INSO
23623
1st Edition
2023

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iran National Standards Organization

استاندارد ملی ایران
۲۳۶۲۳
چاپ اول
۱۴۰۲

دارای محتوای رنگی

صنعت نفت- بارگذاری سازه‌های غیرساختمانی- آیین‌کار طراحی

Petroleum industry-Loading on non-building structures- Design code of practice

ICS: 91.080.01

Etabs-SAP.ir

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۶۲۳ (چاپ اول): سال ۱۴۰۲

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@inso.gov.ir

وبگاه: http://www.inso.gov.ir

Irani National Standards Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@inso.gov.ir

Website: www.inso.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعهٔ نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفهٔ تعیین، تدوین، به‌روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به‌منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گران‌بها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«صنعت نفت- بارگذاری سازه‌های غیرساختمانی-آیین‌کار طراحی»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
سروقد مقدم، عبدالرضا (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	عضو هیأت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله
دبیر:	
افشاریان‌زاده، امید (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)	شرکت مهندسی و توسعه نفت- شرکت ملی نفت ایران
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
اسدی، محسن (دکتری پدافند غیرعامل)	سازمان پدافند غیرعامل کشور
باریبان فتیده، زهره (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- زلزله)	عضو مستقل
بهنام‌فر، فرهاد (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی اصفهان
خامه‌چیان، حمزه (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)	شرکت ملی صنایع پتروشیمی
توده زارع، طه (کارشناسی مهندسی عمران- عمران)	مهندسین مشاور هیربدان
خلوتی، امیرحسین (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب
دزواره رسنانی، رضا (دکتری مهندسی عمران- سازه‌های دریایی)	عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
رهنورد، علیرضا (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- زلزله)	پژوهشگاه نیرو

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	سمت و/یا محل اشتغال:
سیدرزاقی، مهران (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین
شکرزاده، امیررضا (دکتری مهندسی عمران- سازه)	شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران
سعدایی جهرمی، علی (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)	عضو مستقل
سلامت، وحید (کارشناسی ارشد مدیریت مهندسی)	مهندسین مشاور آریا پیشرو قرن
صادقیان، گلناز (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)	عضو مستقل
صافی، محمد (دکتری مهندسی عمران- سازه)	عضو هیأت علمی دانشگاه شهید بهشتی
صدیقی، سیاوش (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)	عضو مستقل
صفی‌یاری، امیدرضا (دکتری مهندسی عمران- سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی)	عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال
عظیمی‌نژاد، آرمین (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
علوی، عرفان (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	مهندسین مشاور سازه
علیرضایی، مهدی (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	عضو مستقل
فاروقی، علیرضا (دکتری مهندسی عمران- سازه)	عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق
قاسمی، عباس (دکتری مهندسی عمران- زلزله)	عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی
کریمی‌نیا، احمد (کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی)	مهندسین مشاور مسینان

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	سمت و/یا محل اشتغال:
گل‌صورت پهلویانی، علی (دکتری مهندسی عمران- سازه)	عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی
محمودیان، محمدرضا (دکتری مهندسی عمران- سازه)	شرکت نارگان
مشایخی، محمد (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)	شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران
منشوری، محمدرضا (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- زلزله)	عضو مستقل
مهری، آمنه (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- خاک و پی)	شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران
ندافیان، مجید (کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه)	شرکت نارگان

ویراستار:	
عباسی رزگله، محمدحسین (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت ساخت)	سازمان ملی استاندارد ایران

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ظ
مقدمه ع
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و کوته‌نوشت‌ها ۲
۳-۱ اصطلاحات و تعاریف کلی ۲
۳-۲ تعاریف مربوط به بار زنده ۷
۳-۳ تعاریف مربوط به بار سیل ۹
۳-۴ تعاریف مربوط به بار برف ۱۱
۳-۵ تعاریف مربوط به بار باران ۱۳
۳-۶ تعاریف مربوط به بار یخ ۱۵
۳-۷ تعاریف مربوط به بار باد ۱۶
۳-۸ تعاریف مربوط به بار انفجار ۲۰
۳-۹ نمادها و کوته‌نوشت‌ها ۲۴
۴ کلیات ۳۱
۴-۱ اصول کلی ۳۱
۴-۲ الزامات مبنا ۳۲
۴-۲-۱ سختی و مقاومت ۳۲
۴-۲-۲ قابلیت بهره‌برداری ۳۵
۴-۲-۳ عملکرد ۳۵
۴-۲-۴ آثار نیروهای خود کرنشی ۳۶
۴-۲-۵ تحلیل ۳۶
۴-۲-۶ کنش‌های سازه‌ای متقابل ۳۶
۴-۲-۷ مقاومت در برابر آتش‌سوزی ۳۶
۴-۳ انسجام کلی سازه‌ای ۳۶
۴-۳-۱ ملاحظات کلی ۳۶
۴-۳-۲ اتصالات مسیر بار ۳۷

عنوان **صفحه**

۴-۳-۳ نیروهای جانبی ۳۷
۴-۳-۴ اتصال به تکیه‌گاه‌ها ۳۷
۴-۳-۵ مهار دیوارهای سازه‌ای ۳۸
۴-۳-۶ بارهای فوق‌العاده و حوادث نادر ۳۸
۴-۴ رده‌بندی خطرپذیری سازه‌ها ۳۸
۴-۴-۱ رده خطرپذیری ۳۸
۴-۴-۲ رده‌های خطرپذیری چندگانه ۳۸
۴-۴-۳ مواد سمّی، بسیار سمّی و قابل انفجار ۴۰
۴-۵ توسعه و انجام تغییرات در سازه‌های موجود ۴۱
۴-۶ آزمایش‌های بارگذاری ۴۱
۴-۷ استانداردهای مورد توافق و سایر مدارک مرجع ۴۱
۵ ترکیب‌های بارگذاری ۴۱
۵-۱ اصول کلی ۴۱
۵-۲ ترکیب‌های بار برای طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) ۴۱
۵-۲-۱ ترکیب‌های مبنا ۴۱
۵-۲-۲ ترکیب‌های بار شامل بار سیل ۴۲
۵-۲-۳ ترکیب‌های بار شامل بارهای یخ جوی و بارهای باد وارد بر یخ ۴۲
۵-۲-۴ ترکیب‌های بار نیروها و آثار خودکرنشی ۴۳
۵-۲-۵ ترکیب‌های بار برای بارهای نامشخص ۴۳
۵-۲-۶ ترکیب‌های بار مبنا با آثار بار لرزه‌ای ۴۳
۵-۲-۷ روش ثانویه برای تعیین بارهای آب در خاک ۴۴
۵-۳ ترکیب‌های بار برای طراحی به روش مقاومت مجاز یا تنش مجاز (ASD یا WSD) ۴۵
۵-۳-۱ ترکیب‌های بار مبنا ۴۵
۵-۳-۲ ترکیب‌های بارهای شامل بار سیل ۴۶
۵-۳-۳ ترکیب‌های بارهای شامل بارهای یخ جوی و بارهای باد وارد بر یخ ۴۶
۵-۳-۴ ترکیب‌های بارهای شامل نیروها و آثار خودکرنشی ۴۶
۵-۳-۵ ترکیب‌های مبنا با آثار بار لرزه‌ای ۴۶
۵-۴ ترکیب‌های بار در حوادث غیرعادی ۴۷
۵-۴-۱ قابلیت کاربرد ۴۷
۵-۴-۲ ترکیب‌های بار ۴۸

عنوان **صفحه**

۵-۴-۳ الزامات پایداری ۴۸
۵-۵ ترکیب‌های بارگذاری برای بارهای یکپارچگی کلی سازه ۴۸
۵-۵-۱ ترکیب‌های بار شامل بار مجازی در روش مبتنی بر ضرایب بار و مقاومت ۴۸
۵-۵-۲ ترکیب‌های بار شامل بار مجازی در روش مبتنی بر مقاومت مجاز یا تنش مجاز ۴۸
۶ بارهای دائمی ۴۹
۶-۱ بارهای ناشی از وزن اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای ۴۹
۶-۱-۱ بارهای مرده ۴۹
۶-۱-۲ محاسبه وزن مصالح و عناصر سازه‌ای ۴۹
۶-۱-۳ تعیین وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت ۴۹
۶-۲ بارهای ناشی از فشار خاک و فشار آب‌ایستایی ۵۰
۶-۲-۱ فشارهای جانبی ۵۰
۶-۲-۲ بارهای برکنش وارد بر کف‌ها، دال‌ها و شالوده‌ها ۵۰
۶-۲-۳ روش ثانویه برای بارهای آب در خاک ۵۱
۷ بارهای زنده ۵۱
۷-۱ بارهای زندهٔ مشخصه شده ۵۱
۷-۱-۱ بار زنده ۵۱
۷-۱-۲ بار زندهٔ بام ۵۱
۷-۲ بارهای زندهٔ مشخص نشده ۵۲
۷-۳ بارهای زندهٔ گسترده یکنواخت ۵۲
۷-۳-۱ بارهای زندهٔ مورد نیاز ۵۲
۷-۳-۲ ضوابط جداکننده‌های داخلی ۵۲
۷-۳-۳ بارگذاری غیریکنواخت ۵۲
۷-۴ بارهای زندهٔ متمرکز ۵۲
۷-۵ بارهای وارد بر نرده‌ها، جان‌پناه‌ها، میلهٔ دستگیره، سامانه‌های ضربه‌گیر خودرو و نردبان‌های ثابت ۵۳
۷-۵-۱ سامانه‌های نرده و جان‌پناه ۵۳
۷-۵-۲ سامانه‌های میلهٔ گیره ۵۳
۷-۵-۳ سامانه‌های ضربه‌گیر خودرو ۵۳
۷-۵-۴ نردبان‌های ثابت ۵۴
۷-۶ بارهای ضربه ۵۴

عنوان **صفحه**

۷-۶-۱ کلیات ۵۴
۷-۶-۲ آسان‌برها ۵۴
۷-۶-۳ ماشین‌های دوار و رفت و برگشتی ۵۴
۷-۶-۴ عناصر نگهدارنده بالابرها برای دسترسی به نما و تجهیزات نگهداری ساختمان ۵۴
۷-۶-۵ مهارهای حمایل‌بند و نجات ۵۵
۷-۷ کاهش بار زنده در کف و بام سازه‌های طبقاتی ۵۵
۷-۸ بارهای جرثقیل ۵۵
۷-۹ بارهای پارکینگ ۵۵
۷-۹-۱ پارکینگ خودروهای سواری ۵۵
۷-۹-۲ پارکینگ کامیون و اتوبوس ۵۶
۷-۱۰ بارهای محل فرود و برخاست بال‌گرد ۵۶
۷-۱۰-۱ کلیات ۵۶
۷-۱۰-۲ بارهای متمرکز بال‌گرد ۵۶
۷-۱۱ پیاده‌روها، مسیرهای خودرو و محوطه‌های عبور و مرور کامیون و خودروهای سنگین ۵۶
۷-۱۱-۱ بارهای یکنواخت ۵۶
۷-۱۱-۲ بارهای متمرکز ۵۶
۷-۱۱-۳ بارهای سنگین‌تر از کامیون ۵۷
۸ بار سیل ۵۷
۸-۱ کلیات ۵۷
۸-۲ الزامات طراحی ۵۷
۸-۲-۱ بارهای طراحی ۵۷
۸-۲-۲ فرسایش و آب‌شستگی ۵۷
۸-۲-۳ بارهای وارد بر دیوارهای فروریزشی ۵۷
۸-۳ بارهای سیلاب ۵۸
۸-۳-۱ مبنای بار سیل ۵۸
۸-۳-۲ بارهای آب‌ایستا ۵۸
۸-۳-۳ بارهای هیدرودینامیکی ۵۸
۸-۳-۴ بارهای موج ۵۹
۸-۳-۵ بارهای ضربه ۶۳
۸-۳-۶ بارهای موج وارد بر اسکله و سازه فراساحلی ۶۳

عنوان **صفحه**

۹ بار سونامی ۶۳
۱۰ بار برف ۶۴
۱۰-۱ بار برف روی زمین (بار برف مبنا) ۶۴
۱۰-۲ بارهای برف وارد بر بام تخت، p_f ۶۷
۱۰-۲-۱ ضریب برف‌گیری سازه، C_e ۶۷
۱۰-۲-۲ ضریب شرایط دمایی، C_t ۶۸
۱۰-۲-۳ ضریب اهمیت، I_s ۶۸
۱۰-۲-۴ کمینه بار برف روی بام‌های با شیب کم، p_m ۶۹
۱۰-۳ بارهای برف وارد بر بام شیب‌دار، p_s ۶۹
۱۰-۳-۱ ضریب شیب، C_s ۷۰
۱۰-۳-۲ ضریب شیب بام در بام‌های قوسی ۷۰
۱۰-۳-۳ ضریب شیب بام در بام‌های کنگره‌ای، دندانه‌دار و تاوه چین‌دار ۷۱
۱۰-۳-۴ سدهای یخی و قندیل‌ها در طول لبه بام ۷۱
۱۰-۳-۵ بارهای برف در سازه‌های بادی ۷۲
۱۰-۴ بارگذاری بخشی ۷۳
۱۰-۴-۱ سامانه‌های تیر پیوسته ۷۳
۱۰-۴-۲ سایر سامانه‌های سازه‌ای ۷۳
۱۰-۵ بارهای برف نامتوازن بام ۷۳
۱۰-۵-۱ بارهای برف نامتوازن در بام‌های شیب‌دار ۷۴
۱۰-۵-۲ بارهای برف نامتوازن در بام‌های قوسی ۷۶
۱۰-۵-۳ بارهای نامتوازن برف برای بام‌های کنگره‌ای، دندانه‌دار و تاوه چین‌دار ۷۶
۱۰-۵-۴ بارهای برف نامتوازن در بام‌های گنبدی ۷۷
۱۰-۶ انباشت برف روی بام‌های کم‌ارتفاع‌تر (سایه آئرودینامیکی) ۷۷
۱۰-۶-۱ بام پایینی یک سازه ۷۷
۱۰-۶-۲ سازه‌های مجاور هم ۷۸
۱۰-۶-۳ انباشت‌های تلاقی‌کننده در بام‌های پایینی ۸۰
۱۰-۷ قسمت‌های بالا آمده بام و دست‌اندازها ۸۰
۱۰-۸ برف لغزنده ۸۱
۱۰-۹ سربار باران روی برف ۸۱
۱۰-۱۰ ناپایداری ناشی از انباشت آب ۸۱

عنوان **صفحه**

۱۰-۱۱ بام‌های موجود (کف‌های افقی برف‌گیر در سازه‌های صنعتی) ۸۱
۱۰-۱۲ بار برف روی سازه‌های قابی شکل باز نگهدارنده تجهیزات ۸۲
۱۰-۱۲-۱ برف در تراز بالایی ۸۲
۱۰-۱۲-۲ برف در ترازهای زیر تراز بالایی ۸۲
۱۰-۱۲-۳ بارهای برف روی لوله‌ها و سینی‌های کابل ۸۲
۱۰-۱۲-۴ بارهای برف وارد بر تجهیزات و سکوهای تجهیزات ۸۴
۱۱ بار باران ۸۴
۱۱-۱ بارهای باران طرح ۸۴
۱۱-۲ دهانهٔ باران‌گیر با شیب کم ۸۶
۱۱-۳ زهکشی به بام‌های موجود ۸۶
۱۲ بار یخ ۸۶
۱۲-۱ کلیات ۸۶
۱۲-۱-۱ مطالعات ویژه ساختگاه ۸۶
۱۲-۱-۲ بارهای دینامیکی ۸۷
۱۲-۱-۳ عدم شمول کاربری ۸۷
۱۲-۲ بارهای یخ ناشی از یخ‌زدگی باران ۸۷
۱۲-۲-۱ بار یخ ۸۷
۱۲-۲-۲ ضخامت اسمی یخ ۸۸
۱۲-۲-۳ ضریب ارتفاع ۸۹
۱۲-۲-۴ ضریب اهمیت برای بار یخ ۸۹
۱۲-۲-۵ ضریب عارضه‌نگاری ۸۹
۱۲-۲-۶ ضخامت یخ در طراحی ناشی از یخ‌زدگی باران ۸۹
۱۲-۳ اثر باد بر سازه‌های پوشیده از یخ ۹۰
۱۲-۳-۱ باد در دودکش‌ها، مخازن و سازه‌های مشابه پوشیده از یخ ۹۰
۱۲-۳-۲ بار باد روی دیوارهای توپر خودایستا، تابلوها و علایم توپر پوشیده از یخ ۹۰
۱۲-۳-۳ بار باد روی تابلوها و علایم باز و سازه‌های خرپایی پوشیده از یخ ۹۰
۱۲-۳-۴ بار باد روی دکل‌های خرپایی پوشیده از یخ ۹۰
۱۲-۳-۵ بار باد روی کابل‌ها و مهارهای پوشیده از یخ ۹۰
۱۲-۴ دماهای طراحی برای یخ‌زدگی باران ۹۱
۱۲-۵ بارگذاری بخشی ۹۱

عنوان **صفحه**

۱۲-۶ خلاصهٔ روند طراحی ۹۱
۱۳ بار باد ۹۲
۱۳-۱ کلیات ۹۲
۱۳-۲ موارد استفاده ۹۲
۱۳-۳ ملاحظات عمومی ۹۲
۱۳-۳-۱ قرارداد علامت‌گذاری ۹۲
۱۳-۳-۲ وضعیت بار بحرانی ۹۲
۱۳-۳-۳ فشارهای باد وارد بر وجوه روبروی هم در سطوح سازه ۹۲
۱۳-۴ سرعت مبنای باد، V، و راستای اعمال بار باد ۹۳
۱۳-۵ جهت‌دهی باد ۹۶
۱۳-۶ رده‌بندی مواجهه ۹۷
۱۳-۶-۱ کلیات ۹۷
۱۳-۶-۲ راستاها و مؤلفه‌های بار باد ۹۷
۱۳-۶-۳ رده‌بندی پوشش سطح زمین ۹۸
۱۳-۶-۴ رده‌های مواجهه باد ۹۸
۱۳-۷ آثار عارضه‌نگاری (پستی و بلندی زمین) ۹۹
۱۳-۷-۱ افزایش سرعت باد روی تپه، برآمدگی و سراشیبی ۹۹
۱۳-۷-۲ ضریب عارضه‌نگاری ۹۹
۱۳-۸ ضریب تراز زمین ۱۰۰
۱۳-۹ فشار ناشی از سرعت باد ۱۰۰
۱۳-۹-۱ ضریب مواجهه با فشار ناشی از سرعت باد ۱۰۰
۱۳-۹-۲ تعیین فشار ناشی از سرعت باد ۱۰۰
۱۳-۱۰ آثار تندباد ۱۰۴
۱۳-۱۰-۱ ضریب اثر تندباد ۱۰۴
۱۳-۱۰-۲ تعیین بسامد ۱۰۴
۱۳-۱۰-۳ بسامد طبیعی تقریبی ۱۰۵
۱۳-۱۰-۴ تعیین ضریب اثر تندباد در سازه‌های صلب ۱۰۵
۱۳-۱۰-۵ تعیین ضریب اثر تندباد در سازه‌های انعطاف‌پذیر یا دینامیکی حساس ۱۰۶
۱۳-۱۰-۶ تحلیل منطقی ۱۰۷
۱۳-۱۰-۷ محدودیت‌ها ۱۰۸

عنوان **صفحه**

۱۳-۱۱ رده‌بندی محصورشدگی سازه با دیوار ۱۰۸
۱۳-۱۱-۱ ملاحظات کلی ۱۰۸
۱۳-۱۱-۲ بازشوها ۱۰۸
۱۳-۱۱-۳ محافظت از بازشوهای شیشه‌ای ۱۰۸
۱۳-۱۱-۴ رده‌بندی چندگانه ۱۰۸
۱۳-۱۲ ضرایب فشار داخلی باد ۱۰۹
۱۳-۱۳ محاسبه بار باد در سازه‌های غیرساختمانی غیرمشابه ساختمان ۱۰۹
۱۳-۱۳-۱ رابطهٔ بنیادین تعیین نیروی باد ۱۰۹
۱۳-۱۳-۲ بارهای طراحی در برابر باد برای ظروف، سیلوها و مخازن ۱۱۰
۱۳-۱۳-۳ بارهای باد وارد بر مخازن LNG ۱۱۵
۱۳-۱۳-۴ سازه‌های نگهدارنده لوله و سینی کابل ۱۱۹
۱۳-۱۳-۵ سازه‌های قابی شکل باز ۱۲۰
۱۳-۱۳-۶ ظروف تحت فشار ۱۲۴
۱۳-۱۳-۷ برج‌های خنک‌کن ۱۳۰
۱۳-۱۳-۸ سایبان فشرده‌سازها ۱۳۱
۱۳-۱۴ کمینه بار باد طراحی ۱۳۲
۱۳-۱۵ روش تونل باد ۱۳۲
۱۳-۱۵-۱ ملاحظات کلی ۱۳۲
۱۳-۱۵-۲ شرایط آزمایش ۱۳۳
۱۳-۱۵-۳ پاسخ دینامیکی ۱۳۳
۱۳-۱۵-۴ آثار بار ۱۳۳
۱۴ بار انفجار ۱۳۵
۱۴-۱ ملاحظات کلی ۱۳۵
۱۴-۲ آثار رخداد انفجارهای اتفاقی در مجتمع‌های صنعتی و روش‌های اعمال بار انفجار ۱۳۶
۱۴-۳ هدف از طراحی تأسیسات و سازه‌ها در برابر انفجار ۱۳۶
۱۴-۳-۱ ملاحظات کلی ۱۳۶
۱۴-۳-۲ ایمنی جانی کارکنان در مجتمع ۱۳۷
۱۴-۳-۳ قطع عملیات بهره‌برداری به‌صورت کنترل‌شده ۱۳۷
۱۴-۳-۴ کمترین تلفات اقتصادی به مجتمع ۱۳۷
۱۴-۴ سطوح حفاظتی ۱۳۷

عنوان **صفحه**

۱۴-۵ روند طراحی در برابر انفجار ۱۳۹
۱۴-۶ طراحی سازه‌های غیرساختمانی، تجهیزات و زیرساخت‌های صنعت نفت در برابر انفجار ۱۳۹
۱۴-۷ سطوح عملکرد سازه‌ها در برابر انفجار ۱۴۰
۱۴-۸ انواع انفجار ۱۴۰
۱۴-۹ پارامترهای موج انفجار ۱۴۰
۱۴-۱۰ تعیین اضافه‌فشارهای طراحی مربوط به انفجارهای ابر بخار و گاز ۱۴۱
۱۴-۱۱ بارگذاری انفجاری سازه‌های محصور در مجتمع‌های صنعتی ۱۴۱
۱۴-۱۱-۱ ملاحظات کلی ۱۴۱
۱۴-۱۱-۲ بارگذاری دیوار روبروی منشأ انفجار (دیوارهای جلویی) ۱۴۲
۱۴-۱۱-۳ دیوارهای جانبی ۱۴۴
۱۴-۱۱-۴ بارگذاری سقف ۱۴۶
۱۴-۱۱-۵ بارگذاری دیوار پشت به انفجار ۱۴۶
۱۴-۱۱-۶ بارگذاری قاب ۱۴۷
۱۴-۱۱-۷ فشار منفی و بارگذاری جهشی ۱۴۷
۱۴-۱۱-۸ فشارهای داخلی سازه ۱۴۸
۱۴-۱۲ دینامیک سیالات محاسباتی (روش CFD) ۱۴۸
۱۴-۱۳ لرزش زمین ناشی از انفجار ۱۴۹
۱۴-۱۴ ترکش‌های صنعتی ۱۴۹
۱۴-۱۵ روش‌های تحلیل سازه در برابر آثار انفجار ۱۵۰
۱۴-۱۵-۱ ملاحظات کلی ۱۵۰
۱۴-۱۵-۲ روش ایستای معادل ۱۵۱
۱۴-۱۵-۳ تحلیل دینامیکی خطی ۱۵۳
۱۴-۱۵-۴ تحلیل دینامیکی غیرخطی ۱۵۳
۱۴-۱۵-۵ روش تحلیل دینامیکی پیشرفته ۱۵۴
۱۴-۱۶ معیارهای پذیرش تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت در برابر انفجار ۱۵۵
۱۴-۱۶-۱ سطوح آسیب‌دیدگی ۱۵۵
۱۴-۱۶-۲ پاسخ عناصر سازه‌ای به انفجار ۱۵۵
۱۴-۱۶-۳ معیارهای پاسخ ۱۵۶
۱۴-۱۷ حالات حدی طراحی و ترکیبات بارگذاری شامل بار انفجار ۱۵۷
۱۴-۱۸ طراحی شالوده در برابر انفجار ۱۵۸

عنوان **صفحه**

۱۴-۱۸-۱ ملاحظات کلی ۱۵۸
۱۴-۱۸-۲ تعیین نیروهای برکنش ناشی از انفجار ۱۵۹
۱۴-۱۸-۳ انتخاب سامانهٔ شالوده ۱۵۹
۱۴-۱۸-۴ بارهای انفجاری وارد بر شالوده ۱۶۰
۱۴-۱۸-۵ روش‌های تحلیل شالوده در برابر انفجار ۱۶۰
۱۴-۱۹ عناصر غیرسازه‌ای مقاوم در برابر انفجار ۱۶۳
۱۴-۱۹-۱ درها و پنجره‌ها ۱۶۳
۱۴-۱۹-۲ پنجره‌ها ۱۶۴
۱۴-۱۹-۳ بازشوهای تأسیساتی ۱۶۶
۱۴-۱۹-۴ درزهای انقطاع ۱۶۶
پیوست الف (آگاهی‌دهنده) چگالی مواد و مصالح ۱۶۷
پیوست ب (آگاهی‌دهنده) تعیین ضریب اهمیت برای بار باد ۱۸۰
پیوست پ (آگاهی‌دهنده) پل‌های راه و راه‌آهن ۱۸۱
پیوست ت (الزامی) مخازن ذخیره استوانه‌ای فولادی سیالات هیدروکربوری ۲۴۲
پیوست ث (آگاهی‌دهنده) اسکله‌ها و سازه‌های ساحلی ۲۴۹
پیوست ج (الزامی) سکوهای ثابت فراساحلی ۲۵۹
پیوست چ (آگاهی‌دهنده) پست‌های برق ۲۶۰
پیوست ح (آگاهی‌دهنده) دکل‌های انتقال نیرو ۲۶۶
پیوست خ (آگاهی‌دهنده) دکل‌های مخابراتی و آنتن‌ها ۲۸۸
پیوست د (آگاهی‌دهنده) دودکش‌های فولادی و بتنی ۳۳۰
پیوست ذ (آگاهی‌دهنده) سیلوها ۳۳۱
پیوست ر (آگاهی‌دهنده) تأسیسات سرچاهی نفت (سلرها) در خشکی ۳۴۰
پیوست ز (آگاهی‌دهنده) انفجار در تأسیسات صنعت نفت ۳۴۸
کتاب‌نامه ۳۷۳

پیش‌گفتار

استاندارد ملی «صنعت نفت- بارگذاری سازه‌های غیرساختمانی-آیین‌کار طراحی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده، در یک هزار و ششمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد ساختمان، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۴۰۲/۸/۲۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منابع و مآخذی که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

1- AASHTO: 2020, LRFD Bridge design specifications, 9th ed., Washington D.C.: American association of state highways & transportation officials

2- ACI 313: 2016, Design specification for concrete silos and stacking tubes for storing granular materials and commentary, Farmington Hills, MI: American concrete institute

3- ANSI/TIA-222-H: 2018, Structural standard for antenna supporting structures & antenna & small wind turbine support structures, Arlington, VA: Telecommunications industry association, Technology & standards department

4- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 1: General

5- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 2: Combination of Loads

6- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 3: Dead Loads, Soil Loads & Hydrostatic Pressure

7- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 4: Live Loads

8- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 5: Flood Loads

9- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 7: Snow Loads

10- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 8: Rain Loads

11- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 10: Ice Loads

12- ASCE/SEI 7: 2022, Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Chapter 26: Wind Loads: General Requirements

13- ASCE MOP 74: 2020, Guidelines for electrical transmission line structural loading, 4th ed., Reston, VA: American society of civil engineers
14- ASCE MOP 113: 2011, Substation structure design guide, Reston, VA: American society of civil engineers
15- ASCE: 2020, Wind loads for petrochemical & other industrial facilities, 2nd ed., Reston, VA: American society of civil engineers
16- ASCE: 2011, Design of blast-resistant buildings in petrochemical facilities, 2nd ed., Reston, VA: American society of civil engineers
17- API RP2A: 2014, Planning, Designing, and Constructing, Planning, Designing, and Constructing, Working stress design, Washington D.C.: American petroleum industries
18- API RP2A: 2019, Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms—Load and resistance factor design, Washington D.C.: American petroleum industries
19- EN 1991.2: 2003, Eurocode 1: Action on structures, Part 2: Traffic load on bridges, Brussels: European committee for standardization
20- UFC3-220-01: 2012, Geotechnical engineering, Washington D.C.: Unified facilities criteria

مقدمه

در این استاندارد ملی سعی بر آن بوده است تا قواعدی همسان و سازگار با سایر ضوابط فنی فعلی کشور برای محاسبهٔ بارهای وارد بر سازه‌های غیرساختمانی و همچنین استانداردهای طراحی سازه‌ای به ویژه در صنعت نفت، نیرو و مخابرات ارائه شود تا فرایندی یکپارچه و نظام‌مند در این خصوص در دسترس مهندسان سازه قرار داده شود. از جمله سازه‌ها و مستحدثاتی که در این استاندارد ملی مدنظر قرار می‌گیرند عبارتند از:

- تأسیسات صنایع نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی مانند مخازن ذخیره، سازه‌های نگهدارندهٔ تجهیزات و خطوط لوله و تأسیسات سرچاهی نفت در خشکی (سلرها)؛
- پل‌های راه و راه‌آهن؛
- دکل‌های انتقال نیرو؛
- پست‌های برق؛
- دودکش‌ها؛
- دکل‌های مخابراتی (آنتن‌ها)؛
- اسکله‌ها؛
- سیلوها؛
- سازه‌های فراساحلی.

صنعت نفت- بارگذاری سازه‌های غیرساختمانی- آیین‌کار طراحی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین الزامات طراحی برای بارگذاری سازه‌های غیرساختمانی در صنعت نفت است، هرچند می‌توان از الزامات آن در سایر صنایع از جمله نیرو و مخابرات نیز استفاده کرد.

این استاندارد، برای تعیین بارهای وارد بر سازه‌های زیر کاربرد دارد:

- سازه‌هایی به جز ساختمان‌های طبقاتی متعارف و ساختمان‌های دارای سقف سبک شیب‌دار صنعتی (مانند سوله‌ها و سایبان‌ها)؛
- تمامی تأسیسات و سازه‌های غیرساختمانی روزمینی در خشکی؛
- سازه‌های غیرساختمانی مستقر بر بستر دریا در نواحی ساحلی و فراساحلی؛
- تأسیسات سرچاهی نفت و گاز؛
- سازه‌های نگهدارندهٔ ظروف، سازه‌های تکیه‌گاهی لوله و کابل؛
- مخازن ذخیرهٔ سیالات؛
- پل‌های راه و راه‌آهن؛
- دکل‌های انتقال برق و پست‌های فشار قوی؛
- دکل‌های مخابراتی و آنتن‌ها؛
- اسکله‌ها؛
- سکوهای نفت و گاز فراساحلی؛

یادآوری ۱- این استاندارد برای تعیین آثار ناشی از زلزله و سونامی کاربرد ندارد و در موارد لازم، ارجاع‌دهی به دستورالعمل یا ضوابط مراجع ذیصلاح قانونی صورت می‌پذیرد (به عنوان نمونه منبع [1] و [2]).

یادآوری ۲- برای تعیین بارهای طراحی تأسیسات مدفون می‌توان به استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۰۸۶۱ [3] مراجعه کرد.

یادآوری ۳- برای تعیین بارهای طراحی سازه‌های ساختمانی به منبع [4] مراجعه شود.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۲-۱ استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۲۸۷: سال ۱۴۰۲، دودکش‌های صنعتی فولادی و بتنی- طراحی، ساخت و ویژگی‌های مصالح

2-2 ACI 318, Building code requirements for structural concrete, American concrete institute

یادآوری- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [5] برای طراحی سازه‌های ساختمانی بتنی مسلح قابل کاربرد است.

2-3 AISC 360, Specification for structural steel buildings, American institute of steel construction

یادآوری- مبحث دهم مقررات ملی ساختمان [6] برای طراحی سازه‌های ساختمانی فولادی قابل کاربرد است.

2-4 API 650, Welded tanks for oil storage, American petroleum institute

2-5 TMS 402, Building code requirements for masonry structures, The masonry society

2-6 TMS 602, Specification for masonry structures, The masonry society

۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها و کوته‌نوشت‌ها

۳-۱ اصطلاحات و تعاریف عمومی

۳-۱-۱

طراحی به روش مقادیر مجاز

allowable values design method

روشی برای طراحی اعضای سازه‌ای که در آن تنش‌ها یا تلاش‌های محاسباتی ارتجاعی در اعضا تحت بارهای اسمی، از مقادیر مجاز (که تنش‌ها یا تلاش‌های بهره‌برداری نیز نامیده می‌شود) فراتر نرود.

۳-۱-۲

مرجع صلاحیت‌دار

authority having jurisdiction

شخص حقیقی یا حقوقی خبره صاحب فن و دانش است که ارزیابی یا بررسی علمی را انجام می‌دهد و توسط کارفرما مشخص می‌شود.

یادآوری- این تعریف و این اصطلاح شامل مرجع ذیصلاح قانونی نمی‌شود و منظور از مرجع ذیصلاح قانونی در این استاندارد، مرجعی است که قانون به عنوان مرجع اصلی مشخص کرده است.

۳-۱-۳

ساختمان‌ها

buildings

سازه‌هایی که توسط دیوارها و سقف‌ها محصور شده، و برای کاربری مشخصی نظیر سرپناه احداث می‌شوند. روند بارگذاری این سازه‌ها در منبع [4] ارائه شده است.

۴-۱-۳

مقاومت ضریب‌دار طراحی

factored design strength

حاصل‌ضرب مقاومت اسمی در ضریب مقاومت است.

۵-۱-۳

سامانهٔ غیرسازه‌ای اختصاص‌یافته

assigned nonstructural system

یک جزء یا سامانهٔ غیرسازه‌ای که برای عملکرد مدنظر در یک سازه با ردهٔ خطرپذیری ۴ (طبق زیربند ۴-۴) لازم است یا آن‌که برای تأمین ایمنی جانی در سازه‌های دارای سایر رده‌های خطرپذیری موردنیاز است.

۶-۱-۳

تأسیسات ضروری

essential facilities

سازه‌هایی که در رخداد بارگذاری فوق‌العاده نظیر سیل، باد، برف یا زلزله، تحت بهره‌برداری باقی می‌مانند.

۷-۱-۳

بار ضریب‌دار

factored load

حاصل ضرب بار اسمی و یک ضریب بار است.

۸-۱-۳

مواد بسیار سمّی

highly toxic substances

موادی که توسط مرجع ذیصلاح قانونی، برای سلامت افراد، جان‌داران یا محیط‌زیست بسیار خطرزا دانسته شود.

۳-۱-۹

ضریب اهمیت

importance factor

ضریبی که منظورکننده میـزان خطـرزایی برای جان، سلامت و ایمنی افراد و رفاه اجتماعی ناشی از آسیب به اموال یا از دست‌رفتن کاربری یا عملکرد است.

۳-۱-۱۰

حالت حدی

limit state

وضعیتی که فراتر از آن، یک سازه یا عضو سـازه‌ای از بهره‌برداری خارج شود و به‌گونه‌ای تعریف می‌شود که از آن به بعد، کارایی مدنظر سازه از دست برود (حالت حدی بهره‌برداری) یا ناایمن شود (حالت حدی مقاومت).

۳-۱-۱۱

آثار بار

load effects

به نیروها و تغییرشکل ایجاد شده در اعضای سازه‌ای ناشی از بارهای وارده گفته می‌شود.

۳-۱-۱۲

ضریب بار

load factor

ضریبی که برای منظور کردن انحـراف از مقـادیر واقعی بار از بار اسمی و برای در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های تحلیـل که در آن بار را به یک اثر بار تبـدیل می‌کند و یا احتمال آنکه چند بار فـوق‌العاده به‌طور هم‌زمان رخ دهند به‌کار می‌رود.

۳-۱-۱۳

بارها

loads

نیروها یا سایر کنش‌هایی که ناشی از وزن کل مصـالح ساختمانی، سـاکنین و وسایل، آثار محیطی، جابه‌جایی نامتـقارن و تغییرات ابعـادی مقیـد شده است. بارهای دائمی، بارهایی هستند که تغییرات آن‌ها در طی مدت زمان به ندرت رخ می‌دهد یا مقدار تغییرات آن‌ها کوچک است. سـایر بارها، بارهای گذرا هستند.

۳-۱-۱۴

بارهای اسمی

nominal loads

مقادیر بارهـای مشخص شده در این اسـتاندارد است که بـرای بارهـایی نظیر بارهای مرده، زنده، فشار خاک، باد، برف، باران، سیل و زلزله به‌کار می‌رود.

۳-۱-۱۵

مقاومت اسمی

nominal strength

ظرفیت یک سازه یا عضو سـازه‌ای برای تحمل آثار بارها که با انجام محاسباتی با استفاده از مقاومت مشخصهٔ مواد و ابعاد به کمک روابطی حاصل از اصـول پذیـرفته‌شـده مکانیک سازه‌ای یا آزمایش‌های میدانی مدل‌های مقیاس‌شده به‌دست آمده، در آن آثار مدل‌سازی و تفاوت بین شرایط آزمایشگاهی و میدانی منظور می‌شود.

۳-۱-۱۶

کاربری

occupancy

منظور از کاربری، هدف از احداث یک سازه یا بخشی از آن به‌منظور بهره‌برداری است.

۳-۱-۱۷

سازهٔ غیرساختمانی

non-building structure

سازه‌ای به‌جز ساختمان طبقاتی متعارف که روند تعیین بارهای وارد بر آن در این استاندارد معین می‌شود.

۳-۱-۱۸

اثر پی-دلتا

p-delta effect

به اثر مرتـبه دوم روی برش‌ها و لنگرهای اعضای قابی‌شکل ناشی از بارهای محوری در وضـعیت جابه‌جا شده جانبی قاب ساختمانی گفته می‌شود.

۳-۱-۱۹

رویه مبتنی بر عملکرد

performance-based procedure

یک رویهٔ جایگزین برای روش‌های ارائه شده در این استاندارد با استفاده از یک تحلیل مهندسی ویژهٔ پروژه، که به‌صورت اختیاری با آزمایش محدود قابل پیاده‌سازی است تا قابلیت اطمینان محاسباتی هر سازه را تعیین کند.

۳-۱-۲۰

ضریب مقاومت

strength factor

ضریبی است برای منظور کردن انحراف مقاومت واقعی از مقاومت اسمی و حالت و عواقب شکست (که به «ضریب کاهش مقاومت» نیز معروف است).

۳-۱-۲۱

ردهٔ خطرپذیری

risk category

یک رده‌بندی در سازه‌ها برای تعیین بارهای سیل، برف، یخ و زلزله مبتنی بر خطرپذیری مربوط به عملکرد غیرقابل‌پذیرش است. به جدول ۴ مراجعه شود.

۳-۱-۲۲

بارهای بهره‌برداری

service loads

به بارهایی وارد بر سازه به علت عوامل زیر حین خدمت بارهای بهره‌برداری گفته می‌شود:

الف- وزن و سایر بارهای مرده تحمیلی؛

ب- بارهای زنده‌ای که در زمان سکونت عادی یا بهره‌برداری از سازه به آن وارد می‌شود؛

پ- بارهای محیطی که انتظار می‌رود در طی عمر بهره‌برداری تعریف‌شده سازه ایجاد شود؛

ت- نیروها و آثار خود کرنشی.

بارهای زنده بهره‌برداری و بارهای محیطی برای یک حالت حدی معین باید از بارهای طراحی مشخص‌شده در این استاندارد کوچک‌تر باشد. بارهای بهره‌برداری برای هر حالت حدی بهره‌برداری شناسایی‌شده، مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۱-۲۳

طراحی به روش مقاومت

strength design method

روشی برای طراحی اعضای سازه‌ای است به‌گونه‌ای که نیروهای محاسباتی در اعضا ناشی از بارهای ضریب‌دار، از مقاومت طراحی عضو فراتر نرود. این روش به «طراحی به ضرایب بار و مقاومت» نیز موسوم است.

۳-۱-۲۴

تأسیسات موقت

temporary facilities

سازه‌هایی که باید برای مدت زمانی محدود تحت بهره‌برداری قرار گیرند و دارای بازهٔ زمانی معین برای مواجهه با بارگذاری‌های محیطی باشند.

۳-۱-۲۵

مواد سمّی

toxic substances

موادی که توسط مراجع ذیصلاح، برای سلامت افراد، جان‌داران یا محیط‌زیست خطرزا دانسته شود. می‌توان برای کسب اطلاع بیشتر از مواد خطرزا به پیوست A استاندارد OSHA 29 CFR 1910.1200 [7] مراجعه کرد.

۳-۲ اصطلاحات و تعاریف مربوط به بار زنده

۳-۲-۱

نردبان ثابت

fixed ladder

نردبانی است که به‌صورت دائمی به یک سازه یا تجهیز متصل است.

۳-۲-۲

سامانهٔ دستگیره

grab bar system

یک میله همراه با مهارها و اتصالات آن به سامانهٔ سازه است که برای تحمل وزن افراد به‌کار می‌رود.

۳-۲-۳

سامانهٔ جان‌پناه

handrail system

سامانه‌ای تشکیل شده از اجـزایی شـامل مهـــارها و اتصالات آن به سامانهٔ سازه است که در نزدیکی لبه‌های پرتگاه یک تراز مرتفع به‌منظور به‌حداقل رساندن احتمال پرت‌شدن افراد، تجهیزات یا مصالح نصب می‌شود.

۴-۲-۳

محل فرود بال‌گرد

helipad

یک سـطح سازه‌ای اسـت که برای فرود و برخاست و توقف بال‌گرد روی سازه به‌کار می‌رود. این سطح معمولاً در ساختمان‌های بلند و سکوهای نفت و گاز احداث می‌شود.

۵-۲-۳

فضابند

screen enclosure

سازه یا بخشی از آن که به‌طور کامـل یا موضعی به‌صورت خودایستا واقع است و دارای دیـوارها و سقفی است که از ورود حشرات و نور آفتاب جلوگیری می‌کند و معمولاً از الیـاف شـیشه، آلومینـــیم، پلاستیک یا مصالح مشابه سبک توری‌شـکل بوده که پوشـانندهٔ فضاهایی نظیر استخرهای شـنا، پاسیوها[1]، گل‌خانه‌ها و تأسیسات تولید محصولات کشاورزی است.

۶-۲-۳

سامانهٔ جان‌پناه پارکینگ

vehicle barrier system

سامانه‌ای تشکیل شده از اجزا شامل مهـارها و متعلقات متصل به سامانهٔ سازه‌ای است که در نزدیکی پرتگاه‌ها یا دیوارهای کف‌های پارکینگ یا شیب‌راهه[2] عبور خودرو نصب می‌شود تا مانع از پرت‌شدن وسایل نقلیه شود.

1- Patio
2- Ramp

۳-۳ اصطلاحات و تعاریف مربوط به بار سیل

۳-۳-۱
سیلاب مبنا

base flood

سیلابی که احتمال فراگذشت آن معادل ٪ ۱ در یک سال مشخص است.

۳-۳-۲
تراز سیلاب مبنا

base flood elevation

تراز سیلاب شامل ارتفاع موج در سیل مبنا، تراز سیل مبنا نامیده می‌شود.

۳-۳-۳
دیوار فروریزشی

breakaway wall

هر نوع دیوار در معـرض سیلاب که برای تأمین تکیه‌گاه سـازه‌ای مورد نیاز نیست و به نوعی طراحی و ساخته می‌شود که تحت شرایط رخداد سیل مبنا یا کمتر از آن، به‌صورتی فرو بریزد که:

الف- اجازه عبور آزادانهٔ سیلاب را بدهد؛ و

ب- به سازه یا سامانهٔ شالوده، آسیبی وارد نیاورد.

۳-۳-۴
ناحیهٔ ساحلی A

coastal A-zone

ناحیه‌ای با خطر ویژهٔ رخداد سیلاب، بخش خشک یک ناحیه دره‌ای‌شکل (V) یا بخش خشک یک ساحل باز بدون نواحی دره‌ای شکل برداشت شـده است. برای رده‌بندی ناحیه به یک ناحیه ساحلی، منشأ اصلی سیلاب باید جزر و مدهای نجومی، امواج طوفـــان، آبتـاز یا سونامی باشد و نه طغیان رودخانه و قابلیت ارتفـــاع امواج شکننده بزرگ‌تر یا مساوی با ۰٫۴۵ m باید طی رخداد سیل مبنا وجود داشته باشد.

۳-۳-۵

ناحیه ساحلی با خطر بالا (ناحیه V)

coastal high hazard area (V-zone)

ناحیه‌ای درون یک منطقه با خطر سیلاب زیاد، که از فراساحل به سمت حد سرزمین در امتداد یک ساحل باز و هر ناحیهٔ دیگر که در معرض امواج با سرعت زیاد ناشی از طوفان یا زلزله قرار داده می‌شود گسترش می‌یابد.

۳-۳-۶

سیلاب طرح

design flood

سیلابی با بزرگ‌ترین رخدادهای زیر:

الف- سیلاب مبنا وارد بر مناطقی که به عنوان ناحیهٔ ساحلی با خطر بالا روی نقشه‌های بیمه مشخص می‌شود؛

ب- سیلاب متناظر با ناحیه‌ای که به عنوان ناحیهٔ سیل‌خیز روی نقشهٔ خطر سیل مشخص می‌شود.

۳-۳-۷

تراز سیلاب طرح

design flood level

تراز آب ایجاد شده ناشی از رخداد سیلاب طرح شامل ارتفاع موج نسبت به داده مشخص‌شده در نقشهٔ خطر سیل یک منطقه است.

۳-۳-۸

منطقهٔ سیل‌خیز

flood hazard area

ناحیه‌ای که در معرض رخداد سیلاب طرح قرار می‌گیرد.

۳-۳-۹

نقشهٔ منطقهٔ سیل‌خیز

flood hazard map

نقشه‌ای که تیم تخصصی برای مشخص کردن نواحی سیل‌خیز ترسیم می‌کند.

۳-۳-۱۰

نقشه‌های نرخ بیمهٔ سیل

flood insurance rate map

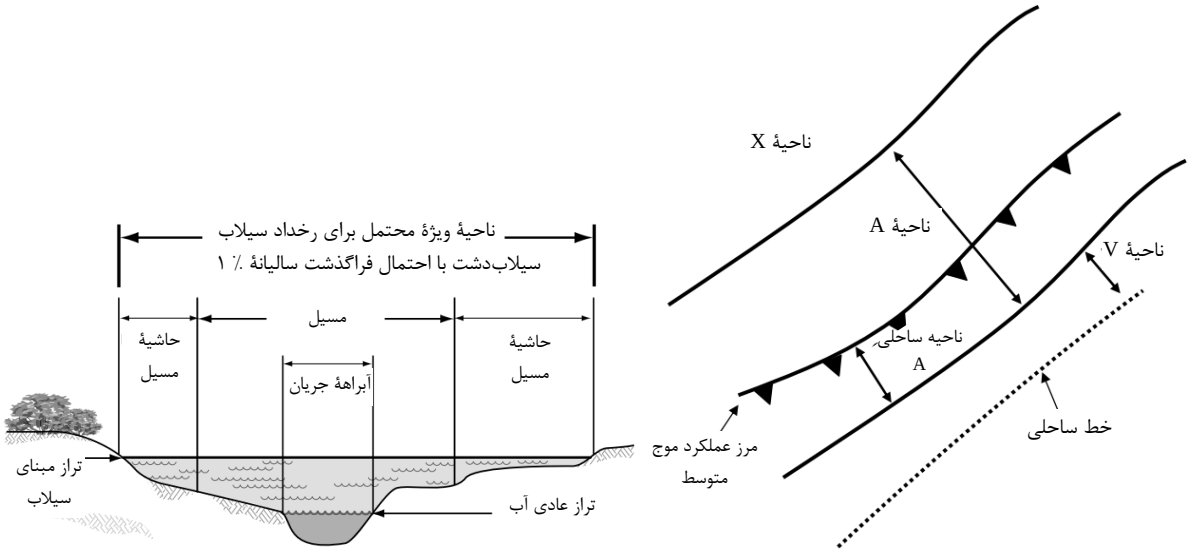
یک نقشـهٔ رسمی یک منطقه که در آن سـازمان بیمهٔ مرکزی، نواحی دارای قابلیت ویژه دارای مخاطرهٔ سیل و همچنین مناطق با خطرپذیری سیل را ترسیم می‌کند.

۳-۳-۱۱

منطقهٔ ویژهٔ خطر سیلاب

special flood hazard area

بخشی از سـرزمین که احتمال رخداد سـیلاب در آن بزرگ‌تر یا برابر با ٪ ۱ در یک سال مشـخص باشـد. این نواحی تحت عنوان ناحیـهٔ A یا ناحیـهٔ V شناخته می‌شوند. مناطق مورد اشـاره روی شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مشخص کردن نواحی A، V و X در منطقه سیل‌خیز

۳-۴ تعاریف و اصطلاحات مربوط به بار برف

۳-۴-۱

انباشت

drift

تجمع برف ناشی از وزش باد که منـجر به ایجـاد یک سـربار موضعی روی بام در موقعیت‌هایی نظیر جان‌پناه یا پله بام[1] می‌شود.

1- Roof step

۲-۴-۳

بار برف وارد بر بام تخت

flat roof snow load

به بار گستردهٔ یکنواخت ناشی از برف روی بام‌های تخت گفته می‌شود.

۳-۴-۳

سردخانه

freezer building

سازه‌هایی که دمای داخل آن‌ها پایین‌تر از دمای انجماد نگهداشته می‌شود. سازه‌هایی با یک لایهٔ هوا بین عایق بام در بالا و یک پوشش فضای منجمد سقف در پایین، به عنوان سردخانه تلقی نمی‌شوند.

۴-۴-۳

بار پوشش برف روی زمین

ground snow load

وزن ویژهٔ ساختگاه برف انباشته‌شده در تراز زمین به‌کار رفته برای تعیین بارهای برف روی سازه است. این بار عموماً بر اساس دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله تخمین زده می‌شود.

۵-۴-۳

آب‌انباشتگی

ponding

این تعریف مطابق با تعاریف مطرح شده در زیربند ۳-۵ (بار باران) است.

۶-۴-۳

ناپایداری مربوط به آب‌انباشتگی

ponding instability

این ناپایداری مطابق با تعاریف مطرح شده در زیربند ۳-۵ منظور می‌شود.

۷-۴-۳

مقدار R

R value

سنجه‌ای از مقاومت در برابر جریان حرارت در یک جزء یا بخشی از بام در واحد سطح است.

۸-۴-۳

سطح لغزش

slippery surface

غشاهایی با یک رویهٔ صاف نظیر شیشه، فلز یا لاستیک است

یادآوری- غشاهایی با سنگدانهٔ جاسازی‌شده یا یک رویهٔ دانه‌ای معدنی، یک سطح لغزنده محسوب نمی‌شوند.

۹-۴-۳

بار برف وارد بر بام شیب‌دار

sloped roof snow load

بار گستردهٔ وارد بر تصویر افقی بام شیب‌دار که به بار متوازن موسوم است.

۱۰-۴-۳

بام دارای تهویه

ventilated roof

بامی که اجازه می‌دهد هوای بیرونی به‌طور طبیعی بین سطح بام در بالا و لایه عایق در پایین در چرخش باشد. هوای بیرون به طور معمول از لبهٔ بام[1] به سمت رأس[2] جریان می‌یابد.

۵-۳ تعاریف و اصطلاحات مربوط به بار باران

۱-۵-۳

دهانهٔ باران‌گیر

bay

بخشی از بام که توسط ستون‌های مجاور یا دیوارهای سازهٔ مرزبندی شده است.

۲-۵-۳

زهکشی واپایش‌شده

controlled flow roof drain

سامانهٔ تنظیم‌کننده نرخ جریان زهکش‌های اصلی، سامانهٔ زهکشی واپایش‌شده نام دارد.

1- Eave
2- Ridge

۳-۵-۳

انباشت آب

ponding

جمع‌شدن آب ناشی از تغییرشکل (افتادگی) سازهٔ بام که باعث یک اضافه بار می‌شود.

۴-۵-۳

ناپایداری ناشی از انباشت آب

ponding instability

ناپایداری عضو ناشی از تغییرشکل (افتادگی) پیش‌رونده به‌علت تجمع آب روی بام، با ناپایداری ناشی از انباشت آب تعریف می‌شود.

۵-۵-۳

سامانهٔ زهکشی اصلی

primary drainage system

سامانهٔ زهکشی بام که در آن آب به‌طور عادی از بام خارج می‌شود.

۶-۵-۳

سامانهٔ زهکشی ثانویه برای بارگذاری سازه‌ای

secondary drainage system for structural loading (SDSL)

سامانهٔ جمع‌آوری آب سطحی بام به‌صورتی که آب از پشت بام تخلیه می‌شود، زمانی که سامانه‌های زهکشی ذکر شده در زیربند ۱۱-۱ موارد ۱ تا ۴ مسدود شده باشد یا به درستی عمل نکند.

۷-۵-۳

عضو ثانویه

secondary member

به‌منظور مقاصد زیربند ۱۱-۲، عضوی است که مستقیماً به ستون متصل نمی‌شود.

۳-۶ تعاریف و اصطلاحات مربوط به بار یخ

۳-۶-۱

اجزا و ملحقات

components and appurtenances

عناصر غیرسازه‌ای که ممکن است در معرض یخزدگی جوی قرار گیرند. به‌عنوان مثال می‌توان نردبان، نرده، آنتن، موجبر[1]، خطوط انتقال بسامد رادیویی، لوله، مجراهای برق[2] و سینی‌های کابل[3] را نام برد.

۳-۶-۲

باران یخزده

freezing rain

باران یا نم‌نم بارانی که در لایه‌ای از هوای زیر یخبندان در سطح زمین قرار می‌گیرد و در تماس با زمین یا جسمی به شکل یخ در می‌آید.

۳-۶-۳

پوستهٔ یخ

glaze

یخ شفاف و متراکم مثل شیشه، پوستهٔ یخ نامیده می‌شود.

۳-۶-۴

برف‌ریزه

hoarfrost

تجمع بلورهای یخ ناشی از تبدیل مستقیم بخار آب از هوا که روی یک جسم ایجاد می‌شود.

۳-۶-۵

سازه‌های حساس به یخ

ice-sensitive structures

سازه‌هایی هستند که تأثیر بار یخزدگی جوّی روی آن‌ها بر طراحی بخشی یا تمام سازه حاکم است. این اثر شامل دکل‌های خرپایی، دکل‌های مهار شده، خطوط بالاسری، سامانه‌های تعلیق سبک و پل‌های کابل‌ایستا، سامانه‌های کابل هوایی (نظیر آنچه در عملیات تله‌سیژ و انتقال اسکی‌بازان به‌کار می‌رود)، سازه‌های شهربازی، راهروها و سکوهای باز، میله‌های پرچم و تابلوها می‌شود اما صرفاً محدود به موارد ذکر شده نیست.

1- Wave guide
2- Electrical conduits
3- Cable trays

۳-۶-۶

یخ‌بندان ابری

in-cloud icing

این یخ‌زدگی زمانی اتفاق می‌افتد که ابر یا قطرات مه حمل‌شده توسط باد در برخورد با اجسام یخ می‌زند. در یخ‌بندان ابری معمولاً شبنم یخ‌زده ایجاد می‌شود اما ممکن است برف‌ریزه نیز ایجاد شود.

۳-۶-۷

شبنم یخ‌زده

rime

به یخ سفید یا مات با هوای محبوس، شبنم یخ‌زده گفته می‌شود.

۳-۶-۸

برف

snow

منظور، برفی است که با ترکیبی از نیروهای مویینگی، انجماد و هم‌جوشی به اجسام می‌چسبد.

۳-۷ تعاریف و اصطلاحات مربوط به بار باد

۳-۷-۱

سرعت مبنای باد، V

basic wind speed

سرعت مربوط به تندباد ۳ s در ارتفاع ۱۰ m از سطح زمین واقع در رده مواجهه C است (به زیربند ۴-۱۳ مراجعه شود).

۳-۷-۲

رده‌بندی محصورشدگی در برابر باد

enclosure classification

یک رده‌بندی صورت گرفته برای سازه‌ها در خصوص میزان محصورشدگی سازه به کمک عناصری نظیر سقف و دیوار است (به زیربند ۱۱-۱۳ مراجعه شود).

۳-۷-۳

سازهٔ انعطاف‌پذیر

flexible structure

سازه‌ای که دارای بسامد طبیعی کوچک‌تر از Hz ۱ باشد.

۴-۷-۳

سازهٔ صلب

rigid structure

سازه‌ای که دارای بسامد طبیعی بزرگ‌تر از Hz ۱ باشد.

۵-۷-۳

سازهٔ منظم

regular structure

سازه‌ای که دارای هیچ‌گونه نامنظمی هندسی در شکل فضایی خود نباشد.

۶-۷-۳

اجزا و پوشش‌های نما

C&C

components and cladding

عناصری از سازه، متعلقات یا تجهیزات که جزیی از سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد نباشد.

۷-۷-۳

نیروی طراحی سازه در برابر باد

F

design force

نیروی ایستای ارتجاعی برای تعیین بارهای باد وارد بر سازه، نیروی طراحی سازه در برابر باد نامیده می‌شود.

۸-۷-۳

فشار ناشی از سرعت باد

p

design pressure

فشار سرعتی باد به‌کار رفته در محاسبه بارهای باد وارد بر سازه است.

۳-۷-۹

روش مستقیم

directional procedure

روشی تحلیلی برای تعیین بارهای باد وارد بر سازه در راستاهای مشخص که در آن، ضـرایب فشار خارجی بر اساس آزمـون تونل باد روی مدل‌های آزمایشگاهی انجـام گرفته در گذشـته به‌منظور تعیین راسـتای متناظر باد مورد اسـتفاده قـرار می‌گیـرد. روش دیـگر، روش پوش[1] است که در این اسـتاندارد مورد استفاده نیست و در مورد سازه‌های ساختمانی کاربرد دارد.

۳-۷-۱۰

سازه با ارتفاع کم

low-rise structure

سازه‌ای با محصورشدگی کامل یا نسبی که ارتفـاع آن کوچک‌تر از ۱۸ m باشد و ارتفـاع آن از کوچک‌ترین بُعد افقی آن فراتر نرود.

۳-۷-۱۱

سازه با محصورشدگی کامل

enclosed structure

سازه‌ای مشابه ساختمان که کل بازشـوهای موجـود در دیـوار آن که فشـار بیـرونی مثبت را تحـمل می‌کند کوچک‌تر یا مساوی $0{,}4\ m^2$ یا ٪ ۱ سطح دیوار (هر کدام که کوچک‌تر باشد) است.

۳-۷-۱۲

سازهٔ فاقد محصورشدگی (باز)

open structure

سازهٔ مشابه ساختمان که هر دیوار آن حداقل دارای ٪ ۸۰ بازشو باشد.

1- Envelope

۳-۷-۱۳

سازه با محصورشدگی نسبی

partially enclosed structure

سازه‌ای که دارای دو شرط زیر باشد:

الف- کل بازشوهای یک دیوار که فشار بیرونی مثبت را تحمل می‌کند از مجموع سطوح بازشوها (سقف و دیوار) به میزان ٪ ۱۰ بزرگ‌تر باشد.

