

جدول ۲۱-۵-۷- معیار پذیرش اعضاء با سایر مصالح

نوع	سطح عملکرد (خسارت مورد انتظار)							
	قابلیت استفادهٔ بی‌وقفه (سطحی)		ایمنی جانی (متوسط)		آستانه فروریزش (زیاد)		بی‌دفاع (خیلی شدید)	
	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}	μ_{MAX}	Θ_{MAX}
چوب	۱	----	۲	----	۳	----	۴	----
درهای انفجاری								
پیش ساخته (صفحه‌های کامپوزیت و سخت‌کننده‌ها)	۳	۱°	۱۰	۶°	۲۰	۱۲°	----	----
صفحه‌ها (صلب)	۳	۱°	۲۰	۶°	۴۰	۱۲°	----	----

پ- محدودیت تغییر شکل جانبی قاب‌ها

محدودیت تغییر شکل جانبی طبقات مطابق جدول ۲۱-۵-۸ می‌باشد.

جدول ۲۱-۵-۸- محدودیت تغییر مکان جانبی نسبی طبقات (دریفت)

سطح عملکرد	محدودیت تغییر مکان جانبی نسبی طبقات
استفاده بی‌وقفه	$\frac{H}{۵۰}$
ایمنی جانی	$\frac{H}{۳۵}$
آستانه فروریزش	$\frac{H}{۲۵}$

H: ارتفاع طبقه می‌باشد.

۲۱-۵-۴- روش استاتیکی معادل

به عنوان جایگزینی برای روش دینامیکی غیرارتجاعی، می‌توان از روش استاتیکی معادل استفاده نمود. این روش می‌تواند مطابق گام‌های زیر انجام شود.

گام ۱- بارگذاری

برحسب اهمیت سازه، از جدول ۲۱-۱-۳ فصل ۱ فشار طراحی و زمان تداوم آن استخراج می‌شود.

گام ۲- تبدیل فشار دینامیکی ضربه‌ای به استاتیکی معادل

با محاسبه ضریب بار دینامیکی و ضرب آن در فشار دینامیکی، فشار استاتیکی معادل محاسبه می‌گردد.

برای محاسبه ضریب بار دینامیکی ابتدا باید زمان تناوب اصلی عضو سازه‌ای مورد نظر محاسبه شود. برای تیرها، زمان تناوب اصلی برابر است با:

$$T = \frac{\alpha}{\pi}\sqrt{\frac{C \times L^{۴}}{g \times E_d \times I}} \qquad (۸-۵-۲۱)$$

که در آن:

C = وزن واحد طول عضو

L = طول عضو

E_d = مدول الاستسیته دینامیکی

I = ممان اینرسی مقطع

g = شتاب ثقل

α = مساوی ۲ برای تیرهای دو سر ساده، مساوی ۰/۸۹ برای تیرهای دو سر گیردار و ۱/۲۸ برای تیر یکسر ساده و یکسر گیردار است.

زمان تناوب اصلی دال‌ها وابسته به مشخصات هندسی، مصالح و شرایط تکیه‌گاهی آن‌ها است. برای دال‌های مستطیلی زمان تناوب برابر است با:

$$T = \frac{a^{۲}}{\phi}\sqrt{\frac{\overline{m}}{D}} \qquad (۹-۵-۲۱)$$

که در روابط فوق:

a = ضلع بزرگ دال

$\overline{m}$ = جرم واحد سطح دال

D = صلبیت خمشی دال برابر با $\frac{E_d h^{۳}}{۱۲(۱-\upsilon^{۲})}$ ، به منظور تامین اثرات ترک‌خوردگی، مقدار حاصل از رابطه‌ی فوق باید نصف شود.

h = ضخامت دال

υ = ضریب پواسون

E_d = مدول الاستیسیته دینامیکی بتن

ϕ = ضریبی که با توجه به ابعاد و شرایط تکیه گاهی دال از جدول ۲۱-۵-۹ محاسبه می‌شود.

جدول ۲۱-۵-۹- ضریب ϕ برای دال‌ها با شرایط تکیه‌گاهی مختلف

ضریب ϕ	شرایط تکیه‌گاهی
$\phi = ۱/۵۷(۱+\gamma^۲)$	
$\phi = ۱/۵۷\sqrt{۱+۲/۵\gamma^۲+۵/۱۴\gamma^۴}$	
$\phi = ۱/۵۷\sqrt{۵/۱۴+۲/۹۲\gamma^۲+۲/۴۴\gamma^۴}$	
$\phi = ۱/۵۷\sqrt{۱+۲/۳۳\gamma^۲+۲/۴۴\gamma^۴}$	
$\phi = ۱/۵۷\sqrt{۲/۴۴+۲/۷۲\gamma^۲+۲/۴۴\gamma^۴}$	
$\phi = ۱/۵۷\sqrt{۵/۱۴+۳/۱۳\gamma^۲+۵/۱۴\gamma^۴}$	

علامت هاشور نشان‌دهنده تکیه‌گاه گیردار و خط ساده نشان‌دهنده تکیه‌گاه مفصلی می‌باشد.

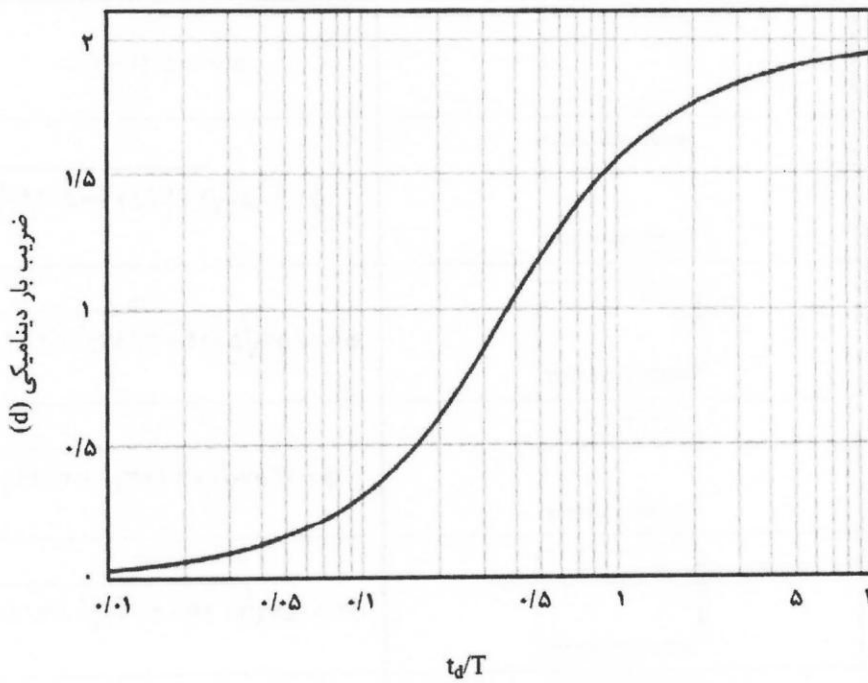
$\gamma = \frac{a}{b}$

a = ضلع بزرگ دال

b = ضلع کوچک دال

برای تمامی اعضا می‌توان با مدل‌سازی عضو به صورت منفرد؛ زمان تناوب را با استفاده از روش‌های اجزای محدود و با فرض رفتار ارتجاعی مصالح محاسبه نمود. باید توجه نمود شرایط مرزی عضو تا حد امکان نمایانگر شرایط مرزی واقعی باشد.

سپس با استفاده از شکل ۲۱-۵-۶ ضریب بار دینامیکی محاسبه می‌شود. در این شکل t_d مدت زمان تأثیر نیروی دینامیکی و T زمان تناوب اصلی عضو می‌باشد.



شکل ۲۱-۵-۶- ضریب بار دینامیکی برای انفجار با فاصله

فشار استاتیکی معادل وارد بر عضو از رابطه‌ی ۲۱-۵-۱۰ محاسبه می‌گردد:

$$W_u = d \times W \qquad (۲۱-۵-۱۰)$$

W_u = فشار استاتیکی معادل وارد بر عضو

d = ضریب بار دینامیکی

W = فشار ناشی از انفجار مطابق گام ۱

گام ۳- طراحی

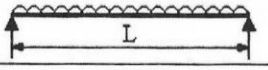
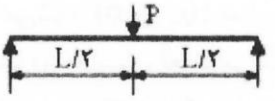
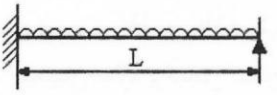
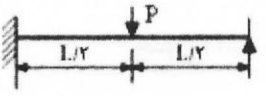
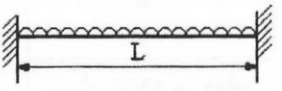
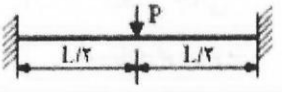
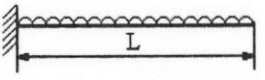
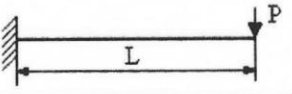
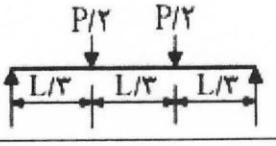
برای هر عضو حداکثر فشار قابل تحمل باید برمبنای مقاومت نهایی آن‌ها محاسبه شود. ظرفیت خمشی نهایی تیرها و دال‌ها براساس تحلیل خمیری و نظریهٔ خطوط گسیختگی از جدول‌های ۲۱-۵-۱۱ تا ۲۱-۵-۱۳ محاسبه می‌گردد. در محاسبه‌ی ظرفیت خمشی اعضا، ضرایب ایمنی ϕ در ضریب ۱/۱ ضرب می‌شوند (ϕ_d=۱/۱ϕ). ضرایب اضافه مقاومت مصالح شامل ضرایب SIF و DIF نیز با مقادیر مناسب در محاسبات لحاظ می‌شود. با استفاده از جداول ۲۱-۵-۱۱ تا ۲۱-۵-۱۳ برمبنای ظرفیت خمشی، حداکثر بار گسترده‌ی (W_r) محاسبه می‌گردد.

ضریب اطمینان عضو (نسبت W_r به W_u) نباید از ضرایب اطمینان مندرج در جدول ۲۱-۵-۱۰ کمتر شود. ضریب اطمینان سازه براساس سطح عملکرد مفروض برای آن تعیین می‌گردد.

جدول ۲۱-۵-۱۰- ضرایب اطمینان

سطح عملکرد	ضریب اطمینان
استفاده بی‌وقفه	۱/۷۵
ایمنی جانی	۱/۰
آستانه فروریزش	۰/۸

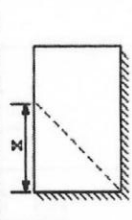
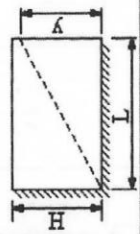
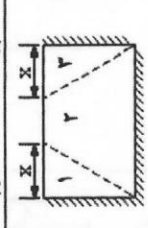
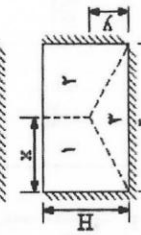
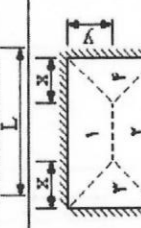
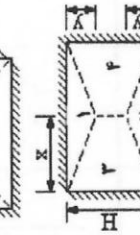
جدول ۲۱-۵-۱۱- ظرفیت نهایی تیرها

شرایط تکیه‌گاهی و بارگذاری	مقاومت نهایی
	$W_r = \frac{۸M_P}{L^۲}$
	$P_r = \frac{۴M_P}{L}$
	$W_r = \frac{۴(M_N + ۲M_P)}{L^۲}$
	$P_r = \frac{۲(M_N + ۲M_P)}{L}$
	$W_r = \frac{۸(M_N + M_P)}{L^۲}$
	$P_r = \frac{۴(M_N + M_P)}{L}$
	$W_r = \frac{۲M_N}{L^۲}$
	$P_r = \frac{M_N}{L}$
	$P_r = \frac{۶M_P}{L}$

M_P = لنگر خمیری مثبت

M_N = لنگر خمیری منفی

جدول ۲۱-۵-۱۲- ظرفیت نهایی دال‌های دوطرفه (خطوط تسلیم متقارن)

شرایط تکیه‌گاهی	خطوط تسلیم	حد	مقاومت نهایی (W_f)
دو لبه متکی دو لبه آزاد		$x \le L$	$\frac{5(M_{HN}+M_{HP})}{x^2}$ یا $\frac{6LM_{VN}+(5M_{VP}-M_{VN})x}{H^2(3L-2x)}$
		$y \le H$	$\frac{5(M_{VN}+M_{VP})}{y^2}$ یا $\frac{6HM_{HN}+(5M_{HP}-M_{HN})y}{L^2(3H-2y)}$
سه لبه متکی یک لبه آزاد		$x \le \frac{L}{2}$	$\frac{5(M_{HN}+M_{HP})}{x^2}$ یا $\frac{2M_{VN}(3L-x)+10xM_{VP}}{H^2(3L-4x)}$
		$y \le H$	$\frac{5(M_{VN}+M_{VP})}{y^2}$ یا $\frac{4(M_{HN}+M_{HP})(6H-y)}{L^2(3H-2y)}$
چهار لبه متکی		$x \le \frac{L}{2}$	$\frac{5(M_{HN}+M_{HP})}{x^2}$ یا $\frac{8(M_{VN}+M_{VP})(3L-x)}{H^2(3L-4x)}$
		$y \le \frac{H}{2}$	$\frac{5(M_{VN}+M_{VP})}{y^2}$ یا $\frac{8(M_{HN}+M_{HP})(3H-y)}{L^2(3H-4y)}$