ب- کل سطح بازشوها در یک دیوار که فشار بیرونی مثبت را تحمل می‌کند از $0{,}4\ m^2$ یا ٪ ۱ سطح دیوار (هر کدام که کوچک‌تر است) بزرگ‌تر باشد و میزان بازشوها در کل سازه از ٪ ۲۰ فراتر نرود.

۳-۷-۱۴

سازهٔ نیمه‌باز

partially open structure

سازه‌ای که با الزامات سازهٔ باز، محصورشدهٔ نسبی یا محصورشدهٔ کامل تطابق نداشته باشد.

۳-۷-۱۵

سراشیبی

escarpment

نوع بلندی نظیر سینه‌کش که در صورت احداث سازه روی آن، نیروی باد به علت وجود این اثر عارضه‌نگاری باید مورد اصلاح قرار گیرد (به زیربند ۳-۷-۱۳ مراجعه شود).

۳-۷-۱۶

تپه

hill

نوعی بلندی که در صورت احداث سازه روی آن، باید نیروی باد به علت وجود این اثر عارضه‌نگاری مورد اصلاح قرار گیرد (به زیربند ۳-۷-۱۳ مراجعه شود).

۳-۷-۱۷

سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد

main wind force resisting system (MWFRS)

مجموعه‌ای از عناصر سازه‌ای اختصاص‌یافته برای تأمین باربری و پایداری کل سازه در برابر باد که بار باد را از بیش از یک سطح دریافت می‌کند.

۱۸-۷-۳

آزمون تونل باد

wind tunnel procedure

روشی برای تعیین بارهای باد وارد بر سازه‌ها که در آن فشارها، نیروها و لنگرها برای هر راستای باد از روی مدل آزمایشگاهی[1] سازه تعیین می‌شود (به زیربند ۱۳-۱۵ مراجعه شود).

۸-۳ تعاریف مربوط به بار انفجار

۱-۸-۳

زاویهٔ برخورد موج انفجار

angle of incidence

زاویهٔ بین راستای اصابت موج انفجار و یک سطح تخت، زاویهٔ برخورد موج انفجار نامیده می‌شود.

۲-۸-۳

موج انفجار

blast wave

یک تغییر گذرا در چگالی، فشار و سرعت هوا در اطراف منشأ انفجار است.

۳-۸-۳

مدت تداوم

duration

زمانی که از ابتدای ایجاد تغییر در فشار هوا تا برگشتن به فشار جو طول می‌کشد.

۴-۸-۳

ضریب افزایش مقاومت دینامیکی

dynamic increase factor (DIF)

نسبت مقاومت دینامیکی به ایستایی که برای محاسبهٔ اثر یک بار ناگهانی به مقاومت یک عنصر سازه‌ای به کار می‌رود.

1- Prototype

۳-۸-۵

واکنش‌های دینامیکی

dynamic reactions

واکنش تکیه‌گاهی یک جزء سازه‌ای ناشی از بارگذاری دینامیکی انفجار با منظورکردن اثرات اینرسی است.

۳-۸-۶

نسبت شکل‌پذیری

ductility ratio

نسبت بیشینه تغییرشکل عنصر تحت بار انفجار به بیشینه تغییرشکل ارتجاعی است.

۳-۸-۷

ضربهٔ ترکش

fragment impact

به برخورد قطعات حاصل از انفجار به عناصر سازه گفته می‌شود.

۳-۸-۸

میدان آزاد

free field

موج‌های انفجاری هوایی یا زمینی که بدون مانع در مسیر موج حرکت می‌کنند.

۳-۸-۹

ضربه

impulse

سطح زیر نمودار اضافه‌فشار انفجار برحسب زمان، ضربه یا تکانه نامیده می‌شود.

۳-۸-۱۰

اضافه‌فشار جانبی تصادفی

incident side-on overpressure

خیزش فشار اولیه، فراتر از فشار جو، که توسط موج ضربه‌ای یا موج فشاری ایجاد می‌شود و بر یک سطح تخت قرار گرفته به موازات راستای انتشار موج وارد می‌شود.

۳-۸-۱۱

سطح حفاظت

LOP

level of protection

ترازی از حفاظت سازه و تأسیسات در برابر انفجار که بر اساس مطالعات پدافند غیرعامل تعیین می‌شود.

۳-۸-۱۲

فاز منفی انفجار

negative phase

بخشی از تاریخچه زمانی فشار که عموماً در پی فاز (اضـافه‌فشار) مثبت ایجاد می‌شود که در آن، فشار از فشار جو پایین‌تر است (ایجاد مکش).

۳-۸-۱۳

اضافه‌فشار

overpressure

خیزش فشار ناشی از انفجار فراتر از فشار جو ناشی از موج ضربه‌ای یا موج فشاری است.

۳-۸-۱۴

اضافه‌فشار بازتابی

reflected overpressure

خیزش فشار که توسط موج ضربه‌ای یا موج فشاری ایجـــاد می‌شـود و بر یک سطح تخت قرار گرفته عمود بر راستای انتشار موج وارد می‌شود.

۳-۸-۱۵

موج ضربه‌ای

shockwave

یک موج انفجار که موجب خیزش آنی در فشار هوا می‌شود.

۳-۸-۱۶

فشار جانبی

side-on pressure

خیزش در فشار هوا فراتر از فشـار جو ناشی از یک موج ضـربه‌ای که بدون مانع در هر سطحی که رو به منبع انفجار نباشد (دیوار یا سقف) ایجاد می‌شود.

۳-۸-۱۷

انتقال آزاد

sidesway

جابه‌جایی جانبی یک سازه ناشی از بارهای قائم یا افقی، انتقال آزاد نام دارد.

۳-۸-۱۸

ضریب افزایش مقاومت

strength increase factor (SIF)

نسبت مقاومت واقعی به مقاومت اسمی یک مصالح، ضریب افزایش مقاومت نامیده می‌شود. این ضریب، میزان محافظه‌کاری در فرآیند ساخت مصالح را منظور می‌کند.

۳-۸-۱۹

تی‌ان‌تی

TNT

تری‌نیتروتولوئن، یک مادهٔ انفجـاری قوی است که به عنـوان مبنایی برای نمودارهای توصیف‌کننده آثار انفجار بر سازه‌ها به‌کار می‌رود.

۳-۸-۲۰

تی‌ان‌تی معادل

TNT equivalent

میـزانی از TNT، که آثـار انفـجاری مشـابه با مقـدار واقعـی ماده انفـجاری مورد بررسـی را ایـجاد می‌کند. یک معادل‌سـازی بیـن دو ماده منفـجره را می‌توان با برابر قرار دادن مقـدار انرژی آزادشده یا برقراری ارتباط بین ترازهای آسیب مشاهده‌شده انجام داد.

۲۱-۸-۳

ظرفیت نهایی

ultimate capacity

بار اعمال شده به یک عنصر سازه‌ای تا تشکیل آخرین مفصل خمیری یا ایجاد سازوکار فروریزش، ظرفیت نهایی نامیده می‌شود.

۲۲-۸-۳

مقاومت نهایی

ultimate strength

روش طراحی که در آن اعضای سازه‌ای بر اساس کل ظرفیت مقاطع به‌جای مقادیر تنش‌های دورترین تار، طرح می‌شوند.

۲۳-۸-۳

پدافند غیرعامل

passive defense

مجموعه‌ای از اقدامات غیرمسلحانه که موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، سازه‌ها و تأسیسات، تجهیزات، سرمایه‌ها، اسناد و شریان‌های کشور در مقابل عملیات و تهدیدات دشمن شود.

۳-۹ نمادها و کوته‌نوشت‌ها

۳-۹-۱ نمادها و کوته‌نوشت‌های مربوط به بار مرده

D بار مرده؛

F_x کمینه نیروی جانبی طراحی وارد بر تراز x یک سازه و مورد استفاده برای ارزیابی یکپارچگی سازه‌ای طبق زیربند ۴-۳-۳؛

L بار زنده؛

N بار مجازی[1] برای سنجش یکپارچگی سازه‌ای؛

R بار باران؛

S بار برف؛

W_x سهمی از کل بار مردهٔ سازه، D، واقع بر تراز x.

1- Notional load

۳-۹-۲ نمادها و کوته‌نوشت‌های مربوط به ترکیب‌های بار

A_k بار یا اثر بار ناشی از رخداد فوق‌العاده k (مانند انفجار)؛

D بار مرده؛

D_i وزن یخ؛

E بار زلزله؛

E_h مؤلفهٔ افقی زلزله؛

E_v مؤلفهٔ قائم زلزله؛

E_{mh} زلزله شامل آثار اضافه‌مقاومت؛

F بار ناشی از فشار آب‌ایستای سیال در حالت ارتفاع بیشینه؛

F_a بار سیل؛

H بار ناشی از فشار جانبی خاک، فشار آب زیرزمینی یا فشار مواد انباشته؛

L بار زنده؛

L_r بار زنده بام؛

N بار مجازی برای یکپارچگی سازه‌ای، زیربند ۴-۳؛

T اثر تجمعی نیروهای خودکرنشی و آثار ناشی از انقباض یا انبساط مربوط به تغییرات دمای محیطی یا تغییرات دمای بهره‌برداری، جمع‌شدگی، تغییرات رطوبت، خزش در مصالح اجزا، جابه‌جایی ناشی از نشست غیر یکنواخت یا ترکیب هر یک از آن‌ها؛

W بار باد طبق بند ۱۳؛

W_i بار باد وارد بر یخ طبق بند ۱۲.

۳-۹-۳ نمادها و کوته‌نوشت‌های مربوط به بار برف

C_e ضریب برف‌گیری تعیین شده از جدول ۹؛

C_s ضریب شیب طبق شکل ۵؛

C_t ضریب شرایط دمایی طبق جدول ۱۰؛

h فاصله جدایش قائم بین لبهٔ بام بلندتر با جان‌پناه و لبهٔ بام پایین‌تر بدون جان‌پناه برحسب m؛

h_b ارتفاع بار برف متوازن حاصل از تقسیم p_s بر γ برحسب m؛

h_c ارتفاع خالص نزدیک‌ترین نقطهٔ بام مجاور بالاتر از برف متوازن روی بام پایین‌تر برحسب m؛

h_d ارتفاع انباشت برف برحسب m؛

h_{d1} یا h_{d2} ارتفاع انباشت‌های برف جایی که دو انباشت برف متقاطع بتواند تشکیل شود برحسب m؛

h_0 ارتفاع دست‌انداز بالای سطح بام برحسب m؛

I_s ضریب اهمیت سازه برای بار برف ذکرشده در زیربند ۱۰-۲-۳ (جدول ۵)؛

l_u طول بام در راستای رو به باد انباشت برف برحسب m؛

p_d بیشینه شدت سربار انباشت برف برحسب kPa؛

p_f بار برف روی بام‌های تخت (با شیب کوچک‌تر از $^\circ$ ۵) برحسب kPa؛

p_g بار برف زمین طبق شکل ۴ و جدول ۷، جدول ۸ یا تحلیل ویژه ساختگاه برحسب kPa؛

p_m بیشینه بار برف برای بام‌های دارای شیب کم برحسب kPa؛

$p_{m,max}$ حد بالایی کمینه بار برف برحسب kPa؛

p_s بار برف متوازن روی بام شیب‌دار برحسب kPa؛

s فاصله جدایش افقی بین لبه‌های دو سازهٔ مجاور برحسب m؛

R_{roof} مقاومت حرارتی بام برحسب m^2K/W؛

S شیب بام به ازای جلوآمدگی برابر با واحد؛

U_{roof} ضریب انتقال حرارتی بام برحسب W/m^2K؛

w پهنای برف انباشته‌شده برحسب m؛

w_1 یا w_2 پهنای انباشت برف جایی که دو انباشت برف متقاطع بتواند تشکیل شود برحسب m؛

W فاصلهٔ افقی از لبهٔ بام تا رأس آن برحسب m؛

W_2 درصد زمانی سرعت باد بزرگ‌تر از ۴٫۵ m/s در فصول سرد سال؛

γ وزن مخصوص برف که از رابطهٔ (۱۶) تعیین می‌شود برحسب kN/m^3؛

θ شیب بام روی وجه پشت به باد برحسب $^\circ$.

۳-۹-۴ نمادها و کوته‌نوشت‌های مربوط به بار باران

d_h ارتفاع آب مازاد روی بام تغییرشکل‌نیافته بالای ورودی سامانهٔ زهکشی ثانویه در جریان طرح (ارتفاع هیدرولیکی) برحسب mm (این بخش نیازمند وجود اطلاعات در مورد میزان بارندگی است)؛

d_s ارتفاع آب روی بام تغییرشکل‌نیافته تا ورودی سامانهٔ زهکشی ثانویه به هنگام مسدود بودن سامانهٔ زهکشی اصلی (ارتفاع ایستا) برای بارگذاری سازه‌ای برحسب mm؛

d_p عمق آب انباشته شده روی بام تغییرشکل‌یافته در معرض بار باران و بار مردهٔ بدون ضریب برحسب mm؛

L_s دهانهٔ اعضای ثانویه برحسب mm؛

S فواصل اعضای ثانویه برحسب mm؛

R بار باران روی بام تغییرشکل‌نیافته. برحسب kPa. وقتی که عبارت بام تغییرشکل‌نیافته به کار می‌رود، تغییرشکل‌های ناشی از سایر بارها (شامل بارهای مرده) را نباید در مقدار باران روی بام منظور نمود.

۳-۹-۵ نمادها و کوته‌نوشت‌های مربوط به بار یخ

A_i سطح مقطع یخ برحسب m^2؛

A_s مساحت یک طرف ورق تخت و مساحت تصویرشدهٔ اشکال پیچیده برحسب m^2؛

D قطر یک سازه یا عضو دایره‌ای شکل تعریف‌شده در بند ۱۳ (بار باد) برحسب m؛

D_c قطر استوانه محیط بر مقطع سازه‌ای و یا جزء منشوری برحسب m؛

f_z ضریب افزایش ضخامت یخ با ارتفاع (ضریب ارتفاع)؛

I_i ضریب اهمیت برای ضخامت یخ از جدول ۵ بر اساس ردهٔ خطرپذیری تعریف‌شده در جدول ۴؛

I_w ضریب اهمیت برای فشار باد هم‌زمان جدول ۵ بر اساس ردهٔ خطرپذیری تعریف‌شده در جدول ۴؛

K_{zt} ضریب عارضه‌نگاری تعریف شده در بند ۱۳ (بار باد)؛

q_z فشار سرعتی باد در ارتفاع z از سطح زمین تعریف‌شده در بند ۱۳ (بار باد) برحسب Pa؛

r شعاع بزرگ‌ترین سطح مقطع گنبد یا شعاع یک کُره؛

t ضخامت اسمی یخ روی یک استوانه ناشی از یخ‌زدگی باران در ارتفاع m ۱۰ (که با مطالعات ویژه ساختگاه تعیین می‌شود) برحسب mm؛

t_d ضخامت طراحی یخ برحسب mm؛

V_c سرعت باد همزمان که از مطالعات ویژهٔ ساختگاه تعیین می‌شود برحسب m/s؛

V_i حجم یخ برحسب mm^3؛

z ارتفاع از سطح زمین برحسب m؛

ε نسبت پوشیده بودن[1].

۳-۹-۶ نمادها و کوته‌نوشت‌های مربوط به بار باد

A مساحت مؤثر بادگیر برحسب m^2؛

A_f مساحت سازه‌های باز عمود بر راستای باد یا تصویرشده روی صفحه‌ای عمود بر راستای باد برحسب m^2؛

A_s سطح ناخالص دیوار پوشیده خودایستا یا تابلوی پوشیده برحسب m^2؛

a پهنای ناحیه ضریب فشار برحسب m؛

B بعد افقی سازه عمود بر راستای باد برحسب m؛

$\bar{b}$ ضریب میانگین سرعت ساعتی باد در رابطهٔ (۴۱) طبق جدول ۲۱؛

$\hat{b}$ ضریب تندباد s ۳ طبق جدول ۲۱؛

c ضریب شدت تلاطم در رابطهٔ (۳۱) طبق جدول ۲۱؛

C_f ضریب نیرو برای تعیین بارهای باد در سازه‌های غیرساختمانی؛

D قطر سازه یا عضو دایره‌ای شکل برحسب m؛

F نیروی باد طراحی برای سازه‌های غیرساختمانی برحسب N؛

G ضریب اثر تندباد در سازه‌های صلب؛

G_f ضریب اثر تندباد برای سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد در سازه‌های انعطاف‌پذیر؛

(GC_p) حاصل‌ضرب ضریب فشار خارجی و ضریب اثر تندباد در تعیین بارهای باد؛

1- Solidity Ratio

(GC_{pi}) حاصل‌ضرب ضریب فشار داخلی و ضریب اثر تندباد در تعیین بارهای باد؛

(GC_{pf}) حاصل‌ضرب ضریب فشار خارجی معادل و ضریب اثر تندباد برای تعیین بارهای باد وارد بر سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد (MWFRS) در ساختمان‌های کوتاه؛

g_Q ضریب بیشینه برای پاسخ پیش‌زمینه در روابط (۳۰) و (۳۴)؛

g_R ضریب بیشینه برای پاسخ تشدید در رابطهٔ (۳۴)؛

g_v ضریب بیشینه برای پاسخ پیش‌زمینه در روابط (۳۰) و (۳۴)؛

H ارتفاع تپه، برآمدگی یا سراشیبی در شکل ۲۳ برحسب m؛

H ارتفاع استوانه توپر نشان‌داده‌شده در شکل ۲۶ برحسب m؛

h میانگین ارتفاع بام یک سازه. لازم به ذکر است که برای زاویهٔ بام کوچک‌تر یا مساوی ۱۰ درجه، ارتفاع رأس بام باید به کار رود برحسب m؛

I_w ضریب اهمیت سازه برای بار باد؛

I_z شدت تلاطم طبق رابطهٔ (۳۱)؛

K_1، K_2 و K_3 ضرایب تعریف شده در شکل ۲۳؛

K_d ضریب جهت‌دهی باد در جدول ۱۸؛

K_e ضریب ارتفاع زمین؛

K_h ضریب مواجهه با فشار سرعتی باد برآوردشده در ارتفاع $z = h$؛

K_z ضریب مواجهه با فشار سرعتی باد برآوردشده در ارتفاع z؛

K_{zt} ضریب عارضه‌نگاری تعریف شده در زیربند ۱۳-۷-۲؛

L طول افقی یک سازه به موازات جهت وزش باد، فواصل پایه‌ها در سازهٔ نگهدارنده لوله یا سینی کابل برحسب m؛

L_h فاصلهٔ رو به باد تاج تپه، برآمدگی یا سراشیبی در شکل ۲۳ تا جایی که اختلاف در تراز زمین نصف ارتفاع تپه، برآمدگی یا سراشیبی باشد برحسب m؛

L_z مقیاس طول یکپارچه تلاطم برحسب m؛

l مقیاس طول یکپارچه از جدول ۲۱ برحسب m؛

N_1 بسامد کاهش‌یافته از رابطهٔ (۳۸) ؛

n_1 بسامد اصلی نوسان برحسب Hz؛

n_a بسامد طبیعی تقریبی کران پایین از زیربند ۱۳-۱۰-۲ برحسب Hz؛

Q ضریب پاسخ پیش‌زمینه در رابطهٔ (۳۲)؛

q فشار سرعتی باد برحسب Pa؛

q_h فشار سرعتی باد برآوردشده در ارتفاع $z = h$ برحسب Pa؛

q_i فشار سرعتی باد برای تعیین فشار داخلی سازه برحسب Pa؛

q_z فشار سرعتی باد برآورد شده در ارتفاع z برحسب Pa؛

R ضریب پاسخ تشدید طبق رابطهٔ (۳۶)؛

r نسبت بلندی به دهانه در بام‌های قوسی؛

R_B، R_h و R_L مقادیر حاصل از روابط (۳۹)؛

s بعد قائم دیوار خودایستا یا تابلوی پوشیده در شکل ۲۴؛

V سرعت مبنای باد به دست آمده از جدول ۱۷ که متناظر با سرعت تندباد ۳ s در ارتفاع ۱۰ m از سطح زمین در رده مواجهه C است برحسب m/s؛

$\overline{V}_{\bar{z}}$ سرعت میانگین ساعتی باد در ارتفاع $\bar{z}$ برحسب m/s؛

W عرض سازهٔ نگهدارندهٔ لوله یا سینی کابل برحسب m؛

x فاصلهٔ رو به باد یا پشت به باد تاج در شکل ۲۳ برحسب m؛

Z ارتفاع تا مرکز سطح تصویرشدهٔ یک سازهٔ دایره‌ای شکل در شکل ۲۶ برحسب m؛

z ارتفاع بالای تراز زمین برحسب m؛

$\bar{z}$ ارتفاع معادل سازه برحسب m؛

z_e ارتفاع اسمی لایهٔ مرزی جو به‌کاررفته در این استاندارد (مقادیر مندرج در جدول ۲۱) ؛

z_{min} ثابت مواجهه در جدول ۲۱؛

α زاویهٔ راستای باد تا نقطه‌ای روی دیواره یک ظرف، سیلو یا مخزن در شکل ۲۶ برحسب درجه (°)؛

$\hat{\alpha}$ معکوس ضریب α در جدول ۲۱؛

$\bar{\alpha}$ توان مربوط به سرعت میانگین ساعتی باد در رابطهٔ (۴۱) از جدول ۲۱؛

β نسبت میرایی سازه؛

ε نسبت سطح توپر به سطح ناخالص در دیوار خودایستای توپر، تابلوی توپر، تابلوی باز، یک وجه یک برج خرپایی (نظیر دکل انتقال نیرو)؛

$\bar{\varepsilon}$ توان مربوط به مقیاس طول یکپارچه ساعتی باد در رابطهٔ (۳۳) از جدول ۲۱؛

η مقدار به‌کاررفته در روابط (۳۹) (زیربند ۱۳-۱۰-۵ ملاحظه شود)؛

θ زاویهٔ صفحهٔ بام نسبت به افق برحسب درجه (°)؛

ν نسبت ارتفاع به پهنا در تابلوی توپر.

۳-۹-۷ نمادها و کوته‌نوشت‌های مربوط به بار انفجار

a_H شتاب افقی؛

a_V شتاب قائم؛

a_θ شتاب دورانی؛

B_L طول سازه در معرض انفجار؛

B_H ارتفاع سازه در معرض انفجار؛

B_w عرض سازه در معرض انفجار؛

C_e ضریب کاهشی اضافه‌فشار در انتهای نزدیک دیوار؛

C_d ضریب پسا؛

C_r ضریب بازتاب انفجار؛

c یک عدد ثابت بین ۰٫۲ و ۰٫۵ بسته به میزان P_{so}؛

F_H نیروی دینامیکی افقی؛

F_v نیروی دینامیکی قائم؛

F_θ نیروی دینامیکی دورانی؛

g شتاب ثقل؛

h فاصله از کف پی تا مرکز ثقل سازه؛

I_w ضربه؛

I_o^- ضربهٔ منفی متناظر؛

K_H سختی افقی خاک زیر پی؛

K_V سختی قائم خاک زیر پی؛

K_θ سختی دورانی خاک زیر پی؛

L_w طول موج انفجار؛

M جرم سازهٔ مستقر بر شالوده؛

M_θ ممان اینرسی جرمی حول مرکز ثقل؛

P اضافه‌فشار حداکثر انفجار که به اجزای تحت بررسی اختصاص می‌یابد؛

P_a اضافه‌فشار میانگین وارد بر دیوار روبروی انفجار؛

P_b اضافه‌فشار وارد بر دیوار پشت به انفجار؛

P_o فشار هوای محیط؛

P_{so} بیشینه اضافه‌فشار؛

P_{so}^+ بیشینه اضافه‌فشار فاز مثبت؛

P_{so}^- بیشینه اضافه‌فشار فاز منفی؛

P_r بیشینه فشار انعکاس‌یافته؛

q_o بیشینه فشار دینامیکی؛

R فاصله از منبع انفجاری، مقاومت دینامیکی مورد نیاز اجزای سازه‌ای که به عنوان بار ایستایی معادل با مدت زمان و فشار ناشی از انفجار در نظر گرفته می‌شود؛

S طول سازه در معرض انفجار، فاصلهٔ تسطیح؛

T زمان تناوب ارتعاش سازه یا عنصر مورد بررسی؛

t تابع اضافه‌فشار نسبت به زمان؛

t_o زمان تداوم بار انفجار؛

t_c زمان تسطیح؛

t_d مدت زمان فاز مثبت (میدان آزاد)؛

t_d^- مدت زمان فاز منفی؛

t_e مدت تداوم مثلث معادل؛

t_r زمان خیزش؛

U سرعت موج پیش‌رونده انفجار؛

W جرم مادهٔ منفجره معادل TNT؛

X_m جابه‌جایی دینامیکی بیشینهٔ سازه؛

X_y جابه‌جایی مؤثر در تسلیم اولیهٔ سازه؛

y_H تغییرشکل افقی شالوده؛

y_V تغییرشکل قائم شالوده؛

y_θ دوران شالوده؛

Z فاصله مقیاس‌شده؛

α زاویهٔ برخورد بر حسب درجه ($^\circ$)؛ ضریب جذب انرژی و برابر با $2\delta_m-1$؛

δ_m ضریب جابه‌جایی بیشینه و برابر با X_m/X_y؛

τ ضریب تداوم و برابر با t_o/T؛

$\{a\}$ بردار شتاب؛

$[C]$ ماتریس میرایی سازه؛

$\{F(t)\}$ تابع بارگذاری انفجاری برحسب زمان؛

$[K]$ ماتریس سختی سازه؛

$\{v\}$ بردار سرعت؛

$[M]$ ماتریس جرم سازه؛

$\{y\}$ بردار جابه‌جایی؛

۴ کلیات

۴-۱ اصول کلی

در این بند، کلیات بارهای مطرح در طراحی سازه‌های غیرساختمانی بیان می‌شود. رده‌بندی اهمیت، رده‌های خطرپذیری و روش‌های قابل قبول طراحی سازه‌ها در این بند مورد اشاره قرار می‌گیرد. در این بند الزامات مبنا، انسجام کلی سازه‌ای، رده‌بندی خطرپذیری سازه‌ها، توسعه و انجام تغییرات در سازه‌های موجود، آزمایش‌های بارگذاری، استانداردها و سایر مدارک مورد توافق طرفین تشریح می‌شود.

۴-۲ الزامات مبنا

۴-۲-۱ سختی و مقاومت

۴-۲-۱-۱ اصول کلی

سازه‌ها و اجزای آن‌ها باید با سختی و مقاومت کافی برای تأمین پایداری سازه‌ای، جهت محافظت از سامانه‌ها و عناصر غیرسازه‌ای و الزامات بهره‌برداری مندرج در زیربند ۴-۲-۲ طراحی و اجرا شوند.

مقاومت قابل پذیرش باید با یکی از روش‌های طراحی زیر تأمین شود:

الف- روش ضرایب بار و مقاومت[1] طبق زیربند ۴-۲-۱-۲؛

ب- روش تنش مجاز[2] یا مقاومت مجاز[3] طبق زیربند ۴-۲-۱-۳؛

پ- روش مبتنی بر عملکرد[4] طبق زیربند ۴-۲-۱-۴.

برای بخش‌های متفاوت یک سازه، می‌توان از روش‌های مختلف فوق با توجه به محدودیت‌های بند ۵ استفاده نمود. اگر مقاومت برای رویدادهای فوق‌العاده (مانند زلزله و انفجار) مدنظر باشد، روش‌های زیربند ۵-۴ باید مدنظر قرار داده شود.

۴-۲-۱-۲ طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت

اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و اتصالات آن‌ها باید مقاومت کافی برای تحمل کلیهٔ ترکیب‌های بارگذاری مندرج در بند ۵ را بدون آنکه از حالات حدی مقاومت تجاوز شود دارا باشند.

۴-۲-۱-۳ طراحی به روش تنش مجاز یا مقاومت مجاز

اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و اتصالات آن‌ها باید مقاومت کافی برای تحمل کلیهٔ ترکیبات بارگذاری مندرج در زیربند ۵-۳ این استاندارد را بدون آنکه از حدود مجاز تنش یا مقاومت تعیین شده تجاوز شود دارا باشند.

۴-۲-۱-۴ طراحی به روش مبتنی بر عملکرد

اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و اتصالات آن‌ها را می‌توان با روش مبتنی بر عملکرد به کمک روش تحلیل مندرج در زیربند ۵-۲ یا روش‌های تحلیل مبتنی بر آزمون برای تأمین قابلیت اعتماد که با قابلیت اعتماد هدف مطرح‌شده در این استاندارد سازگار است طراحی کرد. عناصر سازه‌ای و غیرسازه‌ای در معرض بار مرده، زنده، محیطی و سایر بارها به‌جز زلزله، سونامی، سیل و بارهای مربوط به رویدادهای فوق‌العاده باید بر اساس قابلیت‌های هدف مندرج در جدول ۱ طراحی شوند. سامانه‌های سازه‌ای در معرض زلزله

1- Load & Resistance Factor Design (LRFD)
2- Working Stress Design (WSD)
3- Allowable Stress Design (ASD)
4- Performance-Based Design (PBD)

باید بر اساس قابلیت‌های اعتماد مندرج در جدول ۲ و جدول ۳ طـراحی گردنـد. باید روش‌های تحلیـل مورد استفاده، عدم قطعیت‌های بار و مقاومت را منظور کند.

روش‌های آزمون مطرح شده در زیربند ۴-۲-۱-۴-۲ باید برای هر پروژه به‌طور منحصربفـرد به‌کار رود و نباید به‌صورت عمومی برای تعیین مقادیر مقاومت مصالح به‌کاررفته در سامانهٔ سازه‌ای مورد استفاده قرار داده شود.

سازه‌ها و اجزای غیرسازه‌ای باید الزامات بهره‌برداری و کارایی زیربند ۴-۲-۲ و زیربند ۴-۲-۳ را برآورده کند.

برای ضوابط طراحی سازه‌ها و تأسیسات در معرض سونامی باید مطابق با الزامات منبع [1] عمل شود.

جدول ۱- قابلیت اعتماد هدف (احتمال فراگذشت شکست سالانه، P_F) و شاخص‌های قابلیت اعتماد مربوطه، β [1]، برای ترکیبات باری که شامل زلزله، سونامی و سایر رخدادهای فوق‌العاده[2] نیست

مبنا	ردهٔ خطرپذیری			
	۱	۲	۳	۴
شکستی که ناگهانی نیست و منجر به گسترش پیش‌رونده آسیب نمی‌شود	در سال $P_F=1.25\times10^{-5}$ $\beta=2.5$	در سال $P_F=3.0\times10^{-5}$ $\beta=3.0$	در سال $P_F=1.25\times10^{-5}$ $\beta=3.25$	در سال $P_F=5.0\times10^{-6}$ $\beta=3.5$
شکستی که یا ناگهانی است و یا منجر به گسترش پیش‌رونده آسیب می‌شود	در سال $P_F=3.0\times10^{-5}$ $\beta=3.0$	در سال $P_F=5.0\times10^{-6}$ $\beta=3.5$	در سال $P_F=2.0\times10^{-6}$ $\beta=3.75$	در سال $P_F=7.0\times10^{-7}$ $\beta=4.0$
شکستی که ناگهانی است و منجر به گسترش پیش‌رونده آسیب می‌شود	در سال $P_F=5.0\times10^{-6}$ $\beta=3.5$	در سال $P_F=7.0\times10^{-7}$ $\beta=4.0$	در سال $P_F=2.5\times10^{-7}$ $\beta=4.25$	در سال $P_F=1.0\times10^{-7}$ $\beta=4.5$

یادآوری ۱- شاخص‌های قابلیت اعتماد هدف برای یک دورهٔ مرجع ۵۰ ساله به‌دست آمده و احتمال شکست به‌صورت سالانه تعیین گردیده است. روابط ارائه‌شده در زیربند ۵-۲-۶ مبتنی بر شاخص‌های قابلیت اعتماد برای ۵۰ سال است، زیرا الزامات ترکیب بار در زیربند ۵-۲-۲ بر مبنای بارهای بیشینه در دورهٔ زمانی مرجع ۵۰ ساله تنظیم شده است.

یادآوری ۲- تفسیر زیربند 2.5 استاندارد ASCE7 شامل مراجعی است که تاریخچهٔ تعیین قابلیت‌های اعتماد هدف را توصیف می‌کند.

جدول ۲- قابلیت اعتماد هدف (احتمال شکست) برای پایداری سازه‌ای ناشی از زلزله

ردهٔ خطرپذیری	احتمال شکست ناشی از خطر لرزه‌ای تحت زلزلهٔ نادر (MCE_R) (٪)
۱ و ۲	۱۰
۳	۵
۴	۲٫۵

جدول ۳- قابلیت اعتماد هدف (احتمال شکست) برای عناصر سازه‌ای غیر بحرانی ناشی از زلزله

ردهٔ خطرپذیری	احتمال شکست جزء یا مهار ناشی از خطر لرزه‌ای تحت زلزلهٔ نادر (MCE_R) (٪)
۱ و ۲	۲۵
۳	۱۵
۴	۹

۴-۲-۱-۴-۱ روش‌های تحلیل

تحلیل سازه باید بر اساس روش‌های معتبر مبتنی بر اصول پذیرفته‌شده مکانیک مهندسی صورت پذیرد و باید کلیهٔ عوامل مهم تغییرشکل و مقاومت را منظور نماید. فرضیات سختی، مقاومت، میرایی و سایر مشخصات اجزا و اتصالات در تحلیل، باید مبتنی بر داده‌های پذیرفته‌شده آزمون یا استانداردهای مرجع باشد.

۴-۲-۱-۴-۲ آزمون

آزمون به‌کار رفته برای تصدیق قابلیت عملکردی اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و اتصالات آن‌ها تحت بارهای وارده باید به‌دقت بیانگر وضعیت مصالح، پیکربندی، روش اجرا، شدت بارگذاری و شرایط مرزی پیش‌بینی شده برای سازه باشد. در صورت وجود یک استاندارد و رویهٔ صنعتی که حاکم بر آزمون اجزای مشابه است، برنامهٔ آزمون و تعیین مقادیر طراحی از برنامهٔ آزمون باید مطابق با آن استانداردها و رویه‌های صنعتی باشد. در صورت عدم وجود این استانداردها و رویه‌ها، نمونه‌ها باید در مقیاسی مشابه مقیاس کاربرد موردنظر ساخته شوند مگر آنکه بتوان نشان داد که آثار مقیاس، تأثیر قابل توجهی روی عملکرد مشخص شده ندارد. ارزیابی نتایج آزمون باید بر مبنای مقادیر به دست‌آمده از حداقل سه آزمون باشد به شرطی که انحراف به دست‌آمده از هر آزمون مجزا، بیشتر از ٪ ۱۵ از مقدار میانگین کلیه آزمون‌ها نباشد. چنانچه این انحراف از مقدار میانگین برای هر آزمون از ٪ ۱۵ فراتر رود، باید آزمون‌های بیشتر تا آنجا ادامه یابد که انحراف نتیجه به‌دست آمده از هیچ یک از آزمون‌ها از ٪ ۱۵ بیشتر نشود یا آنکه حداقل شش آزمون انجام پذیرد. هیچ آزمونی نباید حذف شود مگراینکه یک منطق برای این حذف آزمون مدنظر قرار داده شود. گزارش‌های آزمون باید شامل موارد زیر باشد:

- موقعیت؛
- زمان و تاریخ آزمون؛
- مشخصات نمونهٔ تحت آزمون؛
- تجهیزات آزمایشگاهی؛
- پیکربندی آزمون؛
- بار اعمالی؛

- تغییرشکل تحت بار؛ و
- رخداد هرگونه آسیب وارد بر نمونه در طی بارگذاری؛
- تغییرشکل در هر آسیب.

۴-۲-۱-۴-۳ مستندسازی

رویه‌های به‌کاررفته برای انطباق با این زیربند و نتایج تحلیل و آزمون باید در یک یا چند گزارش، مستندسازی شود و به تأیید مرجع صلاحیت‌دار برسد.

۴-۲-۱-۴-۴ بازبینی تخصصی

رویه‌ها و نتایج تحلیل، آزمون و محاسبات به‌کاررفته برای این بخش بهتر است در قالب یک گروه بازبینی تخصصی توسط مرجع صلاحیت‌دار بررسی شود. این شخص متشکل از یک یا چند فرد دارای تجربه و دانش کافی برای ارزیابی انطباق شامل دانش عملکرد مورد انتظار، رفتار سازه و اجزای سازه‌ای، بارهای منظورشده، نوع تحلیل سازه‌ای انجام شده، مصالح ساختمانی، آزمون آزمایشگاهی عناصر و اجزا برای تعیین مقاومت سازه‌ای و خصوصیات عملکردی است. این بازبینی متشکل از فرضیات، معیارها، رویه‌ها، محاسبات، مدل تحلیل، برپایی آزمایش[1]، داده‌های آزمون، نقشه‌ها و گزارش‌های نهایی است. پس از تکمیل رضایت‌بخش مدارک، خبرگان بازبینی‌کننده باید موارد را طی نامه‌ای به مرجع صلاحیت‌دار (که توسط کارفرما مشخص خواهد شد) برای نشان دادن هدف از بازبینی و یافته‌های آن ارسال نمایند.

۴-۲-۲ قابلیت بهره‌برداری

سامانه‌های سازه‌ای، عناصر و اتصالات آن‌ها باید برای بارهای بهره‌برداری وارده به‌صورتی طرح شوند که دارای سختی کافی باشند و تغییرشکل‌های آن‌ها (افتادگی‌ها)، جابه‌جایی نسبی جانبی، ارتعاش یا سایر تغییرشکل‌ها که روی کاربری و عملکرد مورد نظر سازه‌ها مبتنی بر الزامات مقررات طراحی سازه‌ای (مانند استاندارد AISC 360 برای ساختمان‌های فولادی و ACI 318 برای ساختمان‌های بتنی) یا معیارهای طراحی خاص پروژه، تأثیر منفی می‌گذارد محدود شود.

۴-۲-۳ عملکرد

سامانه‌های سازه‌ای، اعضا و اتصالات آن‌ها در سازه‌های با ردهٔ خطرپذیری ۴ (طبق زیربند ۴-۴)، باید با یک احتمال منطقی برای داشتن مقاومت و سختی سازه‌ای کافی به‌منظور محدودشدن تغییرشکل‌ها، جابه‌جایی نسبی جانبی یا سایر تغییرشکل‌هایی که رفتار آن‌ها از عملکرد تجهیز یا سازه در پی رخداد مخاطرات محیطی تراز طراحی مشخص‌شده در این استاندارد فراتر نمی‌رود طراحی شوند. سامانه‌های غیرسازه‌ای و اتصال آن‌ها به سازه باید با مقاومت و سختی کافی طراحی شود به‌گونه‌ای که رفتار آن‌ها پس از رخداد

1- Test Setup

خطرات محیطی تراز طراحی (مانند زلزله) منجر به اختلال در بهره‌برداری نشود. اجزای سامانه‌های غیرسازه‌ای باید به‌گونه‌ای طرح یا محافظت شود که پس از رخداد مخاطره، قادر به عملکرد باقی بماند.

ضوابط زیربندهای ۴-۲-۱-۲ و ۴-۲-۱-۳، برای تأمین الزامات این زیربند در نظر گرفته شده است.

۴-۲-۴ آثار نیروهای خود کرنشی

نیروهای خود کرنشی و آثار آن‌ها در اعضای سازه ناشی از نشست‌های نامتقارن شالوده‌ها، تغییرات ابعادی اعضای مقیدشده ناشی از اختلاف دما، رطوبت، انقباض، خزش و سایر آثار باید در طرح سازه منظور شوند.

۴-۲-۵ تحلیل

آثار بار در اعضای سازه‌ای منفرد باید با روش‌های تحلیل سازه‌ای که در آن‌ها تعادل، پایداری کلی، سازگاری هندسی و خصوصیات کوتاه‌مدت و بلندمدت مصالح در نظر گرفته شده است تعیین شود. خروج از مرکزیت اعضایی که طی عمر خود، تحت بارهای بهره‌برداری تکرارشونده دچار تغییرشکل‌های پسماند (ماندگار) می‌شوند باید در تحلیل لحاظ شود.

۴-۲-۶ کنش‌های سازه‌ای متقابل

کلیهٔ سامانه‌های سازه‌ای، عناصر، اجزا و نازک‌کاری آن‌ها در یک سازه باید برای تحمل نیروهای ناشی از زلزله و باد با ملاحظه واژگونی، لغزش و برکنش طراحی شوند و باید مسیرهای بار پیوسته‌ای به‌منظور انتقال این نیروها به شالوده تأمین شود. در صورتی که از لغزش برای جداسازی عناصر استفاده شود، آثار اصطکاک بین عناصر لغزنده باید به‌صورت یک نیرو منظور شود. در صورتی که تمام یا بخشی از مقاومت در برابر این نیروها توسط بار مرده تأمین شود، کمینه بار مردهٔ محتمل در زمان ایجاد این نیروها باید مدنظر قرار داده شود. آثار تغییرشکل‌های قائم و افقی ناشی از این نیروها باید منظور شود.

۴-۲-۷ مقاومت در برابر آتش‌سوزی

مقاومت سازه در برابر آتش باید طبق الزامات مشخص‌شده در آیین‌نامهٔ طراحی سازه‌ای مدنظر قرار داده شود (برای سازه‌های فولادی، استاندارد AISC 360 و در سازه‌های بتن‌آرمه، استاندارد ACI 318). می‌توان از رویهٔ مبتنی بر عملکرد نیز در این خصوص استفاده کرد.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر می‌توان به Appendix E استاندارد ASCE7 مراجعه کرد.

۴-۳ انسجام کلی سازه‌ای

۴-۳-۱ ملاحظات کلی

کلیه سازه‌ها باید دارای یک مسیر بار پیوسته مطابق با الزامات زیربند ۴-۳-۲ باشند و یک سامانهٔ مقاوم باربر جانبی کامل با مقاومت کافی برای تحمل نیروهای مورد اشاره در زیربند ۴-۳-۳ وجود داشته باشد. کلیهٔ

عناصر سامانهٔ سازه‌ای باید اعضای نگهدارنده خود بر اساس الزامات زیربند ۴-۳-۴ متصل شوند. در سازه‌های غیرساختمانی مشابه ساختمان، در صورت وجود دیوارهای سازه‌ای، آن‌ها باید به دیافراگم‌ها و تکیه‌گاه‌ها مطابق با الزامات زیربند ۴-۳-۵ مهار شوند. آثار وارد بر سازه و اجزای آن ناشی از نیروهای ارائه‌شده در این بند باید به‌صورت یک بار مجازی، N، منظورشده، با آثار سایر بارها طبق ترکیبات بار زیربند ۵-۵ ترکیب شود. اگر مقاومت مصالح وابسته به مدت زمان اعمال بار باشد، مدت زمان اعمال بارهای مجازی را می‌توان ۱۰ min منظور کرد. سازه‌های بارگذاری‌شده طبق این استاندارد، باید بر اساس منبع [2] (برای سازه‌های مشابه ساختمان) یا منبع [1] (برای سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت) در برابر زلزله طرح شوند و ضوابط زیربند ۴-۳-۳، زیربند ۴-۳-۴ و زیربند ۴-۳-۵ را برآورده کنند.

۴-۳-۲ اتصالات مسیر بار

کلیهٔ بخش‌های سازه در حد فاصل میان درزهای انقطاع باید به هم متصل باشند تا یک مسیر پیوسته برای سامانهٔ مقاوم باربر جانبی تأمین شود و اتصالات باید قادر به انتقال نیروهای جانبی ایجادشده بین بخش‌های متصل شده باشند. هر بخش کوچک‌تر سازه باید به بخش دیگر آن به نحوی متصل شود که عناصر متصل‌شونده قادر به تحمل نیرویی حداقل معادل ٪ ۵ وزن بخش متصل باشند.

۴-۳-۳ نیروهای جانبی

هر سازه باید برای آثار نیروهای جانبی ایستایی وارده در دو راستای افقی متعامد به‌صورت مستقل تحلیل شود. در هر راستا، نیروهای جانبی ایستایی در کلیه ترازها باید به‌طور همزمان اعمال شوند. برای مقاصد تحلیل، نیرو در هر تراز باید استفاده از رابطهٔ (۱) تعیین شود:

$$F_x = 0.01 W_x \qquad (۱)$$

که در آن:

F_x نیروی جانبی طراحی اعمال‌شده به طبقهٔ x؛

W_x بخشی از کل بار مردهٔ سازه، D، مستقر یا اختصاص‌یافته به تراز x.

طراحی سازه‌هایی که به‌صورت صریح موضوع پایداری با منظور کردن آثار مرتبهٔ دوم منظور می‌شود، باید منطبق با الزامات این زیربند باشد.

۴-۳-۴ اتصال به تکیه‌گاه‌ها

یک اتصال مثبت برای تحمل یک نیروی افقی وارد به موازات عضو باید برای هر تیر، شاهتیر یا خرپا مستقیماً به عناصر تکیه‌گاهی یا دال‌ها تعبیه شود و به‌گونه‌ای طراحی شود که به‌صورت دیافراگم عمل کند. در صورتی که از طریق دیافراگم باشد، عنصر تکیه‌گاهی عضو را نیز باید به دیافراگم متصل کرد. اتصال باید دارای حداقل مقاومتی برای تحمل نیرویی معادل ٪ ۵ واکنش بار مرده بدون ضریب همراه با واکنش بار زنده وارد بر عضو مستقر به عضو نگهدارنده باشد.

۴-۳-۵ مهار دیوارهای سازه‌ای

دیوارهایی که باربری ثقلی یا مقاومت برشی جانبی برای بخشی از سازه را تأمین می‌نمایند، باید به سقف، کلیهٔ کف‌ها و اعضایی که تکیه‌گاه جانبی دیوار را تأمین می‌کنند یا به دیوار متکی هستند مهار شوند. مهار باید یک اتصال مستقیم بین دیوارها، کف یا سقف تأمین نماید. اتصالات باید قادر به تحمل یک نیروی افقی تراز مقاومت عمود بر صفحه دیوار معادل ٪ ۲۰ وزن سهم اتصال از دیوار که بزرگ‌تر از ۰٫۲۵ kPa است باشد.

۴-۳-۶ بارهای فوق‌العاده و حوادث نادر

طراحی برای مقاومت در برابر بارهای فوق‌العاده و حوادث نادر باید طبق روش‌های مطرح شده در زیربند ۴-۵ مدنظر قرار داده شود.

۴-۴ رده‌بندی خطرپذیری سازه‌ها

۴-۴-۱ ردهٔ خطرپذیری

سازه‌های غیرساختمانی را باید بر اساس خطرپذیری جانی، سلامت و خدمت‌رسانی که بر اساس میزان آسیب یا خرابی و با توجه به کاربری آن‌ها طبق جدول ۴ تعیین می‌شود برای اعمال بارهای سیل، باد، برف، زلزله و یخ رده‌بندی کرد. به هر سازه باید بالاترین رده یا رده‌های خطرپذیری قابل کاربرد را اختصاص داد. کمینه بارهای طراحی سازه‌ها باید براساس ضرایب اهمیت قابل کاربرد ارائه‌شده در جدول ۵ محاسبه شود. اختصاص یک رده خطرپذیری به یک سازه براساس بار مورد ارزیابی (مثلاً برف یا زلزله) باید تعیین شود. وقتی آیین‌نامهٔ طراحی سازه (مانند ACI 318 یا AISC 360) یا سایر استانداردهای مرجع، یک ردهٔ کاربری را مشخص کند، ردهٔ خطرپذیری نباید کوچک‌تر از ردهٔ مشخص‌شده در این زیربند باشد.

۴-۴-۲ رده‌های خطرپذیری چندگانه

در صورتی که سازه‌های غیرساختمانی به چندین بخش با سامانه‌های سازه‌ای متفاوت تقسیم شوند، رده‌بندی هر بخش را می‌توان جداگانه اختصاص داد. چنانچه سامانه‌های نظیر خروجی‌های مورد نیاز، تأسیسات مکانیکی یا موتور الکتریکی برای یک بخش نیازمند ردهٔ خطرپذیری بالاتری بوده، وابسته به بخش‌های دیگر سازه که ردهٔ خطرپذیری پایین‌تری دارند باشند، برای این بخش‌ها نیز باید ردهٔ خطرپذیری بالاتر را منظور کرد.

جدول ۴- ردهٔ خطرپذیری سازه‌ها برای بار سیل، باد، زلزله و یخ

ردهٔ خطرپذیری	نوع کاربری
۱	سازه‌هایی که آسیب وارد بر آن‌ها خطر جان کمی در بر خواهد داشت.
۲	کلیهٔ سازه‌هایی که در رده‌های خطرپذیری ۱، ۳ و ۴ قرار نمی‌گیرند.
۳	**الف**- سازه‌هایی که آسیب وارد بر آن‌ها منجر به ایجاد خطر قابل توجه برای جان افراد می‌شود. **ب**- سازه‌هایی که در ردهٔ خطرپذیری ۴ نیستند ولی آسیب به آن‌ها منجر به خسارت اقتصادی قابل توجه یا اختلال جدی در زندگی روزمره انسان می‌شود. **پ**- سازه‌هایی که در ردهٔ خطرپذیری ۴ نیستند ولی آسیب به آن‌ها منجر به انتشار مواد سمی و آسیب زیست‌محیطی می‌شود (شامل تأسیسات مرتبط با تولید، فراورش، انتقال، انبارش، بهره‌برداری، امحای سوخت، مواد شیمیایی و ضایعات خطرزا یا مواد منفجره) که دارای مقدار کافی از مواد مذکور باشد به‌طوری که رها شدن آن‌ها موجب ایجاد خطر برای کارکنان شاغل در محل شود.
۴	**الف**- سازه‌هایی که به عنوان تأسیسات ضروری شناخته می‌شوند. **ب**- سازه‌هایی که آسیب وارد بر آن‌ها برای جامعه خطرزا تلقی شود. **پ**- سازه‌هایی با کاربری مرتبط با تولید، فراورش، مدیریت، انبارش، بهره‌برداری یا امحای سوخت، مواد شیمیایی و ضایعات خطرزا یا مواد منفجره که حاوی مقدار زیادی از مواد یاد شده باشد به‌گونه‌ای که رها شدن این مواد موجب خطر خیلی زیاد (وضعیت اضطراری) برای عموم شود[1]. **ت**- سازه‌هایی که برای حفظ کاربری سازه‌های با ردهٔ خطرپذیری ۴ مورد نیاز هستند.
یادآوری ۱- ردهٔ خطرپذیری سازه‌های حاوی مواد سمّی، بسیار سمّی یا انفجاری را می‌توان به یک ردهٔ خطرپذیری پایین‌تر حایز شرایط دانست به شرطی که بتوان به مرجع صلاحیت‌دار به کمک ارزیابی خطر تشریح‌شده در زیربند ۴-۴-۳ بتوان ثابت کرد که آزاد شدن مواد خطرزا با ردهٔ خطرپذیری پایین‌تر در تناسب است. **یادآوری ۲**- در خصوص بار باد، یک ردهٔ خطرپذیری فوق‌العاده برای تأسیسات بسیارمهم (مانند مخازن LNG) در جدول ۱۶ ارائه گردیده است.	

جدول ۵- ضرایب اهمیت برحسب ردهٔ خطرپذیری سازه‌ها برای بارهای برف، یخ، باد و زلزله

ردهٔ خطرپذیری طبق جدول ۴	ضریب اهمیت برای بار برف، I_s	ضریب اهمیت برای بار یخ، I_i	ضریب اهمیت برای بار باد، I_w	ضریب اهمیت برای بار زلزله، I_e
۱	۰٫۸۰	۰٫۸۰	۰٫۸۵	۱٫۰۰
۲	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰
۳	۱٫۱۰	۱٫۱۵	۱٫۱۵	۱٫۲۵
۴	۱٫۲۰	۱٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۵۰
یادآوری- ضریب اهمیت اجزای (غیرسازه‌ای)، I_p، قابل اعمال به بارهای زلزله در این جدول قرار ندارد زیرا بستگی به اهمیت جزء غیرسازه‌ای دارد و نه کل سازه یا کاربری آن. در این خصوص به منبع [2] (برای سازه‌های مشابه ساختمان) یا منبع [1] (برای سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت) مراجعه شود.				

۴-۴-۳ مواد سمّی، بسیار سمّی و قابل انفجار

سازه‌های حاوی مواد سمّی، بسیار سمّی یا قابل انفجار را می‌توان در ردهٔ خطرپذیری ۲ طبقه‌بندی کرد به شرطی که بتوان با یک ارزیابی خطر به‌عنوان بخشی از برنامه جامع مدیریت خطرپذیری به مرجع صلاحیت‌دار نشان داد که آزاد شدن مواد سمّی، بسیار سمّی یا منفجره به میزانی نیست که تهدیدی برای عموم باشد. برای کیفی‌سازی این رده‌بندی کاهش‌یافته، مالک یا بهره‌بردار سازه حاوی مواد سمّی، بسیار سمّی یا منفجره باید دارای یک برنامه جامع مدیریت خطرپذیری باشد که نشان دهد سه فرایند زیر وجود دارد:

الف- ارزیابی خطر: این فرآیند باید حداقل شامل آمادگی و گزارش بدترین فرانامه‌های[1] آزادسازی مواد سمّی، بسیار سمّی یا منفجره برای هر سازه مورد بررسی باشد که نشان دهد اثر محتمل هریک روی هر سازه چگونه است. بدترین رخداد باید حداقل شامل یک تخریب کامل، برای مثال نشت هم‌زمان کل محتویات یک مخزن (یا ظرف)، سامانهٔ لوله‌کشی یا سایر سازه‌های ذخیره‌سازی باشد. بدترین رویداد شامل آزادسازی حین رخداد باد طرح یا زلزله طرح است اما به آن‌ها محدود نمی‌شود. در این ارزیابی، سنجش میزان تأثیر راهکارهای جایگزین برای رفع سانحه باید مبتنی بر این فرض باشد که تخریب کامل سازهٔ ذخیره‌سازی اصلی رخ داده است. تأثیر برون‌ساختگاهی باید بر حسب جمعیت درون ناحیه تحت‌تأثیر محتمل تعریف شود. برای کیفی‌سازی این رده‌بندی کاهش‌یافته باید نشان داده شود که نشت مواد سمّی، بسیار سمّی یا منفجره از بدترین رخداد منجر به ایجاد تهدید عمومی بیرون از مرز مالکیت تأسیسات نخواهد شد.

ب- برنامه پیش‌گیری: این فرایند باید حداقل شامل عناصر جامع مدیریت ایمنی فرایندی باشد که مبتنی بر پیش‌گیری از سانحه از طریق اعمال واپایش‌های مدیریتی در نواحی کلیدی طراحی، اجرا، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری است. از جمله اقدامات برای بازداری ثانویه از نشت مواد سمّی، بسیار سمّی و منفجره می‌توان به استفاده از مخازن دوجداره، احداث دیوار محافظ[2] با فضای کافی برای جلوگیری از پخش شدن مواد یا سایر ابزار برای جلوگیری از نشت مواد سمّی، بسیار سمّی یا منفجره درون مرز مالکیت تأسیسات و جلوگیری از مقادیر محتویات مضر به هوا، خاک، آب زیرزمینی و محیط زیست اشاره نمود تا خطرپذیری نشت به حداقل برسد. جایی که مهار ثانویه تعبیه می‌شود، آن مهار باید برای کلیهٔ بارهای محیطی طراحی شود و کاهش رده‌بندی خطرپذیری در آن مجاز نخواهد بود. در نواحی با قابلیت رخداد طوفان برای کاهش خطرپذیری نشت، می‌توان از ابزار و رویه‌هایی که به‌طور مؤثر آثار باد روی عناصر سازه‌ای مهم را تضعیف می‌کنند یا روش‌های دیگر برای جلوگیری از نشت مواد مضر در طی رخداد طوفان یا پس از آن استفاده کرد.

پ- برنامه واکنش سریع: این برنامه باید شامل هشدار عمومی، درمان پزشکی اورژانسی برای در معرض قرار گرفتن سهوی مواد سمّی با انسان و رویه‌هایی برای واکنش سریع به نشت که دارای عواقبی فراتر از

1- Scenarios
2- Bund Wall

مرز مالکیت تأسیسات است باشد. طرح واکنش اضطراری باید احتمال آنکه منابع پاسخ ممکن است طی رخدادی که منجر به وضعیت اضطراری شده به خطر بیفتد را مدنظر قرار دهد.

۴-۵ توسعه و انجام تغییرات در سازه‌های موجود

چنانچه یک سازهٔ موجود یا هر نوع سازهٔ دیگر توسعه داده‌شده یا تغییری در آن ایجاد شود، اعضای سازه‌ای تحت تأثیر باید در صورت لزوم به‌گونه‌ای تقویت شوند که بارهای ضریب‌دار تعریف‌شده در این استاندارد بدون آنکه از مقاومت طراحی مصالح تجاوز شود تحمل شوند. اگر از روش تنش مجاز استفاده شود، تقویت هنگامی موردنیاز است که تنش‌های ناشی از بارهای اسمی از تنش‌های مجاز مشخصه مصالح ساختمانی فراتر رود.

۴-۶ آزمون‌های بارگذاری

در صورتی که مرجع صلاحیت‌دار تشخیص دهد که ایمنی سازه قابل پذیرش نیست، آزمون بارگذاری مربوط به هرگونه ساخت و ساز باید انجام پذیرد.

۴-۷ استانداردهای مورد توافق و سایر مدارک مرجع

این زیربند شامل استانداردهای مورد توافق و سایر مدارکی است که بخشی از این استاندارد است. در زیربند ۴-۴-۳ این استاندارد، به مواد سمّی اشاره شده است که فهرست آن‌ها در منبع [7] آمده است.

۵ ترکیب‌های بارگذاری

۵-۱ اصول کلی

سازه‌های غیرساختمانی مشابه ساختمان، باید طبق الزامات زیربند ۵-۲ یا زیربند ۵-۳ طراحی شوند. در صورتی که عناصر سازه با یک استاندارد یا مقررات خاص مصالح طراحی شوند نیز باید به‌طور صریح با یکی از زیربندهای ۵-۲ یا ۵-۳ طراحی صورت پذیرد.

۵-۲ ترکیب‌های بار برای طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

۵-۲-۱ ترکیب‌های مبنا

سازه‌ها، اجزا و شالوده‌ها باید به‌صورتی طراحی شوند که مقاومت طراحی آن‌ها بزرگ‌تر یا مساوی با بارهای ضریب‌دار در ترکیب‌های بارگذاری زیر باشند. آثار بار لرزه‌ای باید طبق زیربند ۵-۲-۶ با یکدیگر ترکیب شود. نیازی به‌منظور کردن آثار باد و زلزله به‌صورت هم‌زمان وجود ندارد. برای تعریف دقیق اثر بار زلزله، E، به زیربندهای ۴-۳، ۵-۲-۶ این استاندارد، منبع [2] (برای سازه‌های مشابه ساختمان) یا منبع [1] (برای سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت) مراجعه شود. هریک از حالات حدی مقاومت باید به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار داده شود.

۱- الف- 1.4 D؛

۲- الف- (R یا S یا L_r) 1.2 D + 1.6 L + 0.5؛

۳- الف- (L یا 0.5 × 1.6 W) + (R یا S یا L_r) 1.2 D +1.6؛

۴- الف- (R یا S یا L_r) 1.2 D+1.6 W + L + 0.5؛

۵- الف- 0.9 D + 1.6 W.

یادآوری ۱- ضریب بار L در ترکیب‌های بار ۳-الف و ۴-الف را می‌توان برای کلیهٔ کاربری‌های ذکرشده در بند ۷ (و جدول بار زندهٔ گستردهٔ یکنواخت منبع [4]) که L_0 کوچک‌تر یا مساوی ۴٫۷۵ kPa باشد (به‌جز پارکینگ و یا محل تجمع افراد)، برابر با ۰٫۵ منظور کرد.

یادآوری ۲- در ترکیب‌های بار ۲-الف و ۴-الف، S باید برابر با بار برف بام تخت، p_f، یا بام شیب‌دار، p_s، منظور شود.

در صورتی که بار سیال، F، وجود داشته باشد، باید با همان ضرایب مربوط به بار مرده، D، در ترکیب بار ۱- الف تا ۴-الف قرار گیرد. اگر بار فشار خاک، فشار آب‌ایستا یا مواد انباشته، H، وجود داشته باشد باید به این صورت عمل کرد:

- در صورتی که اثر H موجب افزایش اثر بار اصلی شود، ضریب بار H برابر با ۱٫۶ منظور می‌شود؛
- چنانچه اثر بار H در برابر اثر بار اصلی مقاومت نماید، در صورت وجود دائمی بار H، اثر آن باید با ضریب ۰٫۹ در ترکیب بارها لحاظ شود و در بقیه موارد باید از اثر این بار صرف‌نظر نمود.

هر یک از حالات حدی مقاومت باید به‌صورت جداگانه مورد بررسی قرار داده شود.

۵-۲-۲ ترکیب‌های بار شامل بار سیل

اگر سازه در ناحیهٔ سیل‌خیز واقع شده باشد (طبق تعاریف مندرج در زیربند ۳-۳) ترکیب‌های بار زیر را باید علاوه بر ترکیب‌های بار مبنا ارائه‌شده در زیربند ۵-۲-۱ منظور نمود:

- در نواحی سیل‌خیز ساحلی:

۴- ب- (R یا S یا L_r) 1.2 D + 1.6 W + 2.0 F_a + L + 0.5؛

۵- ب- 0.9 D + 1.6 W + 2.0 F_a.

- در نواحی سیل‌خیز غیرساحلی:

۴- ب- (R یا S یا L_r) 1.2 D + 0.5 ×1.6 W +1.0 F_a + L + 0.5؛

۵- ب- 0.9 D + 0.5 × 1.6 W + 2.0 F_a.

۵-۲-۳ ترکیب‌های بار شامل بارهای یخ جوی و بارهای باد وارد بر یخ

اگر یک سازه در معرض بارهای ناشی از یخ و بارهای باد وارد بر یخ باشد، ترکیب‌های زیر را باید منظور کرد:

۲- ب- 1.2 D + 1.6 L + 0.2 D_i + 0.5 S؛

۴- پ- 1.2 D + L + D_i + 1.6 W_i + 0.5 S؛

۴- ت- 1.2 D + D_i؛

۵- پ- $0.9D + D_i + 1.6\ W_i$.

۵-۲-۴ ترکیب‌های بار نیروها و آثار خود کرنشی

در مواردی که آثار سازه‌ای بارهای خـود کرنشی، T، اثر نامطلوبی روی ایمنی یا عملکرد سازه بگذارد، بار T را باید در ترکیب با سـایر بارها منظور نمود. ضریب بار T باید با ملاحظهٔ عـدم قطعیت مربـوط به مقدار محتمل نیـروها و آثار سـازه‌ای، احتـمال آن که اثر بیشینه T به‌طور هم‌زمان با سـایر بارهای وارده رخ دهـد و عواقب نامطلوب محتملی که در صورت بزرگ‌تر بودن T از مقدار فرض شده ایجاد می‌شود منظور شـود. ضریب بار T نباید از ۱٫۰ کوچک‌تر اختیار شود.

۵-۲-۵ ترکیب‌های بار برای بارهای نامشخص

چنانچه مرجع صلاحیت‌دار تصـویب کند، مهندس طراح مجاز به تعیین اثر بار ترکیب شده برای طـراحی به روش ضرایب بار و مقاومت با استفاده از رویه‌ای است که با رویهٔ بیان شده در الزامات ترکیب بار در زیربند ۵-۲-۱ سازگار است. چنین رویـه‌ای باید مبتنی بر احتمالات باشـد و باید با مسـتندسازی تحلیـل و جمع‌آوری داده‌های پشتیبان که برای مرجع صلاحیت‌دار قابل پذیرش باشد انجام پذیرد.

۵-۲-۶ ترکیب‌های بار مبنا با آثار بار لرزه‌ای

اگر یک سازه در معرض آثار بار لرزه‌ای باشد، ترکیب‌های بار زیـر باید علاوه بر ترکیب‌های بار مبنـای منـدرج در زیربند ۵-۲-۱ مدنظر قرار گیرد. بدترین آثار بارهای لرزه‌ای را باید بررسـی نمود ولی نیازی به ترکیب آثار بار زلزله با بار باد نیست. بارهای زلزله طبق منبـع [2] (برای سـازه‌های مشـابه ساختمان) یا منبع [1] (برای سـازه‌ها و تأسیسات صـنعت نفت) قابل محاسبه است.

در صورت ترکیب اثر بار لرزه‌ای تجویز شده، $E = f(E_v,E_h)$، طبق منبع [2] (برای سازه‌های مشابه ساختمان) یا منبع [1] (برای سـازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت) با سـایر بارها، ترکیـب‌های بار لـرزه‌ای زیـر بایـد مورد استفاده قرار گیرد:

۶- $1.2\ D + E_v + E_h + L + 0.2\ S$؛

۷- $0.9\ D - E_v + E_h$.

در صورت ترکیـب اثر بار لرزه‌ای با اضـافه مقاومت، $E_m = f(E_v,E_{mh})$ طبق منبع [2] (برای سـازه‌های مشـابه ساختـمان) یا منـبع [1] (برای سـازه‌ها و تأسیسات صـنعت نفت)، ترکیبات بار لرزه‌ای زیر باید مورد استفاده قرار داده شود:

۶- $1.2\ D + E_v + E_{mh} + L + 0.2\ S$؛

۷- $0.9\ D - E_v + E_{mh}$.

یادآوری ۱- ضـریب بـار L در ترکیـبات بار ردیف ۶ را می‌تـوان برای کاربری‌هایی که بـار L_0 منـدرج در منبع [4]، کوچک‌تر یا مساوی با kPa ۵ باشد به استثنای کف پارکینگ‌ها یا محل اجتماع عمومی برابر با ۰٫۵ در نظر گرفت.

یادآوری ۲- در ترکیبات بار ردیف ۶، بار S باید به‌صورت بار برف وارد بر بام تخت، p_f، یا بار برف وارد بر بام شیب‌دار، p_s، منظور شود.

در مواردی که بارهای سیال، F، وجود دارد، این بارها باید با همان ضریب بار مرده، D، در ترکیبات بار ردیف ۶ و ۷ منظور شود.

در صورت وجود آثار بارهای ناشی از فشار خاک، H:

- اگر اثر H موجب افزایش اثر بار متغیر اصلی شود، ضریب بار H برابر با ۱٫۶ منظور می‌شود؛
- چنانچه اثر بار H در برابر اثر بار متغیر اصلی مقاومت نماید، در صورت وجود دائمی بار H، اثر آن باید با ضریب ۰٫۹ در ترکیب بارها لحاظ شود و در بقیه موارد باید از اثر این بار صرف‌نظر نمود.

۵-۲-۷ روش ثانویه برای تعیین بارهای آب در خاک

این زیربند به عنوان روشی جایگزین برای ترکیب بارهای خاک و آب مطرح در زیربند ۵-۲-۱ به کار می‌رود. استفاده از این روش فقط زمانی مجاز است که بارها طبق زیربند ۶-۲-۳ محاسبه شوند. برای استفاده از این زیربند، باید نشانه‌گذاری H بیان شده در زیربند ۵-۲ با نشانه‌گذاری جدید H_{eb} و H_w به شرح زیر جایگزین شوند:

- H_{eb}: بار ناشی از فشار جانبی خاک یا تودهٔ مصالح شامل اثر شناوری ناشی از فشار آب زیرزمینی[1] روی فشار جانبی خاک یا تودهٔ مصالح اما بدون فشار آب زیرزمینی؛
- H_w: بار ناشی از فشار آب زیرزمینی در خاک.

در صورتی که هر دو بار H_{eb} و H_w وجود داشته باشند، این بارها باید در ترکیب بارهای مبنای ذکرشده در زیربند ۵-۲-۱ به این شرح لحاظ شوند:

الف- در صورتی که اثر H_{eb} به اثر بار اصلی اضافه کند، H_{eb} بر اساس بیشینه تراز آب زیرزمینی محاسبه می‌شود و H_{eb} با ضریب بار ۱٫۶ لحاظ می‌شود؛

ب- چنانچه اثر H_{eb} در برابر بار اصلی مقاومت کند، H_{eb} بر اساس کمینه تراز آب زیرزمینی محاسبه می‌شود و چنانچه بار H_{eb} دائمی باشد با ضریب بار ۰٫۹ لحاظ می‌شود و در سایر وضعیت‌ها این ضریب بار صفر خواهد بود؛

پ- در صورتی که اثر H_w به اثر بار اصلی اضافه کند، H_w بر اساس بیشینه تراز آب زیرزمینی و با ضریب ۱٫۰ منظور می‌شود؛

1- Ground water pressure

ت- چنانچه اثر H_w در برابر بار اصلی مقاومت کند و حضور خاک دائمی باشد، H_w بر اساس کمینه تراز آب زیرزمینی محاسبه می‌شود و با ضریب بار ۱٫۰ لحاظ می‌شود و در صورتی که حضور خاک دائمی نباشد، این ضریب بار صفر در نظر گرفته خواهد شد.

۵-۳ ترکیب‌های بار برای طراحی به روش مقاومت مجاز یا تنش مجاز (ASD یا WSD)

۵-۳-۱ ترکیب‌های بار مبنا

بارهای ذکر شده در این زیربند باید در ترکیب بارهای زیر منظور شود و هر کدام که بدترین اثر را روی سازه، شالوده یا عضو سازه‌ای مدنظر بگذارد باید مدنظر قرار داده شود. بارهای لرزه‌ای باید مطابق با مرجع [2] (برای سازه‌های مشابه ساختمان) یا مرجع [1] (برای سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت) محاسبه شود و طبق زیربند ۵-۳-۵ با سایر بارها ترکیب شود. نیازی به منظور کردن آثار بار باد وارد سازه به‌طور هم‌زمان با آثار زلزله نیست. افزایش تنش مجاز برای بارها یا ترکیبات بارگذاری تعریف‌شده در این استاندارد مجاز نیست مگر آنکه بتوان نشان داد این افزایش، با رفتار سازه‌ای ناشی از نرخ یا مدت زمان اعمال بار توجیه می‌شود.

۱- الف- D؛

۲- الف- D + L؛

۳- الف- D + (L_r یا S یا R)؛

۴- الف- D + 0.75 L + 0.75 (L_r یا S یا R)؛

۵- الف- D + W؛

۶- الف- D + 0.75 L + 0.75 W + 0.75 (L_r یا S یا R)؛

۷- الف- 0.6 D + W.

یادآوری ۱- در ترکیبات بار ردیف ۴-الف و ۶-الف، بار S باید به صورت بار برف وارد بر بام تخت، p_f، یا بار برف وارد بر بام شیب‌دار، p_s، منظور شود.

یادآوری ۲- در سازه‌های غیرساختمانی که در آن‌ها بار باد از ضرایب نیرو، C_f طبق جدول ۲۳ تا جدول ۲۵ به دست می‌آید و در آن، سطح تصویر شده بادگیر، که بار باد را روی یک صفحهٔ افقی یا قائم به یک عنصر شالوده منتقل می‌کند از $100\ m^2$ بزرگ‌تر است، می‌توان در ترکیب بار ردیف ۷، بار باد، W را 0.9W در طراحی شالوده به جز مهار سازه به شالوده جایگزین کرد.

در مواردی که بار سیال، F، وجود دارد، این بار باید با همان ضریب بار مرده، D، در ترکیبات بار ردیف ۱-الف تا ۶-الف منظور شود.

در صورت وجود آثار بارهای ناشی از فشار خاک، H:

- اگر اثر H موجب افزایش اثر بار متغیر اصلی شود، ضریب بار H برابر با ۱٫۰ منظور می‌شود.

- چنانچه اثر بار H در برابر اثر بار متغیر اصلی مقاومت نمـاید، در صورت وجود دائمی بار H، اثر آن باید با ضریب ۰٫۶ در ترکیب بارها لحاظ شود و در بقیه موارد باید از اثر این بار صرف‌نظر نمود.

۵-۳-۲ ترکیب‌های بارهای شامل بار سیل

اگر سـازه در ناحیهٔ سـیل‌خیـز واقع شده باشـد (طبق تعاریف منـدرج در زیربند ۳-۳)، ترکیب‌های بار زیر را باید علاوه بر ترکیب‌های بار مبنا ارائه شده در زیربند ۵-۲-۱ منظور نمود:

- در نواحی سیل‌خیز ساحلی:

۵- ب- $D + W + 1.5\ F_a$؛

۶- ب- $D + 0.75\ L + 0.75\ W + 0.75\ (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + 1.5\ F_a$؛

۷- ب- $0.6\ D + W + 1.5\ F_a$.

- در نواحی سیل‌خیز غیرساحلی:

۵- ب- $D + W + 0.75\ F_a$؛

۶- ب- $D + 0.75L + 0.75\ W + 0.75\ (L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + 0.75\ F_a$؛

۷- ب- $0.6\ D + W + 0.75\ F_a$.

۵-۳-۳ ترکیب‌های بارهای شامل بارهای یخ جوی و بارهای باد وارد بر یخ

اگر سازه در معـرض یخ جوی و بارهای باد وارد بر یخ قرار داشـته باشد، ترکیبات بار زیر باید مدنظر قرار داده شود:

۱- ب- $D + 0.7\ D_i$؛

۲- ب- $D + L + 0.7\ D_i$؛

۳- ب- $D + 0.7\ D_i + 1.1\ W_i + S$؛

۷- ب- $0.6\ D + 0.7\ D_i + 1.1\ W_i$.

۵-۳-۴ ترکیب‌های بارهای شامل نیروها و آثار خودکرنشی

در صورت وجود آثار خـودکرنشی، T، (کرنش‌های مستقل از نیـروی خارجی مانند تغییرات دما، خطای نصب، نشست، خزش) اثرات سـازه‌ای ناشی از بار T باید همراه با سایر بارها درنظر گرفته شود. در صورتی که رخداد اثر بیشینه بار T به طور همـزمان با بیشینه آثار سـایر بارها محتمل نباشد، می‌تـوان مقدار T منظور شده در ترکیب با سایر بارها را کاهش داد. در هر حال ضریب بار T نباید از ۰٫۷۵ کوچک‌تر در نظر گرفته شود.

۵-۳-۵ ترکیب‌های مبنا با آثار بار لرزه‌ای

چنانچه سازه در معـرض آثار بـار لرزه‌ای قرار داشـته باشـد، ترکیب‌های بار زیـر باید علاوه بر ترکیـب‌های بار مبـنا و یادآوری‌های مطـرح شـــده در زیربنـد ۵-۳-۱ مدنـظر قرار گیـرد. اگر اثر بار لـرزه‌ای تجـویز شـــده،

$E=f(E_v,E_h)$ که طبق منبع [2] (برای سـازه‌های مشـابه ساختمان) یا منبع [1] (برای سـازه‌ها و تأسیسات صـنعت نفت) به دست می‌آید با سـایر بارها ترکیب شود، ترکیب‌های بار زیر باید مورد استفاده قرار گیرد:

۸- $1.0\ D + 0.7\ E_v + 0.7\ E_h$؛

۹- $1.0\ D + 0.525\ E_v + 0.525\ E_h + 0.75\ L + 0.75S$؛

۱۰- $0.6\ D - 0.7\ E_v + 0.7E_h$.

در صـورت ترکیب اثر بار لـرزه‌ای با اضـافه مقاومت، $E=f(E_v,E_{mh})$، طبق منبع [2] (برای سـازه‌های مشـابه ساختمان) یا منبع [1] (برای سـازه‌ها و تأسیسات صـنعت نفت)، با سـایر بارها، ترکیبات بار لرزه‌ای زیر باید برای سازه‌هایی که در معرض سیل یا بارهای یخ جوی قرار ندارند مدنظر قرار گیرد:

۸- $1.0\ D + 0.7\ E_v + 0.7\ E_{mh}$؛

۹- $1.0D + 0.525\ E_v + 0.525\ E_{mh} + 0.75\ L + 0.75\ S$؛

۱۰- $0.6\ D - 0.7\ E_v + 0.7\ E_{mh}$.

در روش تنش مجاز در سـه ردیف فوق، در صـورتی که از ترکیب‌های بارگذاری شامل اضافه مقاومت استفاده شـود، تنش مجـاز را می‌توان به میـزان ٪ ۲۰ افزایش داد. این افزایش نبـاید با افزایش تنـش‌های مجـاز یا کاهش‌ها در ضرایب بارها که در این استاندارد، مجاز دانسته شده است ترکیب شود.

یادآوری ۱- در ردیف ۹، بار S باید به صـورت بار برف وارد بر بام تخت، p_f، یا بار برف وارد بر بام شیب‌دار، p_s، منظور شود.

یادآوری ۲- در ردیف ۱۰، برای طراحی دیوارهای برشی مصالح بنایی مسلح ویژه، به شرطی که این دیوارها شروط مطرح شده الزامات استانداردهای TMS 402 و TMS 602 را برآورده نمایند، می‌توان به جای 0.6D از 0.9D استفاده کرد.

در مواردی که بار سیال، F، وجـود دارد، این بار بایـد با همان ضـریب بار مـرده، D، در ترکیبات بار ردیف ۸، ۹ و ۱۰ منظور شود.

در صورت وجود آثار بارهای ناشی از فشار خاک، H:

- اگر اثر H موجب افزایش اثر بار متغیر اصلی شود، ضریب بار H برابر با ۱٫۰ منظور می‌شود.
- چنانچه اثر بار H در برابر اثر بار متغیر اصلی مقاومت نمـاید، در صورت وجود دائمی بار H، اثر آن باید با ضریب ۰٫۶ در ترکیب بارها لحاظ شود و در بقیهٔ موارد باید از اثر این بار صرف‌نظر نمود.

۵-۴ ترکیب‌های بار در حوادث غیرعادی

۵-۴-۱ قابلیت کاربرد

در صورت درخواست کارفرما یا وجـود الزام آیین‌نامه طـراحی، باید مقاومت و پایداری سازه به‌منظور اطمینان از توانایی سازه در تحمل آثار بارهـای غیرعـادی (با احتمال رخـداد ناچیز) نظیر آتش‌سـوزی، انفجار، برخورد

وسایل نقلیه بدون ایجاد آسیب بیش از حد انتظار مورد بررسی قرار گیرد. به منظور تعیین بارهای انفجار وارد بر سازه‌های واقع در یک مجتمع صنعت نفت به بند ۱۴ مراجعه شود.

۵-۴-۲ ترکیب‌های بار

۵-۴-۲-۱ ظرفیت

برای بررسی ظرفیت یک سازه یا عنصر سازه‌ای به‌منظور تحمل اثر یک رخداد فوق‌العاده، ترکیب بار ثقلی زیر باید مدنظر قرار داده شود:

$$(0.9 \text{ یا } 1.2)\ D + A_k + 0.5\ L + 0.2\ S$$

که در آن:

A_k بار یا اثر آن ناشی از رخداد فوق‌العاده k است.

۵-۴-۲-۲ ظرفیت باقیمانده

به‌منظور بررسی ظرفیت باربری باقیمانده یک سازه یا عنصر سازه‌ای در پی رخداد یک حادثهٔ آسیب‌زا، باید عناصر منتخب باربر توسط مرجع صلاحیت‌دار به‌صورت مجازی از سازه حذف شوند و ظرفیت سازه آسیب‌دیده با استفاده از ترکیب بار زیر مورد ارزیابی قرار داده شود:

$$(0.9 \text{ یا } 1.2)D+0.5L+0.2(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$$

۵-۴-۳ الزامات پایداری

پایداری کلی سازه و عناصر آن باید تأمین شود. کاربرد هر روش که آثار مرتبهٔ دوم را لحاظ کند، مجاز است.

۵-۵ ترکیب‌های بارگذاری برای بارهای یکپارچگی کلی سازه

بارهای مجازی، N، طبق زیربند ۴-۳ برای ارزیابی پایداری سازه‌ای باید با سایر بارها در زیربند ۵-۵-۱ برای روش طراحی مبتنی بر ضرایب بار و مقاومت و در زیربند ۵-۵-۲ برای روش طراحی مبتنی بر مقاومت مجاز یا تنش مجاز ترکیب شود.

۵-۵-۱ ترکیب‌های بار شامل بار مجازی در روش مبتنی بر ضرایب بار و مقاومت

این ترکیب‌ها شامل دو ردیف زیر است:

۱- $1.2\ D + 1.0\ N + L + 0.2\ S$؛

۲- $0.9\ D + 1.0\ N$.

۵-۵-۲ ترکیب‌های بار شامل بار مجازی در روش مبتنی بر مقاومت مجاز یا تنش مجاز

این ترکیب‌ها شامل سه ردیف زیر است:

۱- $D + 0.7\ N$؛

۲- $D + 0.75\ (0.7\ N) + 0.75\ L + 0.75\ (L_r$ یا S یا R)؛

۳- $0.6\ D + 0.7\ N$.

۶ بارهای دائمی

۶-۱ بارهای ناشی از وزن اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای

۶-۱-۱ بارهای مرده

بارهای مرده شامل وزن کلیه مصالح تشکیل‌دهنده اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای است که شامل وزن دیوارها، سقف‌ها، کف‌ها، راه‌پله‌ها، جداکننده‌های داخلی[1]، کف‌سازی‌ها، پوشش‌های ضد آتش، عایق‌ها و سایر اجزای معماری و سازه‌ای، تأسیسات و تجهیزات ثابت (و سیال درون آن‌ها) شامل وزن جرثقیل‌ها و سامانه‌های حمل مصالح می‌شود.

یادآوری- آثار پیش‌تنیدگی در عناصر بتنی به عنوان یک بار دائمی شناخته می‌شود.

۶-۱-۲ محاسبه وزن مصالح و عناصر سازه‌ای

در تعیین بارهای مرده به‌منظور طراحی سازه، وزن واقعی مصالح و عناصر سازه‌ای باید به‌کار رود. برای محاسبه وزن مصالح و عناصر سازه‌ای، باید از وزن مخصوص مصالح استفاده کرد. در صورت در دسترس نبودن اطلاعات معتبر، مقادیر قابل پذیرش از سوی مراجع ذیصلاح می‌تواند مدنظر قرار گیرد. وزن مخصوص مصالح و مواد برای سازه‌های ساختمانی در منبع [4] آمده است. جداولی در پیوست **الف** برای این موضوع ارائه شده که تکمیل‌کننده موارد ذکرشده در منبع [4] به شمار می‌آید. در صورت وجود موارد مشترک بین منبع [4] و پیوست **الف**، مقادیر ارائه‌شده به عنوان وزن مخصوص مواد و مصالح این استاندارد ملاک عمل است. همچنین برای تخمین فشار جانبی انواع خاک و مصالح انبارشده می‌توان از جدول ارائه‌شده در پیوست **الف** استفاده کرد.

۶-۱-۳ تعیین وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت

در تعیین بارهای مرده به‌منظور طراحی سازه، وزن تأسیسات و تجهیزات ثابت شامل بیشینه وزن محتویات موجود در تأسیسات و تجهیزات باید لحاظ شود. وزن برخی اجزای تجهیزات ثابت که متغیر است مانند مایعات و سینی‌های متحرک را نباید در محاسبات مربوط به ارزیابی واژگونی، لغزش و برکنش طبق زیربند ۶-۲-۴ به‌کار برد.

1- Partitions

یادآوری ۱- هنگامی که آثار نیرو، تابعی از وجـود اجـزای متغیر (مانند سیالات درون تجهیزات) باشد، می‌توان وزن اجـزا را در تعیین آثـار بار لحاظ نمود. در چنین شرایطی، سـازه باید یک بار برای آثار نیـروی مربوط به وجود اجزا و یک بار برای آثار نیرو در وضعیت بدون آن‌ها طراحی شود.

یادآوری ۲- در محاسبه آثار نیـروی زلـزله، نیاز به بزرگ‌تر اعمال کردن وزن اجزای متغیر تجهیزات ثابت نظیر سـیالات درون تجهیزات و سینی‌های متحرک، نسبت به مقدار طبیعی آن‌ها در وضعیت بهره‌برداری عادی وجود ندارد. برای تعیین نیروی زلزله در تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت به منبع [1] مراجعه شود.

یادآوری ۳- وزن تجهیزات دوار از قبیل پمپ‌ها، فشرده‌سازها[1]، پیش‌رانه‌ها[2] و غیره باید از سازنده دریافت شود و این اطلاعات باید شـامل وزن ابزارهای واپایش، ماشـین‌آلات جانبـی، لوله‌کشی‌ها و غیره باشد. در خصوص تجهـیزاتی نظیر دکل‌های حفاری در صنعت نفت، کلیـه بارهای وارد از طـرف دکل به سلرها باید از سازندگان دکل دریافت شود. برای جزئیات بیشتر در خصوص بارگذاری تاسیسات سرچاهی نفت، به پیوست **ر** مراجعه شود.

۶-۲ بارهای ناشی از فشار خاک و فشار آب‌ایستایی[3]

۶-۲-۱ فشارهای جانبی

سازه‌های زیرزمینی باید برای تحمـل بارهای ناشی از فشار جانبی خاک طراحی شوند. فشار جانبی خاک باید توسـط مطالعات ژئوتکنیک محاسـبه شود و در اختیـار طراح سـازه قـرار گیرد. در صـورتی که این بـارها در دسترس نباشد می‌توان از جداول ارائه‌شـــده در این خصوص که در پیوست **الف** ارائه شده است استفاده کرد. در صورت لزوم، بارهای ناشی از سربار نیز به بارهای ناشی از فشـــار جانبی خاک اضافه می‌شـود. هنگامی که بخشی یا کل خاک مجاور سازه، پایین‌تر از تراز آب زیرزمینی قرار داشـته باشد، محاسبات ایسـتایی سازه باید بر مبنای وزن کاهش‌یافته خاک ناشی از اثر شـناوری همراه با کل فشار آب‌ایسـتا انجام پذیرد. در صورتی که خاک ساختگاه از نوع منبسط‌شونده باشد، فشار جانبی خاک باید توسط مطالعات ژئوتکنیک تعیین شود.

۶-۲-۲ بارهای برکنش وارد بر کف‌ها، دال‌ها و شالوده‌ها

کف‌ها، دال‌ها، شالوده‌ها و سایر عناصر افقی مشابه واقع در پایین سطح زمین، باید در صورت لزوم برای تحمل بارهای برکنش طـراحی شوند. فشـار رو به بالای آب نیز باید به‌صورت یک فشار آب‌ایستای کامل وارد بر کل سطح منظور شود. بار آب‌ایستا باید تا زیر تراز شالوده سازه لحـاظ شود. شالوده‌ها، دال‌ها و سایر اجزای مستقر بر خاک‌های منبسط‌شونده باید برای تحمل جابه‌جایی یا مقاومت در برابر بارهای رو به بالا ناشـی از خاک‌های منبسط‌شونده طراحی شوند در غیر این صورت باید خاک منبسط‌شونده زیر سازه یا اطراف آن، برداشته شده، یا پایدارسازی و تثبیت شود.

1- Compressors
2- Motors
3- Hydrostatic

۶-۲-۳ روش ثانویه برای بارهای آب در خاک

این زیربند به‌عنوان روش جایگزین برای زیربند ۶-۲-۲ ارائه شده است. در این روش، محاسبه بارهای جانبی ناشی از فشار خاک از فشار آب زیرزمینی موجود در خاک به‌صورت جداگانه انجام می‌شود. در صورتی که از این روش استفاده شود، ضرایب بارها و ترکیبات بارگذاری باید طبق زیربند ۵-۲-۷ اعمال شود. فشار جانبی خاک باید طبق زیربند ۶-۲-۱ محاسبه شود اما فشار آب زیرزمینی در خاک باید در پارامتر H_w لحاظ شود نه H. پارامتر H_w برای بارهای جانبی و برکنش باید بر مبنای بیشینه تراز آب زیرزمینی منظور شود. بیشینه تراز آب زیرزمینی باید به‌گونه‌ای تعیین شود که احتمال فراگذشت[1] سالانه از مقادیر زیر فراتر نرود:

الف- ۰٫۰۰۲۴ برای ردهٔ خطرپذیری ۱؛

ب- ۰٫۰۰۱۲ برای ردهٔ خطرپذیری ۲؛

پ- ۰/۰۰۰۶ برای ردهٔ خطرپذیری ۳؛

ت- ۰٫۰۰۰۳ برای ردهٔ خطرپذیری ۴.

یادآوری- رده خطرپذیری طبق زیربند ۴-۴ تعریف شده است.

در مورد سازه‌ها و تأسیساتی که در ناحیه سیل‌خیز قرار ندارند (طبق تعاریف مطرح شده در بند ۸)، نیازی نیست که تراز بیشینه آب زیرزمینی بالاتر از سطح زمین منظور شود. چنانچه لازم باشد فشارهای جانبی برای تحمل سایر بارهای متغیر مورد استفاده قرار داده شود و خاک به‌صورت دائمی منظور شود، H_w باید بر اساس کمینه تراز آب زیرزمینی محاسبه شود. کمینه تراز آب زیرزمینی باید به نحوی تعیین شود که احتمال سالانه قرار گرفتن آن در ترازی پایین‌تر از همان مقادیر مشخص شده برای بیشینه تراز آب زیرزمینی فراتر نرود. لازم نیست که کمینه تراز آب زیرزمینی از کم ارتفاع‌ترین بخش سازه، پایین‌تر منظور شود.

۷ بارهای زنده

۷-۱ بارهای زنده مشخصه شده

۷-۱-۱ بار زنده

باری غیردائمی است که در حین بهره‌برداری از سازه به آن وارد می‌شود و شامل بارهای حین اجرا یا محیطی نظیر بار باد، برف، باران، زلزله، سیل و مرده نمی‌شود.

۷-۱-۲ بار زنده بام

نوعی بار زنده است که در موارد زیر به بام وارد می‌شود:

1- Exceedance

- بار دورهٔ تعمیر و نگهداری توسط کارکنان، تجهیزات و مصالح؛
- بار اشیای قابل حرکت نظیر عبور کارکنان در طول عمر بهره‌برداری.

۷-۲ بارهای زنده مشخص نشده

در مواردی که بار زنده در این استاندارد به‌طور صریح ذکر نشده است، بار زنده باید مطابق با روش تأییدشده توسط مرجع صلاحیت‌دار تعیین شود.

۷-۳ بارهای زندهٔ گسترده یکنواخت

۷-۳-۱ بارهای زندهٔ مورد نیاز

بار زندهٔ موردنیاز در طراحی سازه‌های طبقاتی باید معرف بزرگ‌ترین باری باشد که در دوران بهره‌برداری مورد انتظار است و نباید در هیچ حالتی کوچک‌تر از مقادیر حداقل بار زنده مندرج در منبع [4] باشد.

۷-۳-۲ ضوابط جداکننده‌های داخلی

در سازه‌هایی که احتمال جابه‌جایی موقعیت جداکننده‌های داخلی زیاد است، باید وزن آن‌ها در طراحی سازه لحاظ شود حتی اگر موقعیت جداکننده‌ها روی نقشه‌های معماری مشخص نباشد. بار جداکننده‌های داخلی نباید کوچک‌تر از ۰٫۷ kPa منظور شود.

یادآوری- در صورتی که کمینه بار زندهٔ گسترده بزرگ‌تر از ۳٫۸ kPa باشد، نیازی به منظور کردن بار زندهٔ جداکننده نیست.

۷-۳-۳ بارگذاری غیریکنواخت

کل شدت بار زندهٔ کاهش‌یافته مناسب باید صرفاً به بخشی از یک سازه یا عضو سازه‌ای اعمال شود تا مشخص شود که اثر نامناسب‌ترین وضعیت بار نسبت به حالتی که آن سازه یا عضو سازه‌ای تحت بار زندهٔ کامل قرار می‌گیرد چگونه است. بارهای زندهٔ بام باید طبق منبع [4] توزیع شود.

۷-۴ بارهای زندهٔ متمرکز

در سازه‌های طبقاتی، کف‌ها، بام‌ها و سایر سطوح مشابه را باید طوری طراحی نمود تا قادر باشند هر کدام از بارهای زندهٔ گستردهٔ یکنواخت ارائه‌شده در زیربند ۷-۳ یا بارهای متمرکز ارائه‌شده در منبع [4] که آثار بار بزرگ‌تری را ایجاد می‌کنند تحمّل نمایند. در صورت مشخص نبودن ابعاد بار متمرکز، بار وارده باید روی سطحی به ابعاد ۷۵۰ mm × ۷۵۰ mm به‌صورت یکنواخت توزیع شود و موقعیت آن، طوری لحاظ شود که بیشترین آثار بار را در اعضا ایجاد نماید.

۷-۵ بارهای وارد بر نرده‌ها، جان‌پناه‌ها، میله دستگیره، سامانه‌های ضربه‌گیر خودرو و نردبان‌های ثابت

۷-۵-۱ سامانه‌های نرده و جان‌پناه

نرده و جان‌پناه در سازه‌های غیرساختمانی مشابه ساختمان باید به‌صورتی طراحی شود که قادر باشد یک بار متمرکز به شدت ۰٫۹ kN را در هر موقعیت و هر راستای نرده یا ریل بالایی که بیشترین اثر بار را ایجاد می‌کند تحمل نماید و قادر باشد این بار را از تکیه‌گاه نرده به سازه منتقل کند.

۷-۵-۱-۱ بار گسترده

سامانه‌های نرده و جان‌پناه باید همچنین برای تحمل یک بار گسترده یکنواخت به شدت ۰٫۷۵ kN/m در هر راستا در طول نرده یا ریل بالایی جان‌پناه تحمل کند و این بار را از طریق تکیه‌گاه خود به سازه انتقال دهد. نیازی نیست تا این بار به‌طور هم‌زمان با بار متمرکز مطرح شده در زیربند ۷-۵-۱ مدنظر قرار گیرد.

یادآوری- نیازی به منظور کردن بار گسترده در سازه‌های صنعتی و انبارهایی که به روی عموم باز نیستند و بار زنده آن‌ها بزرگ‌تر از ۲٫۵ kPa نیست وجود ندارد.

۷-۵-۱-۲ بارهای وارد بر سامانه جان‌پناه

عناصر جان‌پناه و پانل‌های پرکننده آن شامل کلیهٔ ریل‌ها به‌جز ریل بالایی باید برای تحمل یک بار افقی عادی به شدت ۰٫۲ kN وارد بر یک سطح ۳۰۰ mm × ۳۰۰ mm شامل بازشوها و فضای بین ریل‌ها به نحوی که بیشترین آثار بار را ایجاد نماید طراحی شود. نیازی نیست واکنش‌های ناشی از این بارگذاری با بارهای مندرج در زیربندهای ۷-۵-۱ و ۷-۵-۱-۱ ترکیب شود.

۷-۵-۲ سامانه‌های میله گیره

سامانه‌های میلهٔ دستگیره باید طوری طراحی شود که قادر به تحمل یک بار متمرکز به شدت ۱٫۱ kN وارد بر هر نقطه و در هر راستا باشد به‌گونه‌ای که بیشینه اثر بار در آن ایجاد شود.

۷-۵-۳ سامانه‌های ضربه‌گیر خودرو

سامانه‌های ضربه‌گیر برای وسایل نقلیهٔ سواری باید به‌گونه‌ای طرح شود که قادر به تحمل یک بار متمرکز افقی به شدت ۳۰ kN در هر راستای سامانهٔ ضربه‌گیر بوده، مهارها و اتصالات آن، توانایی انتقال این بار به سازه را داشته باشد. در طرح این سامانه، بار باید در ترازی بین ۴۵۰ mm تا ۶۵۰ mm بالای کف یا شیب‌راهه طوری اعمال شود که بیشترین اثر را ایجاد کند. بار باید در سطح کوچک‌تر از ۳۰۰ mm × ۳۰۰ mm وارد شود. لازم نیست این بار به‌طور هم‌زمان با بارهای نرده یا جان‌پناه مشخص‌شده در زیربند ۷-۵-۱ اعمال شود. برای تعیین بارهای وارد بر سامانه‌های ضربه‌گیر در پارکینگ‌های محل تجمع کامیون و اتوبوس می‌توان طبق پیوست **پ** عمل کرد.

۷-۵-۴ نردبان‌های ثابت

نردبان‌های ثابت دارای پلکان باید قادر به تحمل یک بار متمرکز با شدت ۱٫۳ kN در هر نقطه‌ای که بیشترین اثر بار را روی عنصر مورد بررسی ایجاد می‌نماید باشد. این بار باید در هر ۳ m از ارتفاع نردبان اعمال شود. در موقعیتی که انتهای بالایی پایه‌های نردبان ثابت از سـقف طبقه یا سکو بالاتر قرار می‌گیرد، بخش امتدادیافته هر پایه نردبان باید قادر باشـد بار زنـده متمرکز ۰٫۵ kN در هر راسـتا یا ارتفاع تا بالای پایـهٔ نردبان را تحمل نماید.

۷-۶ بارهای ضربه

۷-۶-۱ کلیات

بارهای زنـدهٔ مشـخص‌شده در زیربنـدهای ۷-۳ تا ۷-۵ برای اثـرات ضـربه به‌صورت متعارف منـظور گردیده است. در طـراحی سازه‌ای برای کاربردها و بارهایی که شامل ارتعاش و نیروهای ضربه‌ای نامعمول هستند باید ملاحظات لازم منظور شود.

۷-۶-۲ آسان‌برها

در صورت وجـود آسان‌بر در سازهٔ غیرساختمانی، کلـیهٔ عناصـر در معـرض بارهای دینامیکی اعمـال‌شده از طرف آسان‌بر را می‌توان برای بارهای ضـربه و حدود تغییرشکل مشخص‌شده طبق اسـتاندارد ASME A17 [8] طراحی کرد. در صورت عـدم ارائـهٔ اطلاعات در مورد ضـریب ضـربه توسـط سـازندهٔ آسان‌بر، می‌توان از توصیهٔ منبع [4] (ضریب ضربهٔ ۲) استفاده کرد.

۷-۶-۳ ماشین‌های دوار و رفت و برگشتی

در طراحی سازه، وزن ماشین‌آلات و بارهای متحرک، باید برای منـظور کردن اثر ضـربه به این صورت تشدید شود مگر اینکه در کارنمای[1] تجهیز، ضرایب بزرگ‌تری توصیه شده باشد:

- ماشین‌آلات سبک با حرکت دورانی: ٪ ۲۰؛
- ماشین‌آلات رفت و برگشتی: ٪ ۵۰.

درصدهای فوق در صورت توصیهٔ سـازندهٔ تجهیز، قابل افزایش است. در خصوص تعیین بارهای وارد بر شالوده نگهدارندهٔ تجهیزات دوار و ارتعاشی، می‌توان از منبع ACI 351.3R [9] استفاده نمود.

۷-۶-۴ عناصر نگهدارنده بالابرها برای دسترسی به نما و تجهیزات نگهداری ساختمان

عناصر سازه‌ای که نگهدارندهٔ بالابرها و ابزار تعمیرات سازه هستند باید برای بار زندهٔ معادل ۲٫۵ برابر بار اسمی بالابر یا بار ارابهٔ آن هرکدام که بزرگ‌تر است طراحی شوند.

1- Catalogue

۷-۶-۵ مهارهای حمایل‌بند و نجات

مهارهای حمـایل‌بند و نجات‌دهنده کارکنان و عناصر سازه‌ای نگهدارندهٔ آن‌ها باید برای بار زندهٔ kN ۱۵ برای هر نجات‌دهنده در هر مسیر که احتمال وارد شدن بار به آن‌ها وجود دارد طراحی شوند.

۷-۷ کاهش بار زنده در کف و بام سازه‌های طبقاتی

در صورتی که سـازهٔ غیرساختمانی به‌صـورت طبقاتی (مشابه ساختمان) باشـد و نیاز به کاهش سربار بار زنده در کف‌ها یا بام وجود داشته باشد می‌توان در صـورت نیاز از ضوابط منبع [4] اسـتفاده کرد. لازم به ذکر است که نباید بار عملکرد تجهیز[1] در سازهٔ غیرساختمانی از نوع بار زنده منظور شود و در خصوص این بارها، کاهش بار مجاز نیست.

۷-۸ بارهای جرثقیل

در سازه‌های صنعتی که بارهای جرثقیل به اجـزای سازه‌ای اعمال می‌شـود، برای تعیین بارهای جرثقیل می‌توان از منبع [4] اســتفاده نمود. برای طراحی ســازهٔ دارای جرثــقیـل، گزارش شـمارهٔ ۱۳ راهنمای طرح و اجـرای ساختمان‌های نورد فولاد ایالات متحده (AIST TR-13) [10] با روش تنش مجاز قابل استفاده است.

یادآوری- راهنمای کاربردی شمارهٔ ۷ انجمن سازه‌های فولادی ایالات متحده [11] روابط طراحـی را برای سـازه‌های صـنعتی (سـوله‌ها و سایبان‌ها) دارای جرثقیـل به روش مقـاومت (LRFD) ارائه نموده است.

۷-۹ بارهای پارکینگ

۷-۹-۱ پارکینگ خودروهای سواری

اگر در یک سازهٔ غیرساختمانی، بخشی از سازه به‌عنوان پارکینگ وسایل نقلیه موتوری مورد استفاده قرار داده شود، کف مورد نظر باید برای بارهای زندهٔ یکنواخت ارائه‌شدهٔ منبع [4] یا یکی از بارهای متـمرکز زیر طراحی شود:

الف- در پارکینگ‌های محـل عبـور خودروهای سـواری با کمتر از ۹ مسافر، مقدار بار kN ۱۳ در یک سـطح با ابعاد mm ۱۱۵ × mm ۱۱۵؛ و

ب- در سـازهٔ پارکینگ ماشینی[2] بدون دال یا عرشـه که برای خـودروهای صرفاً سـواری مـورد اسـتفاده قرار می‌گیرند، بار هر چرخ برابر با kN ۱۰.

1- Operation Load
2- Mechanized

۷-۹-۲ پارکینگ کامیون و اتوبوس

در صورتی که بخشی از یک سازهٔ غیرساختمانی تحت بارهای کامیون و اتوبوس مورد استفاده قرار داده شود، توصیه می‌شود که این بارها مطابق با پیوست **پ** تعیین شود ولی نیازی به اعمال ضریب ضربه دینامیکی و آثار ناشی از خستگی نیست.

۷-۱۰ بارهای محل فرود و برخاست بال‌گرد

۷-۱۰-۱ کلیات

در صورتی که بخشی از سازهٔ غیرساختمانی تحت بار بال‌گرد قرار داده شود، ضوابط ارائه‌شده این زیربند قابل کاربرد است. کاهش بار زنده در این مورد مجاز نیست. وزن و ظرفیت بال‌گرد باید توسط مرجع صلاحیت‌دار تعیین شود.

۷-۱۰-۲ بارهای متمرکز بال‌گرد

دو بار متمرکز به فواصل ۲٫۵ m باید روی سطح فرود (معرف دو چرخ اصلی بال‌گرد از نوع اسکید[1] یا نوع چرخ‌دار) منظور شود که هر کدام دارای مقداری برابر با ٪ ۷۵ وزن برخاست بال‌گرد است و در موقعیتی قرار داده می‌شود که بیشترین اثر بار را روی عناصر سازه‌ای مورد بررسی ایجاد نماید. بارهای متمرکز مذکور باید در سطحی به ابعاد ۲۰۰ mm × ۲۰۰ mm وارد شود و لازم نیست با سایر بارهای زندهٔ گسترده یکنواخت و متمرکز به‌صورت هم‌زمان اعمال شود. بار متمرکز ۱۳ kN باید در سطحی به ابعاد ۱۱۵ mm × ۱۱۵ mm به‌گونه‌ای قرار داده شود که بیشترین آثار بار را در عناصر سازه‌ای مورد بررسی ایجاد کند. لازم نیست بار متمرکز به‌طور هم‌زمان با سایر بارهای زندهٔ گسترده یا متمرکز اعمال شود.

۷-۱۱ پیاده‌روها، مسیرهای خودرو و محوطه‌های عبور و مرور کامیون و خودروهای سنگین

۷-۱۱-۱ بارهای یکنواخت

بارهای یکنواخت به‌جز آنچه در منبع [4] آمده را باید طبق یک روش تأییدشده که ضوابطی برای بارگذاری کامیون‌ها را منظور می‌کند (مطابق با پیوست **پ**) در نظر گرفت.

۷-۱۱-۲ بارهای متمرکز

بار متمرکز چرخ باید در سطحی به ابعاد ۱۱۵ mm × ۱۱۵ mm اعمال شود.

1- Skid

۷-۱۱-۳ بارهای سنگین‌تر از کامیون

در صورت نیاز به عبور خودروهای سنگین‌تر از آنچه در پیوست **پ** به عنوان کامیون طراحی مطرح‌شده است، باید بارهای زنده (متمرکز و گسترده) بر اساس کارنمای شرکت سازنده خودروی سنگین در محاسبات سازه لحاظ شود.

۸ بار سیل

۸-۱ کلیات

ضوابط این فصل به سازه‌های غیرساختمانی مستقر در مناطق مستعد سیل که در یک نقشهٔ خطر سیلاب تعریف می‌شوند اعمال می‌شود. مطالعات هیدرولوژی انجام گرفته، بر اساس تحلیل خطر احتمالاتی سیلاب و انتخاب دورهٔ بازگشت سیلاب طرح، تراز آب را در ساختگاه مشخص خواهد کرد و باید این موضوع در احداث سازه‌ها و تأسیسات، مدنظر طراح قرار گیرد تا در حد امکان، سیلاب تهدیدی برای سازهٔ احداث‌شده محسوب نشود. لذا انجام محاسبات مربوط به بار سیل صرفاً در سازه‌های غیرساختمانی احداث‌شده در مناطق سیل‌خیز محدود می‌شود. دورهٔ بازگشت سیلاب طرح وابسته به اقتصاد پروژه، اهمیت سازه یا تأسیسات و مدت زمان بهره‌برداری از آن است و توسط کارفرما تعیین خواهد شد. در خصوص پل‌های راه و راه‌آهن مستقر در رودخانه‌ها و مسیل‌ها، ضوابط بار جریان آب ارائه‌شده در پیوست **پ** قابل پذیرش است. در مورد ساختمان‌های متعارف، ضوابط ارائه‌شده در منبع [4] ملاک عمل خواهد بود.

۸-۲ الزامات طراحی

۸-۲-۱ بارهای طراحی

سامانه‌های سازه‌ای را باید به‌گونه‌ای در برابر سیل، طراحی، اجرا، متصل و مهار کرد که در برابر شناوری، فروریزش و جابه‌جایی جانبی دائمی ناشی از بارهای سیل مرتبط با رخداد سیلاب طرح (زیربند ۸-۲-۳) و همچنین سایر بارهای مطرح‌شده در ترکیب‌های بارگذاری بند ۵ دارای تاب‌آوری باشند.

۸-۲-۲ فرسایش و آب‌شستگی

آثار فرسایش و آب‌شستگی باید در محاسبات بارهای وارد بر سازه‌ها در مناطق سیل‌خیز مدنظر باشد.

۸-۲-۳ بارهای وارد بر دیوارهای فروریزشی

دیوارهای فروریزشی، جداکننده‌ها و اتصالات مورد نیاز آن‌ها به سازه از دیدگاه راهنمای ASCE/SEI 24 [12] باید برای بزرگ‌ترین بارهای عمود بر صفحهٔ دیوار به شرح زیر طراحی شوند:

الف- بار باد طبق بند ۱۳؛

ب- بار ناشی از زلزله طبق منبع [2] (در سازه‌های مشابه ساختمان) و منبع [1] (برای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت)؛

پ- یک فشار به مقدار ۰٫۵ kPa.

بارگذاری برای بار منجر به فروریزش دیوار مذکور نباید بزرگ‌تر از ۱ kPa منظور شود مگر آنکه طراحی انجام پذیرفته، شرایط زیر را برآورده نماید:

الف- فروریزش دیوار در اثر بار سیل کوچک‌تر از آنچه در سیل مبنا رخ می‌دهد صورت پذیرد؛

ب- شالودهٔ تکیه‌گاهی و بخش مرتفع سازه در برابر فروریزش، جابه‌جایی جانبی دائمی و سایر آسیب‌های سازه‌ای ناشی از بارهای سیل در ترکیب با سایر بارهای مطرح شده در بند ۵ طراحی شود.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر به راهنمای ASCE/SEI 24 [12] مراجعه شود.

۸-۳ بارهای سیلاب

۸-۳-۱ مبنای بار سیل

در مناطق سیل‌خیز، طراحی سازه‌ای باید طبق رخداد سیلاب طرح بر اساس مرجع صلاحیت‌دار انجام شود.

۸-۳-۲ بارهای آب‌ایستا

بارهای آب‌ایستای ایجاد شده در عمقی از آب برابر با تراز سیلاب طرح (DFE) باید به کلیهٔ سطوح سازه، بالا و پایین تراز زمین اعمال شود به‌جز سطوح در معرض آب آزاد که در آن عمق طراحی باید به میزان ۰٫۳ m افزایش یابد.

فقط در صورتی که برای ورود و خروج سیلاب، تمهیداتی اندیشیده شده باشد، می‌توان بارهای برکنش و نیروهای جانبی وارد بر سطوح فضاهای محصور پایین تراز سیلاب طرح (DFE) را کاهش داد.

۸-۳-۳ بارهای هیدرودینامیکی

آثار دینامیکی سیلاب باید با یک تحلیل تفصیلی با استفاده از مفاهیم بنیادین مکانیک سیالات تعیین شود.

یادآوری- چنانچه سرعت سیلاب از ۳ m/s کوچک‌تر باشد، آثار دینامیکی سیلاب را می‌توان به کمک بارهای ایستای معادل و به کمک افزایش تراز سیلاب طرح (DFE) به صورت یک ارتفاع سربار معادل، d_h روی فرادست و بالای تراز زمین به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$d_h=\frac{aV^2}{2g} \qquad (۲)$$

که در آن:

V میانگین سرعت جریان سیلاب، برحسب m/s؛

g شتاب ثقل، برحسب m/s^2؛

a ضریب پسا[1] یا ضریب شکل (بزرگ‌تر از ۱٫۲۵) است.

عمق سربار معادل باید به تراز سیلاب طرح (DFE) اضافه شود و فشارهای آب‌ایستا ناشی از آن به صورت گستردهٔ یکنواخت به سطح تصویرشده قائم سازه که عمود بر جریان سیلاب قرار دارد اعمال شود. سطوح موازی با جریان یا سطوحی که توسط پایاب، خیس می‌شود باید صرفاً تحت فشارهای آب‌ایستا ناشی از تراز سیلاب طرح (DFE) قرار داده شود.

۸-۳-۴ بارهای موج

در سازه‌های غیرساختمانی بارهای موج باید با یکی از سه روش زیر محاسبه شود:

الف- با استفاده از روش‌های تحلیلی ذکر شده در این زیربند؛

ب- با روش‌های پیچیده‌تر مدل‌سازی تحلیلی؛

پ- با روش‌های آزمایشگاهی.

بارهای موج، بارهایی هستند که که از انتشار امواج آب روی سطوح سازه ایجاد می‌شوند. در طراحی و اجرای سازه‌های در معرض بار موج باید این موارد مدنظر قرار داده شود:

- شکست موج روی هر بخش سازه؛
- نیروهای برکنش ناشی از کم ژرفایی[2] امواج زیر سازه یا بخشی از آن؛
- حمله بالاروی[3] موج به هر بخش سازه؛
- نیروهای پسا و اینرسی؛ و
- آب‌شستگی ناشی از موج در پای سازه یا شالوده آن.

بار موج باید در نواحی A و V اعمال شود. در نواحی V، امواج دارای ارتفاع ۰٫۹ m یا بزرگ‌تر و در نواحی سیلاب‌دشت ساحلی ناحیهٔ V، امواج دارای ارتفاعی کوچک‌تر از ۰٫۹ m است.

بارهای موج ناشکنا و شکننده باید با استفاده از روش‌های مندرج در زیربندهای ۸-۳-۲ و ۸-۳-۳ که به ترتیب مربوط به بارهای آب‌ایستایی و هیدرودینامیک هستند محاسبه شوند.

بارهای موج شکننده باید با استفاده از روش‌های بیان‌شده در زیربندهای ۸-۳-۴-۱ تا ۸-۳-۴-۴ تعیین گردند. ارتفاع موج شکننده به‌کار رفته در زیربندهای ۸-۳-۴-۱ تا ۸-۳-۴-۴ برای نواحی V و نواحی ساحلی A با استفاده از روابط (۳) و (۴) تعیین می‌شود:

1- Drag
2- Shoaling
3- Runup

$$H_b = 0.78\, d_s \quad (۳)$$

که در آن:

H_b ارتفاع موج، برحسب m؛

d_s عمق آب آرام، برحسب m است.

عمق آب آرام باید با استفاده از رابطهٔ زیر تعیین شود مگر آنکه روش‌های پیشرفته‌تر یا آزمون‌های آزمایشگاهی مجاز دانسته‌شده در این بند به‌کار رود.

$$d_s = 0.65(BFE - G) \quad (۴)$$

که در آن:

BFE تراز سیلاب مبنا، برحسب m؛

G تراز زمین، برحسب m.

۸-۳-۴-۱ بارهای موج شکننده روی شمع‌ها و ستون‌های قائم

فرض بر آن است که نیروی خالص ناشی از موج شکننده وارد بر یک شمع یا ستون قائم صلب در تراز آب آرام اعمال می‌شود و باید به این صورت محاسبه شود:

$$F_D = 0.5\gamma_w C_D D H_b^2 \quad (۵)$$

که در آن:

F_D نیروی خالص موج برحسب kN؛

γ_w وزن مخصوص آب برابر با $9{,}80\ kN/m^3$ برای آب خالص و $10{,}05\ kN/m^3$ برای آب شور؛

C_D ضریب پسا برای امواج شکننده که در شمع‌ها یا ستون‌های دایره‌ای برابر با ۱٫۷۵ و برای شمع‌ها یا ستون‌های مربعی برابر با ۲٫۲۵ فرض می‌شود؛

D در مقاطع دایره، قطر شمع یا ستون و برای مقاطع مربع، ۱٫۴ برابر پهنای مقطع برحسب m؛

H_b ارتفاع موج شکننده برحسب m.

۸-۳-۴-۲ بارهای موج شکننده روی دیوارهای قائم

بیشینه فشارها و نیروهای خالص ناشی از برخورد موج شکننده (که اندازه عمق آن به $H_b=0.78d_s$ محدود می‌شود) وارد بر یک دیوار قائم صلب باید به این صورت محاسبه شود:

$$P_{max} = C_p\gamma_w d_s + 1.2\gamma_w d_s \quad (۶)$$

و

$$F_t=1.1C_p\gamma_w d_s^2+2.4\gamma_w d_s^2 \quad (۷)$$

که در آن:

P_{max} بیشینه فشارهای موج ترکیبی دینامیکی ($C_p\gamma_w d_s$) و ایستا ($1.2\gamma_w d_s$) برحسب kPa؛

F_t نیروی موج شکنندهٔ خالص در واحد طول سازه که به صورت شوک، ضربه یا برخورد موج در نزدیکی تراز آب آرام وارد می‌شود برحسب kN/m؛

C_p ضریب فشار دینامیکی (بین ۱٫۶ و ۳٫۵ طبق جدول ۶)؛

γ_w وزن مخصوص آب برابر با ۹٫۸۰ kN/m^3 برای آب خالص و ۱۰٫۰۵ kN/m^3 برای آب شور؛

d_s عمق آب آرام در پای سازه که موج می‌شکند برحسب m.

در این روش فرض بر آن است که دیوار قائم باعث ایجاد یک موج منعکس یا ایستا در برابر سمت آب‌گیر دیوار با تاج موجی به ارتفاع بالاتر از سطح آب ساکن می‌شود.

جدول ۶- مقدار ضریب فشار دینامیکی، C_p

ردهٔ خطرپذیری[1]	C_p
۱	۱٫۶
۲	۲٫۸
۳	۳٫۲
۴	۳٫۵
[1] برای تعریف ردهٔ خطرپذیری به جدول ۴ مراجعه شود.	

توزیع فشار ایستا، دینامیکی و کل روی دیوار در شکل ۲ نشان داده شده است. در این روش همچنین فرض می‌شود، فضای پشت دیوار قائم، خشک است و موازنهٔ سیال بین مؤلفهٔ ایستای نیروی موج وارد بر بیرون دیوار وجود ندارد. چنانچه آب آزاد پشت دیوار وجود داشته باشد، بخشی از مؤلفهٔ آب‌ایستای فشار و نیروی موج حذف می‌شود (شکل ۳) و نیروی خالص باید طبق رابطهٔ (۸) محاسبه شود (بیشینه فشار موج ترکیبی نیز با رابطهٔ (۶) تعیین می‌شود).

$$F_t=1.1C_p\gamma_w d_s^2+1.9\gamma_w d_s^2 \quad (۸)$$

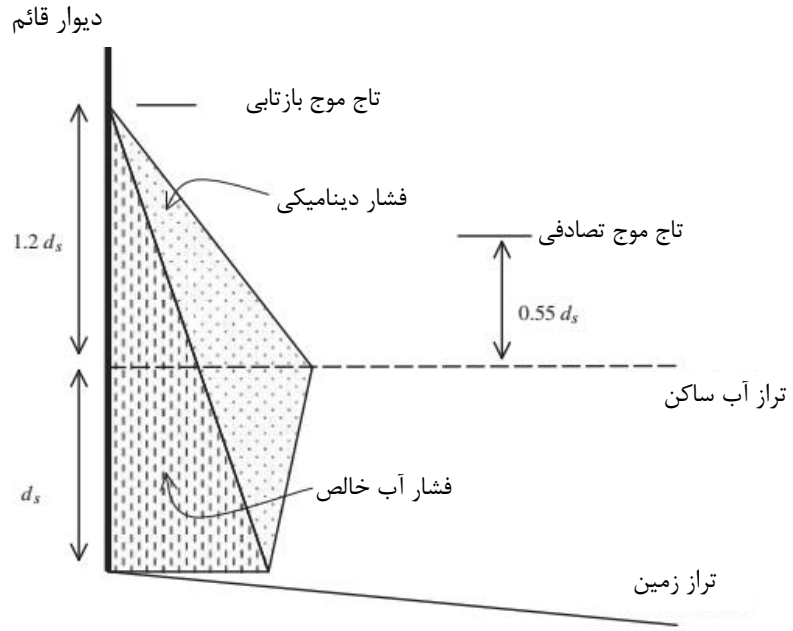
که در آن:

F_t نیروی موج شکنندهٔ خالص در واحد طول سازه که به‌صورت شوک، ضربه یا برخورد موج در نزدیکی تراز آب آرام وارد می‌شود برحسب kN/m؛

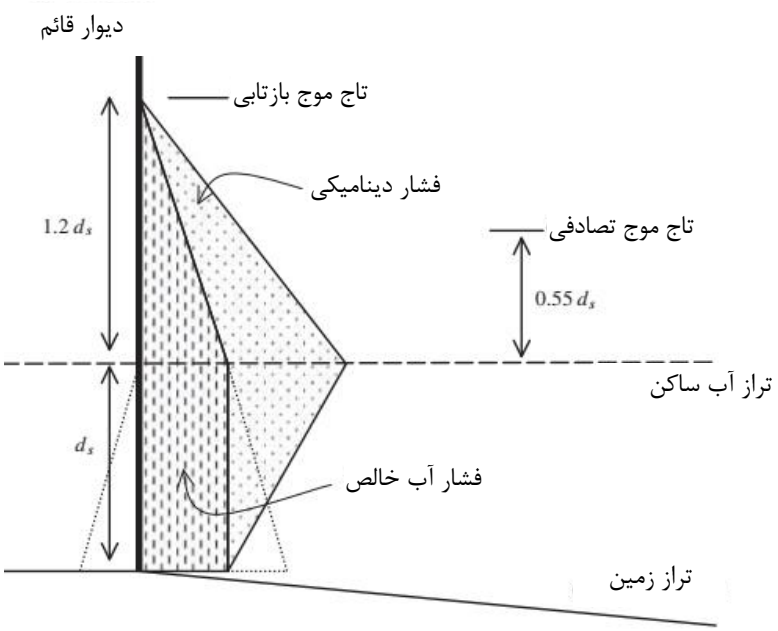
C_p ضریب فشار دینامیکی (بین ۱٫۶ و ۳٫۵ طبق جدول ۶)؛

γ_w وزن مخصوص آب برابر با ۹٫۸۰ برای آب خالص و ۱۰٫۰۵ برای آب شور برحسب kN/m^3؛

d_s عمق آب آرام در پای سازه که موج می‌شکند برحسب m.