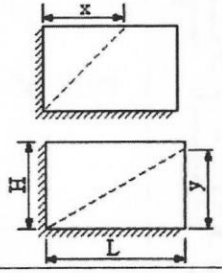
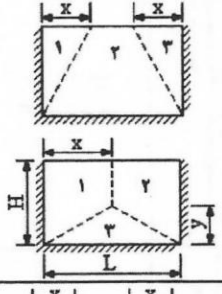
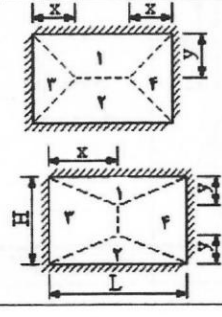
M_{HP} = لنگر خمیری مثبت در راستای ضلع H

M_{HN} = لنگر خمیری منفی در راستای ضلع H

M_{VP} = لنگر خمیری مثبت در راستای ضلع V

M_{VN} = لنگر خمیری منفی در راستای ضلع V

جدول ۲۱-۵-۱۳- ظرفیت نهایی دال‌های دوطرفه (خطوط تسلیم غیرمتقارن)

شرایط تکیه‌گاهی	خطوط تسلیم	حد	مقاومت نهایی (W_r)
دو لبه متکی دو لبه آزاد		$x \le L$ $y \le H$	مطابق جدول ۲۱-۵-۱۲
سه لبه متکی یک لبه آزاد		$x \le \frac{L}{2}$ $y \le H$	$\frac{5(M_{HN1}+M_{HP1})}{x_1^2}$ یا $\frac{5(M_{HN2}+M_{HP})}{x_2^2}$ یا $\frac{(5M_{VP}-M_{VN2})(x_1+x_2)+6M_{VN2}L}{H^2(3L-2x_1-2x_2)}$ $\frac{(M_{HN1}+M_{HP})(6H-y)}{x^2(3H-2y)}$ یا $\frac{(M_{HN2}+M_{HP})(6H-y)}{(L-x)^2(3H-2y)}$ یا $\frac{5(M_{VN2}+M_{VP})}{y^2}$
چهار لبه متکی		$x \le \frac{L}{2}$ $y \le \frac{H}{2}$	$\frac{(M_{VN1}+M_{VP})(6L-x_1-x_2)}{y^2(3L-2x_1-2x_2)}$ یا $\frac{(M_{VN2}+M_{VP})(6L-x_1-x_2)}{(H-y)^2(3L-2x_1-2x_2)}$ $\frac{5(M_{HN1}+M_{HP})}{x_1^2}$ یا $\frac{5(M_{HN2}+M_{HP})}{x_2^2}$ $\frac{5(M_{VN1}+M_{VP})}{y_1^2}$ یا $\frac{5(M_{VN2}+M_{VP})}{y_2^2}$ $\frac{(M_{HN1}+M_{HP})(6H-y_1-y_2)}{x^2(3H-2y_1-2y_2)}$ یا $\frac{(M_{HN2}+M_{HP})(6H-y_1-y_2)}{(L-x)^2(3H-2y_1-2y_2)}$

۲۱-۶- انهدام پیشرونده

انهدام پیشرونده گسترش شکست موضعی از عضوی به عضو دیگر است که منجر به فروریزش کل سازه و یا قسمت اعظمی از آن می‌شود. این فصل به روش‌های طراحی سازه در مقابل انهدام پیشرونده می‌پردازد و حوزه شمول آن مطابق جدول ۲۱-۱-۲-الف می باشد.

۲۱-۶-۱- کلیات

نیروهای ناشی از انفجار به صورت فشارهای شدید به ناحیهٔ محدودی از جبههٔ مقابل انفجار وارد می‌شود و به اعضای دورتر فشار کمتری اعمال می‌گردد. روال جاری برای طراحی سازه در مقابل انفجار، طراحی در مقابل تخریب موضعی عناصر موجود در جبهه مقابل موج طبق روش‌های ارائه شده در بخش‌های ۲۱-۳ تا ۲۱-۵ می‌باشد. در صورت عدم تحقق، روش دیگر، پذیرش تخریب‌های موضعی و اندیشیدن تدبیری برای جلوگیری از گسترش این تخریب‌ها به بخش‌های دیگر سازه است.

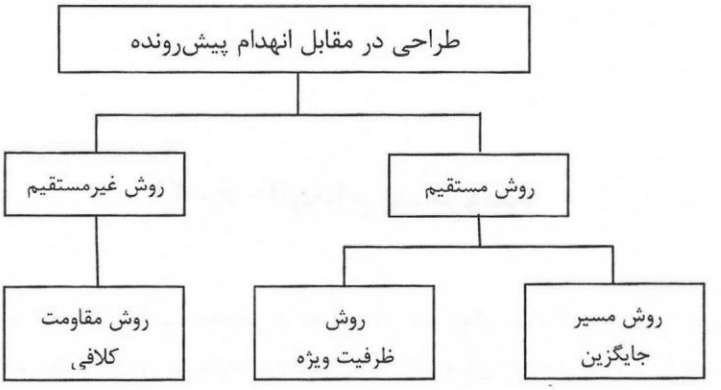
۲۱-۶-۲- ره‌یافت‌های طراحی

در حالت کلی دو ره‌یافت برای طراحی در مقابل انهدام پیش‌رونده وجود دارد؛ روش مستقیم و روش غیرمستقیم.

در روش مستقیم، انهدام موضعی ایجاد شده و مسیر جایگزینی ایجاد می‌شود تا از انهدام پیش‌رونده جلوگیری شود و به آن روش مسیر جایگزین می‌گویند. به عنوان گزینه دوم، در روش مستقیم ظرفیت اعضای مجاور انفجار به قدر کافی در نظر گرفته می‌شود تا در مقابل بارهای انفجار مقاومت نماید.

روش غیرمستقیم، شامل دستورات تجویزی می‌باشد که حداقل مقاومت پایه برای جلوگیری از خرابی پیش‌رونده را بوجود می‌آورند.

در روند نمای شکل ۲۱-۶-۱، روش‌های طراحی در مقابل انهدام پیش‌رونده ارائه شده است.



شکل ۲۱-۶-۱- روند نمای طراحی در مقابل انهدام پیشرونده

۲۱-۶-۳- انتخاب روش طراحی

برای ساختمان‌های گروه ۱، باید علاوه بر مقاومت کلافی افقی و مقاومت کلافی قائم، شرایط مسیر جایگزین نیز تامین گردد. در این ساختمان‌ها، به منظور اطمینان از پاسخ شکل‌پذیر برای ستون‌های خارجی طبقهٔ همکف، مقاومت برشی آنها باید بزرگتر از نیروی برشی نظیر تشکیل مفصل پلاستیک در دو انتهای تحتانی و فوقانی ستون‌ها باشد. علاوه بر مقاومت کلافی و روش مسیر جایگزین، لازم است چشمه‌های کف‌ها و بام، بطور جداگانه برای فشار رو به بالای خالص مساوی وزن دال و نصف بار زنده طراحی شوند (۱/۰ D + ۰/۵ L). استفاده از این روش برای ساختمان‌های گروه ۲ مورد توصیه اکید می‌باشد.

در این حالت نیز به علت تأثیر سریع بارها، برای محاسبه ظرفیت اعضا و کلاف‌ها، از مقاومت افزایش یافتهٔ مصالح استفاده می‌شود.

توصیه می‌شود برای ساختمان‌های گروه ۳، هر دو مقاومت کلافی افقی و قائم تامین شود. در صورت عدم تامین مقاومت کلافی قائم، می‌توان از روش مسیر جایگزین استفاده نمود.

۲۱-۶-۴- ضوابط روش مقاومت کلافی

در هر سازهٔ قابی باید کلاف‌های زیر تعبیه گردد:

۱- کلاف‌های داخلی

۲- کلاف‌های محیطی

۳- کلاف‌های افقی به ستون‌ها یا دیوارهای خارجی

۴- کلاف‌های ستون گوشه

۵- کلاف‌های قائم

شکل ۲۱-۶-۲ کلاف‌بندی لازم در قاب ساختمانی را نشان می‌دهد، کلاف‌ها باید الزامات زیر را برآورده نمایند:

۱- کلاف‌های داخلی در تراز کف‌ها و بام در دو امتداد متعامد بصورت مستقیم و پیوسته از یک لبه تا لبهٔ مقابل امتداد دارند.

۲- آرماتورهای کلاف‌ها می‌تواند دارای وصلهٔ پوششی، جوشی و یا مکانیکی باشند.

۳- کلاف‌های داخلی باید به کلاف‌های محیطی مهار شوند. کلاف‌های داخلی می‌توانند در ضخامت دال و یا تیرها تعبیه شوند.

۴- کلاف‌های محیطی باید در کف‌ها یا بام در محیط ساختمان و در محدودهٔ عرض ۱/۲ متری از لبهٔ محیط به داخل تعبیه گردند.

۵- در تراز کف‌ها و بام، لازم است کلاف‌های افقی، ستون‌های خارجی را به سازهٔ داخلی متصل نمایند. لزومی به پیوستگی این کلاف‌ها نیست و فقط باید در دو انتها مهار شوند.

۶- در تراز کف و بام، لازم است کلاف‌های افقی در دو امتداد متعامد، ستون‌های گوشه را به سازهٔ داخلی متصل نمایند.

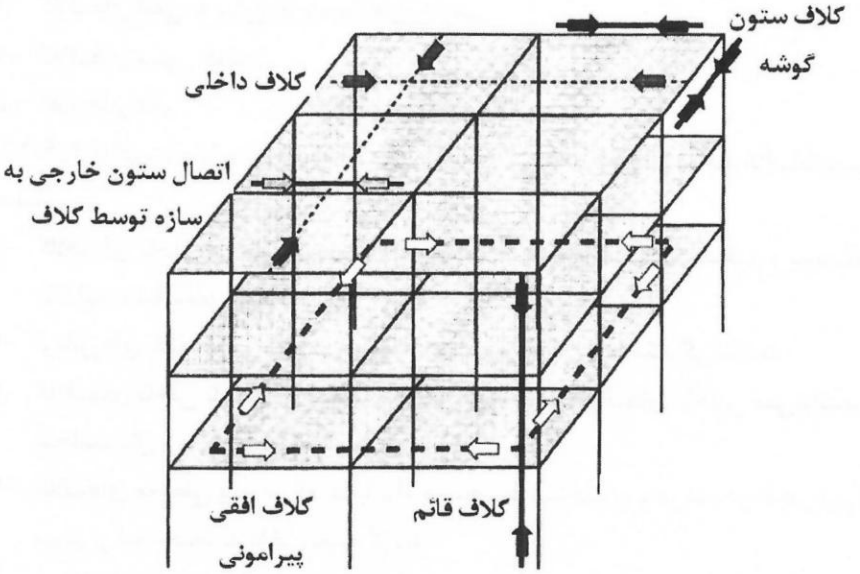
۷- به منظور تامین کلاف‌های قائم، لازم است ستون‌ها از تراز فونداسیون تا بالاترین تراز بصورت ممتد ادامه یابند.

۸- فاصله آزاد بین کلاف‌های قائم نباید از ۵ متر تجاوز کند.

۹- وصلهٔ ستون در ارتفاع طبقه باید در یک‌سوم میانی ارتفاع ستون قرار گیرد.

۱۰- در سازه‌هایی که از چند بخش مجزا تشکیل شده‌اند و یا دارای درز انقطاع هستند، ضوابط مربوط به کلاف‌ها در مورد هر بخش باید به تنهایی صادق باشد.

۱۱- تمام مسیرهای انتقال بار در کلاف‌ها باید به صورت مستقیم باشد و تغییر جهت در مسیر بازشوها مجاز نمی‌باشد.