شکل ۲- فشارهای برخورد موج تابشی شکنندهٔ قائم روی یک دیوار قائم (فضای پشت دیوار قائم، خشک است)



شکل ۳- فشارهای برخورد موج تابشی شکنندهٔ قائم روی یک دیوار قائم (تراز آب ساکن یکسان دو سمت دیوار)

۸-۳-۴-۳ بارهای موج شکننده روی دیوارهای ناشاقول

نیروهای موج شکننده به‌دست آمده از روابط (۷) و (۸) باید در مواردی که امواج شکننده به دیوارها یا سطوح ناشاقول (غیر قائم) وارد می‌شوند مورد اصلاح قرار گیرند. در این مورد، مؤلفهٔ افقی نیروی موج شکننده برابر است با:

$$F_{nv} = F_t \sin^2 \alpha \qquad (۹)$$

که در آن:

F_{nv} مؤلفهٔ افقی نیروی افقی موج برحسب kN/m؛

F_t نیروی موج شکننده خالص وارد بر یک سطح قائم برحسب kN/m؛

α زاویه قائم بین سطح ناشاقول و افق برحسب $^\circ$.

۸-۳-۴-۴ بارهای موج شکننده ناشی از امواج مورب تابشی

نیروهای موج شکننده به دست آمده از روابط (۷) و (۸) در مواردی که امواج به صورت مورب برخورد می‌کنند باید اصلاح شود. نیروهای موج شکننده از امواج غیر عمودی باید به این صورت تعیین شود:

$$F_{oi} = F_t \sin^2 \alpha \qquad (۱۰)$$

که در آن:

F_{oi} مؤلفهٔ افقی نیروی موج شکننده مورب برحسب kN/m؛

F_t نیروی موج شکننده خالص وارد بر یک سطح قائم برحسب kN/m؛

α زاویهٔ افقی میان راستای رسیدن موج و سطح قائم بر حسب $^\circ$.

۸-۳-۵ بارهای ضربه

برخورد ناشی از حمل نخاله‌ها، یخ و سایر اجسام توسط سیلاب منجر به ایجاد بارهای ضربه به سازه‌ها یا بخشی از آن‌ها می‌شود. بارهای ضربه باید با استفاده از یک روش منطقی به‌صورت بارهای متمرکز که به‌صورت افقی در بحرانی‌ترین موقعیت در تراز سیلاب طرح یا پایین‌تر از آن وارد می‌شود تعیین شود.

۸-۳-۶ بارهای موج وارد بر اسکله و سازه فراساحلی

بار موج طبق پیوست **ث** و پیوست **ج** به ترتیب در مورد اسکله و سازه فراساحلی قابل تعیین است.

۹ بار سونامی

بار سونامی باید طبق منبع [1] تعیین شود.

۱۰ بار برف

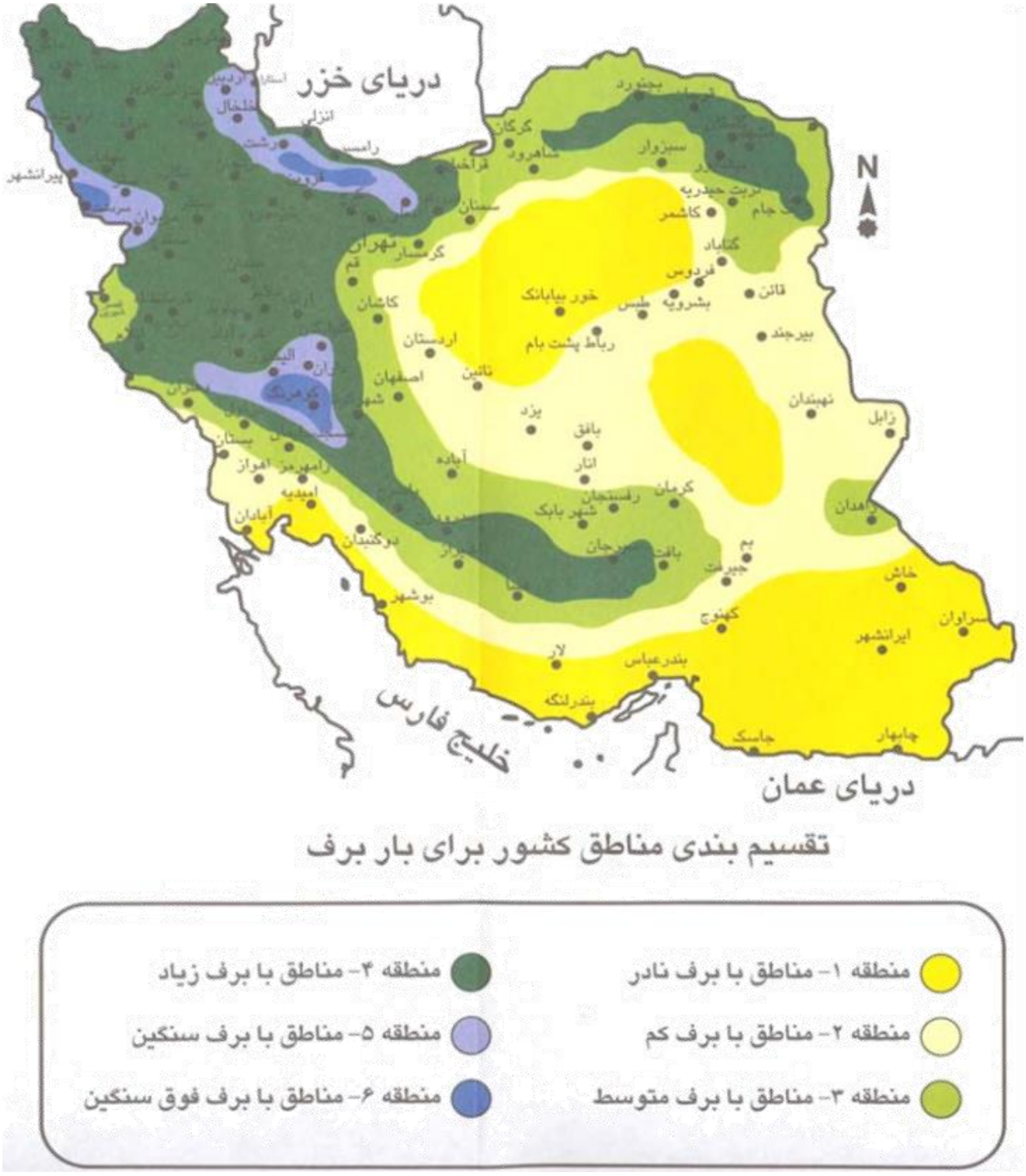
۱۰-۱ بار برف روی زمین (بار برف مبنا)

بار برف روی زمین، p_g، به‌کاررفته برای تعیین بارهای برف وارد بر بام‌های سازه‌های غیرساختمانی باید در مناطق مختلف ایران بر اساس جدول ۸ منظور شود. این بارها بر اساس آمارهای هواشناسی با احتمال فراگذشت ٪ ۲ (دوره بازگشت ۵۰ سال) تنظیم شده است. مقدار p_g برای مناطق ۶ گانهٔ کشور، به شرح جدول ۷ است. مناطق ۶ گانه به تفکیک هر شهرستان، در جدول ۸ و همچنین نقشه پهنه‌بندی مناطق کشور از دیدگاه بار برف مبنا در شکل ۴ نمایش داده شده است. در مورد تعیین بار برف وارد بر سازه‌های ساختمانی، فصل بار برف منبع [4] ملاک عمل است.

ضریب اهمیت ضرب در بار برف مبنا، $I_s p_g$، باید به عنوان بار برف متوازن در سطوح برف‌گیر نظیر عرشه‌ها، بالکن‌ها و سایر سطوح نزدیک به تراز زمین یا سقف‌های فضاهای زیرزمینی به‌کار رود که ارتفاع آن‌ها بالای سطح زمین کوچک‌تر از عمق برف روی زمین، $h_g=p_g/\gamma$ است.

جدول ۷- مقدار بار برف مبنا، p_g، برای مناطق ۶ گانهٔ ایران

منطقه	بار برف مبنا، p_g kPa
منطقهٔ ۱- برف بسیار کم (نادر)	۰٫۲۵
منطقهٔ ۲- برف کم	۰٫۵۰
منطقهٔ ۳- برف متوسط	۱٫۰۰
منطقهٔ ۴- برف زیاد	۱٫۵۰
منطقهٔ ۵- برف سنگین	۲٫۰۰
منطقهٔ ۶- برف فوق سنگین	۳٫۰۰



شکل ۴- تقسیم‌بندی بار برف مناطق مختلف ایران

جدول ۸- منطقه‌بندی برف برای شهرستان‌های ایران

ردیف	شهر	منطقه	ردیف	شهر	منطقه	ردیف	شهر	منطقه	ردیف	شهر	منطقه
۱	آستارا	۵	۳۱	بوشهر	۱	۶۱	رفسنجان	۳	۹۱	کاشمر	۲
۲	اراک	۴	۳۲	بیجار	۴	۶۲	روانسر	۴	۹۲	کرج	۴
۳	اردبیل	۵	۳۳	بیرجند	۲	۶۳	زابل	۲	۹۳	کرمان	۳
۴	اردستان	۲	۳۴	پیرانشهر	۵	۶۴	زرینه اوباتو	۵	۹۴	کرمانشاه	۴
۵	ارومیه	۴	۳۵	تبریز	۴	۶۵	زنجان	۴	۹۵	کنگاور	۴
۶	اسلام‌آباد غرب	۴	۳۶	تربت جام	۴	۶۶	سبزوار	۳	۹۶	کهنوج	۱
۷	اصفهان	۳	۳۷	تربت حیدریه	۳	۶۷	سراب	۴	۹۷	کوهرنگ	۶
۸	الیگودرز	۵	۳۸	تکاب	۴	۶۸	سراوان	۱	۹۸	گرگان	۳
۹	امیدیه	۱	۳۹	تهران	۴	۶۹	سرپل ذهاب	۳	۹۹	گرمسار	۳
۱۰	انار	۲	۴۰	جاسک	۱	۷۰	سرخس	۳	۱۰۰	گلپایگان	۵
۱۱	اهر	۴	۴۱	جلفا	۴	۷۱	سردشت	۶	۱۰۱	گلمکان	۴
۱۲	اهواز	۲	۴۲	جیرفت	۲	۷۲	سقز	۵	۱۰۲	گناباد	۲
۱۳	ایرانشهر	۱	۴۳	چابهار	۱	۷۳	سمنان	۳	۱۰۳	لار	۱
۱۴	ایلام	۴	۴۴	خاش	۱	۷۴	سنندج	۴	۱۰۴	ماکو	۴
۱۵	ایوان غرب	۳	۴۵	خدابنده	۴	۷۵	سیرجان	۴	۱۰۵	مراغه	۴
۱۶	آبادان	۲	۴۶	خرم‌آباد	۴	۷۶	شاهرود	۳	۱۰۶	مریوان	۵
۱۷	آباده	۳	۴۷	خرم‌دره	۴	۷۷	شهربابک	۳	۱۰۷	مسجدسلیمان	۳
۱۸	آبعلی	۵	۴۸	خلخال	۵	۷۸	شهرکرد	۴	۱۰۸	مشهد	۴
۱۹	آستانه اشرفیه	۵	۴۹	خور بیابانک	۱	۷۹	شیراز	۳	۱۰۹	ملایر	۴
۲۰	انزلی	۴	۵۰	خور بیرجند	۲	۸۰	طبس	۲	۱۱۰	مهاباد	۴
۲۱	بافت	۳	۵۱	خوی	۴	۸۱	فردوس	۲	۱۱۱	میانه	۴
۲۲	بافق	۲	۵۲	داران	۵	۸۲	فسا	۳	۱۱۲	نایین	۲
۲۳	بانه	۵	۵۳	درود	۵	۸۳	فیروزکوه	۴	۱۱۳	نهاوند	۴
۲۴	بجنورد	۴	۵۴	دزفول	۳	۸۴	قائن	۲	۱۱۴	نهبندان	۲
۲۵	بروجرد	۴	۵۵	دهلران	۳	۸۵	قراخیل	۴	۱۱۵	نیشابور	۴
۲۶	بستان	۲	۵۶	دوگنبدان	۲	۸۶	قروه	۴	۱۱۶	همدان	۴
۲۷	بشرویه	۲	۵۷	رامسر	۴	۸۷	قزوین	۴	۱۱۷	یاسوج	۴
۲۸	بم	۲	۵۸	رامهرمز	۲	۸۸	قم	۳	۱۱۸	یزد	۲
۲۹	بندرعباس	۱	۵۹	رباط پشت بادام	۲	۸۹	قوچان	۴			
۳۰	بندر لنگه	۱	۶۰	رشت	۵	۹۰	کاشان	۳			

۱۰-۲ بارهای برف وارد بر بام تخت، p_f

بار برف بام تخت، p_f، باید به‌صورت زیر محاسبه شود:

$$p_f = C_e C_t I_s p_g \qquad (۱۱)$$

که در آن:

p_f بار برف بام (برحسب kPa)؛

C_e ضریب برف‌گیری سازه طبق زیربند ۱۰-۲-۱؛

C_t ضریب شرایط دمایی طبق زیربند ۱۰-۲-۲؛

I_s ضریب اهمیت بار برف طبق جدول ۵؛

p_g بار برف روی زمین (بار برف مبنا) طبق زیربند ۱۰-۱.

یادآوری- در استاندارد ASCE7، ضریب ۰٫۷ در رابطهٔ (۱۱) وجود دارد که در این استاندارد به علت استفاده از داده‌های هواشناسی برف (متناظر با منبع [4] با دوره بازگشت ۵۰ سال) این ضریب از رابطهٔ مذکور حذف شده است.

۱۰-۲-۱ ضریب برف‌گیری سازه، C_e

مقدار C_e باید بر اساس جدول ۹ تعیین شود.

جدول ۹- ضریب برف‌گیری سازه، C_e

ردهٔ پوشش سطح زمین	میزان برف‌گیری بام سازه		
	کامل	نسبی	دارای سایبان
B (طبق زیربند ۱۳-۶-۳)	۰٫۹	۱٫۰	۱٫۲
C (طبق زیربند ۱۳-۶-۳)	۰٫۹	۱٫۰	۱٫۱
D (طبق زیربند ۱۳-۶-۳)	۰٫۸	۰٫۹	۱٫۰
نواحی رویش درختان در مناطق کوهستانی	۰٫۷	۰٫۸	غیر قابل کاربرد

یادآوری ۱- ردهٔ زمین و وضعیت برف‌گیری انتخابی برای بام سازه باید بیانگر شرایط پیش‌بینی‌شده در طول عمر سازه باشد. ضریب برف‌گیری باید برای بام هر سازه تعیین شود.

یادآوری ۲- تعاریف برف‌گیری کامل، نسبی و دارای سایبان:

مواجهه کامل: بام‌هایی که در کلیهٔ وجوه خود تحت تأثیر برف قرار می‌گیرند و به هیچ عنوان به واسطه زمین، سایبان یا سازه‌های مرتفع‌تر، دارای سایبان نیستند. بام‌هایی که دارای قطعات بزرگ تجهیزات مکانیکی هستند، جان‌پناه‌هایی که ارتفاع آن‌ها از ارتفاع بار برف متوازن، h_b، بلندتر است یا سایر موانع در این رده قرار نمی‌گیرند.

دارای سایبان: بام‌هایی که در بین موانعی قرار می‌گیرند و پوشش برف روی آن‌ها شکل نمی‌گیرد.

مواجهه نسبی: بام‌هایی که در هیچ کدام از دو ردهٔ فوق واقع نمی‌شوند.

یادآوری ۳- موانعی که در فاصله $10h_o$ از سازه قرار می‌گیرند به عنوان سایبان تلقی می‌شوند که h_o ارتفاع مانع بالای تراز بام سازه است. در صورتی که تنها موانع چند درخت برگ پهن باشند که در زمستان بی برگ می‌شوند، باید از ردهٔ «برف‌گیری کامل» استفاده شود. دقت شود که این ارتفاع‌ها از بالای تراز بام سنجیده می‌شوند. ارتفاع‌های به‌کار رفته برای ردهٔ مواجهه مطرح شده در زیربند ۱۳-۶-۳ از روی زمین اندازه‌گیری می‌شود.

۱۰-۲-۲ ضریب شرایط دمایی، C_t

ضریب شرایط دمایی، C_t، باید از جدول ۱۰ تعیین شود.

۱۰-۲-۳ ضریب اهمیت، I_s

مقدار I_s باید بر اساس جدول ۵ بر مبنای ردهٔ خطرپذیری جدول ۴ به‌دست آید.

جدول ۱۰- ضریب شرایط دمایی، C_t

وضعیت دمایی[1]	C_t
کلیهٔ سازه‌ها به‌جز موارد ذکر شده در ردیف‌های زیر	به جدول ۱۱ مراجعه شود.
سازه‌های فاقد گرمایش، سازه‌های دارای فضای باز، سازه‌هایی که در دمای بالای انجماد (۴ °C تا ۱۰ °C) نگهداری می‌شوند و سازه‌های دیگر با بام‌های سرد و داری تهویه که با حداقل الزامات صرفه‌جویی در مصرف انرژی (منبع [13]) مطابقت دارند.	۱٫۲۰
سازه‌هایی که همواره دمای آن‌ها زیر صفر درجه سلسیوس است (نظیر سردخانه)	۱٫۳۰
گل‌خانه‌هایی که به‌طور مداوم گرم می‌شوند[2] دارای بام با مقاومت حرارتی (مقدار R) کوچک‌تر از ۰٫۴ m^2K/W یا ضریب انتقال حرارتی (ضریب U) بزرگ‌تر از ۲٫۵ W/m^2K هستند	۰٫۸۵

[1] این شرایط باید بیانگر وضعیت پیش‌بینی شده طی زمستان در طول عمر بهره‌برداری سازه باشد.
[2] سازه‌هایی نظیر گل‌خانه که طی زمستان، دمای داخلی آن‌ها در تراز ۱ m بالای کف، همواره بزرگ‌تر یا مساوی ۱۰ °C نگهداری می‌شود و همواره دارای مسئول تعمیر و نگهداری هستند یا آنکه مجهز به سامانهٔ هشدار دما در موقع از کارافتادن سامانهٔ گرمایش هستند.

جدول ۱۱- ضریب حرارتی، C_t، برای سازه‌های دارای گرمایش با بام‌های فاقد تهویه[1]

R_{roof} m^2K/W	U_{roof} W/m^2K	p_g						
		۰٫۴۸	۰٫۹۶	۱٫۴۴	۱٫۹۲	۲٫۴۰	۲٫۸۸	۳٫۳۶
کوچک‌تر از ۳٫۵۲	بزرگ‌تر از ۰٫۲۸۴	۱٫۲۰	۱٫۱۱	۱٫۰۵	۱٫۰۱	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰
۵٫۲۸	۰٫۱۸۹	۱٫۲۰	۱٫۱۷	۱٫۱۴	۱٫۱۳	۱٫۱۲	۱٫۱۱	۱٫۱۰
۷٫۰۴	۰٫۱۴۲	۱٫۲۰	۱٫۱۹	۱٫۱۷	۱٫۱۶	۱٫۱۶	۱٫۱۵	۱٫۱۵
[2] ۸٫۸۰	[2] ۰٫۱۱۴	۱٫۲۰	۱٫۲۰	۱٫۱۹	۱٫۱۹	۱٫۱۹	۱٫۱۸	۱٫۱۸

[1] برای مقادیر بینابینی P_g و مقدار R، می‌توان از درون‌یابی خطی برای تعیین مقدار C_t استفاده نمود.
[2] برای مقادیر R بزرگ‌تر از ۸٫۸ m^2K/W یا ضریب U کوچک‌تر از ۰٫۱۱۴، مقدار C_t، باید برابر با ۱٫۲ لحاظ شود.

۱۰-۲-۴ کمینه بار برف روی بام‌های با شیب کم، p_m

کمینه بار برف، p_m، باید صرفاً به بام‌های با شیب یک‌طرفه و شیروانی با شیب کوچک‌تر از 15° و همچنین بام‌های قوسی که زاویهٔ قائم آن‌ها از تاج تا پای شیب کوچک‌تر از 10° است اعمال شود. کمینه بار برف برای بام‌های با شیب کم باید بر اساس رابطهٔ زیر محاسبه شود:

در صورتی که p_g، کوچک‌تر یا مساوی حد فوقانی کمینه بار برف (مقادیر مندرج در جدول ۱۲)، $p_{m,max}$ باشد:

$$p_m = I_s\, p_g \qquad (۱۲)$$

در صورتی که p_g، بزرگ‌تر یا مساوی $p_{m,max}$ باشد:

$$p_m = p_{m,max} \qquad (۱۳)$$

این کمینه بار برف یک حالت بار یکنواخت جداگانه محسوب می‌شود. نیازی نیست که این حالت بار در ترکیب با جابه‌جایی نسبی[1]، لغزش، بارهای نامتوازن یا بخشی به‌کار رود.

جدول ۱۲- مقادیر کمینه بار برف برای بام‌های شیب‌دار، $p_{m,max}$، برحسب kPa

ردهٔ خطرپذیری	$p_{m,max}$
۱	۱٫۲۰
۲	۱٫۴۴
۳	۱٫۶۸
۴	۱٫۹۲

۱۰-۳ بارهای برف وارد بر بام شیب‌دار، p_s

بارهای برف وارد بر یک سطح شیب‌دار باید بر یک تصویر افقی سطح مورد نظر فرض شود. بام شیب‌دار بار برف متوازن، p_s، باید از رابطهٔ زیر به‌دست آید:

$$p_s = C_s p_f \qquad (۱۴)$$

که در آن:

p_f بار برف بام تخت؛

C_s ضریب شیب بام است.

مقادیر C_s در بام‌های گرم، بام‌های سرد، بام‌های قوسی و بام‌های چندگانه به ترتیب از زیربندهای ۱۰-۳-۱ تا ۱۰-۳-۳ تعیین می‌شود. در صورتی که بام از نوع «سرد» یا «گرم» باشد، ضریب شرایط دمایی، C_t، از

1- Drift

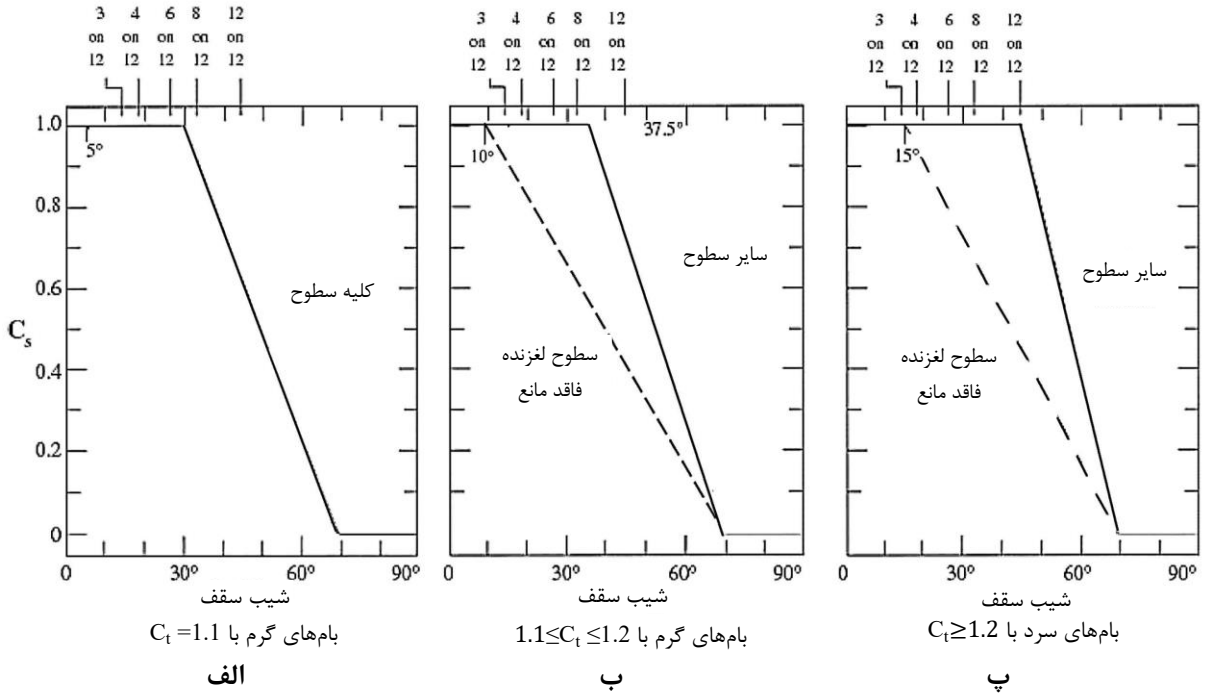
جدول ۱۰ به‌دست می‌آید. مقادیر برای سطوح لغزنده را صرفاً زمانی می‌توان به‌کار برد که سطح بام بدون مانع بوده، فضای کافی پایین لبه بام برای پذیرش کل برف لغزان وجود داشته باشد. هنگامی می‌توان بام را بدون مانع در نظر گرفت که هیچ جسمی مانع از لغزیدن برف از روی بام وجود نداشته باشد. بام با ادوات نگهدارندهٔ برف را نباید به عنوان بام بدون مانع منظور کرد. سطوح لغزنده باید شامل فلز، پوشش سفالی، شیشه، پوشش قیری، لاستیک یا غشاهای پلاستیکی با یک رویه نرم باشد. غشاهای دارای سنگدانه یا سنگدانه معدنی تعبیه شده، به عنوان غشاهای هموار در نظر گرفته نمی‌شوند. توفال‌های آسفالتی، توفال‌ها و پوشش‌های چوبی را نباید از نوع لغزنده منظور کرد.

۱۰-۳-۱ ضریب شیب، C_s

ضریب شیب، C_s، باید بر اساس شکل ۵ تعیین شود.

۱۰-۳-۲ ضریب شیب بام در بام‌های قوسی

بخش‌هایی از بام قوسی که دارای شیبی فراتر از 70° است باید فاقد بار برف منظور شود (یعنی $C_s=0$). بارهای متوازن باید از نمودارهای بار متوازن در شکل ۶ با C_s تعیین شده از نمودار مناسب در شکل ۵ به‌دست آید.



شکل ۵- نمودارها برای تعیین ضریب شیب بام، C_s (برای تعیین C_t به جدول ۱۰ مراجعه شود)

۱۰-۳-۳ ضریب شیب بام در بام‌های کنگره‌ای[1]، دندانه‌دار[2] و تاوه چین‌دار[3]

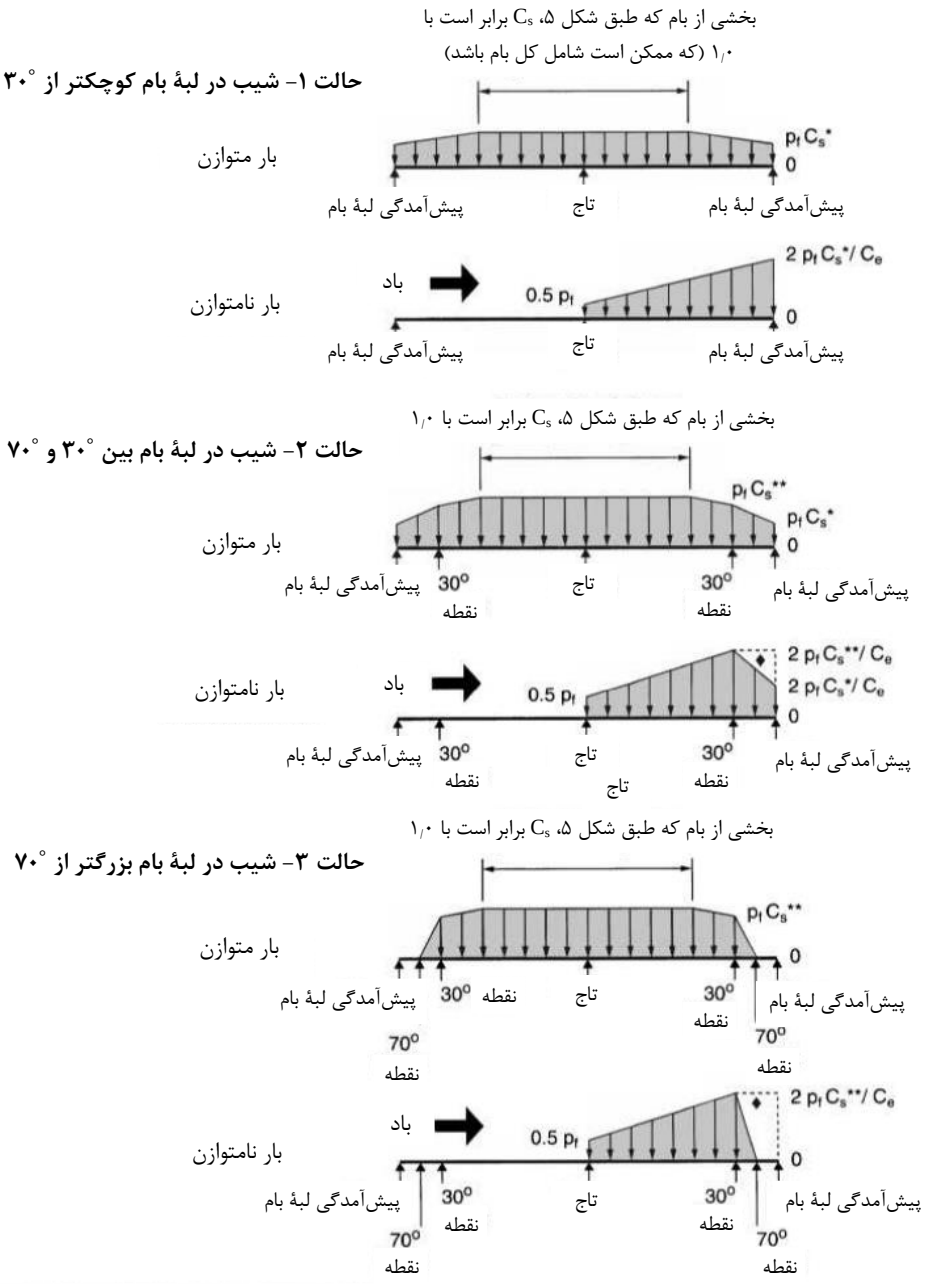
در این بام‌ها، ضـریب C_s باید برابر با واحـد اختیار شود و هیچ کاهشی در بار برف به علت شیب مجـاز نیست (یعنی $p_s=p_f$).

۱۰-۳-۴ سدهای یخی و قندیل‌ها در طول لبه بام

در صورتی که ضریب حرارتی سـازه، C_t، کوچک‌تر یا مساوی ۱٫۱ طبق بند ۱۰-۲-۲ باشد، بام‌های فاقد تهویه که آب از روی لبه‌های آن‌ها تخلیه می‌شود، باید قادر به تحـمل یک بار گسترده یکنواخت به میزان $2p_f$، روی بخش‌های طره‌ای باشند. بار روی قسمت طـره‌ای باید بر اسـاس بار برف بـام تخت برای بخش دارای گرمایش بـام در سـمت رو به بالای دیوار پیرامونی تعیین شود. به هنـگام اعمـال بار گستردهٔ یکنـواخت، به‌جز بارهای مرده، نباید هیـچ باری روی سقف قرار داده شود.

در صورتی که C_t کوچک‌تر یا مساوی باشد، ضـریب شیب بام، C_s، باید طبق قسمت الف شکل ۵ تعیین شود. چنانچه C_t بزرگ‌تر از ۱٫۱ و کوچک‌تر از ۱٫۲ باشد، ضریب مذکـور باید طبق قسمت ب شکل ۵ به‌دست آید. اگر C_t بزرگ‌تر یا مساوی ۱٫۲ باشد، ضریب C_s باید براساس قسمت پ شکل ۵ تعیین شود.

1- Multiple Floded Plate Roof
2- Sawtooth Roof
3- Barrier Vault Roof



راهنما:

* از شیب در پیش‌آمدگی لبهٔ بام برای تعیین C_s استفاده شود.

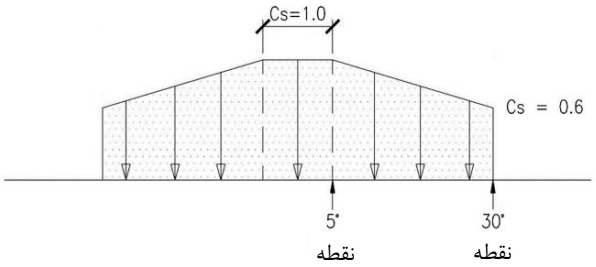
** از یک شیب با زاویه ۳۰° برای تعیین C_s استفاده شود.

♦ توزیع جایگزین چنانچه اتصال به بام دیگری وجود داشته باشد.

شکل ۶- بارهای متوازن و نامتوازن در بام‌های قوسی

۱۰-۳-۵ بارهای برف در سازه‌های بادی

بارگذاری برف برای سازه‌های بادی دارای بافت خارجی با پوشش ونیل در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- بار برف در سازه‌های بادی

۱۰-۴ بارگذاری بخشی

این موضوع که برخی دهانه‌های سازهٔ غیرساختمانی مشابه ساختمان، با بار برف متعادل پوشانده شده، سایر دهانه‌ها تحت نیمی از بار برف متعادل قرار داده شود، باید به‌صورتی که در ادامه می‌آید بررسی شود.

۱۰-۴-۱ سامانه‌های تیر پیوسته

سامانه‌های تیر پیوسته باید برای آثار سه بارگذاری نشان‌داده‌شده در شکل ۸ بررسی شود:

- کل بار برف متوازن روی هر دهانهٔ کناری قرار داده‌شده، نیمی از آن روی سایر دهانه‌ها واقع شود؛
- نیمی از بار برف متوازن روی دهانهٔ کناری قرار داده‌شده، بقیه دهانه‌ها تحت بار کامل قرار داده شود؛
- کلیهٔ ترکیب‌های محتمل قرارگیری کل بار برف متوازن روی هر دو دهانهٔ مجاور و نصف بار برف متوازن روی سایر دهانه‌ها قرار داده شود. در این حالت، n-1 ترکیب وجود خواهد داشت که در آن n، تعداد دهانه‌های تیر پیوسته است.

در صورتی که بخشی از تیر پیوسته به‌صورت طره‌ای باشد، دهانه طره‌ای را نیز باید به عنوان یک دهانه منظور کرد. نیازی به اعمال ضوابط بارگذاری بخشی به اعضای سازه‌ای عمود بر خط‌الرأس[1] بام‌های شیب‌دار با شیب بین ۲° تا ۳۰° وجود ندارد.

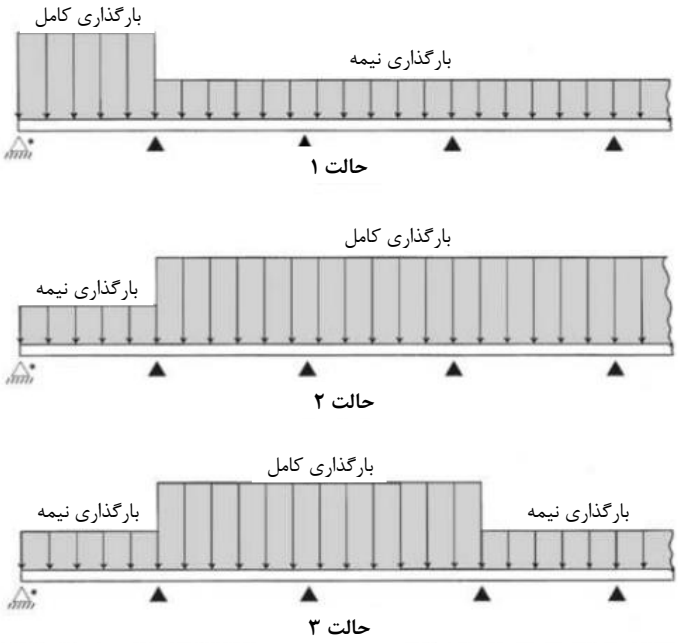
۱۰-۴-۲ سایر سامانه‌های سازه‌ای

در سایر سامانه‌های سازه‌ای (به جز تیرهای پیوسته)، امکان ایجاد بیشترین اثر ناشی از بارگذاری بخشی از طریق کاهش بار برف متوازن به نصف در بخش‌هایی از بام باید بررسی شود.

۱۰-۵ بارهای برف نامتوازن بام

بارهای برف متوازن و نامتوازن باید به‌صورت جداگانه مورد تحلیل قرار داده شود. کلیهٔ راستاهای محتمل وزش باد باید برای استقرار بارهای برف مدنظر قرار داده شود.

1- Ridgeline



راهنما:

* در صورت وجود بخش طره‌ای، تکیه‌گاه سمت چپ وجود نخواهد داشت و به همین خاطر به صورت خط‌چین نشان داده شده است.

شکل ۸- نمودارهای بارگذاری بخشی برای تیرهای پیوسته سازه

۱۰-۵-۱ بارهای برف نامتوازن در بام‌های شیب‌دار

در بام‌های شیب‌دار با زاویهٔ بزرگ‌تر از 30° یا کوچک‌تر از 2°، نیازی به اعمال بارهای نامتوازن برف نیست. در بام‌های با فاصلهٔ افقی بین تاج و پای شیب، W، کوچک‌تر یا مساوی با 6 m، اعضای منشوری دارای تکیه‌گاه ساده بین تاج و پیش‌آمدگی لبهٔ بام، باید برای یک بار نامتوازن برف روی بخش پشت به باد برابر با $I_s p_g$ طراحی شوند. در این بام‌ها، سمت رو به باد باید فاقد بار برف تلقی شود. در سایر بام‌های شیب‌دار، بار نامتوازن باید شامل $0.3P_s$ در سمت رو به باد و P_s پشت به باد به اضافه سربار مستطیلی (افقی) به شدت $h_d\gamma/\sqrt{S}$ و یک فاصلهٔ افقی برابر با $8h_d\gamma/\sqrt{S}$ از تاج به سمت شیب باشد که h_d ارتفاع انباشت برف است که از رابطهٔ (۱۵) با فرض l_u برابر با فاصلهٔ تاج تا پای شیب در بخش رو به باد سقف، W به‌دست می‌آید. ارتفاع انباشت، h_d به این صورت به‌دست می‌آید:

$$h_d = 1.5\sqrt{\frac{p_g^{0.74} l_u^{0.70} W_2^{1.7}}{\gamma}} \qquad (۱۵)$$

که در آن:

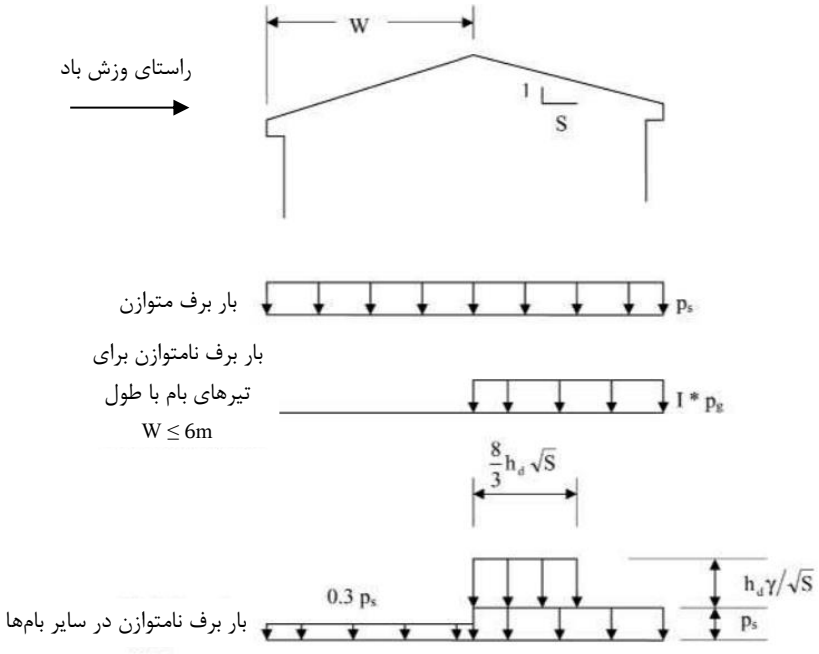
p_g بار برف روی زمین (بار برف مبنا) طبق زیربند ۱۰-۱؛

W_2 این پارامتر برای مناطق ۶ گانهٔ برف (مطرح‌شده در زیربند ۱۰-۱) در جدول ۱۳ به‌صورت پیشنهادی آمده است؛

γ وزن مخصوص برف که از رابطهٔ (۱۶) تعیین می‌شود برحسب kN/m^3.

یادآوری- پارامتر W_2 برای نخستین بار در نسخه سال ۲۰۲۲ استاندارد ASCE7 معرفی شـــده است و تاکنـون مطالعه‌ای در ایران برای تعیین آن انجـــام نپذیرفته است. لذا مقادیر ارائه شده برای W_2 به‌صورت توصیه‌ای بیان شده و کارفرما می‌تواند برای تعیین آن از مطالعات ویژه ساختگاه استفاده کند.

نمودارهای بارگذاری وضعیت متوازن و نامتوازن در شکل ۹ ارائه شده است.



یادآوری- برای زوایای شیب $\theta > 30^\circ$ و $\theta < 2^\circ$، نیازی به منظور کردن بارهای برف نامتوازن نیست.

شکل ۹- بار متوازن و نامتوازن برف در بام‌های با شیب دو یا چند طرفه

جدول ۱۳- پیشنهاد پارامتر W_2 برای مناطق ۶ گانهٔ برف‌گیر در ایران

منطقه	W_2
منطقهٔ ۱- برف بسیار کم (نادر)	۰٫۲۵
منطقهٔ ۲- برف کم	۰٫۳۰
منطقهٔ ۳- برف متوسط	۰٫۳۵
منطقهٔ ۴- برف زیاد	۰٫۴۰
منطقهٔ ۵- برف سنگین	۰٫۴۵
منطقهٔ ۶- برف فوق سنگین	۰٫۵۰

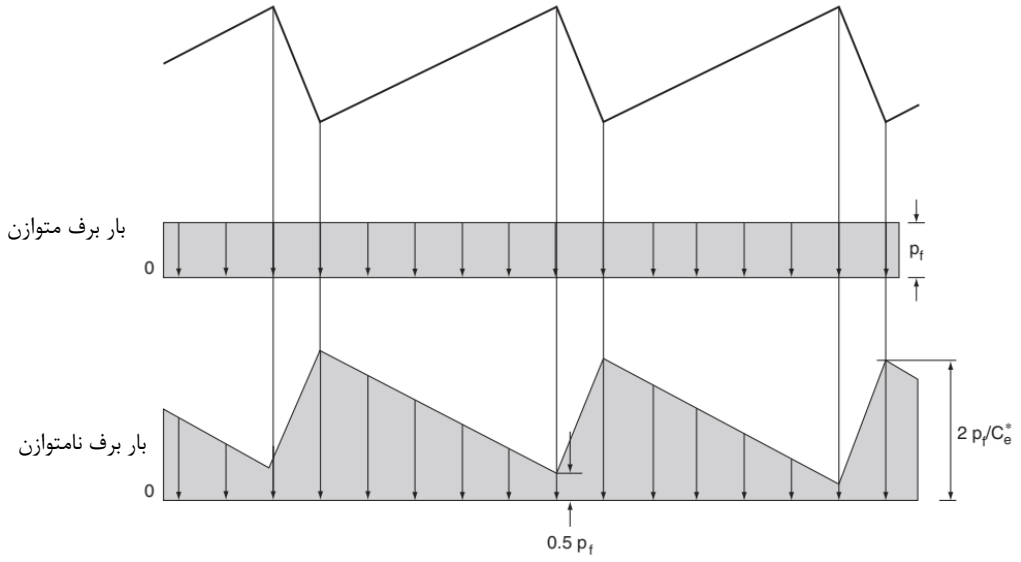
۱۰-۵-۲ بارهای برف نامتوازن در بام‌های قوسی

بخش‌هایی از بام‌های قوسی که دارای شیبی بیشتر از 70° است باید بدون بار برف لحاظ شود. در بام‌های قوسی، در صورتی که زاویهٔ شیب خط رابط از تاج تا پای قوس کوچک‌تر از 10° یا بزرگ‌تر از 60° باشد، نیازی به لحاظ کردن بار نامتوازن برف نیست.

بارهای نامتوازن باید با استفاده از نمودارهای ارائه شده در شکل ۶ تعیین شود. در تمام موارد، سمت رو به باد باید بدون بار برف منظور شود. در صورتی که زمین یا یک بام دیگر در فاصلهٔ m ۱ بام قوسی حالت ۲ یا حالت ۳ (شکل ۶) قرار داشته باشد، بار برف را نباید برای ناحیه با زاویهٔ شیب بزرگ‌تر از 30° کاهش داد و این بار باید برابر با مقدار محاسبه‌شده در زاویه 30° تا لبهٔ بام منظور شود. این توزیع به‌صورت خط‌چین در شکل ۶ نشان داده شده است.

۱۰-۵-۳ بارهای نامتوازن برف برای بام‌های کنگره‌ای، دندانه‌دار و تاوه چین‌دار

در بام‌های کنگره‌ای، دندانه‌دار و تاوه‌چین‌دار اگر شیب سقف از 2° (۳٪) فراتر رود، بارهای نامتوازن برف باید اعمال شود. طبق زیربند ۱۰-۳-۳، در چنین بام‌هایی، $C_s=1.0$ خواهد بود و بار برف نامتوازن نیز p_f است. نمودارهای بارگذاری متوازن و نامتوازن برای یک بام دندانه‌دار در شکل ۱۰ نشان داده شده است. شدت بار نامتوازن برف در یک صفحهٔ افقی از نصف مقدار بار برف متوازن در رأس (یعنی $0.5p_f$) به‌صورت خطی تا مقدار دو برابر بار متوازن ارائه شده در زیربند ۱۰-۳-۳ تقسیم بر C_e در نقاط قعر بام (یعنی $2p_f/C_e$) افزایش می‌یابد. نمودارهای بارگذاری متوازن و نامتوازن برای یک بام دندانه‌دار در شکل ۱۰ نشان داده شده است. اما سطح برف بالای قعر نباید در ترازی بالاتر از برف بالای رأس باشد. ارتفاع برف باید با تقسیم بار برف بر چگالی آن توسط رابطهٔ (۱۶) در زیربند ۱۰-۶-۱ تعیین شود.



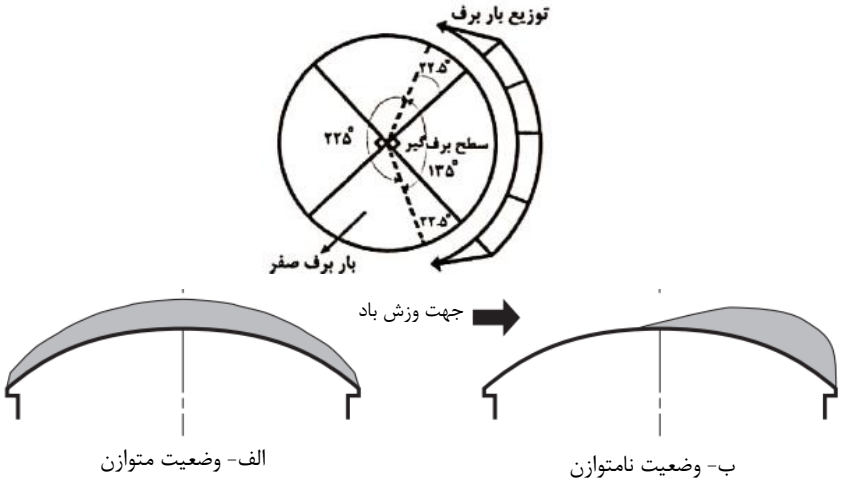
راهنما

* ممکن است طبق زیربند ۱۰-۵-۳ تا حدودی کمتر باشد.

شکل ۱۰- بارهای برف متوازن و نامتوازن برای یک بام دندانه‌دار

۱۰-۵-۴ بارهای برف نامتوازن در بام‌های گنبدی

بارهای نامتوازن برف را باید به گنبدها و سایر سازه‌های گرد اعمال کرد. بارهای برف باید به‌صورت مشابه بام‌های قوسی در زیربند ۱۰-۵-۲ تعیین شود و در قطاع 90° پشت به باد[1] در منظر پلان اعمال شود. در هر دو لبهٔ این قطاع، بار باید به‌صورت خطی تا هر قطاع $22/5^\circ$ به صفر کاهش داده شود. در مابقی قطاع 225° رو به باد، نباید بار برف منظور شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- نحوه توزیع بار برف متوازن و نامتوازن در بام گنبدی

۱۰-۶ انباشت برف روی بام‌های کم‌ارتفاع‌تر (سایه آئرودینامیکی[2])

بام‌ها باید برای تحمل بارهای موضعی انباشت برف که به علت سایه باد در:

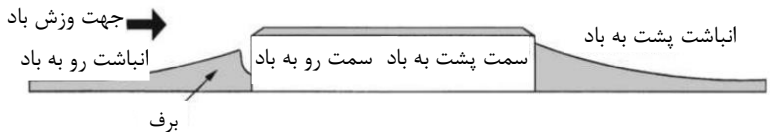
- قسمت‌های مرتفع‌تر همان سازه؛ یا
- بلندی‌ها و سازه‌های مجاور؛

ایجاد می‌شود طراحی شوند.

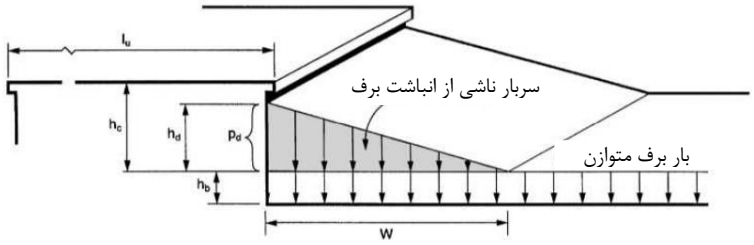
۱۰-۶-۱ بام پایینی یک سازه

برف انباشته شده توسط باد از بخش بالایی بام به بخش پایینی فرو می‌ریزد یا آنکه باد در جهت مقابل، برف روی بام پایینی در جوار بام بالایی انباشته می‌کند. این دو نوع انباشت برف (رو به باد و پشت به باد) در شکل ۱۲ نشان داده شده است. هندسهٔ سربار ناشی از انباشت برف باید به‌طور تقریبی به‌صورت یک مثلث که در شکل ۱۳ نشان داده شده منظور شود. بارهای انباشته شده باید به بار برف متوازن اضافه شود. در صورتی که h_c/h_b کوچک‌تر از ۰/۲ باشد، نیازی به اعمال بارهای انباشت برف نیست.

1- Downwind
2- Aerodynamic shade



شکل ۱۲- انباشت برف در سمت رو به باد و پشت به باد



شکل ۱۳- پیکربندی انباشت برف در بام‌های پایینی

در انباشت پشت به باد، ارتفاع انباشت برف، h_d، باید به‌طور مستقیم از رابطهٔ (۱۵) با استفاده از طول بام بالایی به‌دست آید. در هر حال، نیازی نیست که ارتفاع انباشت برف از ٪ ۶۰ طول بام بالایی بزرگ‌تر در نظر گرفته شود. در انباشت رو به باد، ارتفاع انباشت برف باید با جایگزین کردن طول بام پایینی به جای l_u در رابطهٔ (۱۵) و استفاده از سه‌چهارم h_d به عنوان ارتفاع انباشت برف تعیین شود. بزرگ‌ترین مقدار به‌دست آمده بین دو حالت فوق، به عنوان ارتفاع طراحی منظور می‌شود. برای انباشت پشت به باد، اگر h_d کوچک‌تر یا مساوی h_c باشد، پهنای انباشت، w، باید برابر با $4h_d$ و ارتفاع انباشت باید برابر با h_d باشد. چنانچه این ارتفاع از h_c فراتر رود، پهنای انباشت، w، باید برابر با $4h^2_d/h_c$ و ارتفاع انباشت نیز برابر با h_c فرض شود.
برای انباشت پشت به باد، پهنای انباشت، w، نباید بزرگ‌تر از $8h_c$ اختیار شود. در انباشت رو به باد، عرض انباشت، w، باید هشت برابر ارتفاع انباشت یا $8\times(0.75h_d)=6h_d$ در نظر گرفته شود. چنانچه پهنای انباشت، w، از پهنای بام پایینی فراتر رود، انباشت باید به‌صورت خطی در دورترین انتهای بام تراز پایینی تا حد صفر کاهش یابد. بیشینه شدت سربار انباشت برف، p_d، برابر است با $h_d\gamma$ که γ جرم حجمی برف است که در رابطهٔ زیر تعریف شده است.

$$\gamma = 0.43p_g+2.2\ (kN/m^3) \qquad (۱۶)$$

که در آن:

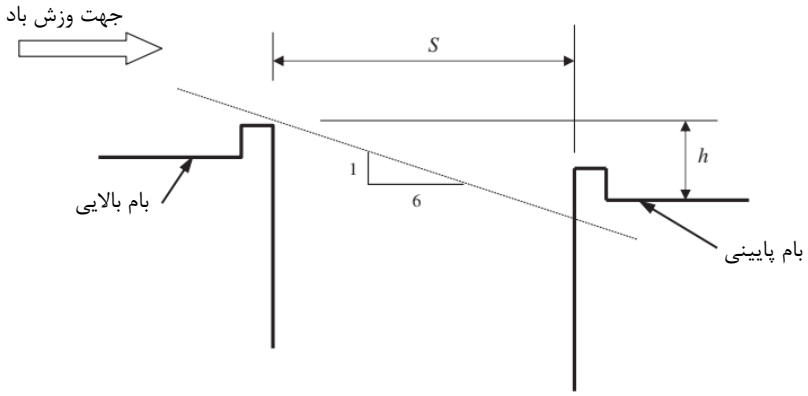
p_g بار برف روی زمین (بار برف مبنا) طبق زیربند ۱۰-۱. این جرم حجمی را باید برای تعیین h_b با تقسیم p_s بر γ به‌کار برد.

۱۰-۶-۲ سازه‌های مجاور هم

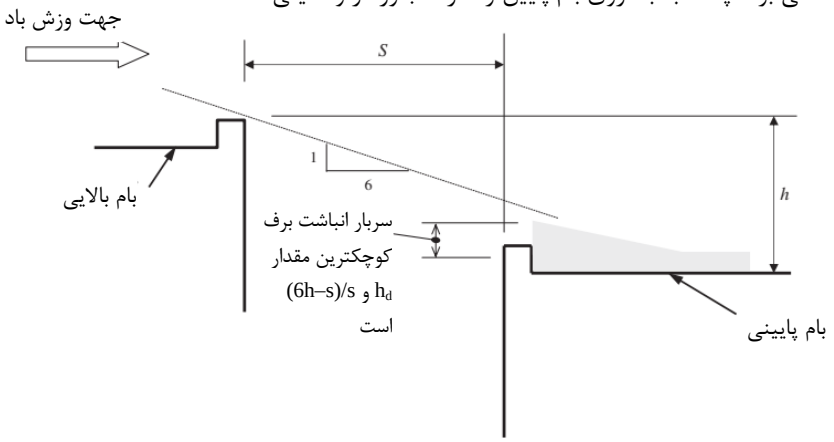
اگر فاصلهٔ افقی دو سازه، s، بزرگ‌تر از m ۶ یا بیشتر از ۶ برابر اختلاف تراز بام آن‌ها، h باشد نیازی به منظور کردن اثر انباشت برف روی بام تحتانی نیست (به قسمت الف از شکل ۱۴ مراجعه شود). در صورتی که فاصلهٔ افقی بین سازه‌های مجاور، s، کوچک‌تر از m ۶ بوده، از ۶ برابر فاصلهٔ جدایش قائم نیز کوچک‌تر باشد ($s < 6h$)، الزامات انباشت پشت به باد طبق زیربند ۱۰-۶-۱ باید برای تعیین بار انباشت برف روی

سازهٔ پایینی به‌کار رود (به قسمت ب از شکل ۱۴ مراجعه شود). ارتفاع انباشت برف باید کوچک‌ترین مقدار h_d بر اساس طول سازه مجاور مرتفع‌تر و $(6h–s)/s$ اختیار شود. میزان گسترش افقی انباشت برف باید کوچک‌ترین مقدار بین $6h_d$ یا $6h–s$ منظور شود.

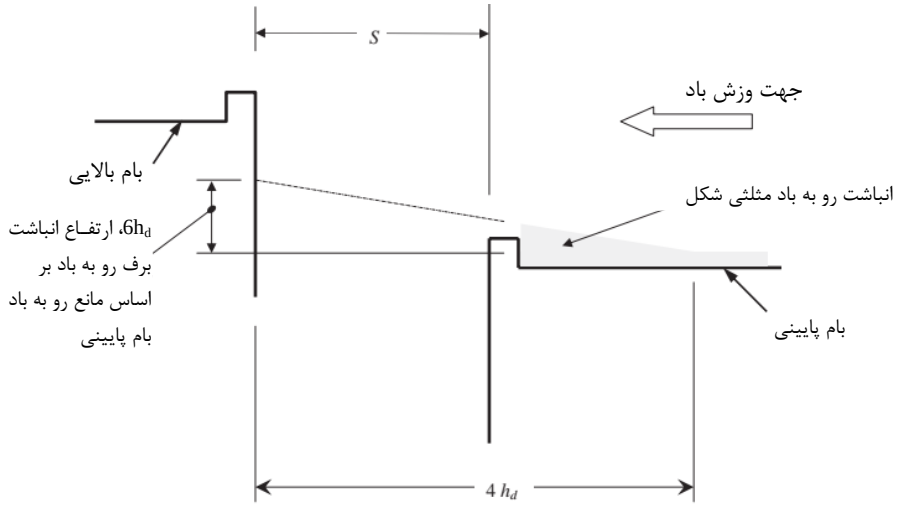
برای انباشت رو به باد، الزامات زیربند ۱۰-۶-۱ باید به‌کار رود. بخشی از توزیع برف انباشت که بین دو سازه قرار می‌گیرد از بارگذاری حذف می‌شود (به قسمت پ از شکل ۱۴ مراجعه شود).



الف- انباشتگی برف پشت به باد روی بام پایین‌تر سازهٔ مجاور در وضعیتی که $s > 6h$



ب- انباشتگی برف پشت به باد روی بام پایین‌تر سازهٔ مجاور در وضعیتی که $s < 6h$

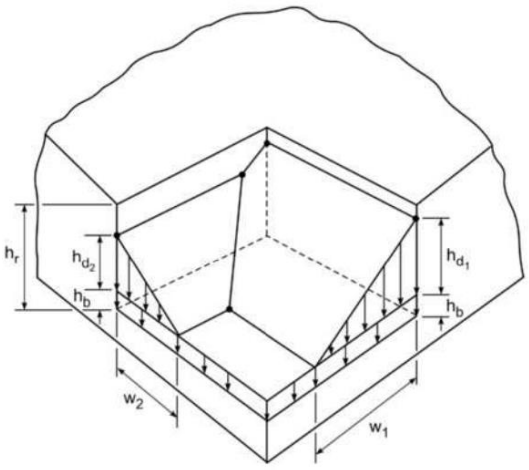


پ- انباشتگی برف رو به باد روی بام پایین‌تر سازهٔ مجاور در وضعیتی که $s < 6h$

شکل ۱۴- بار انباشت برف پشت به باد و رو به باد روی بام پایینی سازهٔ مجاور

۱۰-۶-۳ انباشت‌های تلاقی‌کننده در بام‌های پایینی

در گوشه‌های ورودی و گوشه‌های دیوار جان‌پناه، ضوابط زیربند ۱۰-۶-۱ باید برای تعیین هندسهٔ انباشت برف به‌کار رود. جایی که دو انباشت برف با یکدیگر تلاقی دارند، انباشت برف بزرگ‌تر حاکم خواهد بود (شکل ۱۵). بارهای انباشت برف دارای تلاقی[1]، باید به‌طور هم‌زمان لحاظ شوند با این تفاوت که نیازی نیست دو بار انباشت را روی هم قرار داد. در انباشت برف تلاقی‌کننده در گوشه‌های ورودی، طول بام بالایی قابل کاربرد در هر انباشت برف باید با l_u موازی با w_1 در انباش اول و l_u موازی با w_2 برای انباشت دوم منظور شود. در انباشت‌های برف رو به باد، طول بام پایینی باید در تعیین l_u به‌کار رود.



یادآوری- بارهای برف یکنواخت روی بام بالایی نشان داده نشده است

شکل ۱۵- پیکربندی انباشت‌های برف تلاقی‌کننده در بام پایینی

۱۰-۷ قسمت‌های بالا آمده بام[2] و دست‌اندازها

روش ذکر شده در زیربند ۱۰-۶-۱ باید برای محاسبهٔ بارهای انباشت برف روی کلیهٔ دست‌اندازهای بام و دیوارهای جان‌پناه به‌کار رود. ارتفاع این انباشت برف باید معادل سه‌چهارم ارتفاع انباشت از رابطهٔ (۱۵) (یعنی $0.75h_d$) به‌دست آید. در مورد دست‌اندازها، طول بام در جهت عمود بر دست‌انداز برای l_u منظور می‌شود و در قسمت‌های بالاآمدهٔ بام، مقدار بزرگ‌تر طول رو به باد و طول پشت به باد روی بام برای l_u در نظر گرفته می‌شود.

یادآوری- در صورتی که عرض وجه قسمت بالاآمدهٔ بام کوچک‌تر از ۴٫۵ m باشد یا فاصلهٔ خالص بین ارتفاع بار برف متوازن، h_b و پایین بالاآمدگی (شامل تکیه‌گاه‌های افقی) حداقل ۰٫۵ m باشد، نیازی به منظور کردن بار انباشت برف نیست.

1- Intersecting drifts
2- Roof projections

۱۰-۸ برف لغزنده

بار ایجاد شده ناشی از لغزش برف از روی یک بام شیب‌دار بالایی و انباشت آن روی یک بام پایینی باید برای بام‌های بالایی لغزنده با شیب بیشتر از ٪ ۲ و در سایر بام‌های بالایی (یعنی غیرلغزنده) با شیب بزرگ‌تر از ٪ ۱۵ منظور شود. مقدار کل بار لغزنده در واحد طول در راستای لبهٔ بام باید $0.4p_fW$ در نظر گرفته شود که W فاصلهٔ افقی لبه تا رأس بام شیب‌دار بالایی است. بار لغزنده باید به‌صورت گستردهٔ یکنواخت روی بام پایینی در فاصلهٔ ۴٫۵ m از لبهٔ بام بالایی توزیع شود. در صورتی که پهنای بام پایینی کوچک‌تر از ۴٫۵ m باشد، باید بار لغزنده به تناسب با آن کاهش داده شود.

بار برف لغزنده نباید بیشتر از این کاهش داده شود مگر آنکه از لغزش بخشی از برف بام بالایی روی بام پایینی به علت بلوکه‌شدن آن جلوگیری شود.

در سازه‌های مجاور، در صورتی که $h/s > 1$ و $s < 4.5m$ باشد، بارهای لغزنده را باید در نظر گرفت (h و s در شکل ۱۴ نشان داده شده است). طول نوار بار لغزیده روی بام پایینی باید برابر با (4.5–s) (m) و بار در واحد طول باید برابر با $0.4p_fW(4.5–s)/4.5$ باشد. بارهای لغزنده باید به بار برف متوازن اضافه شود و نیازی به ترکیب آن با بارهای برف انباشته، نامتوزان، جزیی یا اثر باران روی برف نیست.

۱۰-۹ سربار باران روی برف

در مناطقی که p_g کوچک‌تر یا مساوی $p_{m,max}$ است، کلیه بام‌ها با شیب کوچک‌تر از W/15 (W برحسب m)، باید سربار باران به مقدار ۰٫۴ kPa، روی برف منظور شود. این بار اضافه صرفاً به وضعیت بار برف متوازن بام شیب‌دار اعمال می‌شود و نیازی به ترکیب آن با بارهای انباشته، لغزنده، نامتوازن، کمینه یا جزیی نیست.

۱۰-۱۰ ناپایداری ناشی از انباشت آب

دهانه‌های مستعد انباشت آب باید در برابر ناپایداری حاصل از انباشت آب طراحی شوند. افتادگی[1] بام ناشی از بارهای کامل برف را باید به هنگام تعیین احتمال ناپایداری ناشی از آب‌افتادگی ارزیابی کرد.

۱۰-۱۱ بام‌های موجود (کف‌های افقی برف‌گیر در سازه‌های صنعتی)

بام‌های موجود را باید برای بارهای برف افزایش‌یافته ناشی از اثرات اضافه شدن یا ایجاد تغییرات در سازهٔ بام ارزیابی نمود. در صورت احداث یک بام مرتفع‌تر در فاصلهٔ ۶ m، بهره‌برداران سازهٔ پایینی باید در خصوص احتمال اعمال بارهای برف افزایش‌یافته بر بام سازهٔ آن‌ها آگاه شوند. به پانوشت جدول ۹ و زیربند ۱۰-۶-۲ مراجعه شود.

1- Deflection

۱۰-۱۲ بار برف روی سازه‌های قابی شکل باز نگهدارنده تجهیزات[1]

سازه‌های قابی‌شکل باز نگهدارنده تجهیزات را باید برای بارهای برف طبق زیربند ۱۰-۱۲-۱ تا ۱۰-۱۲-۴ طراحی کرد. ضریب شرایط دمایی، $C_t=1.2$، را باید در ترکیب بارهای برف در سازه‌های قابی‌شکل باز نگهدارندهٔ تجهیزات فاقد حرارت طراحی کرد.

۱۰-۱۲-۱ برف در تراز بالایی

بارهای برف بام تخت، p_f، و بارهای انباشت برف باید به تراز بالایی سازه که سقف‌ها یا عناصر می‌توانند بار برف را تحمل کنند اعمال شود. اعضای قابی‌شکل باز با عرضی بیشتر از ۲۰۰ mm را باید به عنوان سطوح متحمل برف در نظر گرفت. تراز بالایی باید برای انباشت برف مطابق با زیربندهای ۱۰-۶ و ۱۰-۸ که دیوارهای بادگیر یا موانع معادل وجود دارد طراحی شود.

۱۰-۱۲-۲ برف در ترازهای زیر تراز بالایی

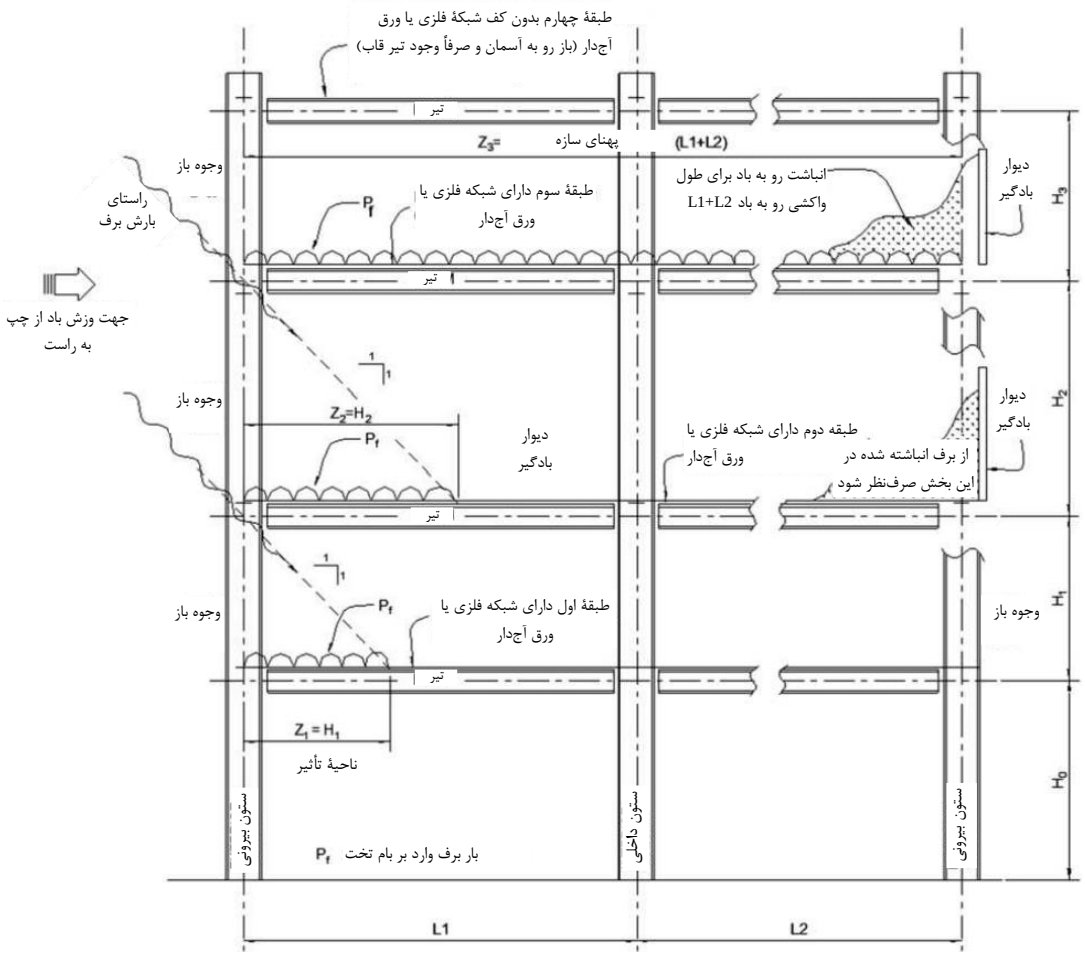
در کلیهٔ ترازهای دارای کف (شبکه فلزی[2]، ورق آج‌دار[3] و ...) که پایین تراز کف قرار می‌گیرند، بار برف بام تخت باید به بخشی از آن تراز کف که نزدیک هر لبهٔ باز طبق شکل ۱۶ قرار دارد اعمال شود. بار برف بام تخت باید از لبهٔ رو به باد کف با فاصلهٔ افقی برابر با اختلاف قائم در تراز بین تراز مورد بررسی و تراز بعدی روی آن گسترش داده شود.

۱۰-۱۲-۳ بارهای برف روی لوله‌ها و سینی‌های کابل

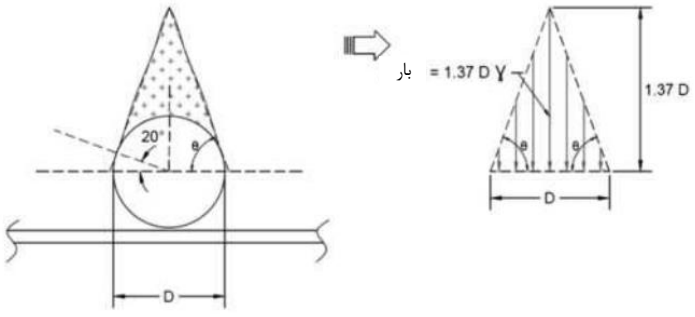
لوله‌های تک و سینی‌های کابل با قطر (در مورد لوله) و پهنای (در مورد سینی) کوچک‌تر یا مساوی $0.73p_f/\gamma$، باید برای یک بار برف مثلثی مطابق با آنچه در شکل ۱۷ نشان داده شده است طراحی شوند. برای لوله‌های تک و سینی‌های کابل با قطر یا پهنای بزرگ‌تر از $0.73p_f/\gamma$، طراحی باید برای یک بار برف ذوزنقه‌ای طبق شکل ۱۸ صورت پذیرد. در صورتی که در زمستان، دمای سطح خارجی لوله بزرگ‌تر از $7\ ^\circ C$ باشد، نیازی به منظور کردن بار برف وارد بر لوله‌ها نیست.

اگر فواصل بین چند لوله یا سینی کابل در یک تراز، کوچک‌تر از ارتفاع بار برف بام تخت باشد (p_f/γ) یک بار یکنواخت اضافی به‌صورت پل برفی[4]، p_f باید در فواصل بین لوله‌ها یا سینی‌های کابل نظیر آنچه در شکل ۱۹ نشان داده شده است اعمال شود. در صورتی که $S_p \geq h$ باشد، نیازی به اعمال بارهای اضافی ذکر شده نیست.

1- Open Frame Equipment Structures
2- Grating
3- Checkered Plate
4- Cornice

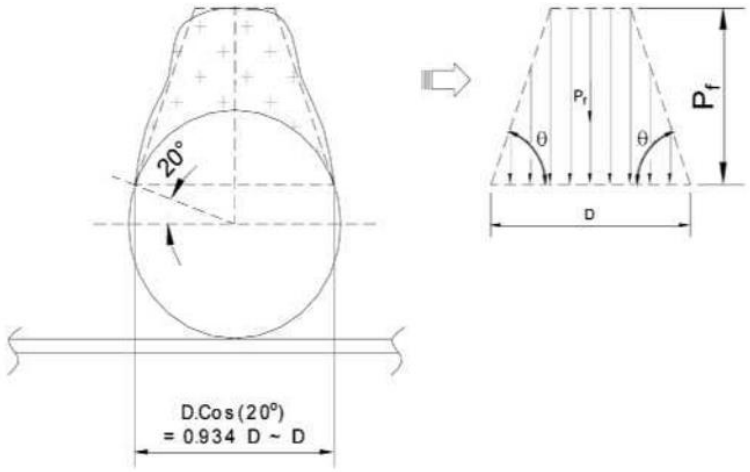


شکل ۱۶- سازه‌های قابی شکل باز نگهدارندهٔ تجهیزات



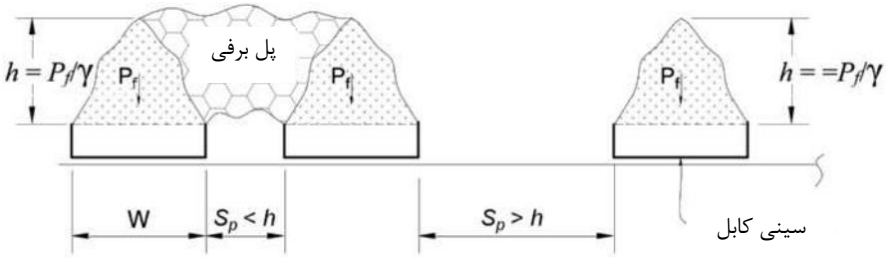
یادآوری- D، قطر لوله + ۲ برابر ضخامت عایق (در صورت کاربرد)؛ p_f، بار برف بام تخت و زاویهٔ استقرار برابر با ° ۷۰ فرض می‌شود.

شکل ۱۷- بار برف روی لوله‌ها و سینی‌های کابل با قطر یا پهنای کوچک‌تر یا مساوی $0.73p_f/\gamma$



یادآوری- D، قطر لوله + ۲ برابر ضخامت عایق (در صورت کاربرد)؛ p_f، بار برف بام تخت و زاویهٔ استقرار برابر با ° ۷۰ فرض می‌شود.

شکل ۱۸- بار برف روی لوله‌ها و سینی‌های کابل با قطر یا پهنای بزرگ‌تر یا مساوی $0.73p_f/\gamma$



شکل ۱۹- بار برف وارد بر چند لوله یا سینی کابل در یک تراز

۱۰-۱۲-۴ بارهای برف وارد بر تجهیزات و سکوهای تجهیزات

بارهای برف وارد بر سازه باید شامل انباشت برف وارد بر تجهیزات و سکوهای تجهیزاتی باشد که می‌توانند بار برف را تحمل کنند. در صورتی که دمای سطح خارجی در زمستان بزرگ‌تر از ° C ۷ باشد نیازی به منظور کردن اثر تجمع بار برف نیست.

۱۱ بار باران

۱۱-۱ بارهای باران طرح

هر بخش از بام باید طوری طراحی شود که بار تمام آب بارانی که روی آن جمع می‌شود را تحمل کند، با این فرض که تمام سامانه‌های زهکشی که دارای معیارهای زیر هستند مسدود شوند:

۱- سامانهٔ زهکشی اولیه؛

۲- سامانه‌های زهکشی ثانویه با یک ورودی که به‌صورت قائم از ورودی به سامانهٔ زهکشی اولیه کمتر از ۵۰ mm فاصله دارد؛

۳- سامانه‌های زهکشی ثانویه که خطوط زهکشی مشترک با سامانهٔ زهکشی اولیه دارند؛

۴- سامانه‌های زهکشی ثانویه با زهکش‌های بام دارای جریان واپایش‌شده.

بارهای باران باید بر اساس مجموع پارامترهای d_s، d_h و d_p، مطابق با رابطهٔ (۱۷) محاسبه شود.

$$R = 0.01(d_s+d_h+d_p) \quad (۱۷)$$

که در آن:

d_s ارتفاع آب روی بام تغییر شکل‌نیافته تا ورودی سامانهٔ زهکشی ثانویه به هنگام مسدود بودن سامانهٔ زهکشی اصلی (ارتفاع ایستا) برای بارگذاری سازه‌ای برحسب mm؛

d_h ارتفاع آب مازاد روی بام تغییرشکل‌نیافته بالای ورودی سامانهٔ زهکشی ثانویه در جریان طرح (ارتفاع هیدرولیکی) برحسب mm (این بخش نیازمند اطلاعات در خصوص میزان بارندگی است)؛

d_p عمق آب انباشته‌شده روی بام تغییرشکل‌یافتهٔ تحت بار باران و بار مردهٔ بی‌ضریب برحسب mm.

پارامتر هد هیدرولیکی، h_d، باید بر اساس داده‌های آزمون هیدرولیکی یا محاسبات هیدرولیکی، با فرض نرخ جریان متناظر با شدت بارندگی بزرگ‌تر یا مساوی با طوفان با مدت زمان ۱۵ min با دورهٔ بازگشت ارائه‌شده در جدول ۱۴ تعیین شود. عمق آب انباشته‌شده، d_p، باید بر اساس تحلیل سازه به عنوان عمق آب ناشی از افتادگی ایجاد شده در بام تحت بار باران و بار مرده بدون ضریب در نظر گرفته شود.

جدول ۱۴- دورهٔ بازگشت طوفان طراحی بر اساس ردهٔ خطرپذیری

ردهٔ خطرپذیری	دورهٔ بازگشت طراحی در برابر طوفان[1]
۱ و ۲	۱۰۰ سال
۳	۲۰۰ سال
۴	۵۰۰ سال

1- Design storm return period

۱۱-۲ دهانهٔ باران‌گیر با شیب کم

دهانه‌های باران‌گیر با زهکشی آزاد و داخلی که تحت بار انباشت باران مورد نیاز زیربند ۱۱-۱ قرار نمی گیرند، باید مقاومت و سختی کافی برای جلوگیری از افتادگی پیش‌رونده (به معنی ایجاد ناپایداری) را داشته باشند و بارهای محتمل ناشی از انباشت باران را تحمل کنند به شرطی که یکی از شرایط زیر برآورده شود:

- شیب بام کمتر از $1{,}2^{\circ}$ باشد؛
- دهانهٔ باران‌گیر مجاور یک لبهٔ تخلیهٔ آزاد با اعضای ثانویهٔ موازی با لبهٔ تخلیهٔ آزاد باشد و شیب سقف کمتر از β که در آن $\beta = (L_s/S + \pi)/240$ برحسب mm/mm، باشد.

۱۱-۳ زهکشی به بام‌های موجود

سامانه‌های زهکشی برای سازه‌های جدید نباید آب را روی بام سازه‌های موجود تخلیه کند، مگر اینکه بام سازه موجود ارزیابی شود یا بتواند بارهای تعیین‌شده در این استاندارد را تحمل کند و یا اینکه برای تحمل بارهای تعیین‌شده طبق این استاندارد ارتقا یابد.

۱۲ بار یخ

۱۲-۱ کلیات

بارهای یخ‌زدگی جوّی ناشی از یخ‌بندان باران و برف و یخ‌بندان ابری[1] در طراحی سازه‌ها و اجزای حساس به یخ باید در نظر گرفته شود. در مناطقی که سوابق یا تجربه نشان می‌دهد که برف یا یخ‌بندان ابری بارهای بیشتری نسبت به بارهای ناشی از یخ‌زدگی باران ایجاد می‌کند، باید از مطالعات ویژهٔ ساختگاه استفاده شود. نیازی به منظور کردن بارهای سازه‌ای ناشی از برف‌ریزه[2] نیست. بارهای برف وارد بر بام در بند ۱۰ تشریح شده است.

۱۲-۱-۱ مطالعات ویژهٔ ساختگاه

مطالعات ویژهٔ ساختگاه مورد تأیید مرجع صلاحیت‌دار را باید برای تعیین ضخامت یا بار یخ برای گروه خطرپذیری مناسب، سرعت باد هم‌زمان[3] و دمای هم‌زمان[4] در حالات زیر انجام داد:

الف- مناطقی که سوابق یا تجربه نشان می‌دهد که یخ‌زدگی ناشی از برف یا یخ‌بندان ابری بارهای بزرگ‌تری از یخ‌بندان باران ایجاد می‌کند؛

ب- مناطق کوهستانی و دره‌هایی که بررسی‌ها شرایط یخ‌زدگی غیرمعمول را نشان می‌دهد؛

1- In-cloud icing
2- Hoarfrost
3- Concurrent wind speed
4- Concurrent temperature

پ- زمین‌های پیچیده که تجربه نشان دهد دارای شرایط یخ‌زدگی نامتعارف هستند.

یادآوری- مطالعات ویژهٔ ساختگاه باید تحت بازبینی و تأیید مرجع صلاحیت‌دار انجام پذیرد. در صورت عدم وجود نقشه برای این موضوع، می‌توان ضخامت یخ، سرعت باد هم‌زمان و دمای هم‌زمان برای یک سازه را از داده‌های هواشناسی محلی بر اساس دورهٔ بازگشت متوسط ۵۰ ساله تعیین کرد به شرطی که:

- کیفیت داده‌ها برای باد، نوع و مقدار ریزش جوی منظور شود؛
- برای تخمین ضخامت یخ یکنواخت و سرعت باد هم‌زمان از این داده‌ها، از یک الگوریتم قابل اعتماد انباشت یخ[1] استفاده شود؛
- روش‌های تحلیل آماری حد فوق‌العاده[2] قابل قبول برای مرجع صلاحیت‌دار در تحلیل داده‌های ضخامت یخ و سرعت هم‌زمان باد به‌کار رود.
- طول ثبت[3] و خطای نمونه‌گیری منظور شود.

۱۲-۱-۲ بارهای دینامیکی

بارهای دینامیکی مانند بارهای ناشی از پدیده نوسان هادی[4]، جداشدن یخ[5] و ارتعاشات بادی[6]، که از تجمع یخ روی یک عضو، جزء یا ملحقات سازه‌ای انعطاف‌پذیر ایجاد یا افزایش می‌یابد، در این زیربند مطرح نمی‌شود.

۱۲-۱-۳ عدم شمول کاربری

دکل‌های انتقال برق و مخابراتی از الزامات این بند مستثنی هستند. استانداردها و ضوابط کاربردی در این مورد شامل منابع NESC C2 [14]، ASCE Manual 74 [15] و استاندارد ANSI/EIA/TIA-222(H) [16] است. بارهای وارد بر پست‌های برق در پیوست **چ** مطرح گردیده است و در مورد بارهای وارد بر دکل انتقال نیرو، پیوست **ح**، ارائه شده است. نحوهٔ تعیین بارهای وارد بر دکل مخابراتی نیز در پیوست **خ** آمده است.

۱۲-۲ بارهای یخ ناشی از یخ‌زدگی باران

۱۲-۲-۱ بار یخ

بار یخ باید با استفاده از وزن پوستهٔ یخ ایجاد شده روی تمام سطوح نمایان اعضای سازه‌ای، مهارها، اجزا و ملحقات و سامانه‌های کابل تعیین شود. در نیمرخ‌های سازه‌ای، اعضای منشوری و سایر اشکال مشابه، سطح مقطع یخ باید با استفاده از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$A_i = \pi \frac{t_d}{1000} \left(D_c + \frac{t_d}{1000}\right) \qquad (۱۸)$$

1- Robust ice accretion algorithm
2- Extreme-value statistical analysis
3- Record
4- Galloping
5- Ice shedding
6- Aeolian vibration

که در آن:

t_d ضخامت طراحی یخ بر اثر یخ‌زدگی باران، برحسب mm؛

D_c قطر استوانه محیط بر مقطع سازه‌ای و یا عضو منشوری که برای انواع نیمرخ‌ها در شکل ۲۰ نشان داده شده است، برحسب m.

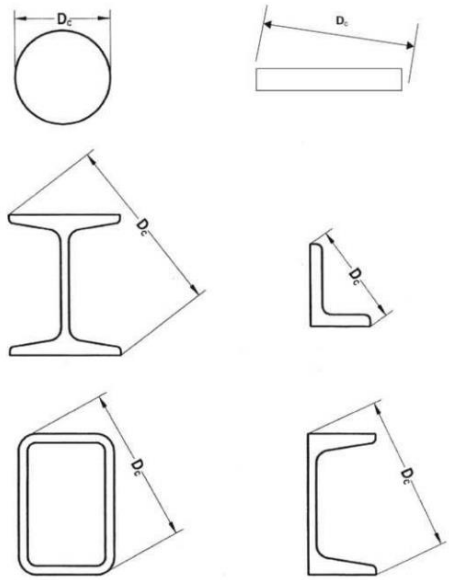
در ورق‌های تخت و اجسام بزرگ سه‌بعدی مانند گنبدها و کُره‌ها، حجم یخ باید توسط رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$V_i = \pi \frac{t_d}{1000} A_s \qquad (۱۹)$$

که در آن:

A_s مساحت یک سمت ورق برای ورق‌های تخت و در خصوص گنبدها و کُره‌ها، این پارامتر برابر است با:

$$A_s = \pi r^2 \qquad (۲۰)$$



شکل ۲۰- ابعاد مشخصهٔ D_c برای محاسبهٔ مساحت یخ برای انواع مختلف مقاطع

در ورق‌های عمودی، می‌توان مقدار حجم یخ را ٪ ۲۰ و در ورق‌های افقی می‌توان مقدار حجم یخ را ٪ ۴۰ کاهش داد.

وزن مخصوص یخ نباید کوچک‌تر از $9\ kN/m^3$ منظور شود.

۱۲-۲-۲ ضخامت اسمی یخ

ضخامت اسمی یخ بر اساس دورهٔ بازگشت متوسط ۵۰ سال با استفاده از مطالعات محلی و یا اطلاعات سازمان هواشناسی کشور تعیین می‌شود. در غیاب مطالعات دقیق‌تر، ضخامت اسمی یخ را برای مناطق مختلف برف (ذکر شده در شکل ۴ و جدول ۷) می‌توان طبق جدول ۱۵ تعیین کرد.

جدول ۱۵- ضخامت یخ طراحی برای مناطق برف‌گیر کشور

منطقه	ضخامت یخ طراحی، t mm
مناطق ۱ و ۲ (برف کم و نادر)	صفر
منطقهٔ ۳ (برف متوسط)	۵
منطقهٔ ۴ (برف زیاد)	۷٫۵
منطقهٔ ۵ (برف سنگین)	۱۲٫۵
منطقهٔ ۶ (برف فوق سنگین)	۱۵

۱۲-۲-۳ ضریب ارتفاع

ضریب ارتفاع، f_z، برای افزایش ضخامت شعاعی یخ برای ارتفاع z از سطح زمین، برحسب m باید از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$f_z = \left(\frac{z}{10}\right)^{0.10} \qquad 0\ m < z \leq 275\ m \tag{۲۱}$$

که در آن:

برای $z > 275mm$، $f_z=1.4$ است.

۱۲-۲-۴ ضریب اهمیت برای بار یخ

ضریب اهمیت برای اعمال ضخامت یخ شعاعی و فشار باد باید از جدول ۵ بر اساس ردهٔ خطرپذیری مطابق با جدول ۴ تعیین شود.

یادآوری- ضریب اهمیت بار یخ، I_i، باید بر ضخامت یخ اعمال شود نه بر وزن یخ، زیرا وزن یخ تابعی خطی از ضخامت آن نیست.

۱۲-۲-۵ ضریب عارضه‌نگاری

به دلیل اثرات افزایش سرعت باد، ضخامت یخ و سرعت باد هم‌زمان برای سازه‌های مستقر بر تپه‌ها، بلندی‌ها و سراشیبی‌ها بیشتر از سازه‌هایی است که روی سطح زمین قرار دارند. ضریب عارضه‌نگاری برای فشار باد هم زمان، K_{zt}، و ضریب عارضه‌نگاری برای ضخامت یخ، $(K_{zt})^{0.35}$ است، که K_{zt} از رابطهٔ (۲۳) (ذکر شده در بند ۱۳) به دست می‌آید.

۱۲-۲-۶ ضخامت یخ در طراحی ناشی از یخ‌زدگی باران

ضخامت یخ طراحی، t_d، از رابطهٔ زیر حاصل می‌شود:

$$t_d = 2tI_i f_z (K_{zt})^{0.35} \tag{۲۲}$$

که در آن:

t ضخامت اسمی یخ ناشی از یخ‌زدگی باران در ارتفاع ۱۰ m، طبق زیربند ۱۲-۲-۲؛

I_i ضریب اهمیت یخ طبق زیربند ۱۲-۲-۴؛

f_z ضریب ارتفاع طبق زیربند ۱۲-۲-۳.

یادآوری- ضریب ۲ به‌کار رفته در رابطهٔ (۲۲) به‌منظور تبدیل ضخامت یخ از دورهٔ بازگشت ۵۰ سال به دورهٔ بازگشت ۵۰۰ سال استاندارد مطرح شده در استاندارد ASCE7 اعمال شده است.

۱۲-۳ اثر باد بر سازه‌های پوشیده از یخ

یخ انباشته شده روی عناصر سازه‌ای، اجزا و متعلقات باعث افزایش سطح تصویرشدهٔ سازهٔ در معرض باد می شود. مساحت تصویرشده باید با اضافه کردن t_d به تمام لبه‌های آزاد سطح تصویرشده افزایش یابد. بارهای باد روی سطح تصویرشده باید در طراحی سازه‌های حساس به یخ استفاده شود. بار باد وارد بر سازهٔ غیرساختمانی باید براساس ضوابط بیان شده در بند ۱۳ این استاندارد محاسبه شود.

۱۲-۳-۱ بار باد در دودکش‌ها، مخازن و سازه‌های مشابه پوشیده از یخ

ضریب نیرو، C_f، برای سازه‌هایی با مقطع مربع، شش ضلعی و هشت ضلعی و برای سازه‌هایی با مقطع گرد در جدول ۲۳ آمده است. ضریب نیرو، C_f، برای سازه‌های با مقطع دایره‌ای، با $D\sqrt{q_z} \leq 2.5$ برای هر ضخامت یخ، سرعت باد و قطر سازه در آن جدول ارائه گردیده، پارامترهای D و q_z در همان جدول تشریح شده است.

۱۲-۳-۲ بار باد روی دیوارهای توپر خودایستا، تابلوها و علایم توپر پوشیده از یخ

ضرایب نیرو، C_f، باید مطابق با شکل ۲۴ و شکل ۲۵ بر اساس ابعاد دیوار یا تابلوها و علایم شامل یخ باشد.

۱۲-۳-۳ بار باد روی تابلوها و علایم باز و دکل‌های خرپایی پوشیده از یخ

نسبت پوشیده بودن، ε، باید براساس سطح تصویرشده شامل یخ باشد. ضریب نیرو، C_f، برای سطح تصویرشدهٔ اعضای تخت طبق جدول ۲۴ انتخاب می‌شود. ضریب نیرو، C_f، برای اعضای گِرد و برای سطح تصویرشدهٔ اضافی ناشی از یخ در هر دوطرف اعضای تخت و اعضای گرد باید طبق جدول ۲۴ باشد که در اعضای دایره‌ای با $D\sqrt{q_z} \leq 2.5$ در همه ضخامت‌های یخ، سرعت باد و قطر سازه‌ای ارائه گردیده است.

۱۲-۳-۴ بار باد روی دکل‌های خرپایی پوشیده از یخ

نسبت پوشیده بودن، ε، باید براساس سطح تصویر شده شامل یخ باشد. ضریب نیرو، C_f، باید مطابق با جدول ۲۵ باشد. کم کردن ضرایب نیرو، C_f، برای سطح تصویرشدهٔ اضافی ناشی از یخ در اعضای دایره‌ای‌شکل و تخت با ضریبی برای اعضای دایره‌ای شکل ذکرشده در یادآوری ۳ جدول ۲۵ قابل قبول است.

۱۲-۳-۵ بار باد روی کابل‌ها و مهارهای پوشیده از یخ

ضریب نیرو، C_f، برای کابل‌ها و مهارهای پوشیده از یخ باید برابر با ۱٫۲ باشد.

۱۲-۴ دماهای طراحی برای یخ‌زدگی باران

دمـاهای طـراحی برای یخ و باد روی یخ ناشی از باران یـخ زده یا باید دمای به‌دست آمده از مطالعات ساختگاهی یا صفر درجهٔ سلسیوس هر کدام که بیشینه بار را ایجـــاد کنـد مدنظر قرار گیرد. در سـازه‌های حساس به دما، بار باید شـــامل اثر تغییر دما از شـــرایط روزانه به دمای طـــراحی یخ و باد روی یخ باشـد. این دماها را باید با توجه به ضخامت اسمی یخ برای تمام رده‌های خطرپذیری به کار برد.

۱۲-۵ بارگذاری بخشی

اثرات بار یـخ بخشی باید هنگامی که این شـرایط برای ســـازه مورد بررســی بحرانی است در نظر گرفته شود. بار بخشی را می‌توان به صورت یک بار ایستا منظور کرد.

۱۲-۶ خلاصه روند طراحی

به‌صورت خلاصه، روند طراحی سازه در برابر بار یخ به این شرح است:

الف- ضـخامت اسمی یخ، t، سـرعت باد هم‌زمان، V_c و دمای هم‌زمان سـاختگاه طبق مطالعهٔ ویژهٔ ساختگاه؛

ب- ضریب عارضه‌نگاری ساختگاه، K_{zt}، باید طبق زیربند ۱۲-۲-۵ تعیین شود؛

پ- ضریب اهمیت برای ضخامت یخ، I_i، باید طبق زیربند ۱۲-۲-۴ تعیین شود؛

ت- ضریب ارتفاع، f_z، باید طبق زیربند ۱۲-۲-۳ برای طراحی هر بخش از سازه تعیین شود؛

ث- ضخامت یخ طراحی، t_d، باید طبق زیربند ۱۲-۲-۶ رابطهٔ (۲۲) تعیین شود؛

ج- وزن یخ باید برای محاسبهٔ ضخامت یخ طراحی، t_d، طبق زیربند ۱۲-۲-۱ محاسبه شود؛

چ- فشار سرعتی باد، q_z، به ازای سـرعت باد، V_c، باید طبـــق زیربند ۱۳-۹ با استفاده از ضریب اهمیت برای فشار باد هم‌زمان، I_w، تعیین‌شده طبق زیربند ۱۲-۲-۴ محاسبه شود؛

ح- ضرایب نیروی باد، C_f، باید مطابق با زیربند ۱۲-۳ تعیین شود؛

خ- ضریب اثر تندباد باید مطابق با زیربند ۱۳-۱۰ تعیین شود؛

د- نیروی باد طراحی باید طبق بند ۱۳ محاسبه شود؛

ذ- سازهٔ پوشیده شده از یخ باید با ترکیب‌های بار در زیربندهای ۵-۲ یا ۵-۳ مورد تحلیل قرار داده شود.

۱۳ بار باد

۱-۱۳ کلیات

در این بند، الزامات عمومی محاسبات سازه‌های غیرساختمانی در برابر بار باد ارائه می‌شود. در خصوص برخی سازه‌های صنعتی شامل برج‌های خنک‌کن در صنعت نفت، ظروف تحت فشار، مبدل‌های حرارتی، سازه‌های قابی شکل باز و نگهدارنده‌های لوله، ضوابطی در این بند ارائه گردیده است. به‌منظور محاسبهٔ بار باد وارد بر پل‌های راه و راه‌آهن، اسکله و سازه‌های فراساحلی، مخازن ذخیره سیالات، دودکش‌ها، دکل‌های انتقال نیرو، پست‌های برق و دکل‌های مخابراتی به پیوست‌های این استاندارد مراجعه شود. در مورد سازه‌های ساختمانی یا مشابه ساختمان، استفاده از فصول 27 یا 28 استاندارد ASCE7 توصیه می‌شود.

۲-۱۳ موارد استفاده

این بند از استاندارد برای کلیهٔ سازه‌های غیرساختمانی که در زیربند قبل به آن‌ها اشاره شد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. سامانهٔ مقاوم در برابر بار باد در سازه‌ها[1] و کلیهٔ اجزا و پوشش‌های نما[2] در سازه‌های غیرساختمانی باید مطابق با ضوابط این بند و پیوست‌های مرتبط در برابر بارهای باد طراحی شوند.

۳-۱۳ ملاحظات عمومی

۱-۳-۱۳ قرارداد علامت‌گذاری

در این استاندارد، بار باد زمانی که به سمت سطح باشد با علامت مثبت و زمانی که در راستای دور شدن از سطح باشد با علامت منفی منظور می‌شود.

۲-۳-۱۳ وضعیت بار بحرانی

مقادیر فشارهای بیرونی و درونی بار باد باید برای تعیین بحرانی‌ترین وضعیت بار با هم به‌صورت جبری ترکیب شوند.

۳-۳-۱۳ فشارهای باد وارد بر وجوه روبروی هم در سطوح سازه

در تعیین بارهای طراحی باد برای سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد و اجزای پوششی نما، جمع جبری فشارهای وارد بر سطوح مقابل[3] هم هر سطح سازه باید منظور شود.

1- Main Wind Force Resisting System (MWFRS)
2- Components & Cladding (C&C)
3- Opposite faces

۱۳-۴ سرعت مبنای باد، V، و راستای اعمال بار باد

سرعت مبنای میانگین ساعتی باد متناظر با دورهٔ بازگشت ۵۰ سال در ارتفاع m ۱۰ سطح زمین و برای منطقهٔ مسطح و فاقد مانع برای شهرهای ایران توسط سازمان هواشناسی کشور تهیه شده و در منبع [4] ارائه شده است. بر اساس این داده‌ها، سرعت مبنای باد (تندباد s ۳)، V، برای شهرهای مذکور در جدول ۱۷ آمده است. مطابق با رده‌های خطرپذیری تعریف‌شده در جدول ۴، ضریب اهمیت سازهٔ غیرساختمانی برای باد مطابق با جدول ۵ به دست می‌آید. فرض بر آن است که باد از هر سمتی در راستای افقی به عناصر سازه‌ای یا غیرسازه‌ای وارد می‌شود. چنانچه مطالعات ویژهٔ ساختگاه ثابت کند که مقادیر سرعت تندباد s ۳ در ساختگاه از مقادیر ارائه شده در جدول ۱۷ بزرگ‌تر است، باید از مقادیر ویژهٔ ساختگاه در طراحی سازه در برابر باد استفاده شود. این موضوع در خصوص نواحی کوهستانی و دارای پستی و بلندی شدید و مناطقی که عمدتاً طوفان‌خیز هستند از اهمیت بالایی برخوردار است. در صورتی که بتوان با مطالعهٔ ویژهٔ ساختگاه، سرعت مبنای باد را تعیین کرد، می‌توان طراحی سازه‌های غیرساختمانی در برابر بار باد را برحسب ردهٔ خطرپذیری، برای دوره‌های بازگشت مطرح‌شده در یادآوری ذیل جدول ۱۶ انجام داد. در این استاندارد، باد مبنا برای سازه‌های غیرساختمانی، تندباد s ۳ اسمی طراحی[1] است. برای تبدیل مقادیر سرعت میانگین ساعتی بیان شده در منبع [4] به تندباد s ۳ (ارائه‌شده در جدول ۱۷) از ضریب تبدیل ۱٫۵۳ استفاده شده است (شکل ۲۱). این سرعت در ارتفاع m ۱۰ از سطح زمین و در ردهٔ مواجههٔ C ارائه می شود. خطرپذیری برای بار باد در ۵ رده معرفی می‌شود که بسته به میزان اهمیت سازه (بیان شده در جدول ۴)، یکی از این رده‌ها انتخاب می‌شود. ردهٔ فوق‌العاده در موارد خاصی (نظیر طراحی مخازن LNG در برابر باد) مورد استفاده قرار می‌گیرد. روند محاسبه ضریب اهمیت سازه برای بار باد در پیوست **ب** تشریح شده است.

جدول ۱۶- ضریب اهمیت برای طراحی سازهٔ غیرساختمانی در برابر بار باد

ردهٔ خطرپذیری	ضریب اهمیت، I_w
۱	۰٫۸۵
۲	۱٫۰۰
۳	۱٫۱۵
۴	۱٫۲۵
فوق‌العاده	۱٫۵۰

یادآوری- دوره‌های بازگشت طراحی برای بار باد (در سطح حدی) رده‌های خطرپذیری ۱ تا ۴، به ترتیب تقریباً معادل دوره‌های بازگشت ۳۰۰ سال (معادل احتمال فراگذشت ٪ ۱۵ در ۵۰ سال)، ۷۰۰ سال (معادل احتمال فراگذشت ٪ ۷ در ۵۰ سال)، ۱۷۰۰ سال (معادل احتمال فراگذشت ٪ ۳ در ۵۰ سال)، ۳۰۰۰ سال (معادل احتمال فراگذشت ٪ ۱٫۶ در ۵۰ سال) و برای ردهٔ خطرپذیری فوق‌العاده با دورهٔ بازگشت ۱۰،۰۰۰ سال (معادل احتمال فراگذشت ٪ ۰٫۵ در ۵۰ سال) است.

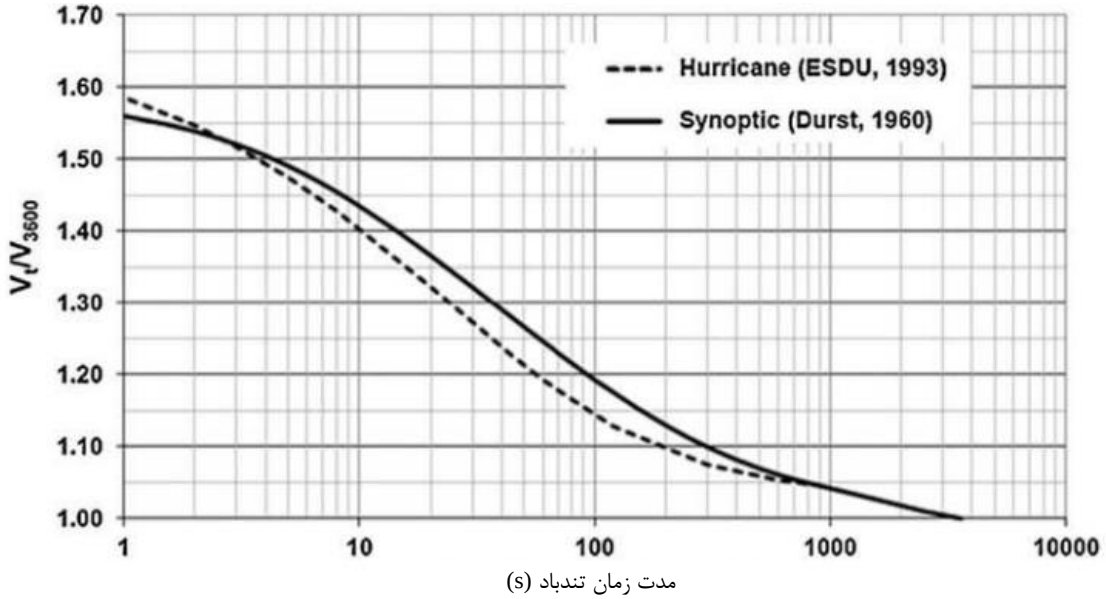
1- Nominal design 3-s gust wind speed

جدول ۱۷- مقادیر سرعت تندباد s ۳ طراحی بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی کشور

ردیف	نام ایستگاه	سرعت تندباد سه ثانیه (m/s)	ردیف	نام ایستگاه	سرعت تندباد سه ثانیه (m/s)	ردیف	نام ایستگاه	سرعت تندباد سه ثانیه (m/s)
۱	آب بر	۳۸	۵۲	بناب	۳۴	۱۰۳	چوپانان	۳۴
۲	آبادان	۳۸	۵۳	بندر امیر اباد	۴۳	۱۰۴	چینگر	۴۳
۳	آباده	۵۱	۵۴	بندرانزلی	۵۱	۱۰۵	حاجی آباد (خراسان جنوبی)	۳۴
۴	آبدانان	۴۷	۵۵	بندر ترکمن	۳۸	۱۰۶	حاجی آباد (هرمزگان)	۴۷
۵	آبعلی	۵۱	۵۶	بندر دیر	۳۸	۱۰۷	حسینیه	۴۳
۶	آستارا	۵۵	۵۷	بندر دیلم	۳۴	۱۰۸	خاش	۳۸
۷	آشتیان	۳۴	۵۸	بندر لنگه	۳۸	۱۰۹	خدابنده	۴۷
۸	آغاجاری	۴۳	۵۹	بندر ماه شهر	۴۳	۱۱۰	خرم آباد	۳۸
۹	آلاشت	۴۳	۶۰	بندر عباس	۴۳	۱۱۱	خرم دره	۳۸
۱۰	آمل	۴۷	۶۱	بهاباد	۵۱	۱۱۲	خلخال	۳۸
۱۱	آوج	۴۳	۶۲	بهبهان	۳۸	۱۱۳	خمین	۳۴
۱۲	ابرکوه	۴۳	۶۳	بوانات	۴۷	۱۱۴	خنداب	۴۳
۱۳	اراک	۴۳	۶۴	بوشهر (فرودگاه)	۴۳	۱۱۵	خواف	۳۸
۱۴	اردبیل	۶۰	۶۵	بوشهر (ساحلی)	۵۱	۱۱۶	خوانسار	۴۷
۱۵	اردستان	۴۷	۶۶	بوکان	۳۸	۱۱۷	خور بیرجند	۵۵
۱۶	اردل	۵۱	۶۷	بویین زهرا	۳۸	۱۱۸	خور و بیابانک	۳۸
۱۷	ارسنجان	۳۴	۶۸	بیارجمند	۳۸	۱۱۹	خوی	۴۷
۱۸	ارومیه	۴۳	۶۹	بیجار	۴۷	۱۲۰	خیراباد	۴۳
۱۹	ازنا	۴۳	۷۰	بیرجند	۳۸	۱۲۱	داراب	۴۷
۲۰	استهبان	۳۸	۷۱	بیله سوار	۳۸	۱۲۲	داران	۳۸
۲۱	اسفراین	۳۸	۷۲	پارس اباد	۴۳	۱۲۳	دامغان	۴۷
۲۲	اسلام اباد غرب	۳۸	۷۳	پارسیان	۳۸	۱۲۴	دره شهر	۴۳
۲۳	اشنویه	۴۳	۷۴	پل دختر	۳۸	۱۲۵	درگز	۳۴
۲۴	اصفهان	۴۷	۷۵	پل سفید	۳۸	۱۲۶	درود	۴۷
۲۵	اقلید	۵۵	۷۶	پیرانشهر	۴۷	۱۲۷	دردزن	۳۸
۲۶	الشتر	۴۳	۷۷	تازه اباد (کرمانشاه)	۵۱	۱۲۸	دزفول	۵۱
۲۷	الیگودرز	۴۷	۷۸	تاکستان	۴۷	۱۲۹	دلیجان	۴۳
۲۸	امیدیه (شهر)	۵۱	۷۹	تالش	۵۵	۱۳۰	دماوند	۳۸
۲۹	امیدیه (فرودگاه)	۵۵	۸۰	تبریز	۴۷	۱۳۱	ده دز	۳۴
۳۰	انار	۴۳	۸۱	تخت جمشید	۳۴	۱۳۲	دهدشت	۳۴
۳۱	اهر	۵۱	۸۲	تربت جام	۳۸	۱۳۳	دهلران	۴۷
۳۲	اهواز	۴۷	۸۳	تربت حیدریه	۳۸	۱۳۴	دوگنبدان	۴۷
۳۳	ایذه	۳۴	۸۴	تفرش	۳۴	۱۳۵	دیلمان	۳۸
۳۴	ایرانشهر	۵۱	۸۵	تکاب	۳۸	۱۳۶	راسک	۴۳
۳۵	ایزدخواست	۳۸	۸۶	تهران	۴۳	۱۳۷	رامسر	۴۷
۳۶	ایلام	۴۳	۸۷	تویسرکان	۳۸	۱۳۸	رامهرمز	۳۴
۳۷	ایمان اباد	۴۷	۸۸	جاجرم	۴۷	۱۳۹	رباط پشت بادام	۳۸
۳۸	ایوان	۴۷	۸۹	جاسک	۴۳	۱۴۰	رشت	۴۳
۳۹	بابلسر	۴۳	۹۰	جزیره ابوموسی	۳۴	۱۴۱	رفسنجان	۵۱
۴۰	بافت	۴۷	۹۱	جزیره سیری	۴۳	۱۴۲	روانسر	۴۳
۴۱	بافق	۵۱	۹۲	جزیره قشم	۴۳	۱۴۳	رودان	۳۸
۴۲	بانه	۴۷	۹۳	جزیره کیش	۴۳	۱۴۴	رودسر	۴۷
۴۳	بجنورد	۶۰	۹۴	جزیره لاوان	۳۸	۱۴۵	زابل	۵۵
۴۴	برازجان	۳۴	۹۵	جلفا	۴۷	۱۴۶	زاهدان	۵۵
۴۵	بروجرد	۴۷	۹۶	جم	۳۴	۱۴۷	زرینه	۴۷
۴۶	بروجن	۳۸	۹۷	جهرم	۳۴	۱۴۸	زرقان	۳۸
۴۷	بستان	۴۷	۹۸	جوانرود	۳۸	۱۴۹	زرند	۴۳
۴۸	بستان اباد	۴۳	۹۹	جیرفت	۴۷	۱۵۰	زرین دشت	۳۸
۴۹	بشرویه	۳۴	۱۰۰	جیرنده	۴۷	۱۵۱	زرین شهر	۳۴
۵۰	بلده	۳۴	۱۰۱	چابهار	۳۸	۱۵۲	زنجان	۳۸
۵۱	بم	۴۷	۱۰۲	چالدران	۳۸	۱۵۳	ساری	۴۳

جدول ۱۷- مقادیر سرعت تندباد s ۳ طراحی بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی کشور (ادامه)

ردیف	نام ایستگاه	سرعت تندباد سه ثانیه (m/s)	ردیف	نام ایستگاه	سرعت تندباد سه ثانیه (m/s)	ردیف	نام ایستگاه	سرعت تندباد سه ثانیه (m/s)
۱۵۴	سامان	۵۵	۲۰۵	فیروزاباد (اردبیل)	۴۳	۲۵۶	ماسوله	۴۷
۱۵۵	ساوه	۴۷	۲۰۶	فیروزکوه	۴۷	۲۵۷	ماکو	۴۷
۱۵۶	سبزوار	۴۳	۲۰۷	قائم شهر	۳۸	۲۵۸	مانه و سملقان (خراسان شمالی)	۵۱
۱۵۷	سپیدان	۳۴	۲۰۸	قائن	۳۸	۲۵۹	ماه‌نشان	۴۷
۱۵۸	سرپل ذهاب	۴۳	۲۰۹	قراخیل	۳۸	۲۶۰	محلات	۳۴
۱۵۹	سراب	۴۷	۲۱۰	قره ضیاالدین	۳۸	۲۶۱	مراغه	۵۱
۱۶۰	سرابله (ایلام)	۳۴	۲۱۱	قروه	۴۳	۲۶۲	مراوه تپه	۵۱
۱۶۱	سرارود (کرمانشاه)	۴۷	۲۱۲	قزوین	۴۷	۲۶۳	مرند	۴۳
۱۶۲	سراوان	۴۳	۲۱۳	قصر شیرین	۳۸	۲۶۴	مروست	۴۳
۱۶۳	سرایان (خراسان جنوبی)	۳۴	۲۱۴	قم	۴۳	۲۶۵	مریوان	۵۱
۱۶۴	سربیشه	۳۸	۲۱۵	قوچان	۳۸	۲۶۶	مسجد سلیمان	۴۳
۱۶۵	سرخس	۴۷	۲۱۶	قیر و کارزین	۳۴	۲۶۷	مشکین شهر	۶۰
۱۶۶	سردشت	۵۱	۲۱۷	کازرون	۳۴	۲۶۸	مشهد	۳۸
۱۶۷	سرعین	۴۳	۲۱۸	کاشان	۴۳	۲۶۹	معلم کلایه	۵۱
۱۶۸	سقز	۴۷	۲۱۹	کاشمر	۳۴	۲۷۰	ملایر	۵۱
۱۶۹	سلفچگان	۵۵	۲۲۰	کامیاران	۳۸	۲۷۱	ملکان	۳۸
۱۷۰	سلماس	۴۷	۲۲۱	کبوترآباد (اصفهان)	۵۱	۲۷۲	منجیل	۶۰
۱۷۱	سمنان	۳۸	۲۲۲	کجور	۳۸	۲۷۳	مهاباد	۴۳
۱۷۲	سمیرم	۴۷	۲۲۳	کرج	۴۷	۲۷۴	مهران	۵۵
۱۷۳	سنقر	۵۱	۲۲۴	کرمان	۵۵	۲۷۵	مهریز	۴۳
۱۷۴	سنندج	۴۳	۲۲۵	کرمانشاه	۳۸	۲۷۶	مورچه خورت	۳۸
۱۷۵	سهند	۵۵	۲۲۶	کلاله (گلستان)	۴۳	۲۷۷	میاندواب	۴۳
۱۷۶	سومار	۵۱	۲۲۷	کلیبر	۵۱	۲۷۸	میانه	۴۳
۱۷۷	سی سخت	۴۳	۲۲۸	کمیجان	۳۴	۲۷۹	میبد	۴۷
۱۷۸	سیاه بیشه	۵۵	۲۲۹	کنارک (فرودگاه)	۴۳	۲۸۰	میرجاوه	۳۴
۱۷۹	سیرجان	۴۳	۲۳۰	کنگاور	۳۸	۲۸۱	میمه	۳۴
۱۸۰	سیلاخور	۴۳	۲۳۱	کهریز (آذربایجان غربی)	۴۷	۲۸۲	میناب	۳۸
۱۸۱	شادگان	۳۸	۲۳۲	کهک	۴۳	۲۸۳	نائین	۳۸
۱۸۲	شازند	۴۳	۲۳۳	کهنوج	۵۵	۲۸۴	نجف اباد	۳۴
۱۸۳	شاهرود	۳۸	۲۳۴	کوه دشت	۵۵	۲۸۵	نطنز	۴۷
۱۸۴	شاهین دژ	۵۱	۲۳۵	کوهرنگ	۴۷	۲۸۶	نقده	۶۰
۱۸۵	شهداد	۴۳	۲۳۶	کوهین	۴۷	۲۸۷	نهاوند	۵۱
۱۸۶	شهربابک	۴۷	۲۳۷	کیاسر	۴۷	۲۸۸	نهبندان	۴۳
۱۸۷	شهرضا	۴۷	۲۳۸	کیاشهر	۴۳	۲۸۹	نوراباد (لرستان)	۵۱
۱۸۸	شهرکرد	۳۸	۲۳۹	گاریز (یزد)	۳۸	۲۹۰	نوراباد (ممسنی)	۴۳
۱۸۹	شهمیرزاد	۴۷	۲۴۰	گچساران	۴۷	۲۹۱	نوشهر	۴۷
۱۹۰	شوشتر	۵۱	۲۴۱	گرگان	۴۳	۲۹۲	نیر	۴۳
۱۹۱	شیراز	۳۸	۲۴۲	گرمسار	۴۷	۲۹۳	نیریز	۳۴
۱۹۲	صفاشهر (فارس)	۴۷	۲۴۳	گرمی	۴۳	۲۹۴	نیشابور	۳۸
۱۹۳	صفی آباد (دزفول)	۵۱	۲۴۴	گل مکان	۴۷	۲۹۵	نیکشهر	۴۳
۱۹۴	طالقان	۵۱	۲۴۵	گلپایگان	۴۳	۲۹۶	هرات (یزد)	۴۷
۱۹۵	طبس	۴۳	۲۴۶	گلوگاه	۴۷	۲۹۷	هرسین	۳۸
۱۹۶	عقدا	۴۷	۲۴۷	گناباد	۳۸	۲۹۸	هریس	۴۷
۱۹۷	غرق اباد (استان مرکزی)	۴۳	۲۴۸	گنبد کاووس	۴۳	۲۹۹	هشتگرد	۴۷
۱۹۸	فراشبند	۳۴	۲۴۹	گیلان غرب	۵۱	۳۰۰	همدان	۴۷
۱۹۹	فردوس	۳۴	۲۵۰	لار	۴۳	۳۰۱	هندیجان	۳۴
۲۰۰	فرودگاه امام خمینی	۵۵	۲۵۱	لاله زار (کرمان)	۴۳	۳۰۲	ورامین	۴۳
۲۰۱	فریدون شهر	۳۸	۲۵۲	لامرد	۳۸	۳۰۳	ورزنه	۴۳
۲۰۲	فریمان	۴۷	۲۵۳	لاهیجان	۴۳	۳۰۴	یاسوج	۴۷
۲۰۳	فسا	۴۳	۲۵۴	لردگان	۴۳	۳۰۵	یزد	۴۷
۲۰۴	فیروزاباد (فارس)	۳۴	۲۵۵	لومار	۴۳			



شکل ۲۱- تبدیل سرعت میانگین ساعتی باد به تندباد s ۳ با ضریب ۱٫۵۳ طبق تفسیر استاندارد ASCE7

۱۳-۵ جهت‌دهی باد[1]

ضـریب جهت‌دهی باد، K_d، باید از جدول ۱۸ تعیین شده، در تعیین بارهای باد به‌کار گرفته شود. در خصوص دودکش‌ها یا ظروف قائم[2] به علت تقارن شعاعی، احتمال آنکه بحرانی‌ترین راستای باد با راستای آئرودینامیکی بحرانی یکسان شود افزایش می‌یابد و به همین دلیل در این ســازه‌ها، مقدار ضریب مورد اشاره از از سازه‌های ساختمانی بالاتر است.

1- Wind directionality
2- Vertical vessel

جدول ۱۸- ضریب جهت‌دهی باد، K_d، در سازه‌های مختلف

نوع سازه	K_d
سازهٔ غیرساختمانی مشابه ساختمان	
سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد (MWFRS)	۰٫۸۵
اجزای پوششی نما (C&C)	۰٫۸۵
سقف‌های قوسی	۰٫۸۵
گنبدهای دایره‌ای	۱٫۰[۱]
دودکش‌ها، مخازن و سازه‌های مشابه	
مربع	۰٫۹۰
شش‌ضلعی	۰٫۹۵
هشت‌ضلعی	۱٫۰[۱]
دایره	۱٫۰[۱]
دیوارهای پوشیده خودایستا، تجهیزات نصب‌شده روی بام و علایم خودایستا و متصل به سازه	۰٫۸۵
علایم باز و قاب‌های باز دوبعدی	۰٫۸۵
برج‌های خرپایی شکل	
مثلثی، مربع یا مستطیل	۰٫۸۵
سایر مقاطع عرضی	۰٫۹۵
یادآوری- در سازه‌های گرد یا هشت‌ضلعی با سامانه‌های سازه‌ای نامتقارن ضریب K_d=0.95 باید به کار رود.	