شکل ۲۱-۶-۲- حداقل ضوابط کلاف‌بندی سازه‌های قابی

۲۱-۶-۴-۱- مقاومت کلاف‌ها

آرماتورهای تعبیه شده برای کلاف‌ها برای سایر مقاصد طراحی، می‌تواند به عنوان بخشی از آرماتور لازم برای کلاف منظور شود. مقاومت لازم برای کلاف‌ها بصورت زیر محاسبه می‌شود:

الف: کلاف‌های داخلی باید مقاومتی بیش از بزرگترین دو مقدار زیر را داشته باشند (تن بر واحد عرض دال):

$$\left(\frac{1/0D+1/0L}{7/5}\right)\left(\frac{\ell_r}{5}\right)F_t \qquad (۱-۶-۲۱)$$

یا

$$F_t \qquad (۲-۶-۲۱)$$

D = بار مرده (تن بر مترمربع)

L= بار زنده (تن بر مترمربع)

ℓ_r = حداکثر فاصله بین مراکز ستون‌ها، قاب‌ها یا دیوارهایی که دو چشمهٔ مجاور را در امتداد کلاف موردنظر تحمل می‌کنند (متر)

F_t = مقاومت پایه که کوچکترین دو مقدار (N ۰/۴ + ۲) یا ۶ تن می‌باشد (تن).

N = تعداد طبقات

ب: کلاف‌های گوشه و پیرامونی باید دارای مقاومت F_t باشند.

پ: کلاف‌های افقی که ستون‌ها یا دیوارهای خارجی را به سازه متصل می‌کنند، باید مقاومتی بیش از بزرگترین مقدارهای زیر را داشته باشند:

۱- کمترین $۲F_t$ یا $\left(\frac{\ell_s}{۲/۵}\right)F_t$

ℓ_s = ارتفاع کف تا کف برحسب متر

۲- سه درصد بزرگترین نیروی محوری ضریبدار ستون یا دیوار در تراز موردنظر تحت اثر بارهای متعارف

ت: کلاف‌های قائم باید دارای مقاومت کششی مساوی بزرگترین نیروی قائم ضریبدار ناشی از بار قائم هر یک از طبقات به علت ترکیب‌های بارگذاری عادی باشند.

برای محاسبه مقاومت طرح کلاف‌ها، ضریب کاهش مقاومت $\phi = ۰/۷۵$ منظور می‌شود. کلاف‌ها باید بطور کامل وصله شده و در دو انتها بطور کامل مهار شوند.

۲۱-۶-۵- روش مستقیم- روش مسیر جایگزین

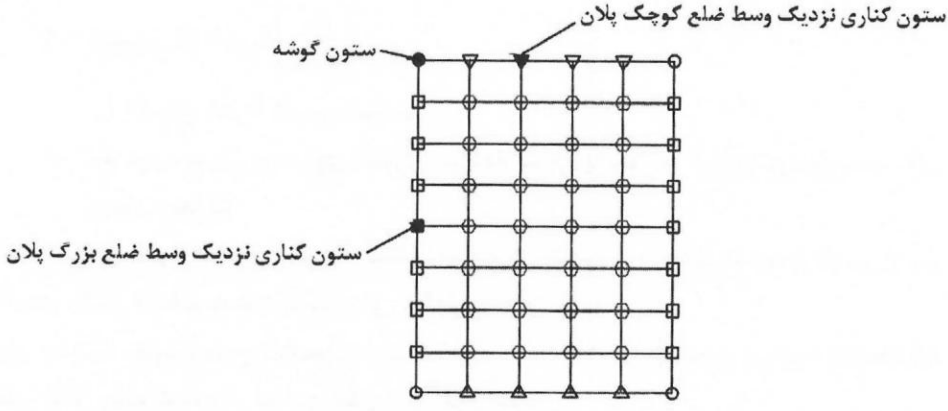
در این روش برای انجام کار باید سناریوهای مختلف مدنظر قرار گیرد. در هر سناریو، دیوار باربر یا ستونی به صورت آنی در نقطه‌ای از سازه حذف شده و سازهٔ باقیمانده برای ترکیب‌های بارگذاری خاص همراه با ضرایب افزایش مقاومت تحلیل می‌شود. برای تحلیل سازهٔ باقیمانده می‌توان از روش‌های ارتجاعی و یا غیرارتجاعی استفاده نمود. در این بخش فقط روش‌های ارتجاعی مدنظر قرار می‌گیرند.

۱- ستون‌های خارجی که باید حذف شوند در نزدیکی وسط ضلع کوچک ساختمان، نزدیک وسط ضلع بزرگ ساختمان، و گوشه‌های ساختمان انتخاب می‌شوند (شکل ۲۱-۶-۳). برای هر یک از ستون هایی که در پلان حذف میشوند، پایداری سازه مورد نظر، باید با حذف ستون در طبقات زیر مورد بررسی قرار گیرد:

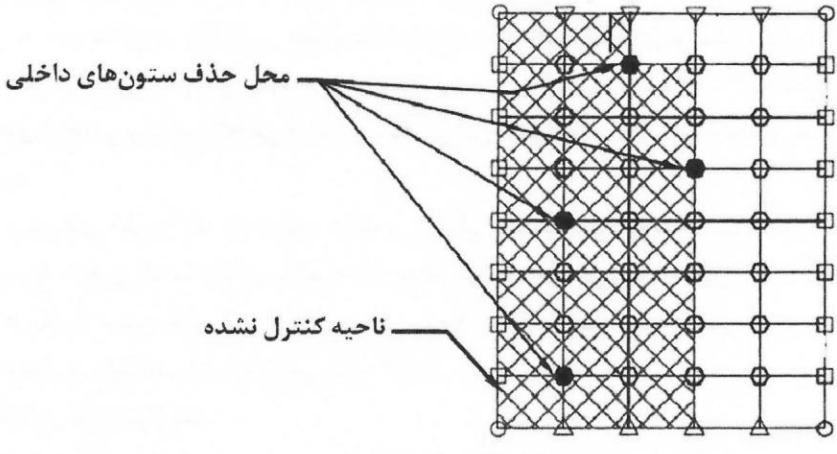
- طبقه اول بالای تراز پایه
- طبقه در ارتفاع میانی

برای ساختمان‌هایی که دارای پارکینگ در زیرزمین و یا نواحی کنترل نشده می‌باشند، انتخاب یک ستون داخلی نیز لازم است. ستون‌های داخلی در نزدیکی وسط ضلع کوچک ساختمان، نزدیک وسط ضلع بزرگ ساختمان و گوشه نواحی کنترل نشده باید حذف شوند (شکل ۲۱-۶-۴).

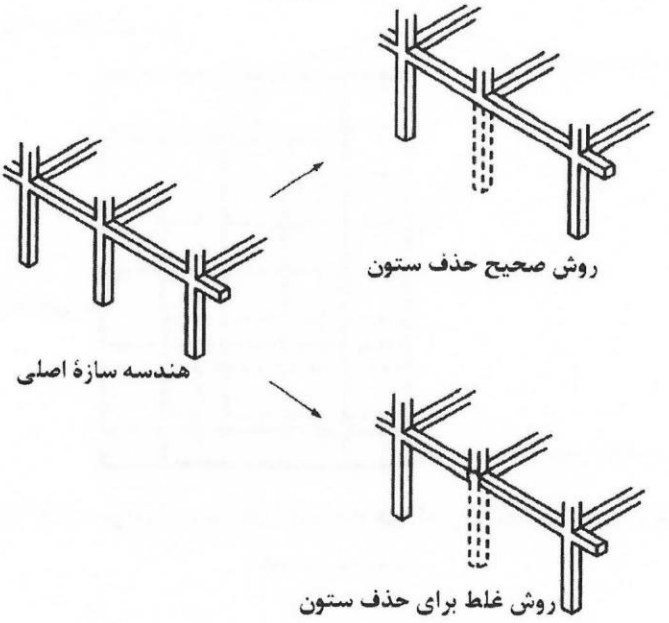
مطابق شکل ۲۱-۶-۵، ستون از زیر اتصال در تراز وجه تحتانی تیر حذف می‌شود. مطالب ارائه شده جنبه توصیهٔ کلی دارد و هدف تعیین بحرانی‌ترین ستون برای حذف است. در این خصوص قضاوت مهندسی نیز لازم است.



شکل ۲۱-۶-۳- موقعیت ستون‌های خارجی که برای تحلیل انهدام پیش‌رونده باید حذف شوند.



شکل ۲۱-۶-۴- موقعیت ستون‌های داخلی که برای تحلیل انهدام پیش‌رونده باید در طبقه پارکینگ حذف شوند.



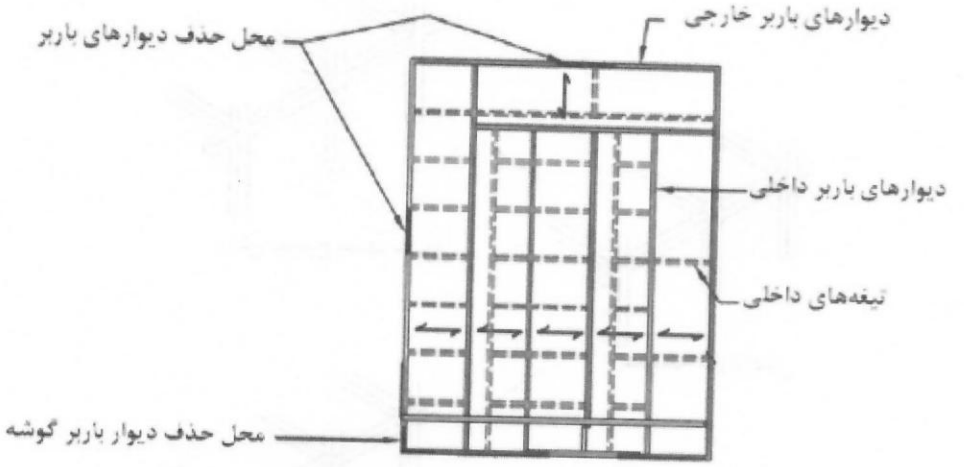
شکل ۲۱-۶-۵- روش صحیح و غلط حذف ستون

۲- دیوارهای باربر خارجی که باید حذف شوند در نزدیکی وسط ضلع کوچک ساختمان، نزدیک وسط ضلع بزرگ ساختمان و گوشه‌های ساختمان انتخاب می‌شوند (شکل ۲۱-۶-۶) . برای هر یک از دیوارهایی که در پلان حذف می‌شوند، پایداری سازه مورد نظر، باید با حذف دیوار در طبقات زیر مورد بررسی قرار گیرد:

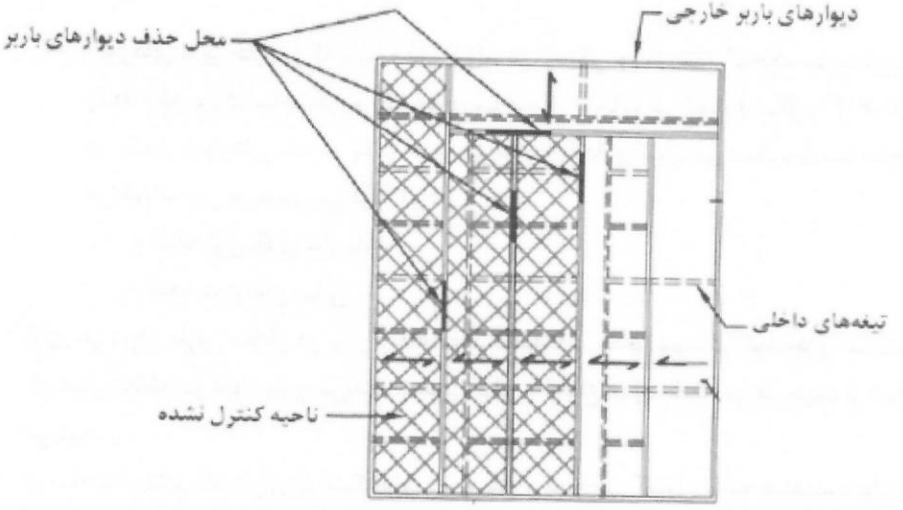
- طبقه اول بالای تراز پایه
- طبقه در ارتفاع میانی

برای هر دیوار، طولی معادل دو برابر ارتفاع مفید طبقه باید حذف شود. در گوشه‌های ساختمان نیز که محل تقاطع دو دیوار باربر می‌باشند، طولی برابر با ارتفاع مفید طبقه در هر جهت از دیوار حذف می‌شود.

در ساختمان‌هایی که دارای پارکینگ‌های زیرزمینی و یا نواحی کنترل نشده هستند، دیوارهای باربر داخلی در نزدیکی وسط ضلع کوچک ساختمان، نزدیک وسط ضلع بزرگ ساختمان و گوشه نواحی کنترل نشده باید حذف شوند (شکل ۲۱-۶-۷).



شکل ۲۱-۶-۶- موقعیت دیوارهای باربر خارجی که برای تحلیل انهدام پیش‌رونده باید حذف شوند.



شکل ۲۱-۶-۷- موقعیت دیوارهای باربر داخلی که برای تحلیل انهدام پیش‌رونده باید حذف شوند.