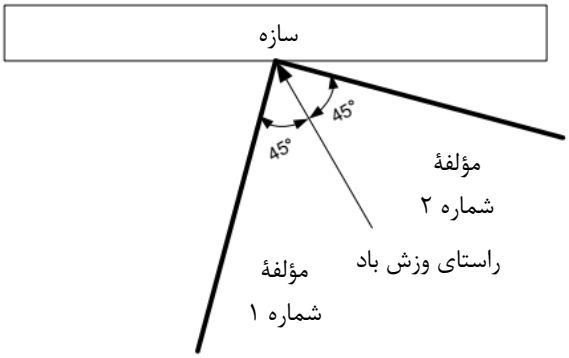
۱۳-۶ رده‌بندی مواجهه

۱۳-۶-۱ کلیات

در هر راستای اعمال بار باد، مواجههٔ رو به باد باید بر اساس نوع پوشش سطح زمین که تابعی از عارضه‌نگاری طبیعی، پوشش گیاهی و تأسیسات موجود است تعیین شود.

۱۳-۶-۲ راستاها و مؤلفه‌های بار باد

در هر راستای انتخابی وزش باد که در آن راستا، بارهای باد محاسبه می‌شوند، مواجههٔ سازه در برابر باد با دو مؤلفه که با راستای وزش باد زاویهٔ 45° می‌سازند صورت می‌پذیرد (شکل ۲۲). ردهٔ مواجهه در این دو مؤلفه باید بر اساس زیربندهای ۱۳-۶-۳ و ۱۳-۶-۴ تعیین شود و هر رده که بزرگ‌ترین بارهای باد را ایجاد کند باید در تعیین بار باد در آن راستا به‌کار رود.



شکل ۲۲- مؤلفه‌های بار باد در راستای مورد بررسی

۱۳-۶-۳ رده‌بندی پوشش سطح زمین

ردهٔ پوشش سطح زمین برای هر مؤلفهٔ ۴۵ درجه‌ای باد باید بر اساس یکی از رده‌های تعیین شده B، C یا D برای یک فاصلهٔ رو به باد مطرح‌شده در زیربند ۱۳-۶-۴ به شرح زیر مشخص شود:

- ردهٔ B: مناطق شهری و حومه شهر، مناطق جنگلی یا سایر زمین‌های دارای موانع نزدیک به هم که در حد منازل مسکونی تک خانوار یا بزرگ‌تر باشند؛
- ردهٔ C: زمین باز با موانع پراکنده که دارای ارتفاعی کوچک‌تر از ۱۰ m هستند. این رده شامل زمین‌های تخت، باز و چمن‌زار می‌شود؛
- ردهٔ D: نواحی تخت بدون مانع و سطوح آبگیر. این رده شامل لجن‌زار، شوره‌زار و آب یخ زده می‌شود.

۱۳-۶-۴ رده‌های مواجهه باد

۱۳-۶-۴-۱ ردهٔ B

در سازه‌های با میانگین ارتفاع کوچک‌تر یا مساوی ۱۰ m در صورتی که پوشش سطح زمین از ردهٔ B در راستای رو به باد برای فاصله‌ای بیشتر از ۴۵۰ m غالب باشد، ردهٔ مواجهه باد از نوع B خواهد بود. در صورتی که میانگین ارتفاع سازه بزرگ‌تر از ۱۰ m باشد و ردهٔ پوشش سطح زمین در راستای رو به باد در فاصله‌ای بین ۸۰۰ m و ۲۰ برابر ارتفاع سازه، هر کدام که بزرگ‌تر است از نوع B باشد، ردهٔ مواجهه را باید از نوع B دانست.

۱۳-۶-۴-۲ ردهٔ C

در کلیه مواردی که ردهٔ B یا D حاکم نشود، ردهٔ C حاکم خواهد بود.

۱۳-۶-۴-۳ ردهٔ D

در صورتی که پوشش سطح زمین در راستای رو به باد در فاصله‌ای بزرگ‌تر از ۱۵۰۰ m یا ۲۰ برابر ارتفاع سازه، هر کدام که بزرگ‌تر است، از ردهٔ D باشد، ردهٔ مواجههٔ باد برابر با D انتخاب می‌شود. همچنین در

مـواردی کـه ردهٔ پوشـش سـطح زمیـن بلافاصـله در راســتای رو بـه بـاد سـاختگاه برابر با B یا C باشـد و ســاختگاه در فاصلهٔ m ۱۸۰ یا ۲۰ برابر ارتفاع سازه، هر کدام که بزرگ‌تر است تا محلی که حائز شرایط ردهٔ D باشد، ردهٔ مواجـهه را باید برابر با D منـظور نمـود. در ساختگاهی که در یک ناحیهٔ بینـابینی در حدفاصل رده‌های مواجهه قـرار دارد، ردهٔ منتخب باید رده‌ای باشد که بزرگ‌ترین نیروهای باد را به‌دست می‌دهد.

یادآوری- ردهٔ مواجهه بینابینی در میان رده‌های ذکر شده فوق را به شرطی می‌توان به عنوان یک ناحیهٔ انتقالی در نظر گرفت که ردهٔ مواجهه مذکور با استفاده از یک روش تحلیل منطقی به‌دست آید.

۱۳-۶-۴-۴ الزامات مواجهه بار باد

در این اسـتاندارد از سه روش مستقیم[1]، روش پوش[2] و روش تونل باد[3] به‌منـظور تعیین آثار باد وارد بر سـازه می‌توان اسـتفاده کرد. در سـازه‌های غیرساختمانی، روش مسـتقیم اعمال بار باد در این اسـتاندارد به تفصیل مورد اشـاره قرار می‌گیـرد که باید برای هر راستای محتمل باد منظور شـود. در روش مستقیم، ضوابطی برای فشار و ضرایب مرتبط با راستای باد ارائه می‌شود و در روش غیرمستقیم، ضرایب فشار به راستا وابسته نیست. روش غیـرمستقیم برای ساختمان‌های کم ارتفـاع (با ارتفاع کوچک‌تر از m ۱۸) قابل استفاده است که در این استاندارد مدنظر نیست. برای روش تونل باد به زیربند ۱۳-۱۵ مراجعه شود.

۱۳-۷ آثار عارضه‌نگاری (پستی و بلندی زمین)

۱۳-۷-۱ افزایش سرعت باد روی تپه، برآمدگی و سراشیبی

در صـورتی که کلیـهٔ شـرایط زیر برقرار باشـد، آثـار افزایش سـرعت بـاد روی تپه‌ها[4]، بلنـدی‌ها یا سـراشیبی (سینه‌کش)[5] واقع در هر ردهٔ مواجهه، شامل تغییرات ناگهانی در عارضه‌نگاری عمـــومی برای هر ردهٔ مواجهه، باید در محاسبات بارهای باد مدنظر قرار گیرد:

الف- سازه در نیمه بالایی تپه یا بلندی و یا نزدیک تاج سراشیبی قرار گرفته باشد (شکل ۲۳)؛

ب- $H/L_h \geq 0.2$ باشد؛

پ- در ردهٔ مواجـهۀ C و D، مقـدار H بزرگ‌تر یا مسـاوی ۴٫۵ m و در ردهٔ مواجـــهۀ B بزرگ‌تر یا مســـاوی ۱۸ m باشد.

۱۳-۷-۲ ضریب عارضه‌نگاری

اثر افزایش سرعت باید در محاسبه بارهای باد با استفاده از ضریب K_{zt} لحاظ شود:

1- Directional procedure
2- Envelope procedure
3- Wind tunnel procedure
4- Isolated hills
5- Escarpment

$$K_{zt} = (1+K_1K_2K_3)^2 \quad (۲۳)$$

که در آن:

K_1، K_2 و K_3 پارامترهایی هستند که در شکل ۲۳ تعریف می‌شوند.

مقـادیر K_2 و K_3 نباید کوچک‌تر از صفر باشد. زمانی که دقت بیشـتری در تعیین K_{zt} لازم است، می‌تـوان به جـای مقادیر ذکرشده در جدول، روابط را برای تعیین K_1، K_2 و K_3 به‌کار بـرد. در تعیین مقـدار K_1 برای $H/L_h > 0.5$، فرض می‌شود که $H/L_h = 0.5$ است و در تعیین K_2 و K_3، $2H$ جایگزین L_h می‌شود.

در صورتی که شروط ذکرشده در زیربند ۱۳-۷-۱ برآورده نشود، مقدار K_{zt} برابر با واحد خواهد بود.

۱۳-۸ ضریب تراز زمین

ضریب تراز زمین برای اصـلاح جـرم حجمی هوا، K_e، باید از جدول ۱۹ به‌دست آید. این ضریب را می‌توان در کلیه ترازها برابر با یک منظور کرد.

۱۳-۹ فشار ناشی از سرعت باد

۱۳-۹-۱ ضریب مواجهه با فشار ناشی از سرعت باد

بسته به ردهٔ مواجهـه باد، یک ضریب مواجهـه با فشـار ناشی از سرعت باد، K_z یا K_h بسته به کاربرد از جدول ۲۰ به دست می‌آید. برای سـاختگاه واقـع بر یک ناحیـهٔ بینابینی در حد فاصـل رده‌های مواجهه که تغییر در پوشش سطح زمین در آن‌ها نزدیک است، می‌تـوان از مقادیـر بینابینی K_z یا K_h استفاده کرد به شرطی که آن مقادیر با استفاده از یک روش منطقی شناخته‌شده در ادبیات فنی تعیین شوند.

۱۳-۹-۲ تعیین فشار ناشی از سرعت باد

فشار ناشی از سرعت باد از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$q_z = 0.613K_zK_{zt}K_dK_eI_wV^2 \quad (۲۴)$$

که در آن:

K_z ضریب مواجهه با فشار سرعتی باد ذکرشده در زیربند ۱۳-۹-۱؛

K_{zt} ضریب عارضه‌نگاری ذکرشده در زیربند ۱۳-۷-۲؛

K_d ضریب جهت‌دهی باد ذکرشده در زیربند ۱۳-۵؛

K_e ضریب تراز زمین ذکرشده در زیربند ۱۳-۸؛

V سرعت مبنای باد ذکرشده در زیربند ۱۳-۴ برحسب m/s؛

q_z فشار سرعتی باد در ارتفاع z برحسب Pa؛

I_w ضریب اهمیت در برابر بار باد طبق جدول ۵.

در صورت وجود سازهٔ غیرساختمانی مشابه ساختمان، فشار باد در میانگین ارتفاع بام به صورت $q_z=q_h$ از رابطهٔ (۲۴) با استفاده از K_z در ارتفاع میانگین h تعیین می‌شود.

یادآوری- برای سرعت مبنای باد، V، در تعیین بارهای طراحی وارد بر سازه‌های مستقر بر بام، تجهیزات مستقر بر بام و سایر متعلقات ساختمان باید ردهٔ خطرپذیری برابر با بزرگ‌ترین مقدار حاصله زیر اختیار شود:

الف- ردهٔ خطرپذیری ساختمانی که تجهیز یا متعلقات بر آن واقع است؛

ب- ردهٔ خطرپذیری برای هر تأسیساتی که تجهیز یا متعلقات به آن خدمت ارائه می‌کند.

جدول ۱۹- ضریب تراز زمین، K_e

تراز زمین از سطح دریا m	K_e
کوچک‌تر از صفر	به یادآوری ۲ توجه شود
صفر	۱٫۰۰
۳۰۰	۰٫۹۶
۶۰۰	۰٫۹۳
۹۰۰	۰٫۹۰
۱۲۰۰	۰٫۸۶
۱۵۰۰	۰٫۸۳
۱۸۰۰	۰٫۸۰
بزرگ‌تر از ۱۸۰۰	به یادآوری ۲ توجه شود

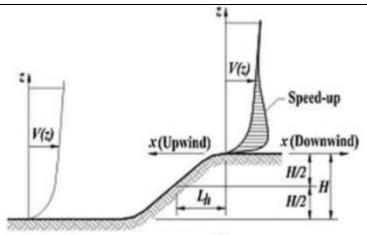
یادآوری ۱- تقریب محافظه‌کارانه $K_e=1.00$ در کلیهٔ موارد مجاز است.

یادآوری ۲- ضریب K_e باید از این جدول با ا ستفاده از درون‌یابی یا رابطهٔ زیر برای کلیهٔ ترازها تعیین شود:

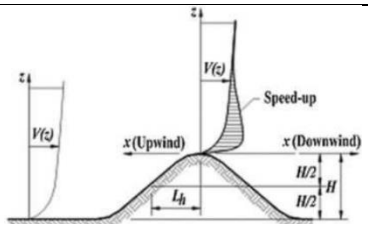
$K_e=e^{-0.000119z_e}$

z_e: تراز زمین بالای سطح دریا بر حسب m

یادآوری ۳- در کلیهٔ موارد، مقدار K_e را می‌توان برابر با یک منظور کرد.



سراشیبی ۱۲



خط الراس دوبعدی یا تپه سه بعدی متقارن محوری

ضرایب عارضه‌نگاری برای ردهٔ C [۱، ۲ و ۳]

ضریب K_3				ضریب K_2			ضریب K_1			
تپهٔ سه بعدی نامتقارن	سراشیبی دوبعدی	تپهٔ دوبعدی	z/L_h	سایر موارد	تپهٔ دوبعدی	x/L_h	تپهٔ سه بعدی نامتقارن	سراشیبی دوبعدی	تپهٔ دوبعدی	H/L_h
۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۰٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۲۱	۰٫۱۷	۰٫۲۹	۰٫۲۰
۰٫۶۷	۰٫۷۸	۰٫۷۴	۰٫۱۰	۰٫۶۷	۰٫۸۸	۰٫۵۰	۰٫۲۶	۰٫۲۱	۰٫۳۶	۰٫۲۵
۰٫۴۵	۰٫۶۱	۰٫۵۵	۰٫۲۰	۰٫۳۳	۰٫۷۵	۱٫۰۰	۰٫۳۲	۰٫۲۶	۰٫۴۳	۰٫۳۰
۰٫۳۰	۰٫۴۷	۰٫۴۱	۰٫۳۰	۰٫۰۰	۰٫۶۳	۱٫۵۰	۰٫۳۷	۰٫۳۰	۰٫۵۱	۰٫۳۵
۰٫۲۰	۰٫۳۷	۰٫۳۰	۰٫۴۰	۰٫۰۰	۰٫۵۰	۲٫۰۰	۰٫۴۲	۰٫۳۴	۰٫۵۸	۰٫۴۰
۰٫۱۴	۰٫۲۹	۰٫۲۲	۰٫۵۰	۰٫۰۰	۰٫۳۸	۲٫۵۰	۰٫۴۷	۰٫۳۸	۰٫۶۵	۰٫۴۵
۰٫۰۹	۰٫۲۲	۰٫۱۷	۰٫۶۰	۰٫۰۰	۰٫۲۵	۳٫۰۰	۰٫۵۳	۰٫۴۳	۰٫۷۲	۰٫۵۰
۰٫۰۶	۰٫۱۷	۰٫۱۲	۰٫۷۰	۰٫۰۰	۰٫۱۳	۳٫۵۰				
۰٫۰۴	۰٫۱۴	۰٫۰۹	۰٫۸۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۴٫۰۰				
۰٫۰۳	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۰٫۹۰							
۰٫۰۲	۰٫۰۸	۰٫۰۵	۱٫۰۰							
۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۱٫۵۰							
۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۲٫۰۰							

یادآوری ۱- برای مقادیر بینابینی H/L_h، x/L_h و z/L_h می‌توان از درون‌یابی خطی استفاده کرد.

یادآوری ۲- برای مقادیر $H/L_h > 0.5$، برای محاسبه K_1 فرض می‌شود $H/L_h = 0.5$ و برای محاسبه K_2 و K_3، L_h برابر با 2H منظور می‌شود.

یادآوری ۳- ضرایب با این فرض به‌دست آمده که باد با تپه یا سراشیبی در راستای شیب بیشینه اعمال می‌شود.

راهنما:

H ارتفاع تپه یا سراشیبی نسبت به زمین رو به باد، برحسب m؛

K_1 ضریبی برای منظورکردن شکل عوارض عارضه‌نگاری و بیشینه اثر افزایش سرعت باد؛

K_2 ضریبی برای منظورکردن کاهش در افزایش سرعت باد با فاصلهٔ رو به باد یا پشت به باد تاج؛

K_3 ضریبی برای منظورکردن کاهش در افزایش سرعت باد با ارتفاع بالای عوارض موضعی؛

L_h فاصلهٔ رو به باد تاج تا جایی که اختلاف تراز زمین نصف ارتفاع تپه یا سراشیبی باشد، برحسب m؛

x فاصلهٔ (رو به باد یا پشت به باد) از تاج تا ساختگاه، برحسب m؛

z ارتفاع بالای سطح زمین در ساختگاه، برحسب m؛

μ ضریب کاهندگی افقی؛

γ ضریب کاهندگی ارتفاعی.

روابط: $K_{zt}=(1+K_1K_2K_3)^2$ که در آن: K_1 از جدول زیر به‌دست می‌آید و $K_2=(1-|x|/\mu L_h)$، $K_3=e^{-\gamma z/L_h}$

پارامترهای افزایش سرعت روی تپه‌ها و سراشیبی‌ها

شکل عوارض	$K_1/(H/L_h)$			γ	μ	
	ردهٔ الگوی پوشش زمین					
	D	C	B		سمت رو به باد تاج	سمت پشت به باد تاج
برآمدگی‌های دوبعدی (یا دره‌های با H منفی در $(K_1/(H/L_h))$	۱٫۵۵	۱٫۴۵	۱٫۳۰	۳	۱٫۵	۱٫۵
سراشیبی‌های دوبعدی	۰٫۹۵	۰٫۸۵	۰٫۷۵	۲٫۵	۱٫۵	۴٫۰
تپهٔ سه‌بعدی نامتقارن	۱٫۱۵	۱٫۰۵	۰٫۹۵	۴	۱٫۵	۱٫۵

شکل ۲۳- تعیین ضریب عارضه‌نگاری، K_{zt}

جدول ۲۰- ضرایب مواجهه با فشار سرعتی باد، K_h و K_z

ارتفاع از سطح زمین، z m	ردهٔ مواجهه		
	D	C	B
صفر تا ۴٫۵	۱٫۰۳	۰٫۸۵	۰٫۵۷ (۰/۷۰) [1]
۶٫۰	۱٫۰۸	۰٫۹۰	۰٫۶۲ (۰/۷۰) [1]
۷٫۵	۱٫۱۲	۰٫۹۴	۰٫۶۶ (۰/۷۰) [1]
۹٫۰	۱٫۱۶	۰٫۹۸	۰٫۷۰
۱۲٫۰	۱٫۲۲	۱٫۰۴	۰٫۷۶
۱۵٫۰	۱٫۲۷	۱٫۰۹	۰٫۸۱
۱۸٫۰	۱٫۳۱	۱٫۱۳	۰٫۸۵
۲۱٫۰	۱٫۳۴	۱٫۱۷	۰٫۸۹
۲۴٫۵	۱٫۳۸	۱٫۲۱	۰٫۹۳
۲۷٫۵	۱٫۴۰	۱٫۲۴	۰٫۹۶
۳۰٫۵	۱٫۴۳	۱٫۲۶	۰٫۹۹
۳۶٫۵	۱٫۴۸	۱٫۳۱	۱٫۰۴
۴۳٫۰	۱٫۵۲	۱٫۳۶	۱٫۰۹
۴۹٫۰	۱٫۵۵	۱٫۳۹	۱٫۱۳
۵۵٫۰	۱٫۵۸	۱٫۴۳	۱٫۱۷
۶۱٫۰	۱٫۶۱	۱٫۴۶	۱٫۲۰
۷۶٫۰	۱٫۶۸	۱٫۵۳	۱٫۲۸
۹۱٫۵	۱٫۷۳	۱٫۵۹	۱٫۳۵
۱۰۷٫۰	۱٫۷۸	۱٫۶۴	۱٫۴۱
۱۲۲٫۰	۱٫۸۲	۱٫۶۹	۱٫۴۷
۱۳۷٫۰	۱٫۸۶	۱٫۷۳	۱٫۵۲
۱۵۲٫۴	۱٫۸۹	۱٫۷۷	۱٫۵۶

یادآوری ۱- در صورتی که برای ردهٔ مواجهه B از روش پوش (Envelope) استفاده شود و به ازای $z < 9m$، از مقدار ۰٫۷۰ استفاده شود (روش پوش در این استاندارد مطرح نشده است و برای جزئیات آن می‌توان به فصل ۲۸ استاندارد ASCE7 مراجعه نمود).

یادآوری ۲- ضریب مواجهه با فشار سرعتی باد، K_z، را می‌توان از روابط زیر به‌دست آورد:

برای $4.6m \le z \le z_g$: $K_z=2.01(z/z_e)^{2/\alpha}$

برای $z < 4.6m$: $K_z=2.01(15/z_e)^{2/\alpha}$

یادآوری ۳- ضریب α و مقدار z_e در جدول ۲۱ آمده است.

یادآوری ۴- درون‌یابی خطی برای مقادیر بینابینی ارتفاع z قابل‌پذیرش است.

یادآوری ۵- رده‌های مواجهه در زیربند ۱۳-۶ تعریف شده است.

جدول ۲۱- ثابت‌های مربوط به مواجهه

ردهٔ مواجهه	α	z_g m	$\hat{\alpha}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	c	l m	$\bar{\epsilon}$	$^{1}z_{min}$ m
B	۷٫۵	۱۰۰۰	۰٫۱۳۳	۰٫۸۴	۰٫۲۲۲	۰٫۴۷	۰٫۳۰	۹۷٫۵۴	۰٫۳۳۳	۹٫۱۴
C	۹٫۸	۷۵۰	۰٫۱۰۲	۱٫۰۰	۰٫۱۵۶	۰٫۶۶	۰٫۲۰	۱۵۲٫۴۰	۰٫۲۰۰	۴٫۵۷
D	۱۱٫۵	۵۹۰	۰٫۰۸۷	۱٫۰۹	۰٫۱۲۵	۰٫۷۸	۰٫۱۵	۱۹۸٫۱۲	۰٫۱۲۵	۲٫۱۳

یادآوری- z_{min} برابر است با کمینه ارتفاع به‌کار رفته برای اطمینان از آنکه ارتفاع معادل، $\bar{z}$ بزرگ‌ترین مقدار $0.6h$ یا z_{min} است. در سازه‌های با $h < z_{min}$، $\bar{z}$ باید برابر با z_{min} منظور شود.

۱۳-۱۰ آثار تندباد

۱۳-۱۰-۱ ضریب اثر تندباد

در سازه‌های صلب می‌توان ضریب اثر تندباد، G، را برابر با ۰٫۸۵ فرض کرد. در زیربند ۱۳-۱۰-۴ روابطی در این خصوص ارائه شده است.

۱۳-۱۰-۲ تعیین بسامد

برای تعیین صلب یا انعطاف‌پذیر بودن یک سازه، بسامد اصلی نوسان، n_1، را باید بر اساس مشخصات سازه‌ای و ویژگی‌های تغییرشکلی عناصر مقاوم سازه در یک تحلیل قابل اثبات تعیین کرد. سازه‌های کم ارتفاع را می‌توان مطابق با تعاریف زیربند ۳-۷، صلب منظور کرد. به جای انجام تحلیل دقیق، بسامد طبیعی سازه غیرساختمانی مشابه ساختمان از جنس فولاد یا بتن مسلح را می‌توان از روابط تقریبی مطرح‌شده در زیربند ۱۳-۱۰-۳ به‌دست آورد به شرطی که:

الف- ارتفاع سازه کوچک‌تر یا مساوی ۹۰ m باشد.

ب- ارتفاع سازه از ۴ برابر طول مؤثر آن، L_{eff}، کوچک‌تر باشد.

طول مؤثر سازه، L_{eff}، در راستای مورد بررسی باید با رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$L_{eff}=\frac{\sum_{i=1}^{n} h_i L_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \qquad (۲۵)$$

که در آن:

h_i ارتفاع بالای تراز i برحسب m؛

L_i طول سازه در تراز i موازی با راستای باد برحسب m است.

۱۳-۱۰-۳ بسامد طبیعی تقریبی

کران پایین بسامد طبیعی تقریبی، n_a برحسب Hz برای سازه‌های بتنی یا فولادی برآورده‌کننده شرایط زیربند ۱۳-۱۰-۲ را می‌توان با یکی از روابط زیر تخمین زد:

- سازه‌های فولادی از نوع قاب خمشی:

$$n_a=8.58/h^{0.8} \quad (۲۶)$$

- سازه‌های بتنی از نوع قاب خمشی:

$$n_a=14.93/h^{0.9} \quad (۲۷)$$

- سازه‌های فولادی و بتنی با سایر سامانه‌های مقاوم باربر جانبی:

$$n_a=22.86/h \quad (۲۸)$$

- سازه‌های دارای دیوارهای برشی بتنی یا مصالح بنایی:

$$n_a=117.3(C_w)^{0.5}/h \quad (۲۹)$$

که در آن:

$$C_w=\frac{100}{A_B}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{h}{h_i}\right)^2\frac{A_i}{\left[1+0.83\left(\frac{h_i}{D_i}\right)^2\right]}$$

h میانگین ارتفاع بام سازه برحسب m؛

n تعداد دیوارهای برشی در سازه مؤثر در تحمل نیروهای جانبی در راستای مورد بررسی؛

A_B مساحت پلان سازه برحسب m^2؛

A_i سطح مقطع دیوار برشی برحسب m^2؛

D_i طول دیوار برشی i برحسب m؛

h_i ارتفاع دیوار برشی i برحسب m.

۱۳-۱۰-۴ تعیین ضریب اثر تندباد در سازه‌های صلب

در سازه‌های صلب، ضریب اثر تندباد، G، را می‌توان برابر با ۰٫۸۵ منظور کرد یا از روابط زیر محاسبه نمود:

$$G = 0.925\left(\frac{1+0.7g_Q I_{\bar{z}} Q}{1+0.7g_v I_{\bar{z}}}\right) \quad (۳۰)$$

$$I_{\bar{z}} = c\left(\frac{10}{\bar{z}}\right)^{1.6} \quad (۳۱)$$

که در آن‌ها:

$I_{\bar{z}}$ شدت تلاطم در ارتفاع $\bar{z}$؛

$\bar{z}$ ارتفاع معادل سازه ($0.6h$ و بزرگ‌تر از z_{min} که h ارتفاع سازه است). z_{min} و c برای هر ردهٔ مواجهه در جدول ۲۱ ارائه شده است.

g_Q و g_v ضرایبی که برابر با ۳٫۴ منظور می‌شوند؛

Q پاسخ پیش‌زمینه[1] که برابر است با:

$$Q=\sqrt{\frac{1}{1+0.63\left(\frac{B+h}{L_{\bar{z}}}\right)^{0.63}}} \qquad (۳۲)$$

که در آن:

B بعد افقی سازه عمود بر راستای باد برحسب m؛

h میانگین ارتفاع بام یک سازه. لازم به ذکر است که برای زاویهٔ بام کوچک‌تر یا مساوی ۱۰°، ارتفاع رأس بام باید به کار رود برحسب m؛

$L_{\bar{z}}$ مقیاس طول یکپارچه تلاطم در ارتفاع معادل است که برابر است با:

$$L_{\bar{z}}=l(\bar{z}/10)^{\bar{\epsilon}} \qquad (۳۳)$$

که در آن:

l و $\bar{\epsilon}$ در جدول ۲۱ بیان شده است.

۱۳-۱۰-۵ تعیین ضریب اثر تندباد در سازه‌های انعطاف‌پذیر یا دینامیکی حساس

در سازه‌های انعطاف‌پذیر یا حساس (طبق تعاریف مطرح شده در زیربند ۳-۷-۳)، ضریب تندباد، G_f، باید از روابط زیر به‌دست آید:

$$G_f=0.925\left(\frac{1+1.7I_{\bar{z}}\sqrt{g_Q^2Q^2+g_R^2R^2}}{1+1.7g_vI_{\bar{z}}}\right) \qquad (۳۴)$$

که در آن:

g_Q و g_v ضرایبی که برابر با ۳٫۴ منظور می‌شوند و

$$g_R=\sqrt{2\ln(3{,}600n_1)}+\frac{0.577}{\sqrt{2\ln(3{,}600n_1)}} \qquad (۳۵)$$

1- Background response

ضریب پاسخ تشدید، R، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$R=\sqrt{\frac{1}{\beta}R_nR_hR_B(0.53+0.47R_L)} \quad (۳۶)$$

$$R_n=\frac{7.47N_1}{(1+10.3N_1)^{5/3}} \quad (۳۷)$$

$$N_1=\frac{n_lL_{\bar{z}}}{\bar{V}_{\bar{z}}} \quad (۳۸)$$

ضرایب اثر اندازهٔ مرتبط با ارتفاع، عرض و عمق سازه عبارتند از:

$$R_h=\frac{1}{\eta_h}-\frac{1}{2\eta_h^2}(1-e^{-2\eta_h}) \quad (۳۹\text{- الف})$$

$$R_B=\frac{1}{\eta_B}-\frac{1}{2\eta_B^2}\left(1-e^{-2\eta_B}\right) \quad (۳۹\text{- ب})$$

$$R_L=\frac{1}{\eta_L}-\frac{1}{2\eta_L^2}\left(1-e^{-2\eta_L}\right) \quad (۳۹\text{- پ})$$

که در آن‌ها:

ضرایب وابستگی[1] (هم‌بستگی[2]) آشـفتگی در راستاهای متناظر تعیین شده در هر بسامد طبیعی عبارتند از:

$$\eta_h=4.6n_1h/\bar{V}_{\bar{z}} \quad (۴۰\text{- الف})$$

$$\eta_B=4.6n_1B/\bar{V}_{\bar{z}} \quad (۴۰\text{- ب})$$

$$\eta_L=15.4n_1d/\bar{V}_{\bar{z}} \quad (۴۰\text{- پ})$$

$\bar{V}_{\bar{z}}$ سرعت میانگین ساعتی باد برحسب m/s در ارتفاع معادل سازه، $\bar{z}$ که از رابطهٔ زیر قابل تعیین است:

$$\bar{V}_{\bar{z}}=\bar{b}\left(\frac{\bar{z}}{10}\right)^{\bar{\alpha}}V \quad (۴۱)$$

که در آن:

$\bar{b}$ و $\bar{\alpha}$ در جدول ۲۱ ارائه شده و V سرعت مبنای باد برحسب m/s است.

۱۳-۱۰-۶ تحلیل منطقی[3]

به جای روش مطـرح شده در زیربنـدهای ۱۳-۱۰-۴ و ۱۳-۱۰-۵، استفاده از هر تحلیـل منطقی تعریف‌شده در ادبیات فنی مجاز است.

1- Coherence
2- Correlation
3- Rational analysis

۱۳-۱۰-۷ محدودیت‌ها

در صورت ترکیب ضرایب تندباد و ضرایب فشار یعنی (GC_p)، (GC_{pi}) و (GC_{pf})، در جداول و شکل‌های ارائه شده در این بند از استاندارد، ضریب اثر تندباد، G، را نباید به‌صورت جداگانه تعیین کرد.

۱۳-۱۱ رده‌بندی محصورشدگی سازه با دیوار

۱۳-۱۱-۱ ملاحظات کلی

به‌منظور تعیین ضرایب فشار داخلی در سازه‌های محصورشده با دیوار، سازه‌ها را می‌توان به انواع زیر رده‌بندی کرد:

- محصور شده کامل[1]؛
- محصور شده نسبی[2]؛
- نیمه باز[3]؛
- باز.

که تعاریف آن‌ها در زیربند ۳-۷-۱۱ تا زیربند ۳-۷-۱۳ آمده است.

۱۳-۱۱-۲ بازشوها

میزان بازشوهای سازه، باید در رده‌بندی محصورشدگی سازه (مطابق با تعاریف مطرح‌شده در زیربند ۳-۷-۱۱ تا زیربند ۳-۷-۱۳) مدنظر قرار داده شود. برای تعیین میزان بازشوها، هر دیوار سازه را باید با منظورکردن مقدار بازشوها نسبت به سایر اجزای پوشانندهٔ سازه به‌صورت رو به باد فرض کرد.

۱۳-۱۱-۳ محافظت از بازشوهای شیشه‌ای[4]

در نواحی طوفانی برای سازه‌های واقع در ردهٔ خطرپذیری ۲، ۳ و ۴، باید بازشوهای شیشه‌ای در برابر باد محافظت شوند.

۱۳-۱۱-۴ رده‌بندی چندگانه

اگر یک سازه به‌طور هم‌زمان شامل تعاریف وضعیت محصورشدگی «باز» و «نیمه‌باز» قرار داشته باشد، باید آن را در ردهٔ «باز» قرار داد.

1- Enclosed
2- Partially enclosed
3- Partially open
4- Glazed openings

۱۳-۱۲ ضرایب فشار داخلی باد

ضرایب فشار داخلی باد، (GC_{pi})، را باید براساس جدول ۲۲ و طبق ردهٔ محصورشدگی سازه از زیربند ۱۳-۱۱ به دست آورد.

جدول ۲۲- ضریب فشار داخلی، (GC_{pi})، در خصوص سازه‌های با محصورشدگی کامل، محصورشدگی نسبی، نیمه باز و باز به‌منظور طراحی سامانه اصلی مقاوم نیروی باد و اجزای پوششی نما

ردهٔ محصورشدگی سازه	معیارهای رده‌بندی محصورشدگی	فشار داخلی	ضریب فشار داخلی، (GC_{pi})
محصورشدهٔ کامل	A_o کوچک‌تر از کوچک‌ترین مقدار $0.01A_g$ یا ۰٫۴ m^2 بوده، همچنین $A_{oi}/A_{gi} \leq 0.2$ باشد.	متوسط	+۰٫۱۸ -۰٫۱۸
محصورشدهٔ نسبی	$A_o > 1.1A_{oi}$ و A_o بزرگ‌تر از کوچک‌ترین مقدار $0.01A_g$ یا ۰٫۴ m^2 بوده، همچنین $A_{oi}/A_{gi} \leq 0.2$ باشد.	زیاد	+۰٫۵۵ -۰٫۵۵
نیمه باز	سازه‌ای که درون ردهٔ محصورشدهٔ کامل، محصورشدهٔ نسبی یا باز نباشد.	متوسط	+۰٫۱۸ -۰٫۱۸
باز	هر دیوار، حداقل دارای بازشو با ابعاد بزرگ‌تر از ٪ ۸۰ ابعاد دیوار باشد.	قابل چشم‌پوشی	۰٫۰۰

یادآوری ۱- علامت‌های مثبت و منفی به ترتیب بیانگر فشار رو به سطح داخلی یا پشت به سطح داخلی است.

یادآوری ۲- مقادیر (GC_{pi}) را باید با q_z یا q_h به‌کار برد.

یادآوری ۳- دو حالت را باید برای تعیین الزامات بار بحرانی در وضعیت مناسب مدنظر قرار داد:

الف- یک مقدار مثبت (GC_{pi}) به کلیهٔ سطوح داخلی اعمال شود.

ب- یک مقدار منفی (GC_{pi}) به کلیهٔ سطوح داخلی اعمال شود.

۱۳-۱۳ محاسبه بار باد در سازه‌های غیرساختمانی غیرمشابه ساختمان

۱۳-۱۳-۱ رابطهٔ بنیادین تعیین نیروی باد

در این زیربند، نیروی باد وارد بر دودکش‌ها، مخازن، علایم، قاب‌های باز دوبعدی و برج‌های خرپایی مستقر بر زمین یا مستقر بر بام سازه مطرح می‌شود. رابطهٔ تعیین نیروی باد در این سازه‌ها به‌صورت زیر است [17]:

$$F = q_z G C_f A_f \qquad (۴۲)$$

که در آن:

q_z فشار سرعتی باد در ارتفاع z، تعریف‌شده در زیربند ۱۳-۹ برحسب Pa؛

G ضریب اثر تندباد تعریف‌شده در زیربند ۱۳-۱۰؛

C_f ضرایب نیروی باد به‌دست آمده از شکل ۲۴ تا شکل ۲۶ که برای سطح واقعی مشخص می‌شود؛

A_f سطح تصویر شده عمود بر باد برحسب m^2.

۱۳-۱۳-۲ بارهای طراحی در برابر باد برای ظروف، سیلوها و مخازن

در خصوص ظروف، سیلوها و مخـازن ذخیره با ارتفاع، h، کوچک‌تر از ۳۶٫۵ m، قطر، D، کوچک‌تر از ۳۶٫۵ m و همچنین نسـبت ارتفاع به قطر، h/D، بین ۰٫۲۵ و ۴، می‌توان نیـــروهای باد را بر اسـاس این زیربند تعیین کرد. در صـورت وجـود چندین ظرف، سـیلو و مخزن با یک ابعاد در مجـاورت یکدیگر، در صورتی که فواصل مرکز به مرکز آن‌ها بزرگ‌تر از دو برابر قطر با شد، می‌توان آن‌ها را به عنوان سازه‌هایی منفرد در نظر گرفت و نیـروی باد را بر آن‌ها اعمـال کرد. چنانـچه این فواصـــل کوچک‌تر از ۱٫۲۵ برابر قطر باشـد، این سـازه‌ها باید به‌صـورت گروهی منظور گردند و فشار باد باید طبـق زیربند ۱۳-۱۳-۲-۴ تعیین شود. برای فواصل بینابینی، درون‌یابی خطی مقدار C_p (یا C_f) را باید مورد استفاده قرار داد.

یادآوری- برای تعیین بارهـای وارد بر مخـازن ذخیـرهٔ استوانه‌ای فولادی که طبـق اسـتاندارد API 650 طراحی می‌شـوند به پیوست **ت** مراجعه شود.

۱۳-۱۳-۲-۱ دیوارهای بیرونی

برای تعیین نیـروی باد کلی وارد بر ظروف، سـیلوها و مخازن دایره‌ای شـکل با اسـتفاده از رابـطهٔ (۴۲)، یک ضریب نیرو، C_f، برابر با ۰٫۶۳ مبتنی بر سـطـوح تصـویرشدهٔ دیوارها را می‌توان به‌کار برد به شرطی که نسبت ارتفاع به قطر، h/D، بین ۰٫۲۵ و ۴ باشد و اسـتوانه (به قطر D) روی زمیـن یا سـتون‌هایی متکی باشد. ارتفاع خالص، C، باید کوچک‌تر یا مساوی ارتفاع استوانهٔ توپر، H، نشان داده شده در شکل ۲۶ باشد.

۱۳-۱۳-۲-۲ فشار باد وارد بر سقف ظروف، سیلوها و مخازن دایره‌ای منفرد

فشارهای طراحی خالص باد وارد بر سقف ظروف، سیلوها و مخازن را باید با استفاده از رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$p = q_h K_d \left(GC_p - \left(GC_{pi} \right) \right) \qquad (۴۳)$$

که در آن:

q_h فشار سرعتی باد برای کلیه سطوح در میانگین ارتفاع سقف سازه، h برحسب Pa؛

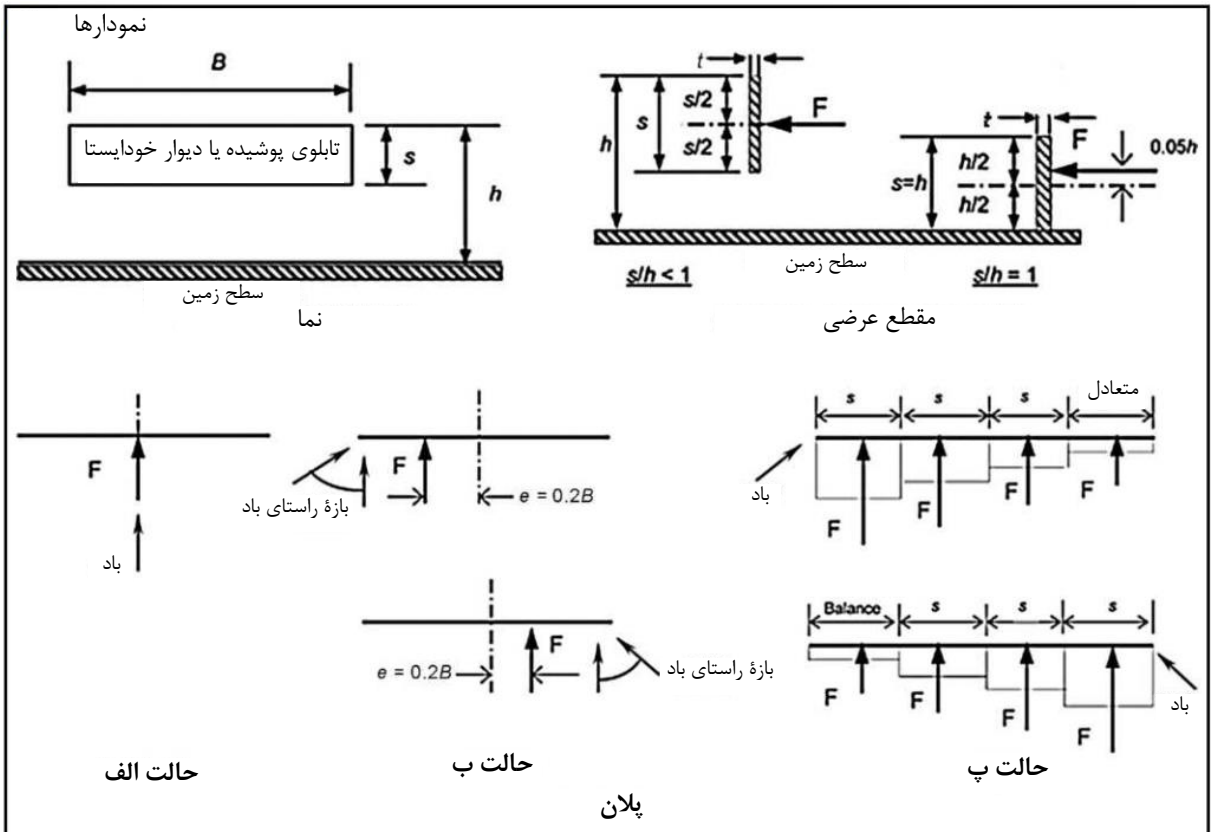
K_d ضریب جهت‌دهی باد طبق زیربند ۱۳-۵؛

C_p ضریب فشار خارجی باد برای سقف‌ها به‌دست آمده از شکل ۲۷؛

(GC_{pi}) ضریب فشار داخلی باد برای سازه‌های مسقف از زیربند ۱۳-۱۲؛

G ضریب اثر تندباد از زیربند ۱۳-۱۰ است.

فشارهای خارجی وارد بر سـقف‌های مخروطی، تخـت یا گنبدی (با زاویهٔ کوچک‌تر از 10°) در ظروف، سیلوها یا مخازن باید بر اساس ضرایب فشار خارجی باد، C_p، در شکل ۲۷ برای نواحی ۱ و ۲ نشان داده شده در آن شکل تعیین شود. فشـارهای خارجی وارد بر سـقف‌های گنبدی (با زاویهٔ سقف بزرگ‌تر از 10°) باید بر اساس شکل ۲۸ به‌دست آید.



راهنما:

B	بعد افقی تابلو برحسب m؛
E	خروج از مرکزیت نیرو برحسب m؛
F	نیروی باد طراحی سازه برحسب N؛
h	ارتفاع تابلو برحسب m؛
L_r	بعد افقی کنج برگشتی برحسب m؛
R_{min}	برابر با t/min(B,s)؛
R_{max}	برابر با t/max(B,s)؛
S	بعد قائم تابلو برحسب m؛
T	ضخامت تابلو برحسب m؛
ε	نسبت سطح پوشیده به کل مساحت ناخالص تابلو است.

ضرایب نیرو، C_f برای حالت الف و ب

نسبت فاصله s/h	نسبت ابعادی B/s											
	≤0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	4	5	10	20	30	≥45
1	1.80	1.70	1.65	1.55	1.45	1.40	1.35	1.35	1.30	1.30	1.30	1.30
0.9	1.85	1.75	1.70	1.60	1.55	1.50	1.45	1.45	1.40	1.40	1.40	1.40
0.7	1.90	1.85	1.75	1.70	1.65	1.60	1.60	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
0.5	1.95	1.85	1.80	1.75	1.75	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.70	1.75
0.3	1.95	1.90	1.85	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.85	1.85	1.85
0.2	1.95	1.90	1.85	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.85	1.90	1.90	1.95
≤0.16	1.95	1.90	1.85	1.85	1.80	1.80	1.85	1.85	1.85	1.90	1.90	1.95

شکل ۲۴- ضرایب نیرو، C_f، برای دیوارها و تابلوهای پوشیده خودایستا (بدون مهار)- حالات الف و ب

ضرایب نیرو، C_f برای حالت پ

ناحیه (فاصلهٔ افقی از لبه رو به باد)	B/s ، نسبت ابعادی										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	13	≥45
0 to s	2.25	2.60	2.90	3.10*	3.30*	3.40*	3.55*	3.65*	3.75*	4.00*	4.30*
s to $2s$	1.50	1.70	1.90	2.00	2.15	2.25	2.30	2.35	2.45	2.60	2.55
$2s$ to $3s$		1.15	1.30	1.45	1.55	1.65	1.70	1.75	1.85	2.00	1.95
$3s$ to $10s$			1.10	1.05	1.05	1.05	1.05	1.00	0.95		
$3s$ to $4s$										1.50	1.85
$4s$ to $5s$										1.35	1.85
$5s$ to $10s$										0.90	1.10
$>10s$										0.55	0.55

* مقادیر باید در یکی از ضرایب کاهش زیر در صورت وجود کنج برگشتی ضرب شود:

L_r/S	ضریب کاهش‌دهنده
0.3	0.90
1.0	0.75
≥2	0.60

پلان دیوار یا تابلو با کنج برگشتی

یادآوری ۱- عبارت «تابلو» در این متن به دیوارهای خودایستا نیز اطلاق می‌گردد.

یادآوری ۲- تابلوهای دارای بازشو با مساحت کوچکتر از ٪ ۳۰ سطح ناخالص تابلو به عنوان تابلوهای پوشیده طبقه‌بندی می‌شود. ضرایب نیرو برای تابلوهای پوشیده دارای بازشو را باید در یک ضریب کاهشی $(1-(1-\varepsilon)^{1.5})$ ضرب نمود.

یادآوری ۳- برای در نظر گرفتن هر دو راستای عمودی و مایل باد، حالات زیر باید لحاظ گردد:

برای $s/h<1.0$:

حالت الف- نیروی برآیند عمود بر سطح تابلو و در مرکز هندسی آن اعمال می‌شود.

حالت ب- نیروی برآیند عمود بر سطح تابلو در فاصله‌ای از مرکز هندسی تا لبه رو به باد برابر با ۰٫۲ برابر پهنای متوسط تابلو اعمال می‌شود.

برای تابلوهای دو سمته که تمام وجوه آن محصور بوده، و $R_{max} \leq 0.4$، می‌توان از خروج از مرکزیت نیرو برابر با مقدار حاصل از رابطهٔ $e=(0.2-0.25R_{max})B$ استفاده کرد.

برای تابلوهای دو سمته که تمام وجوه آن محصور بوده، و $R_{max} \leq 0.75$، می‌توان مقادیر C_f جدول در حالات الف و ب را در ضریب کاهش $(1-0.133R_{min})$ ضرب کرد

برای $B/s \geq 2$، حالت پ باید منظور شود.

برای $s/h=1.0$:

همان حالات ذکرشدهٔ فوق مدنظر قرارداده می‌شود با این استثنا که موقعیت‌های قائم نیروهای برآیند در فاصله‌ای مساوی با ۰٫۰۵ برابر ارتفاع میانگین تابلو منظور می‌شود.

یادآوری ۴- برای حالت پ که $s/h > 0.8$ است، ضرایب نیرو باید در یک ضریب کاهشی برابر با $(1.8-s/h)$ ضرب شود. این کاهش را می‌توان با موارد ذکر شده در یادآوری ۳ اعمال نمود.

یادآوری ۵- برای مقادیر بینابینی s/h، B/s و L_r/s می‌توان از درون‌یابی خطی استفاده کرد.

شکل ۲۵- ضرایب نیرو، C_f، برای دیوارها و تابلوهای پوشیده خودایستا (بدون مهار)- حالت پ

جدول ۲۳- ضرایب نیرو، C_f، برای دودکش‌ها، مخازن و سازه‌های مشابه

مقطع عرضی	نوع سطح	h/D		
		۱	۷	۲۵
مربع (باد عمود بر رویه)	کلیهٔ سطوح	۱٫۳	۱٫۴	۲٫۰
مربع (بار در راستای قطر)	کلیهٔ سطوح	۱٫۰	۱٫۱	۱٫۵
شش‌ضلعی یا هشت‌ضلعی	کلیهٔ سطوح	۱٫۰	۱٫۲	۱٫۴
دایره $D\sqrt{q_z} > 5.3$	سطح با زبری متوسط	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۷
	سطح زبر (D'/D=0.02)	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۹
	سطح بسیار زبر (D'/D=0.08)	۰٫۸	۱٫۰	۱٫۲
دایره $D\sqrt{q_z} \leq 5.3$	کلیهٔ سطوح	۰٫۷	۰٫۸	۱٫۲

یادآوری ۱- نیروی باد طراحی باید براساس سطح بادگیر سازهٔ تصویرشده روی صفحه‌ای عمود بر راستای باد تعیین شود. نیرو باید به موازات راستای باد فرض شود.

یادآوری ۲- برای مقادیر بینابینی h/D، می‌توان از درون‌یابی خطی استفاده کرد.

که در روابط فوق:

D قطر مقطع عرضی دایره‌ای و کمینه بعد افقی مقطع عرضی مربع، شش ضلعی یا هشت ضلعی در تراز مورد بررسی، برحسب m؛

D' عمق عناصر بیرون‌زده نظیر دنده‌ها[1]، غلاف‌های دندانه‌دار[2] یا سایر نامنظمی‌های سطحی، برحسب m؛

h ارتفاع سازه، برحسب m؛

q_z فشار سرعتی برآورد شده در ارتفاع z بالای زمین، برحسب Pa است.

جدول ۲۴- ضرایب نیرو، C_f، برای تابلوهای باز (غیر پوشیده) و سازه‌های قابی شکل باز دو بعدی

		برای اعضای گرد	
ε	برای اعضا با رویهٔ تخت	$D\sqrt{q_z} \leq 5.3$	$D\sqrt{q_z} > 5.3$
کوچک‌تر از ۰٫۱	۲٫۰	۱٫۲	۰٫۸
بین ۰٫۱ تا ۰٫۲۹	۱٫۸	۱٫۳	۰٫۹
بین ۰٫۳ تا ۰٫۷	۱٫۶	۱٫۵	۱٫۱

یادآوری ۱- تابلوها با بازشوهای دارای مساحت ٪ ۳۰ یا بزرگ‌تر به عنوان تابلوهای باز طبقه‌بندی می‌شوند.

یادآوری ۲- محاسبه نیروهای باد باید بر اساس سطح کلیهٔ سطوح نمایان و عناصر تصویرشده روی یک صفحهٔ عمود بر راستای باد انجام شود. فرض می‌شود که نیروها به موازات راستای باد اعمال می‌شود.

یادآوری ۳- سطح A_f سازگار با این ضرایب نیرو مربوط به مساحت پوشیدهٔ تصویرشدهٔ عمود بر راستای باد است.

نشانه‌گذاری‌ها:

ε نسبت مساحت توپر به مساحت ناخالص؛

D قطر عضو دایره‌ای‌شکل برحسب m؛

q_z فشار سرعتی برآورد شده در ارتفاع z بالای زمین برحسب Pa است.

1- Ribs

2- Corrugated jackets

جدول ۲۵- ضرایب نیرو، C_f، برای سازه‌های قابی شکل باز – دکل‌های خرپایی

مقطع عرضی دکل	C_f
مربع	$4.0\varepsilon^2-5.9\varepsilon+4.0$
مثلث	$3.4\varepsilon^2-4.7\varepsilon+3.4$

راهنما:

ε نسبت مساحت پوشیده به مساحت ناخالص رویهٔ یک دکل برای قطعهٔ مورد بررسی؛

یادآوری ۱- در کلیهٔ راستاهای باد مورد بررسی، مساحت A_f سازگار با ضرایب نیروی مشخص‌شده باید مساحت پوشیده وجه یک دکل تصویرشده بر صفحه وجه قطعهٔ دکل تحت بررسی باشد.

یادآوری ۲- ضرایب نیروی مشخص‌شده مربوط به دکل‌های دارای مقاطع نبشی یا سایر اعضای با عناصر تخت است.

یادآوری ۳- در دکل دارای اعضای دایره‌ای شکل، ضرب‌کردن ضرایب نیرو در ضریب زیر برای تعیین نیروهای باد وارد بر عضو قابل پذیرش است:

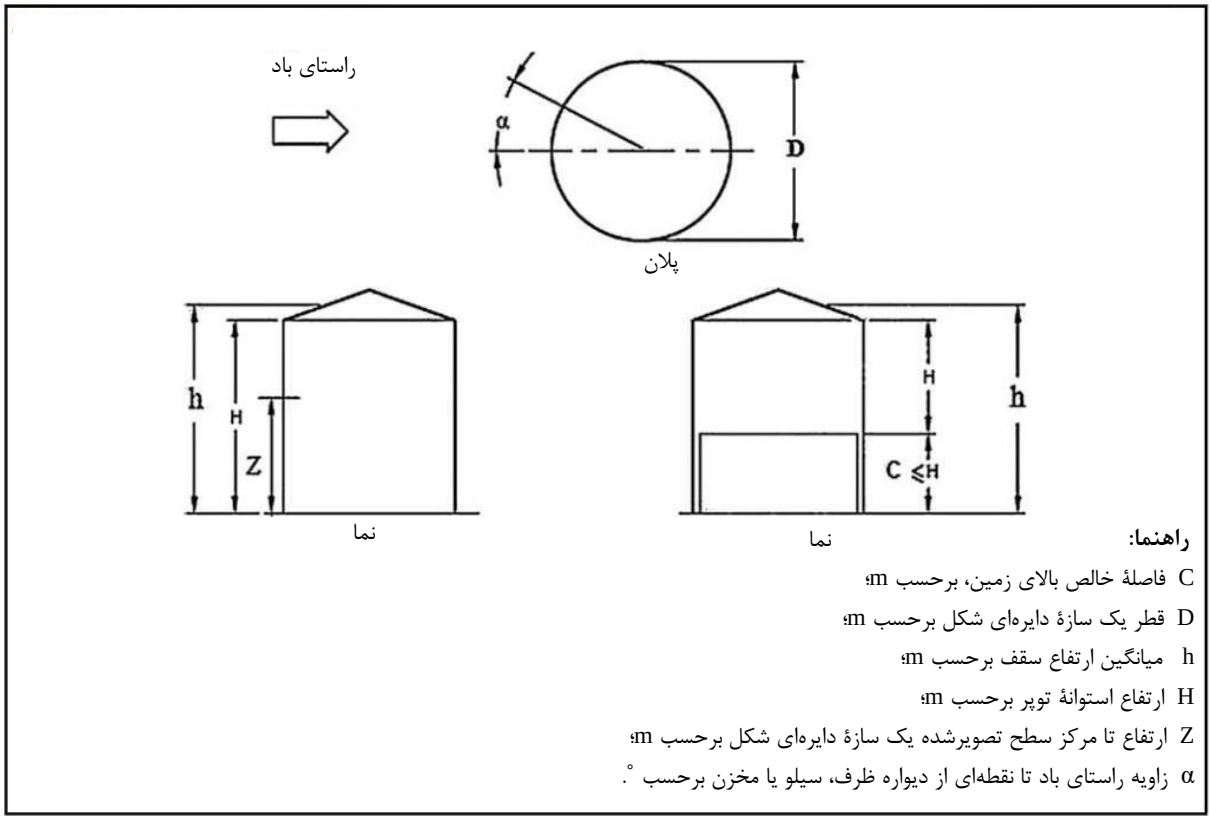
$$0.51\varepsilon^2+0.57<1.0$$

یادآوری ۴- نیروهای باد باید در راستاهایی اعمال شود که منجر به بیشینه نیروها و واکنش‌های اعضا شود. در دکل‌های با مقطع عرضی مربع، هنگامی که باد در راستای قطری دکل می‌وزد، نیروهای باد باید در ضریب زیر ضرب شود:

$$1+0.75\varepsilon<1.2$$

یادآوری ۵- نیروهای باد وارد بر متعلقات دکل مانند نردبان‌ها، مجراها، روشنایی و بالابرها باید با استفاده از ضرایب نیروی مناسب هر کدام از این عناصر محاسبه شود.

یادآوری ۶- بارهای ناشی از تجمع یخ به‌صورتی که در بند ۱۲ مطرح شده است باید لحاظ شود.



راهنما:

C فاصلهٔ خالص بالای زمین، برحسب m؛

D قطر یک سازهٔ دایره‌ای شکل برحسب m؛

h میانگین ارتفاع سقف برحسب m؛

H ارتفاع استوانهٔ توپر برحسب m؛

Z ارتفاع تا مرکز سطح تصویرشده یک سازهٔ دایره‌ای شکل برحسب m؛

α زاویه راستای باد تا نقطه‌ای از دیواره ظرف، سیلو یا مخزن برحسب °.

شکل ۲۶- ضرایب نیرو، C_f، برای سامانه‌های باربر نیروی باد (با فرض $h < 36.6m$)؛ ظروف، سیلوها و مخازن دایره‌ای شکل مستقر بر زمین یا متکی بر ستون‌ها با شرط $D < 36.6m$ و $0.25 < H/D < 4.0$

۱۳-۱۳-۲-۳ فشار باد وارد بر وجه زیرین ظروف، سیلوها و مخازن دایره‌ای منفرد

ضرایب فشار خارجی برای وجه تحتانی ظروف، سیلوها یا مخازن مرتفع با ارتفاع خالص، C، بالای زمین کوچک‌تر یا مساوی ارتفاع استوانهٔ توپر، H، باید برابر با ۰٫۸ و ۰٫۶- منظور شود. در سازه‌ها با ارتفاع خالص، C، بالای زمین کوچک‌تر یا مساوی یک‌سوم ارتفاع استوانهٔ توپر، H، از درون‌یابی خطی بین این مقادیر و مقدار C_p=0.0 برحسب نسبت C/h استفاده می‌شود که C و h در شکل ۲۶ نشان داده شده‌اند.

۱۳-۱۳-۲-۴ سقف‌ها و دیوارهای ظروف، سیلوها و مخازن گروهی

برای گروه‌های کم‌فاصلهٔ متشکل از سه یا چند ظرف، سیلو یا مخزن با فواصل مرکزبه‌مرکز کوچک‌تر از 1.25D، ضرایب فشار سقف، C_p، و ضریب نیروی پسا، C_f، روی دیوارهای تصویرشده باید با استفاده از شکل ۲۹ به‌دست آید. فشارهای خالص طراحی روی سقف‌ها را باید از رابطهٔ (۴۳) به‌دست آورد. نیروی پسای کل را نیز باید از رابطهٔ (۴۲) تعیین نمود.