۳- بارهای مرده برای منظور کردن اثر ضربهٔ ناشی از انفجار باید در ضریب ضربه ضرب شوند. با توجه به عدم احتمال حضور تمام بار زنده، ضریب کوچکتر از واحدی برای آن منظور می‌شود. برای تحلیل استاتیکی ارتجاعی، ترکیب بار ثقلی زیر در روش مسیر جایگزین منظور می‌شود:

ترکیب بار: $۲(DL + ۰/۲۵LL)$ (۳-۶-۲۱)

که در آن:

DL= بار مرده

LL= بار زنده

۴- به منظور تعیین ظرفیت نهایی اعضا، مقاومت مصالح (شامل بتن و فولاد) ۲۵ درصد افزایش داده می‌شوند. این افزایش به علت تاثیر سریع بارگذاری است. ضرایب کاهش ظرفیت ϕ نیز مساوی ۱ فرض می‌شود.

۵- بعد از تحلیل سازهٔ باقیمانده تحت ترکیب بارگذاری بند ۳ به روش استاتیکی با منظور کردن اثر P-Δ، نسبت تقاضا به ظرفیت (DCR) برای نیروهای داخلی (شامل لنگر خمشی، نیروی محوری، نیروی برشی و یا لنگر پیچشی) برای تک‌تک اعضا تعیین می‌گردد:

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \qquad (۴-۶-۲۱)$$

Q_{UD} = نیروی داخلی در سازهٔ باقیمانده تحت ترکیب بارگذاری بند ۳

Q_{CE} = ظرفیت نهایی بدون ضریب عضو

اگر نسبت DCR برای عضوی بیش از ۲ برای ساختمان‌های معمولی و بیش از ۱/۵ برای ساختمان‌ها با پلان پیچیده شود، آن عضو قابل پذیرش نبوده و فرض بر خرابی آن است و باید تقویت گردد.

۶- میزان انهدام‌های ناشی از حذف ستون، باید به کوچکترین سه ناحیه زیر محدود گردد:

الف: دهانه‌هایی که بطور مستقیم به ستون حذف شده مربوط هستند.

ب: ۱۶۵مترمربع از سقفی که بطور مستقیم روی ستون خارجی حذف شده قرار دارد.

پ: ۳۳۰ مترمربع از سقفی که بطور مستقیم روی ستون داخلی حذف شده قرار دارد.

۲۱-۶-۶- روش مستقیم- روش ظرفیت ویژه

در بعضی از مواقع، بطور مثال در ستون‌های گوشه، احتمال انهدام پیش‌رونده پس از حذف ستون زیاد است. در این موارد راه حل منطقی می‌تواند مقاوم‌سازی ستون گوشه در مقابل انفجار مطابق اصول مشروحه در فصل‌های ۳ تا ۵ این مجموعه باشد.

۲۱-۷- ملاحظات تأسیسات برقی و مکانیکی

۲۱-۷-۱- کلیات

۲۱-۷-۱-۱- حوزه شمول این فصل مطابق جدول ۲۱-۱-۲-الف می باشد.

۲۱-۷-۱-۲- مهندس تأسیسات ساختمان، علاوه بر رعایت الزامات مندرج در سایر مباحث مرتبط، برای کاهش آسیب‌پذیری تأسیسات در پیامدهای انفجار و ادامه عملکرد، باید اصول پدافند غیرعامل زیر را نیز مدنظر قرار دهد:

الف- موازی‌سازی[۵] : تعدد و چندگانه‌سازی سامانه تأسیساتی با هم‌پوشانی مناسب.

ب- مکان‌یابی: نصب تجهیزات تأسیساتی در مکان‌های امن‌تر.

پ- پراکندگی: قرار دادن تأسیسات موازی‌سازی‌شده در مکان‌های جداگانه و یا دور از هم.

ت- استحکام: استفاده از تجهیزات مقاوم‌تر و نصب آن در فضای ایمن.

ث- نصب پایدار: نصب متناسب تأسیسات به سازه ساختمان بصورت مستحکم و یا انعطاف‌پذیر.

ج- مرمت‌پذیری: تعمیرپذیری سریع و یا قابلیت جایگزینی فوری، برای استمرار فعالیت.

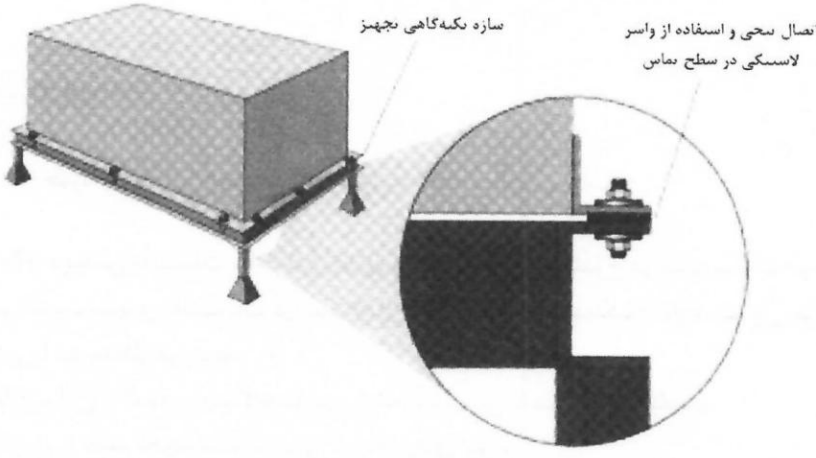
۲۱-۷-۱-۳- تأسیسات ساختمانی به لحاظ خطرآفرینی به گستره‌ی کم خطر تا پرخطر، تقسیم می‌شوند. تأسیسات پرخطر به تأسیساتی اطلاق می‌شود که خرابی آنها منجر به ایجاد خطرات ثانویه (مانند نشت گازهای سمی و انفجارهای مجدد) گردد، ولی در تأسیسات کم خطر، خرابی و از کارافتادگی تجهیز، تنها منجر به از بین رفتن عملکرد آن تجهیز می‌شود. به منظور کاهش آسیب‌پذیری در پیامدهای انفجار، باید از تأسیسات پرخطر کمتر استفاده شود، درغیراین‌صورت، تمهیدات لازم برای جلوگیری از خطرات ثانویه و هم‌چنین استقرار در فضاهای ایمن صورت گیرد.

۲۱-۷-۱-۴- اتصال تجهیزات به سازه تکیه‌گاهی، باید براساس حداقل‌های اشاره‌شده در بند ۴-۶ آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) و برمبنای خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد ($A = ۰/۳۵$) طراحی شود (شکل‌های ۲۱-۷-۱و ۲۱-۷-۲).

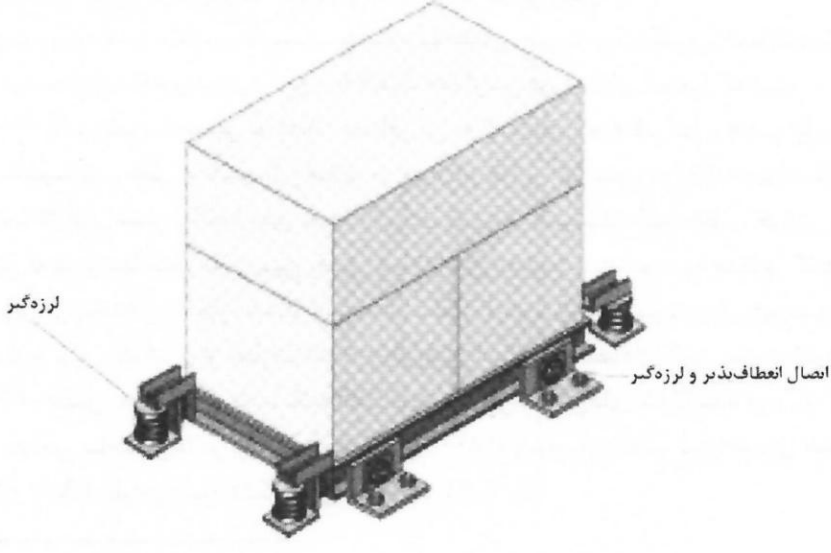
---

۵ - توجه شود که موازی‌سازی به معنای دو برابر کردن ظرفیت‌ها نیست. میزان هم‌پوشانی با توجه به مطالعات مهندسی تعیین می‌شود و حداکثر آن ۱۰ درصد مقرر می شود.

۲۱-۷-۱-۵- ظرفیت تحمل تجهیز در مقابل ضربه و ارتعاش معمولاً بر حسب حد شکنندگی (بیشینه شتاب تحمل‌شده با حفظ قابلیت استفاده)، بیان می‌شود. اکثر تجهیزات مکانیکی و الکتریکی تجاری می‌توانند ۳ برابر وتجهیزات شکننده (مانندلوازم الکترونیکی)، حدود ۱/۵ برابر شتاب ثقل را تحمل کنند. جدول ۲۱-۷-۱ میزان تحمل شتاب تجهیزات مختلف را ارائه می‌دهد.



شکل ۲۱-۷-۱- نمونه‌ی اتصال تجهیز به سازه تکیه‌گاهی



شکل ۲۱-۷-۲- اتصال تجهیز با استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر و لرزه‌گیر

جدول ۲۱-۷-۱- میزان تحمل شتاب تجهیزات مختلف

نوع تجهیز	شتاب (g)	
	بدون ایجاد آسیب	ایجاد حداقل آسیب
پمپ‌ها با توان تا ۱۰۰ اسب بخار	۴/۵	۸
تابلوهای کنترل و تابلوهای برق	۳/۵	۸
فن‌ها با توان تا ۱۰۰ اسب بخار	۴	۹
لوله‌های فولادی جوش شده (با حداکثر قطر ۱۸ اینچ)	۴	۸
هواسازها	۴/۵	۱۰
کانال‌های فولادی	۴/۵	۹
مراکز کنترل موتور	۳	—
منابع برق اضطراری	۳	—
سینی‌های کابل (تا ۳۶ اینچ)	۴/۵	۸
چیلرهای گریز از مرکز	۴	—
چیلرهای جذبی	۴/۵	—
چیلرهای پیچشی	۳/۵	—
چیلرهای تراکمی هواخنک	۳/۰	—
بویلرها	۳/۵	—

۲۱-۷-۱-۶- با توجه به اصل هزینه- فایده در پدافند غیرعامل، ایجاد فضاهای مقاوم در برابر اثرات انفجار برای نصب و عبور تجهیزات و تأسیسات (مانند موتورخانه، اتاق برق، اتاق هواساز و رایزرها)، با هدف حفاظت جانی، استمرار عملکرد و حفظ دارایی، ضرورت دارد.

۲۱-۷-۱-۷- ایجاد اتاق مرکز کنترل و مدیریت ساختمان (و بحران)، با رعایت الزامات بخش ۲۱-۲-۵، الزامی است. در این اتاق تجهیزات آشکارسازی و اعلام دود و حریق، مدیریت سامانه تخلیه دود، مدیریت سامانه آتش‌نشانی، نمایشگرهای تردد افراد و سامانه ارتباطات اضطراری (مانند آتش‌نشانی، امنیتی و ...) قرار می‌گیرند.

۲۱-۷-۲- ملاحظات تأسیسات مکانیکی

۲۱-۷-۲-۱- مقررات کلی

انفجار دارای آثاری نظیر موج، حرارت، ترکش اولیه و ثانویه، آوار، گرد و غبار، دود و آلودگی ناشی از انتشار گازهای مختلف (از جمله منواکسیدکربن) است. این پیامدها (بر اساس نوع و فاصله محل انفجار) بر تأسیسات مکانیکی و عملکرد آن‌ها تأثیرگذار بوده و باید تمهیدات لازم برای حفاظت،کاهش آسیب‌پذیری و استمرار فعالیت آن‌ها تا حد امکان، در نظر گرفته شوند. بدین‌رو تأسیسات باید در مکان‌هایی تعبیه شوند که در درجه اول آسیب نبینند (به‌ویژه در ساختمان‌های گروه ۱) و در صورت آسیب‌دیدن، مرمت‌پذیر باشند و در نهایت، تلفات جانی بر اثر آسیب‌دیدگی و تخریب تأسیسات، حداقل باشد.

۲۱-۷-۲-۱-۱- دهانه‌های ورودی تأسیسات، به ویژه بازشوهای ورود (و خروج هوا) باید خارج از حریم آوار (جزء ۲۱-۲-۲-۱-۳) قرار گیرند، در غیر این صورت، تمهیدات لازم برای ایمنی آنها اتخاذ شود.

۲۱-۷-۲- ۱-۲- برای ته‌نشینی گردوغبار و تخلیه سریع آن‌ها و دود ناشی از آتش‌سوزی، هم‌چنین جایگزینی هوای سالم، باید تجهیزات لازم، تعبیه شود. وجود چنین تأسیساتی، علاوه بر کاهش خفگی افراد، امدادرسانی به آسیب‌دیدگان را نیز سهولت می‌بخشد.

۲۱-۷-۲-۱-۳- محل تأسیسات تا حدامکان باید از ساختمان اصلی جدا باشد.

۲۱-۷-۲-۱-۴- مکان‌هایی که تجهیزات اصلی، تأسیسات نیروی برق اضطراری (مانند مولدهای برق اضطراری)، لوله‌های قائم شبکه بارنده و آتش‌نشانی، سامانه اعلام حریق، سامانه تخلیه گرد و غبار و دود،تأسیسات پرخطر (مثل مخزن سوخت) و دودکش‌ها در آن‌ها قرار می‌گیرند، باید با دیوارها و سقف‌های ایمن محافظت شوند (رعایت اصل استحکام).

۲۱-۷-۲-۱-۵- عبور کانال‌ها، لوله‌های تأسیساتی و دودکش‌ها در جداره دیوارهای خارجی و یا نمای ساختمان‌ها، مجاز نمی‌باشد. در غیراین‌صورت، معبر (کانال) آن‌ها، باید در برابر فشار بازتاب(بند۲۱-۳-۳-۳)، مقاوم باشد.

۲۱-۷-۲-۱-۶- تجهیزات تأسیساتی، لوله‌ها و کانال‌های روی پشت‌بام، باید در برابر پیامدهای انفجار و یا دستکاری افراد، محافظت شوند.

۲۱-۷-۲-۱-۷- عایق حرارتی کانال‌ها و لوله‌ها، باید از مواد و مصالح غیرقابل اشتعال باشند و عایق لوله‌های سردوگرم نباید جاذب رطوبت باشند.

۲۱-۷-۲-۱-۸- در ورودی و خروجی هوا، باید تمهیدات ایمنی در برابر پیامدهای انفجار (مانند دمپر ضدانفجار)، اتخاذ گردد.

۲۱-۷-۲-۱-۹- در کانال‌های مستقیم هوا در فواصل لازم و محل اتصال آن‌ها به دستگاه، باید از اتصالات و یا قطعات لاستیکی مقاوم و نسوز (مانند لاستیک‌های ساخته شده از ترکیبات موادی مانند EPDM و NBR-PVC و یا مواد سیلیکونی) استفاده شود.

۲۱-۷-۲-۱-۱۰- درصورت عبور لوله وکانال هوا از درز انبساط یا انقطاع ساختمان، باید از حلقه انبساط، لرزه‌گیر و یا اتصالات خرطومی با انعطاف‌پذیری سه محوره (متناسب با تغییرمکان‌های سازه)، استفاده گردد.

۲۱-۷-۲-۱-۱۱- سامانه‌های هوارسانی، تهویه مطبوع و دمنده‌های هوا، علاوه بر قطع خودکار در حالت اضطراری، باید به صورت دستی نیز سریعاً قابل‌قطع باشند. در صورت بروز آتش‌سوزی، هواکش‌ها نیز باید به ترتیب فوق عمل نمایند. برای جلوگیری از بروز فشار منفی در هنگام قطع سامانه‌ها، از دمپرهای کم نشت استفاده شود. ارجح است این دستگاه‌ها خاموش نشوند، بلکه باید تحت کنترل سامانه مدیریت تخلیه دود قرار گیرند.

۲۱-۷-۲-۱-۱۲- در زمان بحران، فشار هوا در راه‌پله‌ها، باید مثبت بوده و برای تامین هوای مناسب در هنگام خروج اضطراری افراد، تمهیدات لازم اتخاذ شود.

۲۱-۷-۲-۱-۱۳- تأسیسات ساختمان به‌ویژه شیرآلات، دمپرها و سایر ابزار و ادوات کنترل دستی، باید دارای نقشه و علائم راهنما بوده در محل‌های مناسب قابل مشاهده، نصب شوند.

۲۱-۷-۲-۱-۱۴- اجرای لوله‌های اصلی به‌صورت آویز از سقف طبقات، به‌ویژه در دسترسی و فضاهای عمومی مجاز نیست.

۲۱-۷-۲-۱-۱۵- ایجاد فضای هوابند و درزبندی ورودی‌های ساختمان، الزامی است.

۲۱-۷-۲-۱-۱۶- مهندس تأسیسات باید با هماهنگی طراح معماری و مهندس سازه، نسبت به اجرای بند ۲۱-۷-۱-۶ و جزءهای ۲۱-۷-۲-۱-۴، ۵، ۸ و ۱۴ اقدام نماید.

۲۱-۷-۲-۲- سامانه‌ی تهویه و تخلیه هوا

سامانه‌ی تهویه، هوای تازه مورد نیاز را تامین نموده و آلودگی‌ها را به حد مجاز، کاهش می‌دهد. در طراحی، اجرا و نگهداری این سامانه، باید علاوه بر رعایت الزامات مبحث چهاردهم (تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع)، موارد زیر نیز مدنظر قرارگیرد:

۲۱-۷-۲-۲-۱- سامانه‌های تهویه‌ی ساختمان، برای بهره‌برداری پایدار طراحی شوند.

۲۱-۷-۲-۲-۲- کانال‌های هوا، باید در محل‌های عبور از دیوار و نصب به دستگاه دارای انعطاف‌پذیری باشند.

۲۱-۷-۲-۲-۳- از اتصالات قابل‌انعطاف، لرزه‌گیرها، اتصالات خرطومی و جاذب تکانه در آویزها و نگهدارنده‌های کانال‌ها در محل‌های با احتمال برخورد موج انفجار استفاده شود.

۲۱-۷-۲-۲-۴- برای جلوگیری از اثرات پالس الکترومغناطیس، تمهیدات مکمل باید اتخاذ شود.

۲۱-۷-۲-۳- سامانه‌های سرمایش و گرمایش

در کاربرد سامانه‌های سرمایش و گرمایش، علاوه بر رعایت الزامات مبحث چهاردهم (تأسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع)، موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

۲۱-۷-۲-۳-۱- در ساختمانهای گروه ۱، باید از بکارگیری سامانه‌های تبرید با احتمال نشت بالا و یا تبریدی دارای کویل مستقیم (و مانند آن) خودداری گردد. در صورت استفاده از مبرد کم‌خطر از نظر اشتعال‌پذیری و سمی بودن، استفاده از سامانه‌های تبریدی دارای کویل مستقیم مجاز می‌باشد. این امر برای ساختمان‌های گروه ۲ مورد توصیه اکید می‌باشد.

۲۱-۷-۲-۳-۲- در سایر ساختمان‌ها، درصورت کاربرد سامانه‌های اشاره شده در بند ۲۱-۷-۲-۳-۱، هنگام اخطارحملات هوایی، باید گازها و یا مواد مبرد داخل آن‌ها در فضای بیرونی تخلیه شوند.

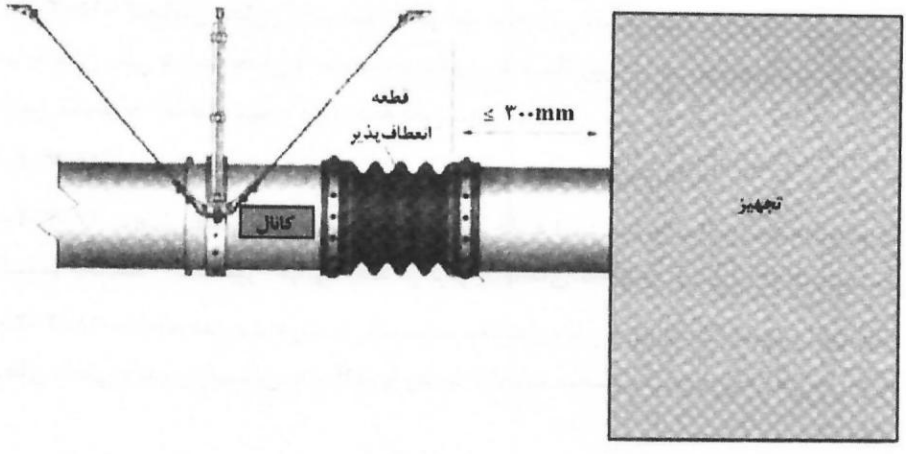
۲۱-۷-۲-۳-۳- استفاده از دستگاه‌های گرم‌کننده وخنک‌کننده ویژه (به‌خصوص وسایل حرارتی با سوخت گاز، مایع و جامد) مجاز نبوده و نصب بخاری برقی فقط با رعایت الزامات مبحث چهاردهم مجاز می‌باشد.

۲۱-۷-۲-۳-۴- استفاده از سامانه‌های تهویه مطبوع (مانند هواساز) توصیه می‌شود.

۲۱-۷-۲-۳-۵- تاحدامکان، از سامانه‌های دارای شبکه لوله‌کشی سیال حامل انرژی (مانند فن‌کویل)، استفاده نشود.

۲۱-۷-۲-۳-۶- درصورت بکارگیری فن‌کویل، اجرای لوله‌ها از کوتاه‌ترین مسیر صورت گیرد. هم‌چنین از اجرای دریچه هوای تازه در دیوار خارجی پشت فن‌کویل خودداری شده و هوای تازه از طریق هوارسانی مرکزی و فیلتراسیون تامین گردد.

۲۱-۷-۲-۳-۷- لوله‌ها و کانال‌ها باید دارای اتصالات انعطاف‌پذیر سه‌محوره (متناسب با تغییرمکان‌های سازه) و قطعه انبساطی در محل نصب دستگاه‌ها و محل عبور آن‌ها از دیوارها باشند (شکل ۲۱-۷-۳).



شکل ۲۱-۷-۳- اتصال انعطاف‌پذیر کانال در محل نصب دستگاه

۲۱-۷-۲-۳-۸- بست، آویز و تکیه‌گاه لوله‌ها، کانال‌ها و دودکش‌ها نباید کاملاً صلب باشند و در موارد لازم، با اجرای تمهیدات مناسب، قابلیت تحمل و جابجایی در اثر تکانه ناشی از انفجار را، داشته باشند.

۲۱-۷-۲-۳-۹- با رعایت مفاد مبحث چهاردهم، بهتر است از لوله‌های ترموپلاستیک مجاز و دارای عایق غیرقابل اشتعال (به استثنای سامانه‌های بارنده‌ی خودکار) بجای لوله‌های فولادی سیاه، استفاده شود.

۲۱-۷-۲-۳-۱۰- از لوله‌های فولادی بی‌درز (برای شرایط دشوار و تحمل ضربات فیزیکی) مطابق مبحث چهاردهم استفاده شود.

۲۱-۷-۲-۳-۱۱- لازم است موتورخانه، اتاق هواساز و سایر تجهیزات مهم در مکانی مقاوم در برابر پیامدهای انفجار، قرار گیرند. به طور کلی موتورخانه‌ها تا حدامکان، خارج از ساختمان جانمایی شوند.

۲۱-۷-۲-۳-۱۲- از دو یا چند تجهیز (مانند دیگ حرارتی، چیلر، پمپ، برج‌های خنک‌کننده)، با هم‌پوشانی کافی (رعایت اصل پراکندگی)، استفاده شود.

۲۱-۷-۲-۳-۱۳- تجهیزاتی مانند پمپ‌ها و مخازن بصورت افقی و روی کف نصب شوند.

۲۱-۷-۲-۳-۱۴- مشعل‌های حرارتی موتورخانه‌ها باید دوگانه‌سوز باشند.

۲۱-۷-۲-۳-۱۵- گنجایش مخازن ذخیره‌سازی سوخت مایع، با رعایت اصل موازی‌سازی، باید متناسب با پیش بینی شرایط بحران و مصرف دست‌کم سه شبانه‌روز باشد. این مخازن باید در فاصله ایمن نسبت به فضاهای مهم و موتورخانه دفن شوند.

۲۱-۷-۲-۳-۱۶- از سامانه‌ها و تجهیزات تأسیساتی مرمت‌پذیر استفاده شود.

۲۱-۷-۲-۳-۱۷- محل نصب تجهیزات جانبی موتورخانه (مانند مخزن انبساط باز، برج خنک‌کننده، چگالنده -کندانسور- هوایی)، باید در برابر پیامدهای انفجار ایمنی لازم را داشته باشد.

۲۱-۷-۲-۳-۱۸- سامانه مدیریت هوشمند تأسیسات ساختمان، با رعایت الزامات امنیتی، توسط شرکت‌های داخلی و بدون وابستگی به بیگانه، با رعایت الزامات مبحث سیزدهم، طراحی و اجرا شود.