۱۳-۱۳-۳ بارهای باد وارد بر مخازن LNG

مخازن LNG باید به نحوی طراحی شوند که در برابر باد دچار آسیب سازه‌ای نشوند و یکپارچگی عملکردی خود را حفظ کنند. این مخازن باید طبق منبع [17] در برابر این نیروها طراحی شوند:

الف- اثر مستقیم نیروهای باد؛

ب- اختلاف فشار بین سازهٔ درونی و بیرونی محصورکننده یا نیمه‌محصور؛ و

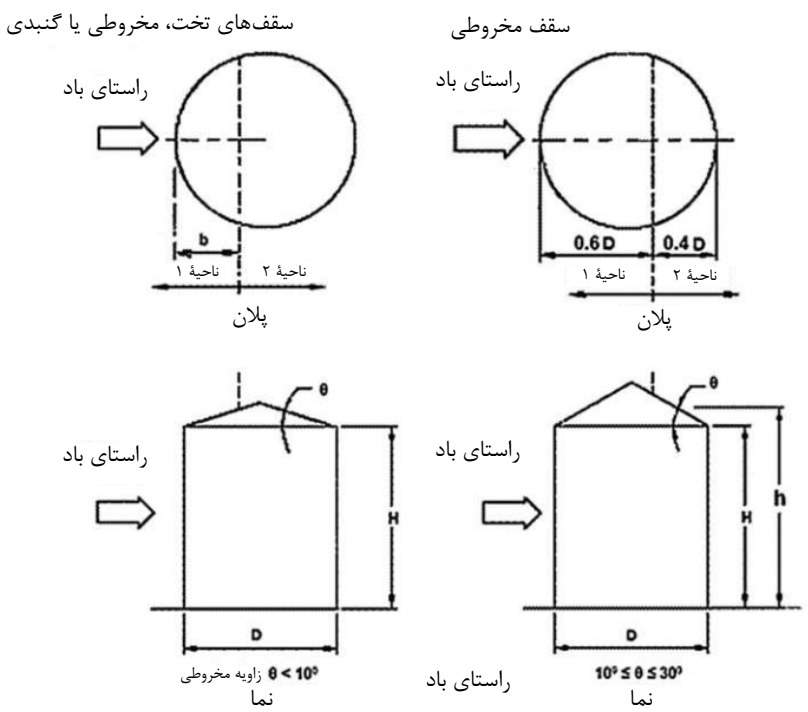
پ- در مورد سامانه‌های شامل مخازن ذخیرهٔ LNG، نیروهای ناشی از ضربه و نفوذ محتمل.

نیروهای باد در موضع تأسیسات باید بر اساس یکی از موارد زیر تعیین شود:

برای مخازن ساخته شده در کارگاه با سیال LNG یا سایر سیالات خطرزا با ظرفیتی کوچک‌تر از ۲۶۵ m^3 می‌توان از داده‌های بار باد (نظیر آنچه در جدول ۱۷ آمده است) استفاده کرد.

برای سایر تأسیسات LNG:

- سرعت باد معادل ۶۶ m/s مگر آنکه کارفرما سرعت پایین‌تری را بر اساس داده‌های مستند مجاز بداند؛
- بحرانی‌ترین ترکیب سرعت باد و مدت زمان اعمال بار باد نسبت به اثر آن روی سازه با احتمال فراگذشت ٪ ۰٫۵ در ۵۰ سال (دورهٔ بازگشت ۱۰،۰۰۰ سال) به شرطی که داده‌های کافی باد در دسترس باشد و بتوان از روش احتمالاتی استفاده کرد.



راهنما:

b پهنای وابسته به H/D برای سقف‌های با میانگین زاویهٔ θ کوچکتر از ۱۰°؛

h میانگین ارتفاع سقف برحسب m؛

D قطر یک سازهٔ دایره‌ای شکل برحسب m؛

H ارتفاع استوانهٔ توپر برحسب m؛

θ زاویهٔ صفحهٔ سقف نسبت به افق برحسب °.

	ضرایب فشار خارجی، C_p
ناحیه ۱	−0.8
ناحیه ۲	−0.5

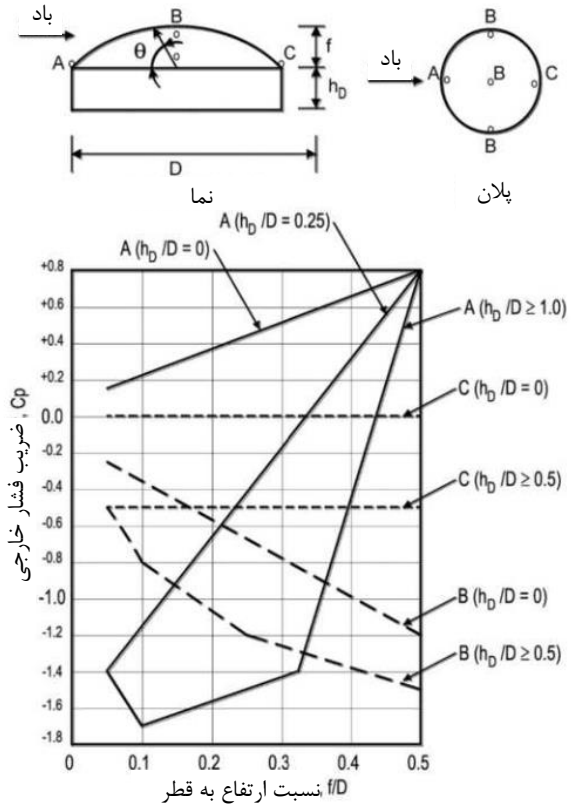
یادآوری- برای سقف‌های با میانگین زاویهٔ θ کوچکتر از ۱۰°، پارامتر b باید به این صورت تعیین شود:

H/D	*b*
0.25	0.2D
0.5	0.5D
≥1.0	0.1h + 0.6D

استفاده از درون‌یابی خطی مجاز است.

شکل ۲۷- ضرایب فشار خارجی باد، C_p، برای سامانه‌های باربر نیروی باد (با فرض h < 36.6m؛ برای سقف ظروف، سیلوها و مخازن دایره‌ای شکل با شرط D < 36.6m و 0.25 < H/D < 4.0)

ضرایب فشار خارجی برای گنبدهای دارای وجه تحتانی دایره‌ای شکل



راهنما:

f بلندی گنبد برحسب m؛

h_d ارتفاع گنبد تا تراز پی برحسب m؛

D قطر گنبد برحسب m؛

θ زاویهٔ صفحهٔ سقف گنبد نسبت به افق برحسب °.

یادآوری ۱- دو حالت بار باید منظور شود:

حالت الف- مقادیر C_p بین A و B و بین B و C باید با درون‌یابی خطی بین قوس‌های روی گنبد به موازات راستای باد تعیین شود.

حالت ب- C_p باید برای $\theta < 25$ بر حسب ° مقدار ثابت A باشد و باید توسط درون‌یابی خطی از ۲۵° تا B و از B تا C تعیین شود.

یادآوری ۲- مقادیر مشخص شده C_p با $q_{h(D+f)}$ به کار می‌روند که h_{D+f} ارتفاع بالای گنبد است.

یادآوری ۳- علایم مثبت و منفی به ترتیب بیانگر فشار رو به سطوح و فشار بیرون از سطوح است.

یادآوری ۴- C_p ثابت رویهٔ گنبد برای قوس‌های دایره‌ای شکل عمود بر راستای باد است؛ به عنوان مثال، قوس عبوری از B-B-B و قوس‌های موازی با B-B-B

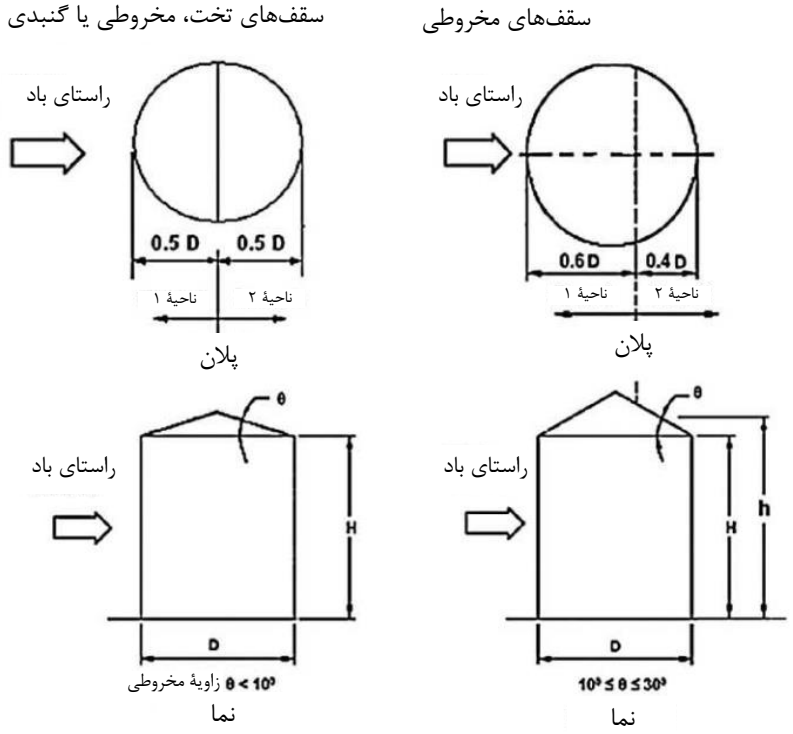
یادآوری ۵- برای مقادیر بینابینی $h_{D/D}$ در حد فاصل مقادیر نشان‌داده‌شده در نمودارها، باید از درون‌یابی خطی استفاده کرد.

یادآوری ۶- زاویهٔ $\theta = 0$ (برحسب °) روی خط چشمه (Springline) و $\theta = 90$ (برحسب °) در نقطهٔ مرکز فوقانی گنبد است.

یادآوری ۷- برش افقی کل نباید کوچکتر از برشی باشد که با صرف‌نظر کردن نیروهای باد وارد بر سطوح بام تعیین شده است.

یادآوری ۸- برای مقادیر f/D کوچکتر از ۰٫۰۵ از شکل 27.3-1 استاندارد ASCE7 استفاده شود.

شکل ۲۸- ضرایب فشار خارجی باد، C_p، برای سامانهٔ اصلی باربر نیروی باد (برای کلیه ارتفاع‌ها) در سازه‌های محصور شده کامل و نسبی- سقف‌های گنبدی با وجه تحتانی دایره‌ای شکل



راهنما:

D قطر یک سازهٔ دایره‌ای‌شکل برحسب m؛

h میانگین ارتفاع سقف برحسب m؛

H ارتفاع استوانهٔ توپر برحسب m؛

θ زاویهٔ صفحهٔ سقف نسبت به افق برحسب °.

ضریب نیروی پسا، C_f روی دیوارهای تصویرشده از مقدار زیر استفاده شود

H/D	C_f	
<1	1.3	q_h
2	1.1	q_h
4	1.0	q_h

ضرایب فشار وارد بر سقف، C_p برای استفاده با q_h

	H/D	ناحیه ۱	ناحیه ۲
θ < 10°	≤0.5	−0.9	−0.5
	≥1.0	−1.3	−0.7
10° < θ < 30°	≤4	−1.0	−0.6

شکل ۲۹- ضرایب نیروی پسا، C_f، و ضرایب فشار سقف، C_p، برای ظروف، سیلوها و مخازن گروهی مستقر بر زمین یا متکی بر ستون با فرض D < 36.6m، 0.25 < H/D < 4.0 و فواصل مرکز به مرکز کوچک‌تر از 1.25D به‌منظور تعیین بارهای باد در طراحی سامانه‌های مقاوم اصلی نیروی باد

۱۳-۱۳-۴ سازه‌های نگهدارنده لوله و سینی کابل[1]

۱۳-۱۳-۴-۱ ملاحظات کلی

در پیکربندی‌های متعارف، بارهای باد به‌صورت عرضی به سازه‌های نگهدارنده لوله اثر می‌کنند. تجربه نشان می‌دهد که اصطکاک لوله و بارهای مهاری در راستای طولی سازهٔ نگهدارنده لوله حاکم بر طراحی است. اما باید در خصوص اعمال بار باد به راستای طولی این سازه‌ها نیز (به ویژه در پیکربندی‌های نامتعارف) قضاوت مهندسی صورت گیرد.

۱۳-۱۳-۴-۲ سطح بادگیر در سازهٔ نگهدارنده لوله

سطح بادگیر باید بر اساس قطر بزرگ‌ترین لوله مستقر بر سازهٔ نگهدارنده، D، به علاوه ٪ ۱۰ عرض سازهٔ نگهدارنده، W، منظور شود. حاصل این مقدار در طول لوله‌ها (فواصل پایه‌ها، L) ضرب می‌شود تا سطح بادگیر محاسبه شود. به این ترتیب، سطح بادگیر از رابطهٔ زیر قابل تعیین است:

$$A=L(D+0.1W) \qquad (۴۴)$$

سطح بادگیر فوق با این فرض محاسبه می‌شود که باد در زاویه‌ای در بازهٔ $\pm ۵/۷^{\circ}$ نسبت به افق (یعنی شیب مثبت و منفی ۱ به ۱۰) به بزرگ‌ترین لولهٔ مستقر بر سازهٔ نگهدارنده اثر می‌کند. در برخی موارد، قید طولی سازهٔ نگهدارنده ممکن است بیفتد و می‌توان از آن در محاسبهٔ بار باد صرف‌نظر کرد.

۱۳-۱۳-۴-۳ سطح بادگیر در سازه سینی کابل

باید سطح بادگیر سینی‌های کابل بر اساس ارتفاع بزرگ‌ترین سینی، h، به علاوه ٪ ۱۰ عرض سازهٔ نگهدارنده، W، منظور شود. حاصل این مقدار در طول لوله‌ها (فواصل پایه‌ها، L) ضرب می‌شود تا سطح بادگیر محاسبه شود. به این ترتیب، سطح بادگیر از رابطهٔ زیر قابل تعیین است:

$$A=L(h+0.1W) \qquad (۴۵)$$

۱۳-۱۳-۴-۴ ضرایب نیرو، C_f، برای اعضای سازه‌ای

در کلیه اعضای سازه‌ای، ضریب نیرو را می‌توان برابر با ۱٫۸ منظور کرد. به عنوان روشی دیگر، می‌توان C_f را برای اعضای پایینی تراز اول برابر با ۲٫۰ و برای اعضای بالای آن تراز، برابر با ۱٫۶ فرض کرد. سپر باد[2] برای محور ستون پشت به باد نباید منظور شود. البته در سازه‌های نگهدارندهٔ لوله با بیش از دو محور ستون، می‌توان سپر باد در نظر گرفت.

1- Piperacks
2- Shielding

۱۳-۱۳-۴-۵ ضرایب نیرو، C_f، برای لوله‌ها

ضریب نیرو برای لوله حداقل باید برابر با ۰٫۷ منظور شود. این ضریب بر اساس جدول ۲۳ و با منظورکردن $h/D=25$، $D\sqrt{q_z} > 2.5$ و یک سطح با زبری متوسط به‌دست آمده است. چنانچه بزرگ‌ترین لوله، عایق شده باشد، می‌توان از C_f برای یک لولهٔ زبر، بسته به ضریب زبری عایق (D'/D) استفاده کرد.

۱۳-۱۳-۴-۶ ضرایب نیرو، C_f، برای سینی‌های کابل

ضریب نیرو برای سینی‌های کابل برابر با ۲٫۰ منظور می‌شود. این ضریب بر اساس جدول ۲۳ برای یک مقطع مربع با وجه عمود باد و با فرض $h/D=25$، $D\sqrt{q_z} > 2.5$ تعیین شده است.

۱۳-۱۳-۵ سازه‌های قابی شکل باز[1]

۱۳-۱۳-۵-۱ ملاحظات کلی

این زیربند به بارهای باد وارد بر سازه‌های قابی شکل باز (نظیر سازهٔ نشان داده شده در شکل ۱۶) یا سازه‌های شبکه‌ای با یا بدون تجهیزات، لوله‌کشی، اجزای برقی، پلکان، نردبان‌ها و نرده‌های بین آن‌ها اختصاص دارد.

۱۳-۱۳-۵-۲ بار باد وارد بر سامانه اصلی مقاوم در برابر باد

نیروی باد وارد بر قاب اصلی سازه و متعلقات (نظیر نردبان‌ها، نرده‌ها و پلکان‌ها) باید مطابق با زیربند ۱۳-۱۳-۵-۴ محاسبه شود. نیروی باد وارد بر تجهیزات، لوله‌ها و سینی‌های کابل واقع بر سازه باید بر اساس ضوابط زیربند ۱۳-۱۳-۴ محاسبه شده، به نیروهای باد وارد بر سازهٔ اصلی اضافه شود.

۱۳-۱۳-۵-۳ ضرایب نیروی باد، C_f برای اجزای منفرد، پوشش نما و متعلقات

بارهای باد وارد بر اجزای منفرد، پوشش نما[2] و متعلقات (به‌جز تجهیزات، لوله‌ها و سینی‌های کابل) باید با ضوابط بند ۱۳ طراحی شوند. ضرایب نیرو، C_f و سطوح برای اجزای متفاوت در جدول ۲۶ آمده است.

جدول ۲۶- ضرایب نیرو برای بارهای باد وارد بر اجزا [17]

جزء مورد بررسی	C_f	سطح تصویرشده m^2/m
نرده همراه با تخته‌پنجه	۲٫۰	۰٫۲۴
نردبان بدون قفس	۲٫۰	۰٫۱۵
نردبان با قفس	۲٫۰	۰٫۲۳
ورق مستطیلی و تخت پوشیده	۲٫۰	-
پلکان با نرده (نمای جانبی)	۲٫۰	سطح نرده به علاوه ارتفاع ناودانی
پلکان با نرده (نمای انتهایی)	۲٫۰	٪ ۵۰ سطح ناخالص

1- Open-frame structures
2- Cladding

۱۳-۱۳-۵-۴ بار باد وارد بر قاب

در سازه‌های قابی شکل باز، نیروهای باد وارد بر سامانه اصلی مقاوم در برابر باد از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$F_s = q_z G C_f A_e \quad (۴۶)$$

که در آن:

q_z فشار سرعتی باد برحسب Pa؛

A_e سطح بادگیر برحسب m^2؛

G ضریب اثر تندباد؛

C_f ضریب نیروی باد؛

F_s نیروی باد وارد بر قاب سازه‌ای و متعلقات برحسب N.

سازه به صورت ایده‌آل به دو مجموعه قاب متعامد تقسیم می‌شود. بیشینه نیروی باد وارد بر هر مجموعهٔ قاب به طور مستقل تعیین می‌شود. در رابطهٔ فوق، ضریب نیروی باد، C_f، برای کل سازه در راستای اعمال بار باد فرض می‌شود (تشریح شده در زیربند ۱۳-۱۳-۵-۵). شایان ذکر است که نیروهای باد طراحی برای کل سازه محاسبه می‌شود. این روش در سازه‌هایی کاربردی است که در پلان و ارتفاع به صورت مستطیلی باشند.

۱۳-۱۳-۵-۵ ضرایب نیروی باد، C_f، برای سازه

ضریب نیروی باد برای مجموعه قاب‌ها باید به این صورت محاسبه شود:

$$C_f = C_{Dg}/\varepsilon \quad (۴۷)$$

که در آن:

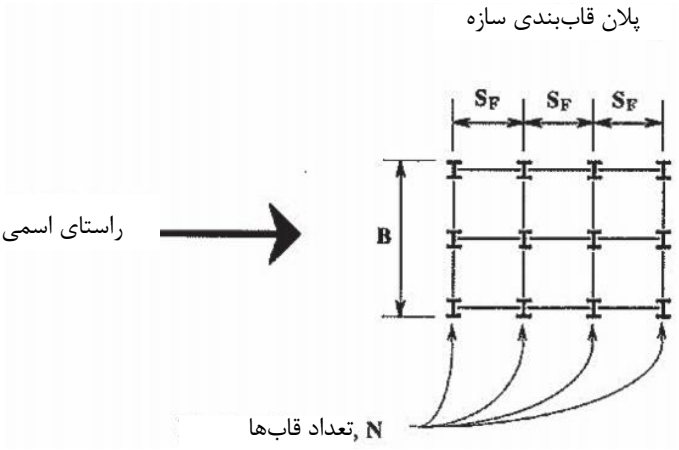
C_{Dg} ضریب نیروی قاب‌ها طبق شکل ۳۱ (این ضرایب برای نیروهای باد عمود بر قاب بدون توجه به راستای واقعی باد تعریف می‌شود)؛

ε نسبت پوشیده بودن[1] طبق زیربند ۱۳-۱۳-۵-۶ است.

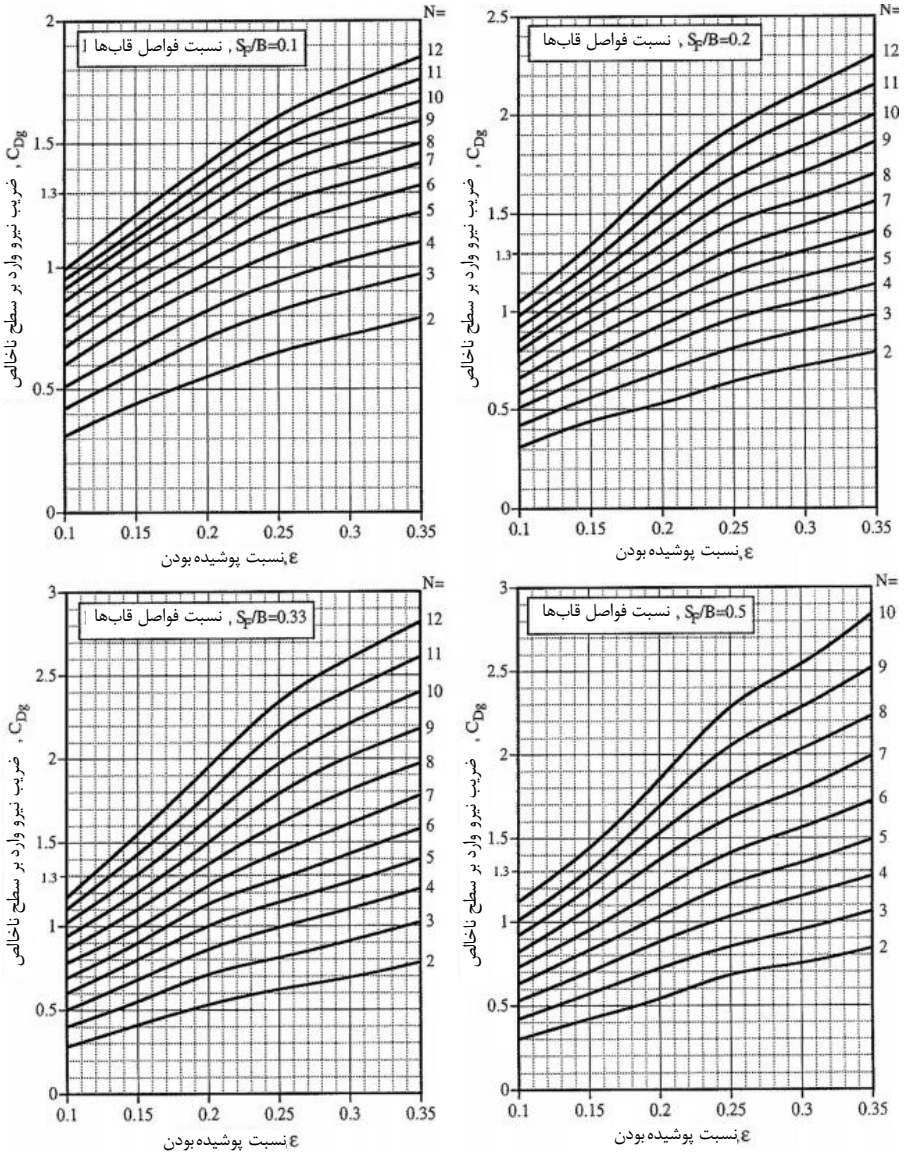
برای نسبت‌های پوشیده بودن بالاتر از ۰٫۳۵، نیاز به برون‌یابی نمودارها وجود دارد.

نسبت فواصل قاب‌ها در نمودارهای شکل ۳۱ با S_F/B نشان داده شده است که در آن، S_F فواصل قاب در راستای موازی باد و B پهنای قاب است (شکل ۳۰). برای نسبت‌های فواصل (S_F/B) بزرگ‌تر از ۰٫۵، نیاز به برون‌یابی وجود دارد.

1- Solidity Ratio



شکل ۳۰- پارامترهای S_F و B در سازهٔ قابی شکل باز [17]



شکل ۳۱- ضرایب نیرو، C_{Dg}، برای سازه‌های قابی شکل باز [17]

۱۳-۱۳-۵-۶ نسبت پوشیده بودن، ε

این نسبت به این صورت قابل محاسبه است:

$$\varepsilon = A_S / A_g \qquad (۴۸)$$

که در آن:

A_g سطح ناخالص قاب رو به باد؛

A_s سطح مؤثر پوشیدهٔ قاب رو به باد.

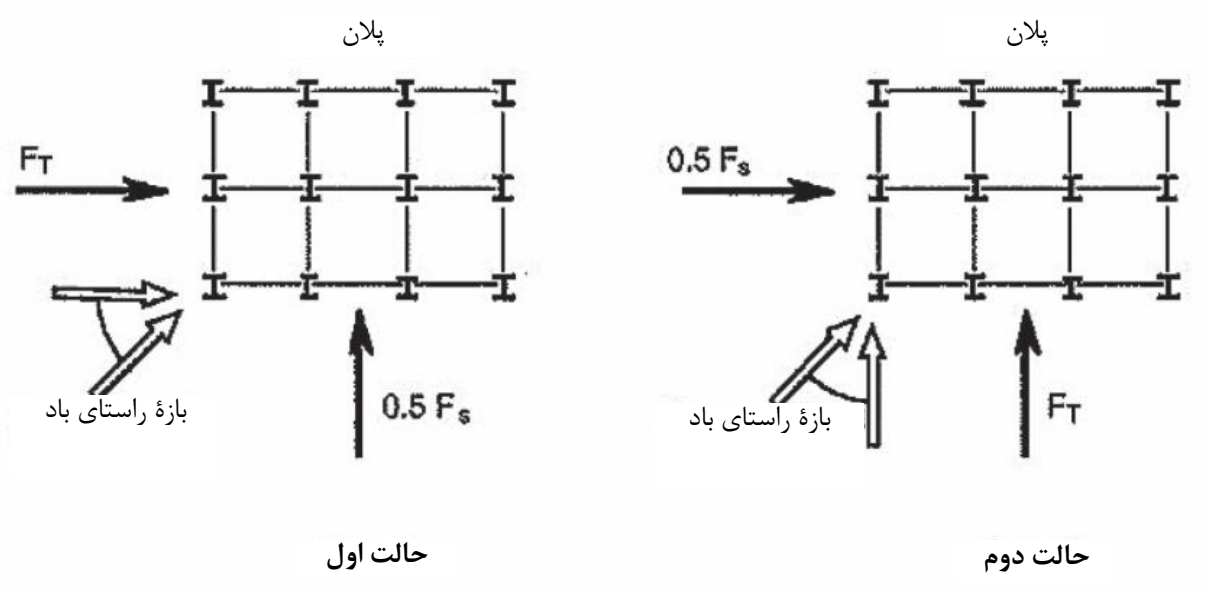
یادآوری- اطلاعات بیشتر برای تعیین پارامتر A_s در منبع [17] در دسترس است.

۱۳-۱۳-۵-۷ حالات بار طراحی

کل نیروی باد وارد بر سازه قابی شکل در یک راستای مشخص، F_T، برابر است با مجموع بارهای باد وارد بر سازه و متعلقات، F_S، به علاوه بار باد وارد بر تجهیزات و ظروف روی سازه و همچنین بار وارد بر لوله‌ها.

F_T و F_S در هر دو حالت بار طراحی برای هر راستای مورد بررسی به این صورت اعمال می‌شود:

بار باد وارد بر قاب به‌علاوه بار باد وارد بر تجهیزات به‌اضافه بار باد وارد بر لوله‌ها، F_T، در یک محور که به‌طور هم‌زمان با ٪ ۵۰ بار وارد بر قاب، F_S، در محور دیگر وارد می‌شود (شکل ۳۲).



شکل ۳۲- دو حالت مختلف برای طراحی سازهٔ قابی‌شکل در برابر باد

۱۳-۱۳-۶ ظروف تحت فشار[1]

۱۳-۱۳-۶-۱ عایق ظروف

در صورتی که ظروف تحت فشار دارای عایق باشند، این موضوع باید در سطح تصویرشدهٔ بادگیر ظروف مدنظر قرار گیرد. البته برای محاسبات سختی در تعیین مشخصات دینامیکی، نباید اثرات عایق مدنظر قرار گیرد.

۱۳-۱۳-۶-۲ ظروف قائم

۱۳-۱۳-۶-۲-۱ ملاحظات کلی

در ظروف قائم، ضریب پاسخ تندباد، G_f، بر اساس بسامد ظرف خالی یا پُر تعیین می‌شود. در صورتی که به هنگام رخداد تندباد، سیال درون ظرف باشد، طراح باید از روش تفصیلی برای تعیین ضریب G_f استفاده نماید و هر دو حالت ظرف خالی و پر را در نظر بگیرد. به جای روش تفصیلی، می‌توان از روش ساده‌شده نیز استفاده کرد. بسامد ظرف را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$f = 1/T \qquad (۴۹)$$

که در آن:

T زمان تناوب ظرف قابل تخمین مطابق با شکل ۳۳، برحسب s.

۱۳-۱۳-۶-۲-۲ روش ساده‌شده[2]

در صورتی که اطلاعات تفصیلی (نظیر تعداد و ابعاد سکوها) در دسترس نباشد، در زمان طراحی شالوده (سطحی یا عمیق)، می‌توان از روش ساده‌شده به این صورت استفاده کرد:

الف- برای پهنای تصویرشده، مقدار ۱٫۵ m به علاوه قطر ظرف یا مقدار ۰٫۹ m به قطر بزرگ‌ترین لوله متصل به ظرف، هر کدام که بزرگ‌تر است، منظور می‌شود. این مقدار اضافه برای منظور کردن آثار سکوها، نردبان‌ها، نازل‌ها و لوله‌های پایین‌تر از خط مماس بالایی است؛

ب- ارتفاع ظرف را باید به میزان قطر ظرف افزایش داد تا اندازه یک لوله با قطر بزرگ و سکوی متصل به ظرف بالای خط مماس منظور شود؛

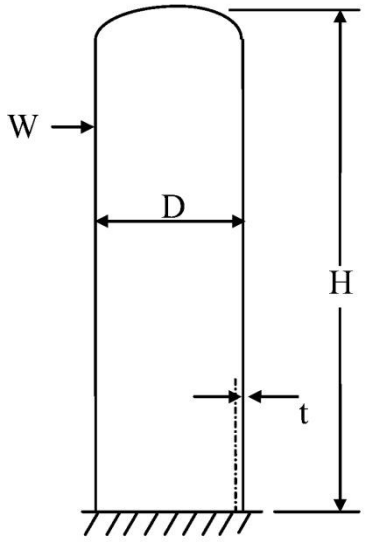
پ- افزایش در ارتفاع یا قطر ظرف برای منظور کردن اثر باد روی متعلقات نباید در محاسبهٔ نسبت H/D برای تعیین ضرایب نیرو، C_f، یا انعطاف‌پذیری به‌کار رود؛

ت- ضریب نیرو، C_f، باید با فرض یک سطح زبر بر اساس جدول ۲۳ محاسبه شود؛

ث- از یک ضریب جهت‌دهی، K_d، برابر با ۰٫۹۵ استفاده می‌شود.

1- Pressure vessels
2- Simplified method

زمان تناوب نوسان یک ظرف استوانه‌ای فولادی با قطر یکنواخت برحسب s برابر است با:



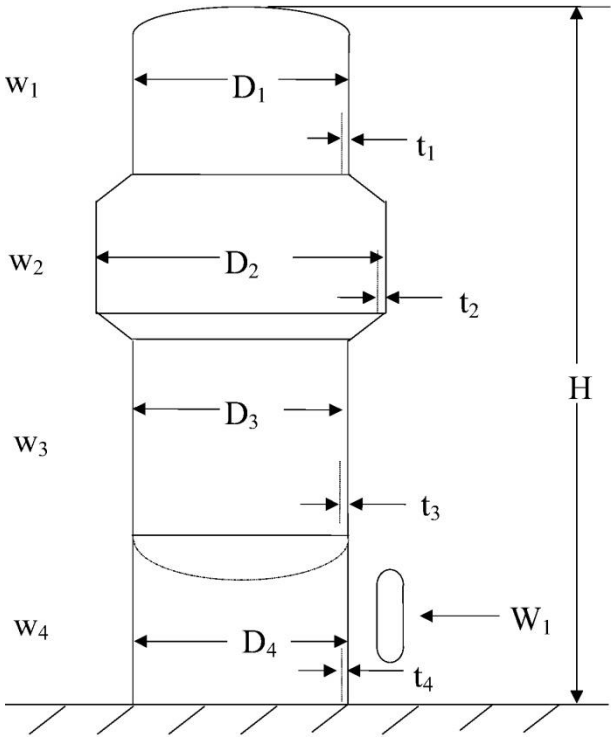
$$T=0.0091\left(\frac{H}{D}\right)^2\sqrt{\frac{WD}{tE}}$$

که در آن:

W وزن واحد طول برحسب N/m؛

H ارتفاع برحسب m.

زمان تناوب طبیعی ظرف فولادی استوانه‌ای غیر یکنواخت بر حسب s برابر است با:



$$T=\left(\frac{H}{100}\right)^2\sqrt{0.4\frac{\sum w.\alpha\Delta+\frac{1}{H}\sum W.\beta}{\sum E.D^3\,t\gamma\Delta}}$$

که در آن:

H ارتفاع برحسب m؛

W وزن واحد طول برحسب N/m؛

W وزن هر یک از جرم‌های متمرکز برحسب N؛

D قطر هر بخش برحسب m؛

t ضخامت پوسته هر بخش برحسب cm؛

E ضریب ارتجاعی برحسب MN/cm^2.

α، β و γ ضرایبی که وابسته به نسبت ارتفاع به ارتفاع کل، h_x/H، هستند. $\alpha\Delta$ و $\gamma\Delta$ تفاوت مقادیر مذکور از بالا تا پایین هر بخش با وزن یکنواخت و قطر و ضخامت ثابت هستند. β برای هر جرم متمرکز جداگانه حساب می‌شود. این مقادیر در جدول ۲۷ ارائه شده است.

شکل ۳۳- روابط تخمین زمان تناوب نوسان برای ظروف با قطر یکنواخت و قطر متغیر

جدول ۲۷- ضرایب تعیین زمان تناوب نوسان پوسته‌های استوانه‌ای با مقطع عرضی و توزیع جرم متغیر

h_x/H	α	β	γ	h_x/H	α	β	γ
1.00	2.103	8.347	1.000000	0.50	0.1094	0.9863	0.95573
0.99	2.021	8.121	1.000000	0.49	0.0998	0.9210	0.95143
0.98	1.941	7.898	1.000000	0.48	0.0909	0.8584	0.94683
0.97	1.863	7.678	1.000000	0.47	0.0826	0.7987	0.94189
0.96	1.787	7.461	1.000000	0.46	0.0749	0.7418	0.93661
0.95	1.714	7.248	0.999999	0.45	0.0578	0.6876	0.93097
0.94	1.642	7.037	0.999998	0.44	0.0612	0.6361	0.92495
0.93	1.573	6.830	0.999997	0.43	0.0551	0.5372	0.91854
0.92	1.506	6.626	0.999994	0.42	0.0494	0.5409	0.91173
0.91	1.440	6.425	0.999989	0.41	0.0442	0.4971	0.90443
0.90	1.377	6.227	0.999982	0.40	0.0395	0.4557	0.89679
0.89	1.316	6.032	0.999971	0.39	0.0351	0.4167	0.88864
0.88	1.256	5.840	0.999956	0.38	0.0311	0.3801	0.88001
0.87	1.199	5.652	0.999934	0.37	0.0275	0.3456	0.87033
0.86	1.143	5.467	0.999905	0.36	0.0242	0.3134	0.86123
0.85	1.090	5.285	0.999867	0.35	0.0212	0.2833	0.85105
0.84	1.038	5.106	0.999317	0.34	0.0185	0.2552	0.84032
0.83	0.938	4.930	0.999754	0.33	0.0161	0.2291	0.82901
0.82	0.939	4.758	0.999674	0.32	0.0140	0.2050	0.81710
0.81	0.892	4.589	0.999576	0.31	0.0120	0.1826	0.80459
0.80	0.847	4.424	0.999455	0.30	0.010293	0.16200	0.7914
0.79	0.804	4.261	0.999309	0.29	0.008769	0.14308	0.7776
0.78	0.762	4.102	0.999133	0.28	0.007426	0.12576	0.7632
0.77	0.722	3.946	0.998923	0.27	0.006249	0.10997	0.7480
0.76	0.683	3.794	0.998676	0.26	0.005222	0.09564	0.7321
0.75	0.646	3.645	0.998385	0.25	0.004332	0.08267	0.7155
0.74	0.610	3.499	0.998047	0.24	0.003564	0.07101	0.6981
0.73	0.576	3.356	0.997656	0.23	0.002907	0.06056	0.6800
0.72	0.543	3.217	0.997205	0.22	0.002349	0.05126	0.6610
0.71	0.512	3.081	0.996689	0.21	0.001878	0.04303	0.6413
0.70	0.481	2.949	0.996101	0.20	0.001485	0.03579	0.6207
0.69	0.453	2.820	0.995434	0.19	0.001159	0.02948	0.5602
0.68	0.425	2.694	0.904681	0.18	0.000893	0.02400	0.5769
0.67	0.399	2.571	0.993834	0.17	0.000677	0.01931	0.5536
0.66	0.374	2.452	0.992885	0.16	0.000504	0.01531	0.5295
0.65	0.3497	2.3365	0.99183	0.15	0.000368	0.01196	0.5044
0.64	0.3269	2.2240	0.99065	0.14	0.000263	0.00917	0.4783
0.63	0.3052	2.1148	0.98934	0.13	0.000183	0.00689	0.4512
0.62	0.2846	2.0089	0.98739	0.12	0.000124	0.00506	0.4231
0.61	0.2650	1.9062	0.98630	0.11	0.000081	0.00361	0.3940
0.60	0.2464	1.8068	0.98455	0.10	0.000051	0.00249	0.3639
0.59	0.2288	1.7107	0.98262	0.09	0.000030	0.00165	0.3327
0.58	0.2122	1.6177	0.98052	0.08	0.000017	0.00104	0.3003
0.57	0.1965	1.5279	0.97823	0.07	0.000009	0.00062	0.2669
0.56	0.1816	1.4413	0.97573	0.06	0.000004	0.00034	0.2323
0.55	0.1676	1.3579	0.97301	0.05	0.000002	0.00016	0.1965
0.54	0.1545	1.2775	0.97007	0.04	0.000001	0.00007	0.1597
0.53	0.1421	1.2002	0.96683	0.03	0.000000	0.00002	0.1216
0.52	0.1305	1.1259	0.96344	0.02	0.000000	0.00000	0.0823
0.51	0.1196	1.0547	0.95973	0.01	0.000000	0.00000	0.0418

۱۳-۱۳-۶-۲-۳ روش تفصیلی

چنـانچه اغلب آیتم‌های طـراحی (نظیر سکوها، لـوله‌ها و نردبان‌ها) در ظروف مشـخص باشند، باید روش زیر مورد استفاده قرار گیرد:

الف- برای پهنای تصویرشـده، مقدار m ۱٫۵ به قـطر ظرف اضـافه می‌شـود تا اثـر وجـود نردبان‌ها، نازل‌ها و لوله‌های به قطر m ۰٫۲ یا کوچک‌تر منظـور شود و به قطـر بزرگ‌ترین خـطی که از بخش بالایی ظرف می‌آید اضافه می‌شود؛

ب- ضریب نیرو، C_f، باید بر اساس جدول ۲۳ و با زبری مناسب در سطح ظرف تعیین شود؛

پ- برای لوله‌های بیرون از پهنای تصویرشـدهٔ ظرف (تعریف‌شده در گام ۱)، با قـطر بزرگ‌تر از m ۰٫۲ شامل عایق، از مساحت تصویرشدهٔ لوله و یک ضریب نیرو، C_f، برابر با ۰٫۷ استفاده شود؛

ت- برای سکوها، سـطح تصویرشدهٔ فولاد تکیـــه‌گاه و یک ضریب نیـرو، C_f، باید برابر با ۲٫۰ به‌کار رود. برای نرده‌ها، از مقادیر سطح و ضریب نیروی ذکرشـده در جدول ۲۶ استفاده شود. در صورتی که نرده فراتر از ظرف گسترش پیدا کرده باشـد، مساحت تصویرشدهٔ دو سـری سـامانهٔ نرده برای سطح تصویرشدهٔ فراتر از ظرف باید به‌کار رود؛

ث- ضریب جهت‌دهی باد، K_d، برای لوله‌ها، سکوها، نردبان‌ها و سایر متعلقات متصل به ظـرف و تکیه‌گاه‌های سازه‌ای آن باید طبق جدول ۱۸ منظور شود.

۱۳-۱۳-۶-۲-۴ ظروف قائم با فواصل کم

در صورتی که یک ظرف قائم در فاصلهٔ مرکزبه‌مرکز کوچک‌تر یا مساوی سه برابر قطر ظرف مجاور خود قرار گیرد (بر اســاس قطر کوچک‌تر بین دو ظرف)، یک افزایـش ٪ ۲۰ در ضـریب نیرو، C_f، باید در نبود آزمایش تونل باد مبتنی بر مـدل آزمایشـگاهی یا واقعی اعمـال شود. این افـزایش برای راسـتاهای باد تقریباً عمود بر محور متصل‌کننده خطوط مرکزی ظروف انجام می‌شـود. این افزایش به علت آثار تداخـل آئرودینامیکی است که در خصوص دودکش‌های مجاور یکدیگر نیـز در استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۸۷ با عنوان دودکش‌های صنعتی فولادی و بتنی- طراحی، ساخت و ویژگی‌های مصالح مورد اشاره قرار گرفته است.

۱۳-۱۳-۶-۲-۵ ظرف قائم و یک لوله با قطر زیاد

در صورتی که یک لوله با قطر زیاد (بزرگ‌تر از m ۰٫۲) در فاصلهٔ مرکزبه‌مرکز معادل سه برابر قطر لوله از روی یک ظرف قائم عبور کند، ضـریب نیرو، C_f، اعمال‌شده به لوله را باید در نبود آزمایش تونل باد مبتنی بر مدل آزمایشـگاهی یا واقـعی به میـزان ٪ ۲۰ افزایش داد. این افزایش برای راسـتاهای بـــاد تقریباً عمـــود بر محور متصل‌کنندهٔ خطوط مرکزی لوله و ظرف انجام می‌شود.

۱۳-۱۳-۶-۳ ظروف افقی

۱۳-۱۳-۶-۳-۱ تعیین مشخصات دینامیکی

در ظروف افقی، نیازی به تعیین مشخصات دینامیکی نیست.

۱۳-۱۳-۶-۳-۲ قطر تصویر شده برای لوله به قطر کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۲ m

در این ظروف، برای قطر تصویرشده، مقدار ۰٫۴۵ m به قطر ظرف عایق‌شده برای منظور کردن نردبان‌ها، نازل‌ها و لوله‌های به قطر کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۲ m (شامل عایق) اضافه می‌شود.

۱۳-۱۳-۶-۳-۳ مؤلفهٔ عرضی باد

برای مؤلفهٔ باد عمود بر محور طولی ظرف (مؤلفهٔ عرضی باد)، ضریب نیرو، C_f از جدول ۲۳ به‌دست می‌آید و تابعی از نسبت طول به قطر ظرف (B/D) خواهد بود.

۱۳-۱۳-۶-۳-۴ مؤلفهٔ طولی باد

برای مؤلفهٔ باد در راستای طولی ظرف، از مقدار C_f برابر با ۰٫۵ برای ظرف با سر گِرد[1] و ۱٫۲ برای ظرف با سر تخت[2] استفاده می‌شود. مؤلفهٔ طولی، به ندرت برای طراحی شالوده، حاکم بر طرح خواهد بود.

۱۳-۱۳-۶-۳-۵ قطر تصویرشده و ضریب نیرو برای لوله به قطر بزرگ‌تر یا مساوی ۰٫۲ m

برای لوله با قطر بزرگ‌تر از ۰٫۲ m (شامل عایق)، از سطح تصویرشدهٔ لوله و یک ضریب نیرو، C، برابر با ۰٫۷ استفاده می‌شود.

۱۳-۱۳-۶-۳-۶ سطح تصویر شده سکوها و نرده‌ها و ضریب نیرو

برای سکوها، از سطح تصویرشدهٔ فولاد تکیه‌گاهی و یک ضریب نیرو، C_f، برابر با ۲٫۰ استفاده می‌شود. برای نرده‌ها، مقادیر سطوح و ضریب نیرو، C_f، ارائه‌شده در جدول ۲۶ به کار می‌رود. سطح تصویرشدهٔ هر سامانهٔ نرده باید مورد استفاده قرار گیرد.

۱۳-۱۳-۶-۳-۷ سطح تصویرشدهٔ تکیه‌گاه‌ها و ضریب نیرو

در خصوص تکیه‌گاه[3] ظروف افقی، سطح تصویرشدهٔ واقعی باید به‌کار رود. ضریب نیرو، C_f، باید برابر با ۱٫۳ برای این عناصر مورد استفاده قرار گیرد. در تکیه‌گاه‌های فولادی، از همان روش ذکرشده برای سکوها استفاده می‌شود.

1- Rounded head
2- Flat head
3- Supports

۱۳-۱۳-۶-۳-۸ ضریب جهت‌دهی باد

در ظروف افقی، ضریب جهت‌دهی باد، K_d، برابر با ۰٫۸۵ به‌کار می‌رود، زیرا بر خلاف ظروف قائم و کروی، ظروف افقی در پلان، تقارن شعاعی ندارند.

۱۳-۱۳-۶-۴ مخازن کروی

۱۳-۱۳-۶-۴-۱ تعیین مشخصات دینامیکی

در مخازن کروی، نیازی به تعیین مشخصات دینامیکی نیست.

۱۳-۱۳-۶-۴-۲ قطر تصویرشده برای لوله به قطر کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۲ m

در این مخازن، برای قطر تصویرشده، مقدار ۰٫۴۵ m به قطر مخزن عایق‌شده برای منظورکردن نردبان‌ها، نازل‌ها و لوله‌های به قطر کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۲ m (شامل عایق) اضافه می‌شود.

۱۳-۱۳-۶-۴-۳ ضریب نیرو

ضریب نیرو، C_f، برای مخزن برابر با ۰٫۵ منظور می‌شود. تکیه‌گاه‌ها باید به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرند.

یادآوری- در استاندارد ASCE7، مقادیر C_f، به‌صورت مشخص برای مخازن کروی بیان نشده است، اما در برخی مراجع فنی، ضرایب پسا برای مخازن کروی تابعی از عدد رینولدز منظور شده که برای عدد رینولدز در حدود 10^5، مقدار C_f تقریباً برابر با ۰٫۵ به‌دست می‌آید.

۱۳-۱۳-۶-۴-۴ قطر تصویرشده برای لوله به قطر بزرگ‌تر یا مساوی ۰٫۲ m

برای لوله با قطر بزرگ‌تر از ۰٫۲ m (شامل عایق)، از سطح تصویرشدهٔ لوله و یک ضریب نیرو، C_f برابر با ۰٫۷ استفاده می‌شود.

۱۳-۱۳-۶-۴-۵ سطح تصویرشدهٔ سکوها و نرده‌ها و ضریب نیرو

برای سکوها، از سطح تصویرشدهٔ فولاد تکیه‌گاهی و یک ضریب نیرو، C_f، برابر با ۲٫۰ استفاده می‌شود. برای نرده‌ها، مقادیر سطوح و ضریب نیرو، C_f، ارائه‌شده در جدول ۲۶ به‌کار می‌رود. سطح تصویرشدهٔ هر سامانهٔ نرده باید مورد استفاده قرار گیرد.

۱۳-۱۳-۶-۴-۶ سطح تصویرشدهٔ تکیه‌گاه‌ها و ضریب نیرو

در مورد تکیه‌گاه ظروف افقی[1]، سطح تصویرشدهٔ واقعی باید به‌کار رود. ضریب نیرو، C_f، باید برابر با ۱٫۳ برای ستون‌های بتنی مستطیلی و برابر با ۰٫۷ برای ستون‌های دایره‌ای مورد استفاده قرار گیرد. در تکیه‌گاه‌های

1- Support

فولادی، از همان روش ذکرشده برای سکوها استفاده می‌شود.

۱۳-۱۳-۶-۴-۷ ضریب جهت‌دهی باد

در ظروف افقی، ضریب جهت‌دهی باد، K_d، برابر با ۱٫۰۰ به‌کار می‌رود زیرا مخازن کروی در پلان، تقارن شعاعی دارند.

۱۳-۱۳-۷ برج‌های خنک‌کن[1]

۱۳-۱۳-۷-۱ ملاحظات کلی

برای تعیین نیروی باد در برج‌های خنک‌کن قابل کاربرد در صنعت نفت، از Chapter 28 استاندارد ASCE7 این زیر بند (روش پوش) برای تعیین فشارهای باد وارد بر سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد و همچنین روش ذکرشده در Chapter 30 استاندارد ASCE7 برای تعیین فشار باد وارد بر اجزا و پوشش‌های نما استفاده می‌شود. در صورتی که برج خنک‌کن روی یک ساختمان یا یک سازهٔ نگهدارنده با ارتفاع بزرگ‌تر از ۱۸ m قرار داشته باشد، از روش مستقیم استاندارد ASCE7 استفاده می‌شود. در استوانهٔ فن[2]، فشارهای باد در سطح با استفاده از رابطهٔ زیر قابل تعیین است:

$$p_z = 0.306K_zK_{zt}V^2I_w \qquad (۵۰)$$

که در آن:

p_z فشار باد برحسب kPa؛

V سرعت مبنای باد برحسب m/s.

همچنین نیروی باد وارد بر استوانهٔ فن برابر است با:

$$F_z = p_zHD \qquad (۵۱)$$

که در آن:

F_z نیروی باد برحسب kN؛

H ارتفاع استوانهٔ فن برحسب m؛

D قطر استوانهٔ فن برحسب m.

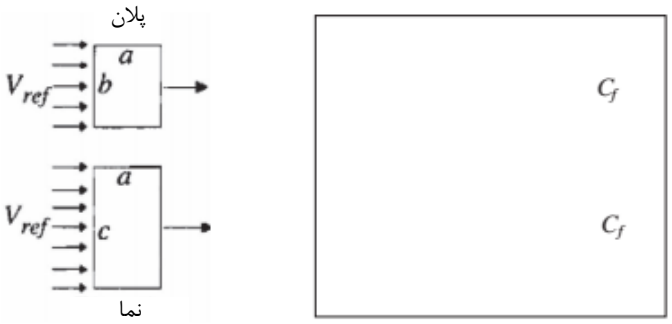
یادآوری- برای بارهای طراحی وارد بر برج‌های خنک‌کن نیروگاهی، می‌توان به راهنمای VGB [18] مراجعه کرد.

1- Cooling towers
2- Fan

۱۳-۱۳-۷-۲ مبدل‌های حرارتی خنک شده با هوا (خنک‌کننده‌های هوا)[1]

خنک‌کننده‌های هوا در صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی به عنوان تأسیسات کاهش دما به‌کار می‌روند. به‌منظور سادگی دسترسی لوله‌ها، متداول‌ترین محل نصب خنک‌کننده‌های هوا بالای سازه‌های نگهدارنده لوله است. اکثر خنک‌کننده‌های هوا دارای سکوهای دسترسی به‌منظور انجام عملیات تعمیر و نگهداری هستند. مقادیر ضریب نیرو، C_f، برای بلوک‌های توپر به منظور محاسبهٔ بارهای باد وارد بر خنک‌کننده‌های هوا در جدول ۲۸ ارائه شده است. سطح مؤثر، A_e، برابر است با b در c. لازم به ذکر است به‌منظور تخمین بارهای باد وارد بر خنک‌کننده‌های هوا، مشابه ساختمان‌ها عمل می‌شود اما از آنجا که خنک‌کننده‌های هوا در ارتفاع نصب می‌شوند می‌توان آن‌ها را مثل بلوک‌های منفرد در نظر گرفت که جریان هوا از زیر، کنار و بالای آن‌ها عبور می‌کند.

جدول ۲۸- ضریب C_f در بلوک‌های منفرد برای محاسبهٔ بار باد در خنک‌کننده‌های هوا



		a/b								C_f بیشینه	
		0.00	0.25	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	C_f	a/b
c/b	0.25	1.20	1.20	1.00	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90	1.23	0.20
	0.50	1.16	1.21	1.16	0.97	0.92	0.91	0.91	0.90	1.21	0.34
	1.00	1.14	1.15	1.18	1.16	1.02	0.95	0.92	0.90	1.20	0.70
	2.00	1.16	1.17	1.19	1.17	1.04	0.97	0.93	0.92	1.21	0.70
	5.00	1.21	1.22	1.24	1.22	1.11	1.03	0.99	0.97	1.27	0.70
	8.00	1.28	1.29	1.35	1.30	1.17	1.09	1.04	1.01	1.36	0.70
	10.00	1.31	1.34	1.41	1.36	1.24	1.14	1.08	1.04	1.46	0.70

۱۳-۱۳-۸ سایبان فشرده‌سازها[2]

سایبان ماشین‌های دوار نظیر فشرده‌سازها معمولاً شامل یک سقف و چهار دیوار خارجی است و سطح بازشو در هر دیوار کوچک‌تر از ٪ ۸۰ است ولی عموماً بزرگ‌تر از ٪ ۲۰ مساحت ناخالص دیوار را شامل می‌شود.

1- Air cooled heat exchangers (Air coolers or fin fans)
2- Compressor shelters

برای طراحی این سازه‌ها در برابر بار باد، معمولاً مشابه ساختمان‌ها عمل می‌شود. طبق تعاریف مطرح‌شده در زیربند ۱۳-۱۱ و جدول ۲۲، سایبان فشرده‌سازها را نمی‌توان به‌صورت سازه‌های محصورشدهٔ کامل یا محصورشدهٔ باز در نظر گرفت. این نوع سازه معمولاً به‌صورت نیمه‌باز در نظر گرفته می‌شوند. به همین دلیل، ضرایب فشار داخلی برای یک سازهٔ نیمه‌باز (یعنی مقدار $\pm 0/18$ برای GC_{pi}) در این نوع سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۳-۱۴ کمینه بار باد طراحی

حداقل نیروی باد طراحی برای سازه‌ها نباید کوچک‌تر از $0/77$ kPa ضرب در مساحت A_f منظور شود.

۱۳-۱۵ روش تونل باد

۱۳-۱۵-۱ ملاحظات کلی

یکی از روش‌های قابل استفاده برای تعیین آثار بارهای باد وارد بر سازه‌های غیرساختمانی، روش تونل باد است. از این روش می‌توان در کنار روش‌های ساده شده و تحلیلی استفاده نمود. در موارد زیر توصیه می‌شود، روش تونل باد مورد استفاده قرار گیرد:

- سازه دارای بارگذاری باد عرضی[1] باشد (جابه‌جایی سازه عمود بر راستای وزش باد)؛
- امکان رخداد پدیده جداشدن گردباده[2] وجود داشته باشد؛
- ناپایداری‌های رقصانی[3] یا بال‌بال زدن[4] محتمل باشد؛
- موقعیت ساختگاه طوری باشد که آثار تونلی یا وزش شدید در پس سازه‌های رو به باد نیازمند توجهات ویژه باشد؛
- سازه دارای یک شکل نامعمول باشد؛
- سازه دارای مشخصات پاسخ نامعمول باشد.

علاوه بر عوامل فوق، برخی ملاحظات ویژه در خصوص سازه‌ها و تأسیسات صنعت نفت ممکن است موجب نیاز به انجام آزمایش تونل باد باشد، که این ملاحظات نیز شامل موارد زیر است:

- شکل سازه به‌گونه‌ای باشد که ضوابط تعیین آثار باد بر آن در این استاندارد یا سایر ضوابط (نظیر منبع [17]) وجود نداشته باشد؛
- روش‌های تحلیل بار باد به میزان قابل توجهی محافظه‌کارانه باشد و درک بهتر بارهای باد بتواند از طریق آزمایش تونل باد فراهم شود. به عنوان نمونه، استفاده از روش‌های تحلیلی تعیین بار باد، اجازهٔ کاهش در فشار سرعتی باد ناشی از سپرشدن سازه‌های مجاور را نمی‌دهد؛

1- Across-wind loading
2- Vortex shedding
3- Galloping instability
4- Fluttering instability

- کفایت یک سازهٔ موجود برای تحمل تجهیزات یا متعلقات جدید در دست بررسی باشد؛
- تصدیق یک تحلیل بار باد مورد نظر قرار گرفته باشد.

در صورتی که آزمایش تونل باد برای تخمین بارها باد یا پاسخ یک سازه در برابر باد به‌کار گرفته شود، موارد زیر از اهمیت زیادی برخوردار است:

- شبیه‌سازی صحیح نیمرخ سرعت و مشخصات تلاطم لایه مرزی جوی؛
- شبیه بودن هندسه سازه‌های مجاور و عارضه‌نگاری بین مدل آزمایشگاهی[1] و شرایط واقعی؛
- جلوگیری از مسدود شدن تونل باد[2]؛
- منظور کردن تغییرات فشار تونل باد[3]؛
- آثار عدد رینولدز به حداقل برسد؛
- مشخصات پاسخ ابزار دقیق با سنجش‌های برنامه‌ریزی شده سازگار باشد.

۱۳-۱۵-۲ شرایط آزمایش

برای انجام آزمایش تونل باد با هدف تعیین بارهای باد طراحی سازه، شرایط آزمایش باید با استفاده از منبع ASCE49 [19] مدنظر قرار گیرد.

۱۳-۱۵-۳ پاسخ دینامیکی

آزمایش به‌منظور تعیین پاسخ دینامیکی سازه را می‌توان بر اساس منبع ASCE49 [19] انجام داد. مدل سازه‌ای و تحلیل مربوطه باید توزیع جرم، سختی و میرایی را به نحو مناسبی منظور نماید.

۱۳-۱۵-۴ آثار بار

۱۳-۱۵-۴-۱ میانگین دوره‌های بازگشت آثار بار

اثر بار لازم برای طراحی به روش مقاومت باید برای همان میانگین دورهٔ بازگشت منظورشده در روش تحلیلی و بر مبنای یک روش تحلیل منطقی باشد. اثر بار مورد نیاز برای طراحی به روش تنش مجاز یا مقاومت مجاز برابر با اثر بار لازم به روش مقاومت تقسیم بر ضریب ۱٫۶ است. در خصوص سازه‌های حساس به پارامترهای دینامیکی، تحلیل حساسیت باید برای طراحی در برابر باد صورت پذیرد.

۱۳-۱۵-۴-۲ محدودیت‌های در خصوص سرعت باد

سرعت‌های باد و تخمین‌های احتمالاتی مربوط به آن باید بر اساس زیربند ۱۳-۴ باشد.

1- Prototype
2- Wind Tunnel Blockage
3- Wind Tunnel Pressure Gradients

۱۳-۱۵-۴-۳ جهت‌داری باد

قابلیت جهت‌داری باد بر اساس داده‌های ثبت‌شده یا شبیه‌سازی شده باید در تعیین بارهای باد لحاظ شود و این داده‌ها باید به عنوان بخشی از گزارش آزمایش تونل باد در اختیار مرجع صلاحیت‌دار قرار داده شود. روش ترکیب داده‌های مدل تونل باد با اطلاعات مربوط به سرعت و راستای باد در ساختگاه نیز باید در این گزارش قید شود. تغییر در راستای باد بر اساس عدم قطعیت‌های داده‌های هواشناسی را باید در بارگذاری باد منظور نمود و بارهای باد باید مبتنی بر بزرگ‌ترین مقادیری که از این عدم قطعیت ناشی می‌شود مدنظر قرار گیرد. نیازی به منظور کردن عدم قطعیت در راستای باد برای تعیین آثار باد مربوط به شرایط بهره‌برداری نیست.