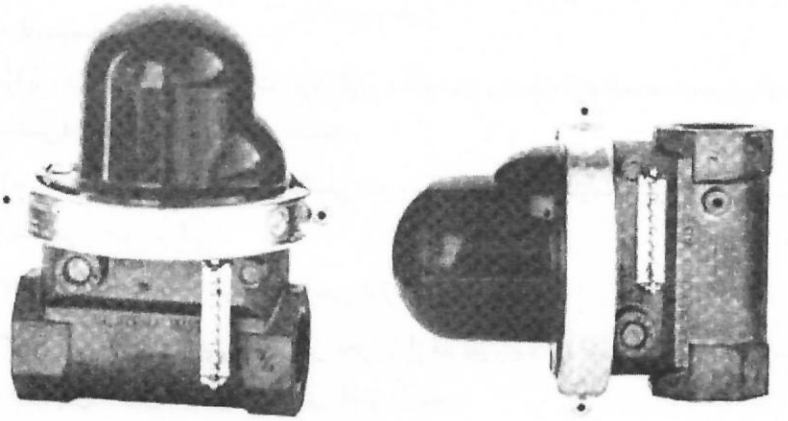
۲۱-۷-۲-۴- گازرسانی

طراحی و لوله‌کشی گاز طبیعی در ساختمان، نصب وسایل گازسوز و نصب دودکش‌ها، علاوه بر الزامات مبحث هفدهم (لوله‌کشی گاز طبیعی ساختمان‌ها)، موارد زیر را باید برآورده نماید:

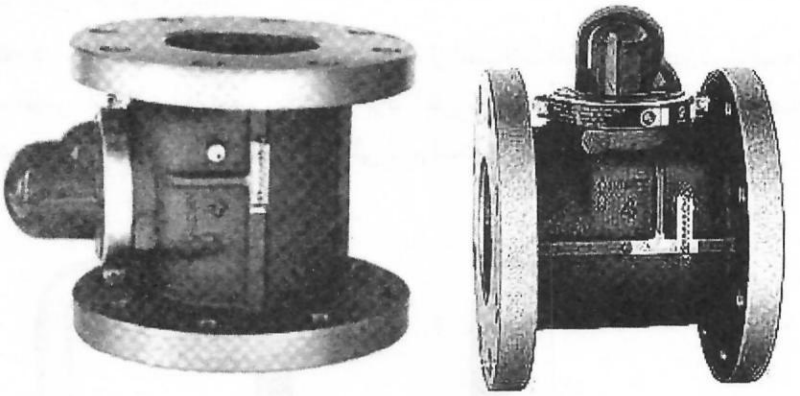
۲۱-۷-۲-۴-۱- اجرای شبکه گاز در داخل ساختمان مجاز نمی‌باشد. این ممنوعیت شامل موتورخانه و آشپزخانه‌ی رستوران مرکزی و بخش‌های آزمایشگاهی مرکزی نمی‌شود.

۲۱-۷-۲-۴-۲- نصب شیر خودکار قطع گاز حساس در مقابل زلزله و تکانه‌های ناشی از انفجار در نقطه ایمن ورودی ساختمان، الزامی است.

۲۱-۷-۲-۴-۳- نصب شیر خودکار قطع جریان گاز اضافی (برای جلوگیری از عبور بیش از حد گاز)، الزامی است.



شکل ۲۱-۷-۴- شیر خودکار قطع جریان گاز حساس در مقابل زلزله قائم و افقی معمولی



شکل ۲۱-۷-۵- شیر خودکار قطع جریان گاز حساس در مقابل زلزله قائم و افقی فلنجی

۲۱-۷-۲-۴-۴- استفاده از وسایل ایمنی مضاعف مانند گازیاب (آشکارساز گاز طبیعی)، آشکارساز منواکسیدکربن و کنترل وجود اکسیژن (در موتورخانه، آشپزخانه مرکزی و فضاهای امن)، الزامی است.

۲۱-۷-۲-۴-۵- شیر قطع سریع گاز دارای علائم راهنما و قابل دسترس افراد مجاز، در ورودی‌های محوطه و ساختمان باید نصب شود و تمهیدات فنی لازم برای تخلیه اضطراری گاز موجود در لوله‌ها به فضای باز و ایمن، اتخاذ شود.

۲۱-۷-۲-۴-۶- وارسی سلامت لوله‌های گاز طبیعی، دستگاه‌های گازسوز و دودکش‌ها، پس از هر انفجار آسیب‌زا، الزامی است.

۲۱-۷-۲-۵- تأسیسات آبرسانی

در طراحی، اجرا و سایر کارهای تأسیسات آبرسانی، علاوه بر رعایت الزامات مبحث شانزدهم (تأسیسات بهداشتی)، باید موارد زیر مدنظر باشند:

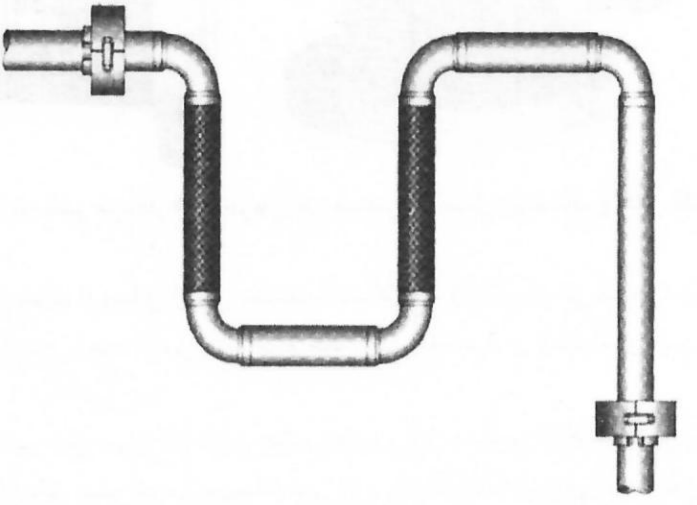
۲۱-۷-۲-۵-۱- ذخیره‌سازی آب مصرفی بهداشتی، دست‌کم به میزان نیاز سه روز و متناسب با پیش‌بینی شرایط بحران صورت گیرد.

۲۱-۷-۲-۵-۲- مخازن آب ذخیره در فضای ایمن قرار گیرند.

۲۱-۷-۲-۵-۳- آب حداقلی بهداشتی، در زمان بحران، از طریق رایزر جداگانه و انشعاب کم‌آبده، مجهز به پمپ جایگزین متصل به برق اضطراری تامین گردد.

۲۱-۷-۲-۵-۴- استفاده از لوله‌های چندلایه (تا قطر موجود) و با رعایت ضوابط مبحث شانزدهم مقررات ملی ساختمان، توصیه می‌شود.

۲۱-۷-۲-۵-۵- در سامانه‌ی لوله‌های فولادی، استفاده از اتصالات قابل انعطاف، لرزه‌گیرها، شیلنگ‌های خرطومی، اتصالات آکاردئونی مقاوم در برابر آتش یا حلقه‌های انبساطی در لوله‌های افقی طویل و در محل تقاطع لوله‌ها با دیوارهای اصلی لازم است (شکل ۲۱-۷-۶).



شکل ۲۱-۷-۶- استفاده از حلقه‌های انبساطی در لوله‌های آبرسانی فولادی

۲۱-۷-۲-۵-۶- تغذیه شبکه آبرسانی بهداشتی از دو سمت جداگانه ساختمان انجام شده و بوسیله شیرآلات در هر طبقه به یکدیگر متصل شوند.

۲۱-۷-۲-۵-۷- شیرآلات قطع سریع مجهز به ضربه قوچ‌گیر در ورودی و رایزرهای اصلی شبکه آبرسانی ساختمان نصب گردد.

۲۱-۷-۲-۵-۸- ذخیره‌سازی و نگهداری آب آشامیدنی به‌صورت ایمن و یا بسته‌بندی توصیه می‌شود.

۲۱-۷-۲-۶- تأسیسات فاضلاب

در طراحی، انتخاب مصالح، اجرا و نگهداری تأسیسات فاضلاب، باید علاوه بر رعایت الزامات مندرج در مبحث شانزدهم (تأسیسات بهداشتی)، موارد زیر نیز لحاظ شوند:

۲۱-۷-۲-۶-۱- در صورت وجود فضای امن و یا پناهگاه در پایین‌ترین طبقه ساختمان، پیش‌بینی تمهیدات تخلیه سریع بیشینه جریان لحظه‌ای پساب و فاضلاب (در موارد شکستگی، واژگونی و جاری شدن یکباره محتویات لوله‌ها، رایزرها و مخازن آب در پیامد انفجار)، با اجرای چاله آب جمع‌کن و یا کفشوی به تعداد و قطر مناسب ضروری است.

۲۱-۷-۲-۶-۲- تمهیدات لازم برای تخلیه آب حاصل از شکست لوله‌ها و جمع‌شده براثر اطفاء حریق در طراحی و اجرای تأسیسات فاضلاب، اتخاذ شود.

۲۱-۷-۲-۶-۳- سامانه‌ی لوله‌کشی فاضلاب علاوه برمقاومت و تکیه‌گاه‌های کافی، باید دارای انعطاف‌پذیری لازم در مقابل تغییرشکل‌های ناشی از فشار حاصل از انفجار باشد.

۲۱-۷-۲-۶-۴- لوله‌های افقی فاضلاب، آب باران و هواکش فاضلاب در زیر سقف فضاهای مهم نصب نشوند.

۲۱-۷-۲-۶-۵- شیریکطرفه خروجی فاضلاب ساختمان‌ها جهت جلوگیری از برگشت فاضلاب تعبیه شود.

۲۱-۷-۲-۷- تأسیسات آتش نشانی

برای محافظت در برابر آتش در هنگام حریق و مباحث مرتبط با اطفاء حریق، علاوه بر الزامات مبحث سوم (حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق)، موارد زیر باید لحاظ شوند:

۲۱-۷-۲-۷-۱- استفاده از آشکارسازهای حساس به دود و حرارت و سامانه هشدار و اعلام‌حریق و شبکه بارنده خودکار، الزامی است.

۲۱-۷-۲-۷-۲- اجرای رایزرهای مرطوب و خشک و جعبه آتش‌نشانی ضروری می‌باشد.

۲۱-۷-۲-۷-۳- نصب اتصالات قابل انعطاف، لرزه‌گیرها، لوله‌های قابل انحناء و یا شیلنگ‌های خرطومی مقاوم در برابر آتش، در لوله‌های افقی آتش‌نشانی طویل و محل گذر از دیوارهای اصلی لازم است.

۲۱-۷-۲-۷-۴- رعایت موارد زیر الزامی است:

الف- تغذیه شبکه‌های خشک و مرطوب آتش‌نشانی از دو یا چند سامانه و مسیر جداگانه.

ب- تغذیه شبکه آتش‌نشانی ساختمان از آب شهری، علاوه بر وجود آب ذخیره کافی مجهز به پمپاژ

ج- نصب پمپ‌های جایگزین (رزرو) برقی و دیزلی.

د- تغذیه پمپ‌های اصلی و جایگزین از نیروی برق اضطراری.

ه- تامین فشار ثقلی آب شبکه آتش‌نشانی در صورت امکان.

و- آموزش و تمرین دوره‌ای کارکنان و یا ساکنان برای امداد، نجات و استفاده از تجهیزات آتش‌نشانی.

۲۱-۷-۲-۷-۵- محل و نحوه نصب کپسول‌های آتش‌نشانی به گونه‌ای انتخاب شود که کپسول‌ها در اثر برخورد موج انفجار، آسیب نبینند و باعث آسیب جانی نشوند (مانند نصب در حفره‌های داخل دیوارها)

۲۱-۷-۲-۷-۶- نقشه و علائم راهنمای شبرنگ برای تعیین محل کپسول و جعبه آتش‌نشانی و خروج اضطراری در فضاهای عمومی و راهروها باید نصب شوند.

۲۱-۷-۲-۸- زیرساخت‌های تأسیساتی در محوطه

۲۱-۷-۲-۸-۱- زیرساخت‌ها و تأسیسات محوطه، باید بیش از یک تجهیز کنترلی داشته باشند.

۲۱-۷-۲-۸-۲- تامین حداقل دو انشعاب جبرانی، قابل کنترل و انعطاف‌پذیر با فاصله مناسب از یکدیگر، الزامی است.

۲۱-۷-۲-۸-۳- زیرساخت‌ها و تأسیسات اصلی محوطه ساختمان، باید بصورت مدفون در کانال آدم‌روی مقاوم، با رعایت الزامات بند ۲۱-۲-۲-۴-۱۰، قرار گیرند.

۲۱-۷-۲-۸-۴- تأسیسات پرخطر (مانند تأسیسات گازرسانی و مخازن سوخت – موضوع بند ۲۱-۲-۲-۱-۵) در حریم آوارمجاز نیست.

۲۱-۷-۲-۸-۵- تأسیسات پرخطر در محوطه، باید دست کم به میزان ۱/۵ برابر شعاع اثرگذاری انفجار آن‌ها، از ساختمان فاصله داشته باشند. در غیر این‌صورت باید با معماری مناسب و سازه مقاوم، پیامدهای انفجار آن‌ها محدود شوند.

۲۱-۷-۲-۸-۶- در صورت الزام هم‌جواری تأسیسات پرخطر، باید با معماری مناسب و اتخاذ تمهیدات لازم، پیامدهای انفجار هریک به خود محدود شوند.

۲۱-۷-۲-۸-۷- نصب مخازن اکسیژن مایع در محوطه یا فضاهای محصور (به خصوص فضاهای بیمارستانی)، باید با حفظ ضوابط ایمنی مربوطه صورت پذیرد.

۲۱-۷-۲-۸-۸- نصب شیرهای آتش‌نشانی در محوطه، مطابق با ضوابط سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی الزامی است.

۲۱-۷-۲-۸-۹- برای تسهیل امداد و نجات در بحران، باید تأسیسات موردنیاز (نظیر آب، آب‌گرم، برق و تلفن) در محوطه ساختمان‌ها تاحدامکان پیش‌بینی شود.

۲۱-۷-۳- ملاحظات تأسیسات برقی

از دیدگاه پدافندی، وظیفه تأسیسات برقی ساختمان علاوه بر تأمین انرژی پایدار و مطمئن، شامل سامانه‌های مخابراتی، اطلاع‌رسانی، پایش، اخطار و شبکه‌های رایانه‌ای نیز می‌باشد. با توجه به جایگاه ویژه تأسیسات برقی ساختمان درکارآمدی، ایمنی و استمرار فعالیت در ساختمان، رعایت اصول پدافند غیر عامل در طراحی و اجرای تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی ضروری می‌باشد. در این راستا اجتناب از نصب این تجهیزات در مناطق پر خطر می‌تواند احتمال از دسترس خارج شدن آن‌ها را کاهش دهد. از سوی دیگر نگرش جداسازی این تجهیزات در طراحی‌ها، می‌تواند به عنوان مناسب‌ترین گزینه در حفظ ارتباطات و امنیت انرژی الکتریکی ساختمان مطرح گردد.

از نظر سازه‌ای، دیوارها و کف‌هایی که در مجاورت تجهیزات مرکزی تأسیسات برقی قرار دارند باید از عناصر سازه‌ای مقاوم ساخته شده باشند. تقویت سازه ای مسیر کابل‌های تغذیه اصلی مربوط به برق عادی (نرمال)، اضطرای، برق بدون وقفه (در صورت استفاده از برق بدون وقفه مرکزی و یا منطقه‌ای) و شفت کابل‌های داخل ساختمان مربوط به سامانه‌های ایمنی (مطابق مبحث سیزدهم مقررات ملی) جهت حفظ ایمنی و تداوم برق‌رسانی ساختمان توصیه می‌گردد. نگهداری نقشه‌های نهایی ساخت تأسیسات برقی ساختمان در محل امن و قابل دسترس، نزدیک درب ورودی الزامی است.

۲۱-۷-۳-۱- مقررات کلی

رعایت مفاد این بخش، علاوه بر الزامات مبحث سیزدهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای تأسیسات برقی ساختمان‌ها) الزامی است.

۲۱-۷-۳-۱-۱- در طراحی سامانه توزیع برق فشار ضعیف ساختمان، سه بخش عادی، اضطراری و ایمنی در نظر گرفته شود. برق عادی تنها توسط برق شهر تغذیه شده و جهت برق‌رسانی به تجهیزات برقی با درجه اهمیت کم استفاده می‌گردد. بخش برق اضطراری باید در صورت قطع برق شهر به صورت خودکار و طی کوتاه‌ترین فاصله زمانی ممکن به مولدهای برق اضطراری موجود در ساختمان متصل شده و بارهای الکتریکی با اهمیت را تغذیه نماید. بخش برق ایمنی باید به سامانه منبع تغذیه پشتیبان شامل باطری و شارژ آن و یا منبع تغذیه برق بدون وقفه (UPS) متصل گردد و تأمین انرژی بارهای حساس مانند روشنایی مسیرهای فرار و فضای امن، سامانه‌های اخطار و اعلام حریق، سامانه‌ها و روشنایی موجود در اتاق مدیریت بحران، سامانه‌های امنیتی و شبکه‌های رایانه‌ای را بر عهده بگیرد. استفاده از منبع تغذیه بدون وقفه جهت اطلاع‌رسانی و مراکز مخابراتی و نیز منبع تغذیه پشتیبان برای سامانه اعلام حریق پیشنهاد می‌شود. همچنین به منظور حفظ قابلیت اطمینان برق‌رسانی، توصیه می‌گردد ترانسفورماتورهای برق فشار متوسط، مولدهای برق اضطراری، برق بدون وقفه مرکزی، تابلوهای برق فشار متوسط، تابلوهای فشار ضعیف اصلی مربوط به برق عادی (نرمال)، اضطراری و بدون وقفه در اتاق‌ها و یا فضاهای مجزا از هم قرار گیرند.

۲۱-۷-۳-۱-۲- برای جلوگیری از شکست لوله‌های برق، پیش‌بینی‌های لازم در محل‌های درز انبساط انجام شود و تا حد امکان از اتصالات انعطاف‌پذیر استفاده گردد.

۲۱-۷-۳-۱-۳- چراغ‌های جهت‌دار ایمنی با باتری داخلی باید در مسیرهای فرار جهت نمایش مسیر خروج از ساختمان مدنظر قرار گیرد. همچنین توصیه می‌گردد جهت روشنایی فضای امن ساختمان و اتاق مدیریت بحران علاوه بر روشنایی معمول از چراغ‌هایی با باتری داخلی نیز استفاده شود.

۲۱-۷-۳-۱-۴- علاوه بر چراغ‌های ایمنی نمایشگر سمت خروج با باتری داخلی، چراغ‌هایی متصل به نیروی برق ایمنی در راهروها، اماکن عمومی و فضاهای تجمع افراد، طراحی و نصب گردد.

۲۱-۷-۳-۱-۵- از نصب هر گونه چراغ آویز در فضاهای عمومی اجتناب گردد. پوشش چراغ‌ها باید از جنس مواد پلاستیکی بوده و به نحوی باشند که در هنگام اصابت ضربه یا شکستن موجب جراحت در افراد نشوند.

۲۱-۷-۳-۱-۶- ایجاد فشار مثبت در محل نصب تجهیزات حساس الکتریکی، الکترونیکی و مخابراتی مانند اتاق تابلوهای برق و اتاق کنترل توصیه می‌شود. تا حد امکان سامانه تهویه اتاق‌های تأسیسات برقی ساختمان از سامانه تهویه مرکزی ساختمان مجزا باشد.

۲۱-۷-۳-۱-۷- نگهدارنده‌های لوله‌ها و سینی‌های کابل باید استحکام لازم جهت تحمل تکانه‌های ناشی از انفجار را داشته باشند.

۲۱-۷-۳-۱-۸- استفاده از کابل دفنی در فضای خارجی ساختمان توصیه می‌گردد. از مواد ضد حریق مناسب در فضای خالیِ محل ورود کابل‌های فشار متوسط و فشار ضعیف به ساختمان و اتاق تجهیزات برقی استفاده گردد.

۲۱-۷-۳-۱-۹- موتورهای الکتریکی، تابلوهای برق، تابلوهای کنترلی، ترانسفورماتورها و مولدهای برق اضطراری باید به گونه‌ای بر روی سازه فونداسیون مهار شوند که از حرکات جنبی بیش از حد این تجهیزات در اثر موج انفجار جلوگیری به عمل آید.

۲۱-۷-۳-۱-۱۰- در طراحی تابلوهای برق ساختمان‌هایی که دارای سامانه‌های الکترونیکی حساس و یا مدارهای کنترلی دیجیتال هستند، باید از تجهیزات حفاظتی اضافی جهت مقابله با اضافه جریان و اضافه ولتاژ استفاده شود.

۲۱-۷-۳-۱-۱۱-در طراحی تأسیسات برقی ساختمان به منظور اجتناب از تداخل الکترومغناطیسی، الزامات استاندارد IEC 61000 رعایت گردد.

۲۱-۷-۳-۱-۱۲- در مرحله طراحی لوله‌های برق رزرو و مدارهای تغذیه‌کننده اضافی در تابلوهای برق جهت توسعه‌های آینده مدنظر قرار گیرد.

۲۱-۷-۳-۲- سامانه ارتباطی

۲۱-۷-۳-۲-۱- از سامانه تلفن آتش‌نشان (تلفن اضطراری) که بطور مستقیم و پیوسته به مراکز امدادی مرکزی متصل شده باشد، استفاده شود.

۲۱-۷-۳-۲-۲- استفاده از فیلترینگ مناسب در سامانه‌های مخابراتی جهت تفکیک و پالایش امواج مزاحم فقط برای ساختمان‌های گروه ۱، توصیه می‌شود.

۲۱-۷-۳-۲-۳- مدارهای سامانه‌های اطلاع‌رسانی و هشداردهنده باید مستقل بوده و نباید با مدارهای دیگر داخل یک لوله اجرا شوند. این مدارها در قسمت‌های مختلف ساختمان، حداقل در دو مسیر مجزا از همدیگر اجرا گردند.

۲۱-۷-۳-۲-۴- کابل‌های سامانه‌های جریان ضعیف تا حد امکان شیلددار بوده و باید به صورت جداگانه از سایر مدارهای سامانه‌های دیگر کشیده شوند.

۲۱-۷-۳-۲-۵- برای کابل‌های کنترلی و مخابراتی، استفاده از کابل‌های فیبر نوری عموماً به هادی‌های مسی ترجیح داده می‌شوند.

۲۱-۷-۳-۲-۶- به منظور اخطار بموقع به ساکنین درهنگام تهدیدات، ساختمان دارای سامانه اطلاع‌رسانی داخلی باشد.

۲۱-۷-۳-۳- سامانه برق اضطراری و ایمنی

۲۱-۷-۳-۳-۱- مولدهای برق اضطراری، باید برای تأمین توان الکتریکی سامانه‌های هشدار، روشنایی مسیرهای خروجی، روشنایی فضاهای امن، علائم خروج، سامانه‌های مخابراتی اضطراری، تجهیزات اعلام حریق، پمپ‌های آتش‌نشانی و آبرسانی، سامانه تخلیه دود و آسانسورهای اضطراری در یک نقطه امن تعبیه شوند. در تعیین ظرفیت مولدهای برق اضطراری امکان توسعه‌های آینده مدنظر قرار گیرد.

۲۱-۷-۳-۳-۲- محل نصب مولدهای برق اضطراری در فضاهای ایمن و مقاوم در برابر انفجار در نظر گرفته شود.

۲۱-۷-۳-۳-۳- مخزن سوخت ذخیره باید به اندازه کافی دور از دیزل ژنراتور و تا حد امکان بصورت مدفون تعبیه شده باشد. در غیر این صورت مخزن سوخت ذخیره باید در فضای محافظت شده و مقاوم در برابر انفجار قرار گیرد. ظرفیت مخزن ذخیره باید برای ذخیره‌سازی مصرف سوخت برای سه روز طراحی شده باشد و مخزن سوخت روزانه دیزل ژنراتور دارای ظرفیت سوخت مورد نیاز برای حداقل ۴ ساعت کار با ظرفیت نامی باشد.

۲۱-۷-۳-۳-۴- جهت اتصال دیزل ژنراتور اضطراری سیار به سامانه فشار ضعیف ساختمان، باید تمهیدات لازم در تابلوی برق اصلی ساختمان لحاظ گردد.

۲۱-۷-۳-۳-۵- مولدهای برق اضطراری، عموماً نیازمند دریچه‌های لووردار و یا بازشوهای با خم‌های اضافی برای تهویه مولد در حال کار می‌باشند، به گونه‌ای که اثرات موج انفجار برروی مولد اضطراری کاهش یابد.

۲۱-۷-۳-۳-۶- مولدهای برق اضطراری باید در دو نقطه مختلف و با فاصله‌ی مناسب از یکدیگر، قادر به تأمین توان اضطراری ساختمان باشند.

۲۱-۷-۳-۳-۷- کابل‌های توزیع برق اضطراری باید دارای حصار محکم بوده و یا در لوله داخل بتن محصور گردند.

۲۱-۷-۳-۳-۸- بعضی از اماکن ویژه مانند اتاق‌های عمل بیمارستان‌ها نقش سرویس‌رسانی خاص و بحرانی را دارند و به همین سبب نیاز به برق بدون قطعی را دو چندان می‌کنند. بنابراین

بکارگیری تمهیدات لازم جهت تأمین برق پایدار و قابل اطمینان از قبیل منابع انرژی وقفه ناپذیر برای این اماکن الزامی است.

۲۱-۷-۳-۴- ترانسفورماتورها

۲۱-۷-۳-۴-۱- ترانسفورماتورهای اصلی قدرت باید در صورت امکان در فضاهای داخلی ساختمان و دور از دسترس عموم قرار گرفته باشند. برای ساختمان‌های بزرگ‌تر، ترانسفورماتورها باید بصورت غیر متمرکز و در اتاق‌های مستقل مخصوص خود قرار گیرند تا قابلیت اطمینان را در زمانی‌که یکی از ترانسفورماتورها در اثر انفجار آسیب می‌بیند، افزایش دهند.

۲۱-۷-۳-۴-۲- محل قرارگیری ترانسفورماتورهای اصلی تا حد امکان از محل نصب مولدهای برق اضطراری دور باشد تا در مواقع حریق و خسارات ناشی از انفجار احتمال از دست رفتن تأمین انرژی الکتریکی کاهش یابد.

۲۱-۷-۳-۵- اتاق مرکز کنترل و مدیریت ساختمان

۲۱-۷-۳-۵-۱- این اتاق برای کنترل عملکرد سامانه‌های تخلیه دود، ارتباط با ساکنین، هشداردهنده‌ها، کنترل آتش‌سوزی و تخلیه افراد می‌باشد. برای اتاق‌های حساس کنترلی، مخابراتی و امدادرسانی، پانل‌های تکرارکننده اعلام حریق و یا نمایشگر تصویری نشان دهنده محل حریق، به صورت مجزا از هم در نظر گرفته شوند تا امکان اطلاع عملکرد سامانه حریق در موقعیت‌های مختلف فراهم گردد.

۲۱-۷-۳-۵-۲- پانل‌های تکرارکننده اعلام حریق و یا نمایشگر تصویری نشان دهنده محل حریق باید در نزدیکی نقطه دسترسی مأمور آتش‌نشانی به ساختمان قرار گیرند. اگر مرکز کنترل در مجاورت لابی باشد، باید آن را توسط راهرو یا سطح واسط از لابی جدا نموده و برای مرکز کنترل حریق، سازه مقاوم اجرا نمود.

۲۱-۷-۳-۶- آشکارسازی و اعلام دود و آتش

۲۱-۷-۳-۶-۱- ترکیبی از آشکارسازهای دود و حرارت با عملکرد سریع، سوئیچ‌های مربوط به کنترل سامانه‌های آبپاش، شستی‌های فشاری دستی، آژیرهای صوتی و نمایشگرهای تصویری باید در سامانه اعلام حریق ساختمان استفاده گردیده تا باعث عکس‌العمل به موقع نسبت به وقوع حریق گردد.

۲۱-۷-۳-۶-۲- با فعال‌شدن سامانه اعلام حریق باید فرآیندهای کنترل دود، فعالیت سامانه‌های هشدار و اطلاع رسانی آغاز گردیده تا امکان انتقال ساکنین به فضاهای امن در ساختمان مهیا گردد.

۲۱-۷-۳-۶-۳- سامانه اعلام حریق از نوع آدرس پذیر و کابل‌های سامانه‌ی اعلام حریق از نوع مقاوم در مقابل حریق گزینش گردد.

۲۱-۷-۴- آسانسورهای اضطراری

در طراحی‌ها و اجرای سامانه‌های آسانسور و پله‌برقی، علاوه بر رعایت الزامات مبحث پانزدهم مقررات ملی ساختمان (آسانسورها و پله‌های برقی) موارد زیر نیز باید مدنظر قرار گیرد:

۲۱-۷-۴-۱- آسانسورها نباید به عنوان وسیله‌ای برای فرار افراد از ساختمان در هنگام حادثه مورد استفاده قرار گیرند.

۲۱-۷-۴-۲- در شرایط اخطار حملات هوایی، کابین آسانسورها باید بتوانند در طبقات از قبل تعیین شده متوقف شوند و توسط افراد آتش‌نشان مورد استفاده قرار گیرند. همچنین آسانسورها باید با سامانه اعلام حریق و اتاق مدیریت بحران ارتباط داشته تا در مواقع ضروری از سرویس خارج شوند.

۲۱-۷-۴-۳- در شرایطِ پس از آسیب احتمالی ساختمان، مأموران آتش نشانی ممکن است آسانسور را برای انجام عملیات آتش‌نشانی و نجات افراد انتخاب نمایند. وجود آسانسور با ملاحظات سازه‌ای خاص و ضد دود، می‌تواند به عملیات مأموران امدادی کمک نماید. لذا باید متناسب با طراحی ساختمان، آسانسورهایی با قابلیت مقاومت در برابر حریق و تجهیزات مربوطه، مطابق با استانداردهای BSEN81-72/2009 و BSEN81-73/2005 برای انجام عملیات آتش‌نشانی و نجات افراد تعبیه گردد.

۲۱-۷-۴-۴- برق آسانسورهای امدادی (اضطراری)، باید از طریق مولد برق اضطراری نیز قابل تأمین باشد.

۲۱-۷-۴-۵- چاه آسانسور باید درزبندی شده و دارای فشار مثبت هوا باشد، تا از نفوذ دود و گرد و غبار به داخل آن و انتقال آلودگی به سایر قسمت‌ها، جلوگیری نماید.

۲۱-۷-۴-۶- در ساختمان‌هایی که طبقات زیرین آن‌ها دارای فضای امن می باشد، اجرای چاهک و چاه آسانسور در مجاورت این فضاها مجاز نیست.

۲۱-۷-۴-۷- تابلوی کنترل آسانسور باید دارای باتری داخلی جهت پیاده کردن مسافران در نزدیک‌ترین طبقه پس از قطع برق باشد.

۲۱-۷-۵- تأسیسات فضای امن

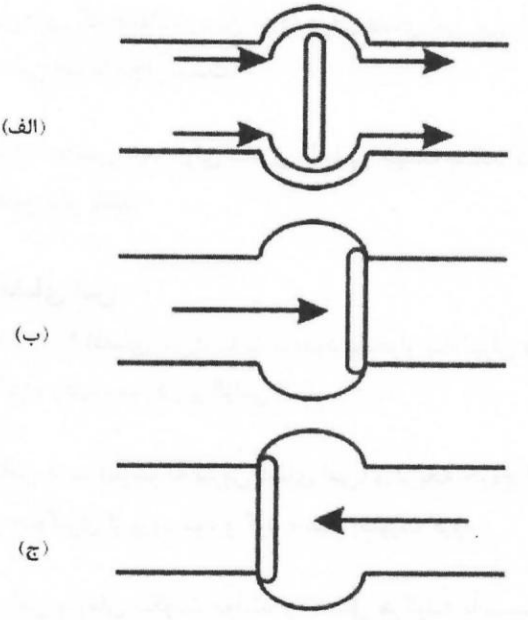
با توجه به الزامات بخش ۲۱-۲-۴ (فضای امن)، مدت محدود استقرار پناه‌گیران (به علت به حداقل رسیدن اکسیژن) و نجات آنان، رعایت موارد زیر الزامی است:

۲۱-۷-۵-۱- درزبندی کامل درب (بازشو به بیرون فضای امن) و دریچه خروج اضطراری (بازشو به داخل فضای امن)، برای جلوگیری از ورود دود و گرد و غبار صورت گیرد.

۲۱-۷-۵-۲- در فضاهای امن با زمان سکونت موقت، از اتصال هرگونه تأسیسات تهویه‌ی هوا خودداری شود (فضای امن تهویه نشده). در فضاهای امن با زمان سکونت زیاد، نیاز به تأسیسات تهویه با مشخصات فنی کامل شامل فیلتراسیون و... می‌باشد.

۲۱-۷-۵-۳- استفاده از سامانه‌های تبرید با احتمال نشت بالا و یاد تبریدی دارای کویل مستقیم (و مانند آن) در فضای امن مجاز نمی‌باشد.

۲۱-۷-۵-۴- به طور معمول اجزای سامانه کنترل فشار هوای داخل فضاهای امن شامل محفظه‌های هوابند در معابر ورودی، درب‌های هوابند، سوپاپ فشار اضافی و سوپاپ ضدانفجار می‌باشند. فشار عملکرد سوپاپ ضدانفجار متناسب با فشار انفجار و فاصله می‌باشد.



شکل ۲۱-۷-۷- سوپاپ ضدانفجار

الف) جریان هوای نرمال، ب) جریان هوای اضافی از خارج، ج) جریان هوای اضافی از داخل

۲۱-۷-۵-۵- چراغ اضطراری (برای مدت استقرار) علاوه بر برق شبکه (قابل تغذیه از مولد برق اضطراری) تعبیه شود.

۲۱-۷-۵-۶- تابلو اطلاعات مشتمل بر حداکثر مدت استقرار پناه‌گیران و شماره تلفن‌های اضطراری موردنیاز نصب گردد.

۲۱-۷-۵-۷- تجهیزات نجات (نظیر تبر و بیل کوچک) و کمک‌های اولیه در فضای امن قرار داده شوند.

۲۱-۷-۵-۸- علائم شبرنگ در اطراف درب و دریچه خروج اضطراری نصب گردد.

۲۱-۷-۵-۹- پیش‌بینی‌های لازم در خصوص مایحتاج موردنیاز در مدت مجاز استقرار (مانند آب شرب و غذای خشک) صورت گیرد.

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

آسانسورهای اضطراری	Emergency Elevators
آستانه فروریزش	Collapse Prevention (CP)
آشکارسازی و اعلام دود و آتش	Smoke & Fire Detection & Alarm
اتصالات انعطاف‌پذیر	Flexible Joints
امنیتی	Security
انفجار در هوای آزاد	Free Air Blast
ایمنی جانی	Life Safety (LS)
تابلوهای کنترل	Control Panels
تپ الکترومغناطیسی	Electro Magnetic Pulse (EMP)
تجویزی	Implicit
جداساز	Isolator
جرم معادل	Equivalent Mass
جعبه گلدان	Flower Box
جوش کام	Puddle Weld
چند درجه آزادی	Multiple Degree Of Freedom (MDOF)
چند عملکردی	Poly Functional
چیلر پیچشی	Screw Chiller
چیلر جذبی	Absorption Chiller
چیلر گریز از مرکز	Centrifugal Chiller
چیلر هواخنک	Air- cooled Chiller
حد شکنندگی	Fragility Level
حوزه دور	Far Field
حوزه نزدیک	Near Field
درب‌های هوابند	Gas Tight Doors
دریچه پادری	Grill
دمپر کم نشت	Low-Leakage-Damper

راهرو	Corridor
روش مسیر جایگزین	Alternative Path Method
سامانه برق اضطراری	Emergency Power System
سامانه‌ی تهویه و تخلیه هوا	Ventilation System
سختی معادل	Equivalent Stiffness
سنگ بستر	Bedrock
سوپاپ ضدانفجار	Blast Valve
سوپاپ فشار اضافی	Pressure Valve Over
سیار	Portable
شکل	Form
شبکه‌ی آبپاش	Sprinkler
شیر خودکار قطع جریان گاز حساس مقابل زلزله	Seismic Valve
ضربه	Impact
ضریب افزایش دینامیکی	Dynamic Increase Factor (DIF)
ضریب افزایش مقاومت	Strength Increase Factor (SIF)
ضریب پسا (کشسانی)	Drag Coefficient
طاقت	Toughness
طرح تفصیلی	Detail Design
طرح مایه	Sketch
فشار گاز	Gas Pressure
فشار مبنای انفجار	Incident Pressure (Pso)
قابلیت استفاده بی‌وقفه	Immediate Occupancy (IO)
کنترل غیرفعال	Passive Control
کنترل فعال	Active Control
لحاظ نشده	Non Applicate (N/A)
مبدل‌های برق	Transformers
محفظه‌ی هوابند	Air Lock
مراکز کنترل موتور	Motor Control Centers
مرکز کنترل حریق	Fire Control Center

مقاومت مقرر	Specificed Strength
موج رایلی	Rauleigh wave
میدان آزاد	Free Field
میراگر	Damper
ناحیه ارتجاعی	Elastic zone
ناحیه خردشدگی	Crushing Zone
ناحیه خمیری	Plasticity Zone
ناحیه گسیختگی	Rupture Zone
نسبت تقاضا به ظرفیت	Demand Capacity Ratio (DCR)
نیروی معادل	Equivalent Force
هدف	Target
همسان	Isotrop
همگن	Homogenios
هواساز	Air- handling Unit
یک درجه آزادی	Single Degree Of Freedom (SDOF)

فهرست مراجع قابل استفاده

1. "Structures to Resist the Effects of Accidental Explosion", UFC 3-340-02, Unified Facilities Criteria, 2008

2. "Fundamental of Protective design, Technical Manual", TM 5-855-1, US Department of the Army, Technical Manual, 1986

3. Dusenberry, Donald. "Handbook for Blast- Resistant Design of buildings", John wiley and Sons, New Jersey, 2010

4. Biggs, J.M. "Introduction to Structural Dynamics", Mc.Graw-Hill, New York, 1964

5. "The Design of Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions", TM5-1300, Technical Manual, US Department of the Army, Navy and Air Force, Washington DC., 1990

6. "Design of Blast Resistant Structures", Steel Design Guide 26, American Institute of Steel Construction, 2013

7. "Design of Blast Resistant Building in Petrochemical Facilities", ASCE H4571.D47, 1997

8. "Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings", FEMA 426, Risk Management series. December 2003

9. "Primer for Design of Commercial Buildings to Mitigate Terrorist Attacks" FEMA 427, Risk Management Series, December 2003

10. "Primer to Design Safe School Project in Case of Terrorist Attacks", FEMA 428, Risk Management Series. December 2003

11. "Site and Urban Design for Security", FEMA 430, Risk Management Series, December 2007

12. "Risk Assessment: A How-to Guide to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings, FEMA 452, Risk Management Series, January 2005

13. "Design of Buildings to Resist Progressive Collapse" UFC 4-023-03, Unified Facilities Criteria, 2005

14. Ngo, T.; Medis, P.; Gupta, A.; Ramsay, g. "Blast Loading and Blast Effects on Structures- an Overview", Electronic Journal of Structural Engineering 7, 76-91, 2007.