۱۳-۱۵-۴-۴ محدودیت‌های بارهای به‌دست آمده از آزمایش تونل باد

بارهای باد وارد بر سامانه اصلی مقاوم در برابر باد تعیین شده (MWFRS) توسط آزمایش تونل باد به‌گونه‌ای محدود می‌شود که از ٪ ۸۰ بارهای باد اصلی در دو راستای متعامد وارد بر سازه به‌دست آمده از روش‌های تحلیلی کوچک‌تر اختیار نشود. بار اصلی کل برای سازه‌های غیرساختمانی باید مبتنی بر لنگر واژگونی در سازه‌های انعطاف‌پذیر و مبتنی بر برش پایه در سازه‌های صلب باشد. فشارهای وارد بر اجزای پوششی نما (C&C) نیز نباید کوچک‌تر از ٪ ۸۰ مقدار فشار باد به‌دست‌آمده برای این اجزا به کمک روش‌های تحلیلی منظور شود. در صورتی که دو شرط زیر برقرار باشد، محدودیت ٪ ۸۰ ذکر شده را می‌توان برای سامانهٔ اصلی مقاوم در برابر باد (MWFRS) به ٪ ۵۰ و برای اجزای پوششی نما (C&C) به ٪ ۶۵ کاهش داد به شرطی که یکی از دو وضعیت زیر برقرار باشد:

الف- هیچ سازه یا مانع مشخصی در مدل تفصیلی مجاورت سازه[1] وجود نداشته باشد؛

ب- بارها و فشارهای به‌دست آمده از آزمایش‌های تکمیلی برای کلیه راستاهای مهم باد که در آن‌ها سازه‌ها یا موانع تأثیرگذار با پوشش سطحی معادل وضعیت زبری مجاور جایگزین می‌شوند (که زبری آن از حد ردهٔ مواجههٔ B بالاتر نیست) در نتایج آزمایش منظور شده باشد.

یادآوری- استفاده از روش دینامیک سیال محاسباتی (CFD)[2] به جای آزمون تونل باد به شرط تصدیق و تایید[3] مجاز است. این روش، یک روش عددی برای مدل سازی و تحلیل جریان سیالات است. در این روش، معادلات جریان سیالات به صورت عددی حل می‌شود تا بتوان به تحلیل و بررسی جریان سیالات در سامانه‌های مختلف، نظیر سازه‌ها پرداخت. روش تحلیل و نتایج آن به یک داور مستقل مورد تایید کارفرما ارجاع می‌شود و گزارش تهیه‌شده توسط داور مستقل مورد تایید مراجع قانونی ذیصلاح قرار می‌گیرد.

1- Detailed proximity model
2- Verification & validation
3- Computational Fluid Dynamics (CFD)

۱۴ بار انفجار

۱۴-۱ ملاحظات کلی

در این بند، الزامات مربوط به بارگذاری سازه‌های غیرساختمانی و همچنین سازه‌های ساختمانی مستقر در مجتمع‌های صنعتی (مانند نفت و نیرو) در برابر انفجار ارائه گردیده است. به‌طور عمومی برای تعیین الگوهای بار انفجار در طراحی سازه‌های ساختمانی می‌توان به مراجع ASCE59 [20]، AISC Design Guide 26 [21] و ACI370R [22] مراجعه کرد.

در تدوین این استاندارد برای بارگذاری انفجاری سازه‌های واقع در مجتمع‌های صنعتی (به ویژه تأسیسات صنعت نفت) از مراجعی نظیر راهنمای ASCE برای طراحی تأسیسات صنعت نفت در برابر انفجار [23]، UFC 3-340-02 [24]، TNO [25] و ASCE Manual 42 [26] استفاده شده است.

در یک مجتمع صنعتی، به‌منظور تصمیم‌گیری برای اینکه کدامیک از سازه‌ها و تأسیسات باید در برابر انفجار، تاب‌آوری خود را حفظ نمایند، می‌توان از روش‌های ارائه‌شده در مراجع CCPS [27] و API RP752 [28] استفاده کرد. سطوح حفاظتی در برابر انفجار در این استاندارد برای یک نمونه مجتمع صنعتی در زیربند ۱۴-۴ بیان شده است.

الزامات طراحی سازه‌های واقع در یک مجتمع صنعتی به عواملی مانند فاصله از منبع انفجار، میزان اهمیت عملکرد تأسیسات و کاربری آن وابسته است. در صورتی که سازه در فاصله کمی از منبع انفجار قرار داشته باشد، باید برای اضافه‌فشارهای مخرب ناشی از بار انفجار طراحی شود. این فاصله بر اساس مطالعات ایمنی و پدافند غیرعامل تعیین می‌شود.

یادآوری ۱- لازم است در مطالعات ایمنی فرآیندی (یا پدافند غیرعامل) در یک مجتمع صنعتی، ارزیابی خطرپذیری (ریسک) آتش‌سوزی و انفجار برای ساختمان‌ها و تأسیسات صورت پذیرد و برحسب نتایج کمی ارزیابی خطرپذیری و محاسبات پیامد، با روش‌های علمی و تخصصی و همچنین به موازات توصیه‌های این استاندارد، اضافه‌فشارهای ناشی از انفجار تعیین شود.

یادآوری ۲- این استاندارد شامل ضوابط تعیین اضافه‌فشارهای انفجار برای سکوهای دریایی نفت و گاز و تأسیسات فراساحلی نیست و صرفاً حوزه خشکی را شامل نمی‌شود. در حوزهٔ دریا، بار انفجار می‌تواند منجر به فروریزش بخشی یا کامل سکوهای فراساحلی و ایجاد تلفات انسانی و زیست‌محیطی شود که برای اطلاعات بیشتر در این مورد، می‌توان به منبع API RP 2FB [29] مراجعه نمود.

یادآوری ۳- در این استاندارد، ضوابط مربوط به وقوع رخداد انفجارهای تصادفی (غیر نظامی) ارائه شده است. برای تعیین آثار انفجار ناشی از تهدیدات انسان‌ساخت (عمدی)، باید از مطالعات پدافند غیرعامل استفاده شود. همچنین در این استاندارد، اضافه‌فشارهای مربوط به انفجارهای اتمی غیرنظامی مدنظر نیست. برای انجام مطالعات پدافند غیرعامل در صنعت نفت، استفاده از منبع [30] توصیه می‌شود.

۱۴-۲ آثار رخداد انفجارهای اتفاقی در مجتمع‌های صنعتی و روش‌های اعمال بار انفجار

در خصوص سازه‌های محصور (مشابه ساختمان)، معمولاً اضافه‌فشارهای[1] ناشی از موج انفجار، مخرب‌ترین اثر یک رخداد انفجار اتفاقی در یک مجتمع فرایندی به شمار می‌آید. علاوه بر آثار انفجار در هوا، چنین رویدادهایی ممکن است موجب آتش‌سوزی، پرتاب ترکش‌های صنعتی[2] و همچنین لرزش زمین[3] شود و به سازه‌ها، محتویات آن‌ها و اجزای غیرسازه‌ای مستقر روی آن‌ها آسیب برساند.

متناسب با روش‌های بارگذاری انفجار در این استاندارد، تحلیل سازه‌ها در برابر انفجار در یک مجتمع صنعتی باید با یکی از روش‌های زیر صورت پذیرد:

الف- اعمال بارهای ایستایی معادل و روش‌های تحلیل سنتی؛

ب- روش‌های شبه دینامیکی که مشخصات دینامیکی و شکل‌پذیری سازه‌ای را لحاظ می‌کنند و مبتنی بر الگوهای بارگذاری TNT معادل هستند (اطلاعات بیشتر در جدول ز-۴ پیوست **ز** و همچنین جدول 4.1 منبع ASCE59 [20])؛

پ- روش‌های پیچیده‌تر شامل مدل‌سازی انفجار ابر بخار و گاز برای مشخص کردن الگوی بار انفجار و استفاده از مدل‌های غیرخطی چنددرجه آزادی دینامیکی (خطی و غیرخطی) برای تحلیل سازه.

یادآوری- در این استاندارد، انجام تحلیل ایستای خطی، ایستای غیرخطی، دینامیکی خطی و دینامیکی غیرخطی برای تعیین آثار انفجار وارد بر سازه‌ها مجاز است. با پیچیده‌تر شدن رفتار سازه و سطح حفاظتی آن، می‌توان از روش‌های پیچیده‌تر برای تحلیل سازه در برابر بارهای انفجاری استفاده نمود. اطلاعات بیشتر در این مورد در زیربند ۱۴-۱۵ آمده است.

۱۴-۳ هدف از طراحی تأسیسات و سازه‌ها در برابر انفجار

۱۴-۳-۱ ملاحظات کلی

حداقل ضوابط بارگذاری برای طراحی سازه‌های صنعتی و تأسیسات به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی و همچنین تأمین عملکرد مورد انتظار سازه‌ها و تأسیسات در مقابل پیامدهای ناشی از انفجار اتفاقی در این بخش از استاندارد بیان می‌شود. سازه‌ها از جمله ساختمان‌های مستقر در محوطه مجتمع صنعتی باید قادر باشند حداقل عملکرد مطلوب سازه‌ای از دیدگاه حفظ پایداری سازه و مقاومت در برابر تنش‌ها و تغییرشکل‌های مورد انتظار بر اثر وقوع انفجار و پدیده‌های حاصل از آن شامل: اضافه‌فشار، پرتاب ترکش و لرزش زمین متناسب با شدت‌های مختلف خطر که در ارزیابی مخاطرات احصاء شده‌اند را تأمین کرده، خسارات سازه‌ای، آسیب‌های تأسیساتی و تلفات جانی در آن‌ها به حداقل برسد. هدف اصلی طراحی تأسیسات و سازه‌ها در برابر آثار انفجار تأمین عملکردهایی است که در زیربندهای بعدی بیان می‌شود.

1- Overpressure
2- Fragment penetration
3- Ground shock

۱۴-۳-۲ ایمنی جانی کارکنان در مجتمع

سازه‌های مقاوم در برابر انفجار باید تراز مطلوبی از ایمنی جانی برای افراد شاغل در تأسیسات را تأمین نمایند، که مشابه با سطح ایمنی افراد بیرون از محوطه خطر باشد. این سازه‌ها در گروه ساختمانی[1] به عنوان بخشی از اولین لایه دفاعی در سامانه ایمنی تأسیسات برای حفاظت از جان و سلامت افرادی که از این ساختمان‌ها به عنوان فضای امن استفاده می‌نمایند، عمل می‌کنند. همچنین این سازه‌ها در گروه غیر ساختمانی[2] با پایداری خود موجب حفظ تأسیسات و اجزای غیرسازه‌ای مستقر یا متصل به آن‌ها شده، این اجزاء را در شرایط ایمن نگه می‌دارند، تا مانع از گسترش پیامدها شود. بدین ترتیب این گروه از سازه‌ها به عنوان بخشی از دومین لایه دفاعی در سامانهٔ ایمنی تأسیسات برای حفاظت از جان و سلامتی افراد عمل می‌کنند.

۱۴-۳-۳ قطع عملیات بهره‌برداری به‌صورت کنترل‌شده[3]

هدف دیگر طراحی تأسیسات و سازه‌های مقاوم در برابر انفجار در مجتمع‌های صنعتی، جلوگیری از رخداد فاجعه‌آمیز و وقوع پدیده‌های آبشاری[4] به دلیل تخریب تجهیزات و شریان‌های فرایندی پرخطر یا حاوی مواد خطرناک و از دست رفتن کنترل ایمنی در واحدهای فرایندی مربوط به این تجهیزات و شریان‌ها که در معرض آثار مستقیم یا غیر مستقیم انفجار قرار دارند خواهد بود. نباید تخریب یا آسیب‌دیدگی سازه‌ها در اثر وقوع انفجار در یک واحد، منجر به ایجاد اختلال در عملکرد ایمن یا توقف عملیات بهره‌برداری در سایر واحدها شود.

۱۴-۳-۴ کمترین تلفات اقتصادی به مجتمع

جلوگیری یا به حداقل رساندن تلفات اقتصادی، یکی دیگر از اهداف طراحی سازه‌ها در برابر انفجار است. ساختمان‌های صنعتی حاوی اطلاعات تجاری و فناوری‌های ارزشمند، تجهیزات حیاتی یا ضروری، تجهیزاتی که ثبت سفارش آن‌ها طولانی مدت است[5] و یا تجهیزاتی که در صورت آسیب‌دیدن موجب انقطاع بهره‌برداری از مجتمع یا خسارت فراوان اقتصادی برای کارفرما می‌شود، باید مورد حفاظت در برابر انفجار قرار گیرند.

۱۴-۴ سطوح حفاظتی

سطوح حفاظتی، ترازهایی کیفی هستند که بر اساس آن‌ها، مشخص می‌شود که میزان تلفات یا جراحات وارد بر کارکنان و آسیب وارد بر سازه‌ها و تأسیسات پس از رخداد انفجار تا چه‌اندازه می‌تواند باشد. سطوح حفاظتی موردانتظار در هر مجتمع صنعتی برای سازه‌ها و اجزای غیرسازه‌ای به‌صورت مجزا بر اساس مطالعات ارزیابی ایمنی فرایندی یا پدافند غیرعامل مشخص می‌شود.

1- Building structures
2- Non-building structures
3- Controlled shutdown
4- Dommino effects
5- Long-lead time equipment

یادآوری ۱- به عنوان مثال، می‌توان سطوح حفاظتی سازه‌ها و تأسیسات را برای یک تلمبه‌خانه (ایستگاه پمپاژ) نفت به این شرح توصیه کرد (در این طبقه‌بندی، میزان اهمیت سازه‌ها و تأسیسات، از سطح ۱ تا ۴، کاهش می‌یابد و این رده‌بندی باید در مورد هر مجتمع به‌صورت مستقل توسط مطالعات ارزیابی ایمنی فرایندی یا پدافند غیرعامل مشخص شود و موارد ذکرشده ذیل صرفاً به عنوان راهنمایی ارائه شده است):

سطح حفاظت ۱: ساختمان پمپاژ اصلی، ساختمان پمپاژ بوستر، دیوار محافظ صافی[1]، اتاق کنترل، پناهگاه، فضاهای امن ساختمان‌ها (تراز عملکرد استفاده بی‌وقفه)؛

سطح حفاظت ۲: باندوال مخازن ذخیره نفت خام و مخازن تخلیه اضطراری[2] و مخازن سوخت (تراز عملکرد استفاده بی‌وقفه)؛

سطح حفاظت ۳: ساختمان آتش‌نشانی (تراز عملکرد استفاده بی‌وقفه)؛

سطح حفاظت ۴: فضای قرارگیری دیزل‌ژنراتور (تراز عملکرد ایمنی جانی)، ساختمان پمپ‌های آتش‌نشانی (تراز عملکرد استفاده بی‌وقفه)، انبار و تعمیرگاه (تراز عملکرد استفاده بی‌وقفه)، ورودی مجتمع (تراز عملکرد ایمنی جانی)، ساختمان حراست (تراز عملکرد ایمنی جانی)، ساختمان استراحت کارکنان (تراز عملکرد ایمنی جانی)، ساختمان اداری (تراز عملکرد ایمنی جانی). ساختمان‌های این سطح دارای دیوارهای مسلح پیرامونی مقاوم در برابر انفجار هستند. اطلاعات بیشتر در مورد این دیوارها در زیربند ز-۶ پیوست **ز** آمده است.

یادآوری ۲- برای طراحی به روش مبتنی بر عملکرد، در مورد ساختمان‌های واقع در محوطه مجتمع صنعتی، سطوح عملکرد و میزان آسیب قابل پذیرش را می‌توان بر اساس سطوح حفاظتی، به‌صورت مطرح شده در جدول ۲۹ تعریف نمود.

جدول ۲۹- سطوح عملکرد پیشنهادی برای ساختمان‌های واقع در یک مجتمع صنعتی

سطح حفاظت	عملکرد	میزان آسیب قابل پذیرش
۱	تمام کارکنان باید قادر به انجام فعالیت‌ها باشند و کلیه تجهیزات باید به‌صورت بدون وقفه به عملکرد خود ادامه دهند.	فقط آسیب‌های سطحی سازه‌ای قابل پذیرش است.
۲	مأمورین امدادی باید پس از تخلیهٔ کارکنان بتوانند برای سایر امور در ساختمان تردد کنند. تجهیزات باید با یک تعمیر مختصر به عملکرد خود ادامه دهند.	سازه باید با صرف هزینه اندک، قابل تعمیر در اسرع وقت باشد.
۳	مأمورین امدادی باید برای مدت زمان کوتاهی در ساختمان تردد کنند.	خسارات قابل جبران، پذیرفتنی است.
۴	آستانه فروریزش تا حدی که مأمورین امدادی قادر به نجات افراد در اسرع وقت باشند.	آسیب‌های سازه‌ای قابل پذیرش است اما نباید فروریزش رخ دهد.

1- Strainer
2- Relief tank

۱۴-۵ روند طراحی در برابر انفجار

فرایند کلی طراحی یا ارزیابی سازه‌های صنعتی در یک مجتمع صنعتی برای مخاطرات ناشی از انفجار در زیربند ز-۱۰ پیوست **ز** آمده است. طبق آن زیربند، خلاصه رئوس مراحل طراحی در برابر انفجار عبارتند از:

الف- تعریف حدود کاربرد: شامل گام‌های ۱ و ۲ ذکر شده در شکل ز-۱۴ (مشخصات فنی و استانداردها برای تبیین الزامات کارفرما و نیازهای مربوط به سازه و تأسیسات شامل اهمیت، کاربری، آرایش استقرار تجهیزات و سازه‌ها و الزامات مربوط به ساختگاه) به عنوان نمونه تعاریف سطوح حفاظتی طبق زیربند ۱۴-۴ در این استاندارد به عنوان بخشی از این الزامات لحاظ می‌شود؛

ب- تحلیل مخاطرات انفجاری: گام‌های ۳ و ۴ ذکر شده در شکل ز-۱۴ (شناسایی فرانامه‌های انفجاری به‌کار رفته برای کمّی‌سازی اضافه‌فشارهای انفجار طراحی و سایر پیامدهای همراه با انفجار شامل لرزش زمین و میدان ترکش‌های مستقیم و غیرمستقیم حاصل از انفجار)؛

پ- تعیین معیارهای عملکردی: گام ۵ ذکر شده در شکل ز-۱۴ برای تعیین آنکه سازه در خلال فرانامه انفجار چگونه رفتار نماید و تبیین سطوح انتظار برای روش طراحی مبتنی بر عملکرد با معیارهای پذیرش ذکر شده در زیربند ۱۴-۱۶ (جدول ۳۵ و جدول ۳۶)؛

ت- انتخاب سامانه سازه‌ای و مصالح و معیارهای پاسخ: گام‌های ۶، ۸ و ۹ ذکرشده در شکل ز-۱۴ برای انتخاب رفتار مصالح و سامانه‌های سازه‌ای و حدود پاسخ سازگار با الزامات عملکردی سازه (برای روش طراحی مبتنی بر عملکرد) و ملحقات آن؛

ث- تعیین الگوهای توزیع بارهای وارد بر اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای: گام ۷ ذکر شده در شکل ز-۱۴ برای تعیین الگوهای بارگذاری انفجاری اجزای مختلف سازه و ملحقات آن (برای سازه‌های محصور شبه‌ساختمانی واقع در یک مجتمع صنعتی، این الگوی بارگذاری طبق زیربند ۱۴-۱۱ به دست می‌آید)؛

ج- انجام تحلیل سازه و طراحی اجزا: گام‌های ۱۰ تا ۱۲ طبق شکل ز-۱۴ برای انتخاب روش تحلیل (طبق زیربند ۱۴-۱۵) و انجام محاسبات سازه‌ای مناسب برای یک وضعیت مشخص؛

چ- نهایی‌سازی طراحی و طرح جزئیات: گام‌های ۱۳ تا ۱۵ طبق شکل ز-۱۴ برای طرح جزئیات سازه (بر اساس استاندارد طراحی) و طراحی شالوده (طبق بند ۱۴-۱۸) و تدوین دفترچه محاسبات سازه و ملحقات آن همراه با واپایش جزئیات مختلف.

۱۴-۶ طراحی سازه‌های غیرساختمانی، تجهیزات و زیرساخت‌های صنعت نفت در برابر انفجار

بازبینی اطلاعات ثبت شده مربوط به عملکرد سازه‌های غیرساختمانی، تجهیزات و زیرساخت‌ها در مجتمع‌های صنعت نفت و سایر صنایع در برابر انفجارها نشان می‌دهد برخی از این عناصر به بارهای انفجار حساس هستند. در زیربند ز-۱ پیوست **ز**، اطلاعات بیشتری در این مورد ارائه شده است.

۱۴-۷ سطوح عملکرد سازه‌ها در برابر انفجار

هر چند روش اصلی طراحی بیان شده در این استاندارد، روش طراحی مبتنی بر نیرو است، استفاده از روش مبتنی بر عملکرد برای طراحی سازه در برابر انفجار برای بهینه‌سازی، تحلیل فایده به هزینه، دست‌یابی به سطوح امنیتی و ایمنی تعریف شده، برای سازه‌های ساختمانی واقع در مجتمع‌های صنعتی مجاز است. برای به‌کار بردن این شیوه می‌توان به استاندارد ASCE59 [20] مراجعه کرد. معیارهای پذیرش مربوط به استفاده از این روش برای انواع سازه فولادی، بتنی و بنایی در زیربند ۱۴-۱۶ (جدول ۳۵ و جدول ۳۶) آمده است.

۱۴-۸ انواع انفجار

گونه‌های مختلف انفجار در مجتمع‌های صنعتی را می‌توان به چهار دسته تقسیم کرد: انفجارهای ناشی از ابر بخار و گاز، انفجار مخازن (ظروف) تحت فشار، انفجار فاز میعان و انفجار ناشی از ذرات معلق. برای بررسی ویژگی‌های این انفجارها به زیربند ز-۲ پیوست **ز** مراجعه شود. مبنای تعیین معیارهای تعیین اضافه‌فشارهای طراحی ابر بخار و گاز در زیربند ز-۴ آن پیوست بیان شده است.

یادآوری- توصیه می‌شود انواع سناریوهای انفجار، بر اساس تحلیل خطرپذیری[1] ایمنی و فرانامه‌های معیار حاصل از این مطالعات توسط مشاوران تخصصی در تعامل با مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) کارفرما در هر پروژه به‌صورت دقیق و شفاف مشخص شود.

۱۴-۹ پارامترهای موج انفجار

پارامترهای موج انفجار در زیربند ز-۳-۳ پیوست **ز** ارائه شده است. استخراج پارامترها و مقادیر کمّی انفجار اعم از فشار انفجار مبنا، P_{so} و فشار بازگشتی یا انعکاسی، P_r، ضرایب مربوط به تشدید فشار و نحوهٔ توزیع فشار انفجار روی سطوح مختلف ساختمان‌ها (سازه‌های محصور)، سازه‌های صنعتی باز و تأسیسات، و خطوط لوله‌کشی و غیره، میزان شتاب یا لرزش زمین حاصل از انفجار، مقدار بزرگی، سرعت و انرژی ترکش‌های مستقیم و غیر مستقیم حاصل از انفجار، باید توسط مشاوران ایمنی و پدافند غیرعامل پروژه استخراج شوند و در سطوح مختلف خطر دسته‌بندی‌شده و به طراح سازه اعلام شود. مسئولیت علمی صحت و دقت محاسبات بر عهدهٔ این مشاوران خواهد بود. مشاوران می‌توانند از روش‌های زیر برای محاسبه این آثار استفاده نمایند:

الف- محاسبات دستی با روابط متعارف؛

ب- شبیه‌سازی پدیده انفجار با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیلی مانند PHAST؛ و یا

پ- روش‌های محاسباتی هیدرودینامیک سیالات (CFD) به‌صورت هم‌بسته[2] یا ناهم‌بسته[3] با شبیه‌سازی پاسخ سازه و تأسیسات.

1- Risk analysis
2- Coupled
3- Uncoupled

توضیحات بیشتر در زیربند ز-۳-۳ پیوست **ز** ارائه شده است.

۱۴-۱۰ تعیین اضافه‌فشارهای طراحی مربوط به انفجارهای ابر بخار و گاز

با آنکه گستردهٔ وسیعی از انواع انفجار وجود دارد، انفجارهای ابر بخار و گاز در یک مجتمع صنعتی (نظیر تأسیسات صنعت نفت) از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به عدم وجود آیین‌نامه یا استاندارد صنعتی بین‌المللی معتبر برای تعیین اضافه‌فشارهای انفجاری، مشخصات بارهای انفجاری طراحی معمولاً توسط نتایج مطالعات ایمنی فرایندی یا مطالعات پدافند غیرعامل طرح در مراحل مهندسی مفهومی و مهندسی پایه احصاء شده، در اختیار طراحان سازه و تأسیسات قرار می‌گیرد. ممکن است این اضافه‌فشارها برای تأسیسات متعلق به هر کارفرما در هر نقطه جغرافیایی، متفاوت منظور شود. برخی از کارفرمایان، ترازهای خطر متفاوتی را برای رده‌بندی عناصر مختلف تأسیسات در نظر می‌گیرند که این موضوع در این استاندارد به صورت پیشنهادی در قالب سطوح حفاظتی در زیربند ۱۴-۴ ارائه شده است. این رده‌بندی بسته به اهمیت، مصالح و مواد مصرفی در ساخت تجهیزات و فرایند به کاررفته در دوران بهره‌برداری انجام می‌شود. مهندس طراح می‌تواند اضافه‌فشار طراحی را به یکی از دو روش زیر به‌دست آورد:

الف- ساده‌ترین روش ممکن آن است که کلیه سازه‌های مستقر در یک مجتمع صنعتی برای بیشینه اضافه‌فشار بازتابی با مقدار X (kPa)، یک اضافه‌فشار جانبی با مقدار Y (kPa) و یک مدت زمان Z (بر حسب ms) طراحی شوند؛

ب- روش دقیق‌تر، مشخص کردن اضافه‌فشارها و مدت زمان اعمال بار انفجار در فاصله مشخصی از سازه و یک منشأ انفجاری محتمل است. فواصل را می‌توان به‌صورت بلوک‌های پلکانی یا یک تابع پیوسته در نظر گرفت. سپس مهندس طراح این بارهای طراحی را بر اساس فاصله مناسب تعیین می‌کند.

مبنا برای تعیین معیارهای طراحی طبق نظریات فوق را می‌توان طبق یکی از سه روش زیر به دست آورد:

الف- انجام یک مطالعهٔ ویژهٔ ساختگاه (جامع‌ترین رویکرد)؛

ب- استفاده از معیارهای رایج؛

پ- استفاده از داده‌های تاریخی که در گذشته به دست آمده‌اند.

جزییات این سه روش در زیربند ز-۴ پیوست **ز** ارائه شده است.

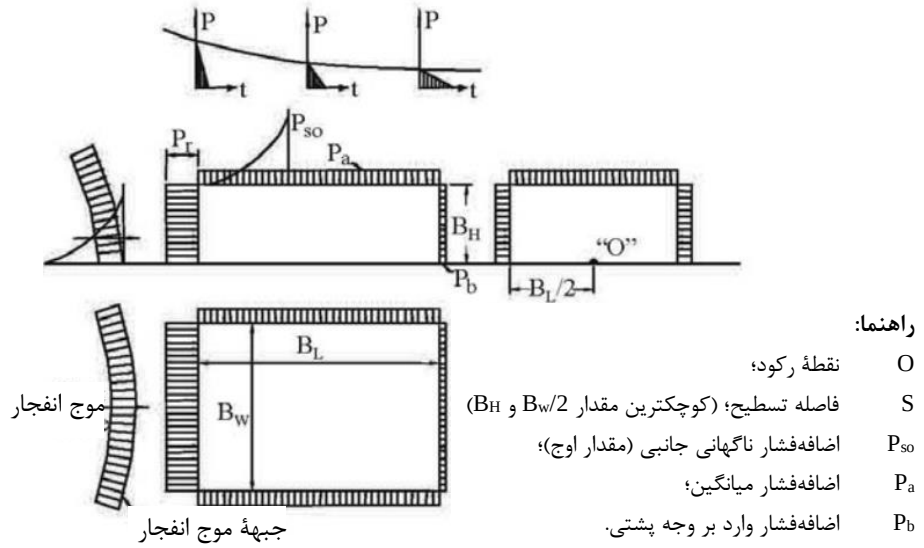
۱۴-۱۱ بارگذاری انفجاری سازه‌های محصور در مجتمع‌های صنعتی

۱۴-۱۱-۱ ملاحظات کلی

برای طراحی یک سازه محصور (مشابه ساختمان) واقع در یک مجتمع صنعت نفت در برابر انفجار، ابتدا باید بارهای انفجاری وارد بر کل سازه و همچنین هر جزء سازه‌ای منفرد مانند دیوار، سقف، قاب و ... به صورت اضافه‌فشار میدان آزاد توسط کارفرما به مهندس طراح ارائه شود. برای تعیین این بارها،

مهندس طـــراح باید اندرکنش موج انفجار منتشره با سـازه منـظور کند. به هنـگام برخورد موج انفجار با یک ساختمان، سـاختمان تحت اضـافه‌فشار و نیروهای پسا ناشی از موج انفجار قرار داده می‌شود. اندرکنش میان موج انفـجار و یک ســـازه بسـیار پیچیده است ولی برای طـــراحی، بارگـــذاری انفـجاری حاصـــل را می‌توان به‌صورت شکل ۳۴ سـاده‌سازی کرد. موج انفجار در این شکل، به‌صورت افقی در امتـداد چپ به راست حرکت می‌کند. اما بسته به موقعیت مخاطـرات انفـــجاری محتـمل نسـبت به ساختگاه سـازه، در صـــورتی که منشأ انفجار در تراز بالای سطح زمین قرار داشته باشد، ممکن است سازه در هر راستا مورد برخـورد امواج انفجاری قرار داده شود. بسته به فاصـله و راستای سازه نسبت به منشأ انفجار، سـازه و اجـــزای آن در معرض ترکیبات آثار انفـــجار (اضـــافه‌فشـار بازتابی، اضافه‌فشار آزاد[1]، فشـار دینامیکی و فشار منفی) قرار داده شـود. بسته به اضافه‌فشار جانبی مشخص‌شده توســط کارفرما و مدت زمـــان اعمال آن، مهندس طراح قادر اسـت بارهـــای انفجاری وارد بر اجزای گوناگون سازه را به شرح زیر برای یک سازهٔ مکعب م ستطیل شکل مح صور تعیین نماید.

یادآوری- نمونهٔ پیشنهادی برای تعیین پارامترهای طراحی یک سـازهٔ محصور واقع در یک مجتمع صنعت نفت در جدول ز-۵ پیوست **ز** ارائه شده است.



راهنما:

O	نقطهٔ رکود؛
S	فاصله تسطیح؛ (کوچکترین مقدار $B_w/2$ و B_H)
P_{so}	اضافه‌فشار ناگهانی جانبی (مقدار اوج)؛
P_a	اضافه‌فشار میانگین؛
P_b	اضافه‌فشار وارد بر وجه پشتی.

شکل ۳۴- آرایش عمومی بارهای انفجاری وارد بر یک سازهٔ مکعب مستطیلی محصور

۱۴-۱۱-۲ بارگذاری دیوار روبروی منشأ انفجار (دیوارهای جلویی[2])

به دیـوارهای روبروی منشأ انفـجار یک اضافه‌فشار بازتابی اعمال خـواهد شد. آن‌چنان که ذکر گردید، تشدید اضافه‌فشـار بازتـابی موج انفـجار وابسـته به زاویه برخورد[3]، و زمان خیزش[4]، t_r، ضربه اضافه‌فشار جانبی است. برای طراحی، باید شـرایط بازتاب ضربه متـعامد ($t_r = 0$، $\alpha = 0^\circ$) فرض شود مگر آنکه فرانامهٔ انفجار مشـخصه

1- Side-on overpressure
2- Front walls
3- Angle of incidence
4- Rise time

طـراحی، شرایط دیگری را دیکته کند. اما در برخی موارد، بازتاب مایل (بین ° ۳۰ تا ° ۶۰) ممکن است برای کل سـازه بحـــرانی‌تر باشد زیرا اضـــافه‌فشـار بازتابی کامـل می‌تواند به دو وجـه مجـاور ســـازه اعمال شـود. اضافه‌فشار بازتابی به فشـار رکود، P_s، در زمان تسـطیح[1] تنزل پیدا می‌کند که این موضوع در شکل ۳۵ نشان داده شده و در ادامه تشریح شده است:

$$P_s = P_{so} + C_d q_o \qquad (۵۲)$$

$$t_c = \frac{3S}{U} < t_d \qquad (۵۳)$$

که در آن:

S فاصلهٔ تسطیح، کوچک‌ترین مقدار بین B_H و $B_w/2$؛

P_s فشار رکود؛

P_{so} بیشینه اضافه‌فشار؛

t_c زمان تسطیح؛

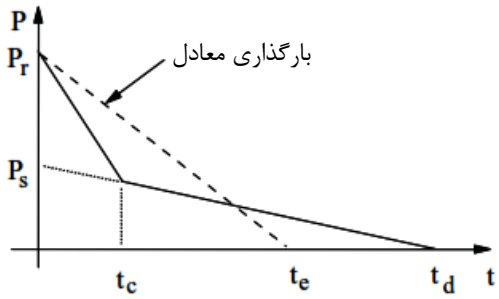
t_d مدت زمان فاز مثبت (میدان آزاد)؛

U سرعت موج پیش‌روندهٔ انفجار؛

C_d ضریب پسا.

طبق رابطهٔ (۵۳)، مدت تداوم اثر اضـــافه‌فشار بازتابی، t_c (زمان تسطیح) نباید از اضافه‌فشار مثبت میدان آزاد، t_d فراتر رود. برای استفاده از نمـودارهای پاسـخ دینامیکی مبتنی بر یک بار به شـکل مثلثـی، نمودار فشار- زمان دوخـطی نشـــان داده شـده در شکل ۳۵ را می‌توان به‌صورت یک مثلث معادل ساده‌سازی نمود. این بار معادل با استفاده از معادل‌کردن ضربه برای هر شکل بار و استفاده از همان فشار بیشینه، P_r محاسبه می‌شود. ضربه، I_w، تحت نمودار دو خطی فشار- زمان برابر است با:

$$I_w = 0.5(P_r - P_s)t_c + 0.5P_s t_d \qquad (۵۴)$$



شکل ۳۵- بارگذاری وارد بر دیوار روبروی منشأ انفجار (دیوار جلویی)

1- Clearing time

مدت تداوم مثلث معادل، t_e، از رابطهٔ زیر قابل تعیین است:

$$t_e = \frac{2I_w}{P_r} = (t_d - t_c)\frac{P_s}{P_r} + t_c \qquad (۵۵)$$

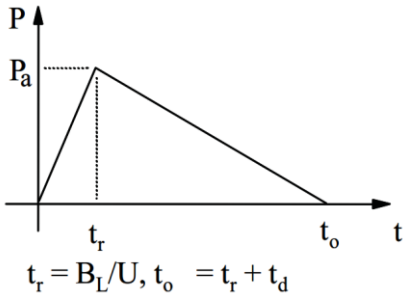
که در آن:

P_r بیشینه فشار انعکاس‌یافته؛

I_w ضربه.

۱۴-۱۱-۳ دیوارهای جانبی[1]

دیوارهای جانبی برحسب قرارگیری آن‌ها به منشـــأ انفجار طبق شکل ۳۴ تعریف می‌شوند. این دیوارها نسبت به دیوارهای جلویی، بارگذاری انفجاری سبک‌تری را به علت بازتاب اضافه‌فشار و استهلاک موج انفجار به علت فاصله از منشأ انفجار متحمل می‌شوند. در برخی موارد، بارگذاری دیوار جانبی واقعی با سایر نیروهای ناشی از انفـجار ترکیـب می‌شـود (مانند نیـروهای درون‌صـفحه برای دیوارهای برشی جانبـی). شکل کلی بارگـذاری انفجاری دیوار جانبی در شکل ۳۶ نشان داده شده است.



شکل ۳۶- بارگذاری انفجاری دیوار جانبی و سقف

با عبور موج انفجار در طول عنصر سـازه‌ای، بیشینه اضافه‌فشار جانبی به‌صورت یکنواخت اعمال نخواهد شد و مقدار آن با زمان و فاصـله متغیر است. مثلاً، در صورتی که طـول دیـوار جانبی برابر با طول موج انفجار باشد، هنگامی که بیشینه اضافه‌فشـار جانبی به دورترین انتهای دیوار می‌رسد، اضافه‌فشار در انتهای نزدیک دیوار به وضعیت عادی باز می‌شـود. یک ضـریب کاهشـی، C_e، برای منظـور کردن ایـن اثر در طـراحی به‌کار می‌رود. مقادیر C_e طبق شکل ۳۷ وابسته به طـول عنصـر سـازه‌ای، L_1، در راسـتای موج انفجاری جابه‌جاشونده ارائه شده است. در صورتی که موج انفجار عمود بر دهانه حرکت کند، L_1 را باید برابر با عرض واحد اسمی عنصر در نظر گرفت.

رابطه برای دیوارهای پیرامونی به این صورت است:

$$P_a = C_e P_{so} + C_d q_o \qquad (۵۶)$$

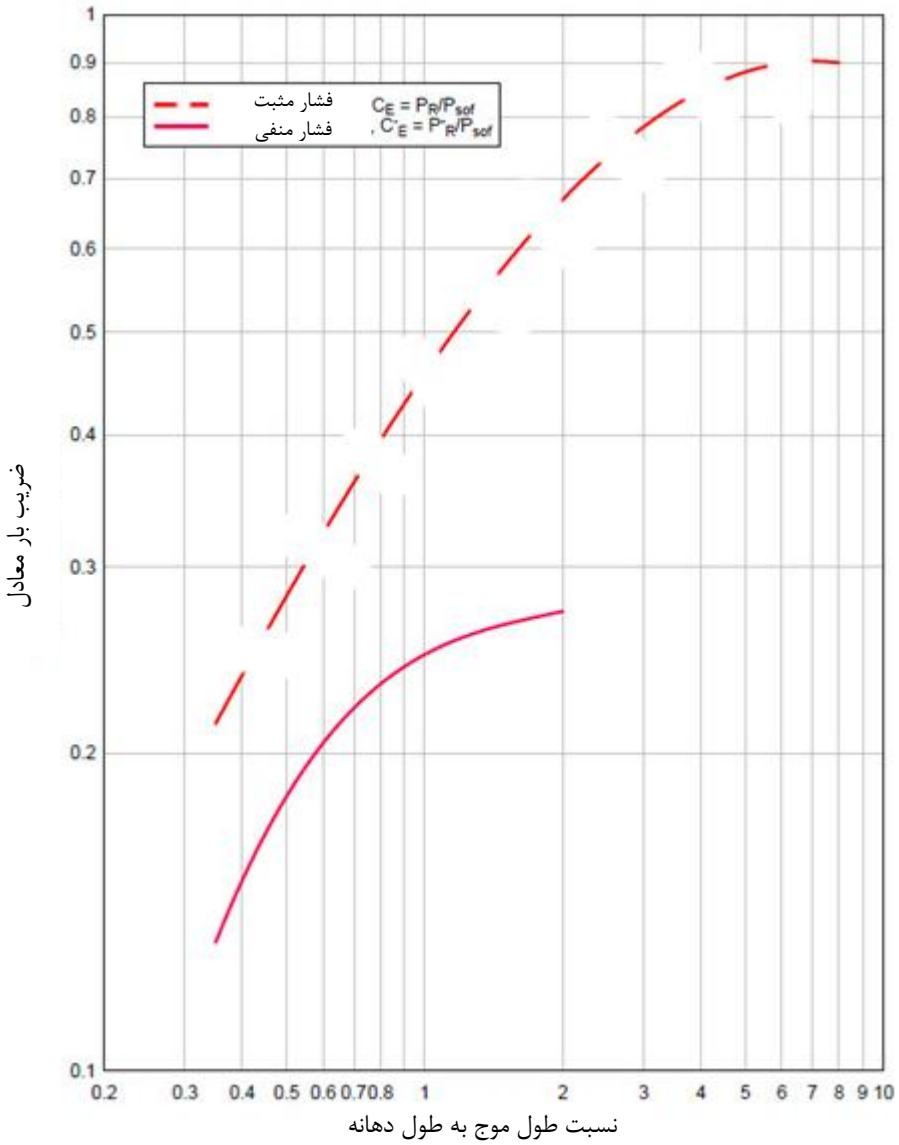
1- Side walls

که در آن:

P_a اضافه‌فشار مؤثر جانبی برحسب kPa؛

q_o بیشینه فشار دینامیکی.

بار دیوار جانبی دارای یک زمان خیزش است. این زمان، برابر با زمانی است که طول می‌کشد تا موج انفجار در راستای عنصر مورد بررسی حرکت کند. کل مدت تداوم برابر است با زمان خیزش به علاوه مدت زمان اضافه‌فشار جانبی میدان آزاد (t_d).



شکل ۳۷- ضریب C_e (طبق UFC 3-340-02 [24])

۱۴-۱۱-۴ بارگذاری سقف

برای یک سازه با یک سقف تخت (زاویهٔ شیب سقف کوچک‌تر از ۱۰°)، معمولاً فرض بر آن است که به هنگام حرکت افقی موج انفجار، بازتاب رخ نمی‌دهد. در نتیجه، سقف تحت اضافه‌فشار جانبی در ترکیب با فشار دینامیکی باد برابر با دیوارهای پیرامونی قرار داده می‌شود. نیروی دینامیکی باد وارد بر سقف در راستای مخالف اضافه‌فشار (رو به بالا) اعمال می‌شود. همچنین باید به تغییرات موج انفجار با فاصله و زمان هنگامی که در را ستای یکی از عنا صر سقف حرکت می‌کند توجه نمود. بارگذاری انفجاری سقف ن شان‌داده شده در شکل ۳۶ بستگی به نسبت طول موج انفجار به طول دهانه عنصر سقف و راستای آن نسبت به راستای موج انفجار دارد. اضافه‌فشار بیشینه برای عناصر سقف با استفاده از رابطهٔ (۵۶) مشابه دیوار پیرامونی به‌دست می‌آید.

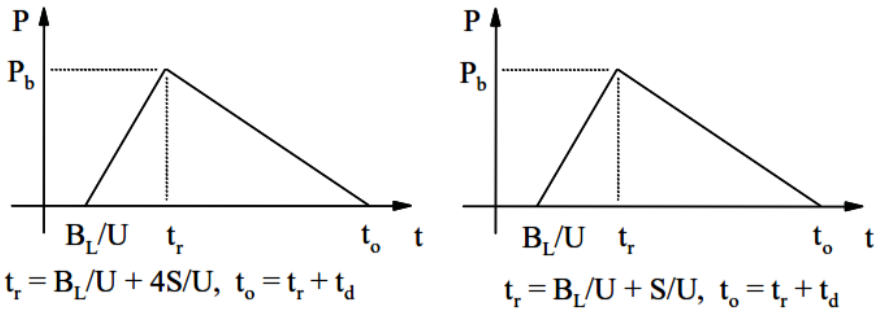
۱۴-۱۱-۵ بارگذاری دیوار پشت به انفجار

بارگذاری دیوار پشت به انفجار معمولاً صرفاً برای تعیین بارگذاری خالص کل قاب قابل کاربرد است. از آنجا که بار دیوار پشتی در جهت مخالف بار دیوار جلویی وارد می‌شود، اثر آن موجب کاهش کل نیروی جانبی انفجار می‌شود. در سازه‌هایی که یک بار انفجار ممکن است از هر راستای اعمال شود، آثار دیوار پشتی در جهت محافظه‌کارانه حذف می‌شود.

شکل بارگذاری دیوار پشتی مشابه بارهای وارد بر دیوارهای جانبی و سقف است اما زمان خیزش و مدت تداوم آن تحت تأثیر یک الگوی ناشناخته سرریز[1] از سقف و دیوارهای جانبی و آثار بازتابی زمین قرار دارد. تأخیر در رسیدن بار انفجار از دیوار جلویی به دیوار پشتی برابر است با B_L/U که معادل با زمانی است که طول می‌کشد موج انفجار طول سازه، B_L را طی نماید. اضافه‌فشار بیشینهٔ مؤثر مشابه با دیوارهای جانبی است و با استفاده از رابطهٔ (۵۶) به‌دست می‌آید (P_b معمولاً به عنوان نماد اضافه‌فشار بیشینه دیوار پشتی به جای P_a به کار می‌رود). مراجع موجود بیانگر دو مقدار جداگانه برای زمان خیزش و مدت تداوم فاز مثبت است.

یادآوری- دو منبع TNO [25] و ASCE Manual 42 [26] از معیارهایی استفاده می‌کنند که به نظر می‌رسد بر مبنای بارهای انفجاری با مدت تداوم ط ـولانی‌تری هستند. در منبع TNO، زمان خیز فاز مثبت برابر با $4S/U$ و کل مدت تداوم برابر است با t_d (بخش الف شکل ۳۸). توجه شود برای بارهای انفجاری با مدت دوام کوتاه تا متوسط، زمان خیزش ممکن است به t_d برسد یا حتی از آن فراتر رود. در منبع UFC3-340-02 [24]، معیارهایی برای محاسبه بار انفجار وارد بر دیوار پشتی که تا سقف امتداد داشته باشد آمده است. با اینکه نمودارهایی برای تعیین زمان خیزش و مدت تداوم در آن منبع ارائه گردیده است، در اکثر ساختمان‌های کنترل، فاز مثبت دارای زمان خیزشی تقریباً برابر با S/U در پی یک زمان تداوم t_d است (بخش ب شکل ۳۸).

1- Spillover

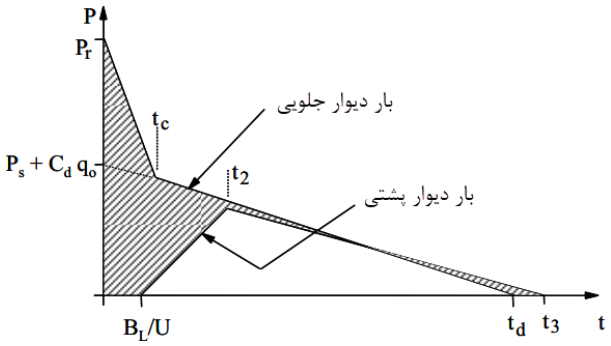


الف- بر اساس TNO [25]　　ب- بر اساس UFC 3-340-02 [24]

شکل ۳۸- بارگذاری دیوار پشتی

۱۴-۱۱-۶ بارگذاری قاب

علاوه بر بارگذاری سقف، سامانهٔ قاب‌بندی در سازه ممکن است متحمل بارگذاری انکساری[1] شود که بارگذاری خالص روی دیوارهای جلویی و پشتی است که مرحله‌بندی زمانی[2] در آن منظور می‌شود. در طی زمانی برابر با B_L/U، که طول می‌کشد تا موج انفجار از جلو به عقب سازه برسد، قاب‌بندی سازه‌ای در معرض فشار نامتوازن افقی بزرگی وارد بر دیوار جلویی قرار داده می‌شود. پس از گذشت آن زمان، بخشی از بارگذاری دیوار جلو با بارگذاری دیوار پشت جبران می‌شود. شکل ۳۹ شکل کلی بارگذاری جانبی قاب را نشان می‌دهد.



شکل ۳۹- بار جانبی خالص وارد بر یک سازه مستطیلی (برگرفته از TNO [25])

۱۴-۱۱-۷ فشار منفی و بارگذاری جهشی[3]

اجزای یک سازه آثار بار انفجاری مخالف با راستای آثار بار اصلی انفجار را نیز به علت فاز منفی (مکش) موج انفجار تشریح شده در زیربند ز-۳-۳ پیوست **ز** همراه با جهش اجزای سازه‌ای ناشی از آثار اینرسی بارگذاری اضافه‌فشار تجربه می‌کنند. همان‌گونه که ذکر گردید، عموماً از نیروهای فشار منفی صرف‌نظر می‌شود زیرا یا مقدار آن نسبتاً کوچک است یا آنکه برای انفجارهای ابر بخار و گاز به‌صورت عددی در نمی‌آید.

1- Diffraction loading
2- Time phasing
3- Rebound loading

اما اجزای سازه‌ای باید به دقت برای آثار جهش طراحی شوند. این آثار را می‌توان با استفاده از تحلیل تاریخچهٔ زمانی اجزای سازه‌ای بر اساس یکی از منابع [23]، [24] و [26] به‌صورت کمّی در آورد.

۱۴-۱۱-۸ فشارهای داخلی سازه[1]

بارهای انفجار وارد بر بیرون سازه می‌تواند به‌صورت بالقوه به بازشوهای دیوار یا سقف نیز گسترش پیدا کند. به هنگام گسترش موج انفجار به یک بازشو، میزان فشار به خاطر محدودیت و انبساط ناگهانی در حجم سازه کاهش پیدا می‌کند. فشارهای داخلی ممکن است به‌طور مستقیم موجب آسیب افراد نشود اما خطر ناشی از سقوط اشیا و تجهیزات ممکن است منجر به آسیب‌دیدن کارکنان شود. روش‌هایی برای محاسبه فشار میانگین ایجاد شده درون سازه وجود دارد که این روش‌ها در UFC 3-340-02 [24] اشاره شده است.

۱۴-۱۲ دینامیک سیالات محاسباتی[2] (روش CFD)

بارهای انفجاری سازه را می‌توان به کمک برنامه‌های رایانه‌ای محاسباتی دینامیک سیالات تعیین نمود. لازم به ذکر است که استفاده از این روش نیازمند آن است که یک تحلیل تقاضا- فایده انجام پذیرد و در عین حال، تجربه، زمان، برنامه‌های رایانه‌ای قابل اعتماد و همچنین راستی‌آزمایی برای دستیابی به نتایج دقیق برای توجیه استفاده از کوشش‌های مدل‌سازی رایانه‌ای وجود داشته باشد. مبنای استفاده از مدل‌سازی CFD، گسسته‌سازی سازه و محیط اطراف منشأ انفجار و همچنین موانع مجاور به سلول‌های منظم کوچک با حجم محدود و سپس حل کردن معادلات حاکم برای محافظت از جرم، اندازه‌حرکت و انرژی درون هر سلول با منظور کردن آثار سلول‌های مجاور است. از بین سایر کاربردها، می‌توان CFD را برای شبیه‌سازی انتشار امواج انفجاری درون محیطی پر از مانع، برای شبیه‌سازی سازه‌ها با شکل نامتعارف، شبیه‌سازی نفوذ انفجار از طریق بازشوها به درون سازه، شبیه‌سازی انفجارهای داخلی و همچنین شبیه‌سازی آثار انفجار حوزه نزدیک به‌کار برد. همچنین CFD را می‌توان برای مقاصد فراساحلی که در آن سازه‌های با چیدمان فشرده و پیچیده وجود دارد به‌کار برد. از CFD به ندرت در تأسیسات خشکی استفاده می‌شود زیرا چیدمان‌های فشرده محصور در آن‌ها متداول نیست و فواصل منشأ انفجار تا نقطه مورد بررسی عموماً زیاد است. در صورت کاربرد، CFD را می‌توان به‌عنوان روشی جایگزین برای روش‌های معمول‌تر تشریح‌شده در زیربند ۱۴-۱۱ این استاندارد و UFC 3-340-02 [24] به‌کار برد.

یادآوری- برای تصمیم‌گیری در خصوص استفاده از CFD، باید به این موضوع توجه شود که نتایج CFD به تکنیک‌های مدل‌سازی و نرم‌افزار مورد استفاده حساس است. برنامه‌های CFD، قادر هستند از روش اصولی دقیق که شامل مدل‌سازی تفصیلی تلاطم و احتراق هستند یا روش نیمه‌تجربی که شامل ساده‌سازی‌های منشأ انفجار مبتنی بر داده‌های آزمایشگاهی است برای ایجاد سهولت و افزایش سرعت تحلیل استفاده نمایند. مدل‌های پدیده‌شناسی بعضاً برای ساده‌سازی تحلیل با استفاده از مدل‌سازی عددی پدیده انفجار انتخابی برای رهگیری جنبه‌های مهم گسترش انفجار به کار می‌روند. مشابه اکثر شبیه‌سازی‌ها، هرچه مدل تفصیلی‌تر باشد، دقت نتایج بالاتر است.

1- Leakage pressure
2- Computational Fluid Dynamics (CFD)

۱۴-۱۳ لرزش زمین[1] ناشی از انفجار

هنگام ایجاد انفجار در نزدیکی سطح زمین، لرزش زمین به علت انرژی منتقل شده ایجاد می‌شود. بخشی از این انرژی، از طریق هوا به شکل ضربه و بخشی دیگر از طریق زمین به‌صورت مستقیم انتقال پیدا می‌کند. زمانی که موج ضربه انفجار ایجادشده در هوا موجب فشردگی سطح زمین می‌شود و یک تپ[2] تنش به لایه‌های زیرسطحی اعمال می‌کند، لرزش زمین ناشی از انفجار در هوا ایجاد می‌شود. مقدار و زمان تداوم تپ تنش در زمین بستگی به ویژگی‌های تپ انفجاری در هوا و لایه‌های زمین دارد. عموماً لرزش‌های زمین ناشی از انفجار در هوا دارای راستای رو به پایین[3] است. این لرزش‌ها در سطح زمین در مقدار بیشینه خود قرار دارند و با عمق، مستهلک می‌شوند. اما وجود تراز آب زیرزمینی سطحی، یک تداخل خاک- سنگ یا سایر گسستگی‌ها می‌تواند روند استهلاک عادی را تغییر دهد. مشخصات تپ اضافه‌فشار تصادفی و لایه خاک سطحی، معمولاً ویژگی لرزش زمین ناشی از انفجار در هوا را برای سازه روی سطح زمین تعیین می‌کند.

یادآوری- روابطی برای تعیین بیشینه جابه‌جایی، سرعت و شتاب قائم مربوط به لرزش زمین ناشی از انفجار در هوا[4] و همچنین روابطی برای محاسبه این پارامترها برای لرزش مستقیم زمین ناشی از انفجار[5] در منبع UFC-3-340-02 [24] آمده است.

۱۴-۱۴ ترکش‌های صنعتی[6]

تحمل انسان برای ضرب ترکش‌های صنعتی بسیار پایین است اما حفاظت معینی در برابر برخورد ترکش‌های صنعتی ناشی از انفجار با استفاده از سازه‌های محافظ[7] قابل انجام است. ترکش‌های صنعتی را می‌توان برحسب اندازه، سرعت، جنس و منشأ به دو رده زیر طبقه‌بندی کرد:

الف- ترکش‌های اولیه[8] که عمدتاً کوچک و با سرعت بالا هستند و از غلاف و یا تجهیز مجاور منبع انفجاری پرتاب می‌شوند؛

ب- ترکش‌های ثانویه که ناشی از شکستن اجزای سازه یا تجهیزات داخل سازه در اثر انفجار ایجاد می‌شوند. برای تعیین سرعت اولیه ترکش‌ها می‌توان به منبع UFC-3-340-02 [24] مراجعه شود.

برای در نظر گرفتن اثرات ترکش‌های صنعتی در طراحی سازه در برابر انفجار، باید احتمالات زیر را بر اساس منبع SCI-P-112 [31] مدنظر قرار داد:

الف- احتمال پرتاب ترکش؛

1- Ground Shock
2- Pulse
3- Downward
4- Air blast induced ground shock
5- Direct-induced ground motion
6- Fragments or projectile
7- Shelter type structures
8- Primary fragments

ب- احتمال آنکه ترکش انرژی کافی برای آسیب‌رساندن را دارد یا خیر؛

پ- احتمال آنکه ترکش با عنصر مورد نظر برخورد می‌کند و موجب افزایش آسیب می‌شود.

چنانچه ترکیب احتمالات فوق قابل پذیرش نباشد، باید یک راهبرد برای جلوگیری از پرتاب ترکش یا حفاظت از عنصر مورد نظر در برابر پرتاب ترکش مدنظر قرار داده شود.

اثرات ضربهٔ ترکش به یک عنصر سازه‌ای معمولاً شامل دو رده است:

الف– آثار موضعی: این آثار به میزان زیادی مستقل از مشخصات دینامیکی سازه هستند؛

ب– آثار مربوط به پاسخ کلی: این آثار اساساً وابسته به به مشخصات دینامیکی سازه هستند.

برای تعیین مقاومت سازه‌ای در برابر برخورد ترکش، از روش‌های مناسب ذکرشده در منابع SCI-P-112 [31]، UFC 3-340-02 [24]، DOE/TIC-11268 [32]، ASCE Manual 58 [33]، PIP STC01018 [34] و Kennedy [35] استفاده شود.

یادآوری– در مورد ترکش‌ها باید مشاوران تخصصی ایمنی و پدافند غیرعامل، انواع پارامترهای مؤثر ترکش شامل اندازه، جرم، سرعت، انرژی و میزان نفوذ در مصالح مختلف از جمله فولاد، بتن و مصالح بنایی مورد استفاده در پروژه را محاسبه نموده، میزان حداقل ضخامت ایمن در برابر ترکش یا روش حفاظت در برابر آن را مشخص کنند.

۱۴-۱۵ روش‌های تحلیل سازه در برابر آثار انفجار

۱۴-۱۵-۱ ملاحظات کلی

در این زیربند، باید بر اساس سطح‌بندی حفاظتی صورت گرفته برای تأسیسات و سازه‌های غیرساختمانی، روش تحلیل مناسب برای بار انفجار انتخاب شود. این سطح‌بندی توسط مشاور ایمنی فرایندی یا پدافند غیرعامل طرح مشخص خواهد شد. بر اساس سطح‌بندی پیشنهادی چهار گانه (مشابه آنچه که به عنوان نمونه برای یک تلمبه‌خانهٔ نفت در زیربند ۱۴-۴ مطرح شد)، روش تحلیل سازه برای بار انفجار به‌صورت ذکر شده در جدول ۳۰ توصیه می‌شود:

الف- روش ایستای خطی معادل؛

ب- روش دینامیکی خطی تحت بارگذاری ضربه‌ای؛

پ- روش دینامیکی غیرخطی (یک درجه آزاد یا چند درجه آزاد)؛

ت- روش تحلیل دینامیکی پیشرفته مبتنی بر مدل اجزای محدود و بر پایهٔ رفتار غیرخطی مصالح.

جدول ۳۰- توصیه انجام روش تحلیل سازه در برابر آثار انفجار

سطح حفاظت	روش تحلیل			
۱	الف	ب	پ	ت
۲	الف	ب	پ	ت
۳	الف	ب	-	-
۴	الف	ب	-	-

یادآوری- علاوه بر موارد فوق، ممکن است طبق توصیه‌های مطالعات ایمنی فرایندی یا پدافند غیرعامل، نیاز به تحلیل خرابی پیش‌رونده نیز وجود داشته باشد که در این صورت روش‌های ایستای خطی و ایستای غیرخطی می‌تواند برای انجام این تحلیل به‌کار رود.

۱۴-۱۵-۲ روش ایستای معادل

یکی از روش‌های تحلیل سازه در برابر بار انفجار که طی سال‌های قبل عموماً مورد استفاده قرار می‌گرفته است، روش باد معادل[1] یا روش ایستای معادل است. در این روش، مشابه تحلیل ایستای معادل در برابر زلزله، از یک بار تقریبی ایستا برای شبیه‌سازی بار انفجار استفاده می‌شود. در این روش، پارامترهای دینامیکی مانند بارهای متغیر با زمان، مقاومت‌های مصالح در تغییرات سریع کرنش، ضرایب تشدید بار، جرم، سختی، زمان تناوب نوسان و تغییرشکل‌های خمیری مجاز مورد استفاده نیست. ایراد اصلی این روش، چگونگی یافتن یک بارگذاری ایستای مناسب است که منجر به نتایج منطقی شود. استفاده از این روش عموماً توصیه نمی‌شود مگر در مواردی که سازه از منشأ انفجار فاصلهٔ قابل توجهی داشته باشد و بار انفجار وارد بر آن مشابه یک تندباد باشد. رفتار مصالح در این روش به صورت کشسانی-خمیری[2] منظور می‌شود و توزیع اضافه‌فشار انفجار با منظور کردن مشخصات و رفتار دینامیکی سازه، به صورت یک نیروی ایستا در نظر گرفته می‌شود. در روش ایستای معادل، از ضرایب افزایش مقاومت مصالح (SIF) مطرح شده در بند ز-۷ پیوست **ز** برای تعیین ظرفیت اجزای سازه‌ای استفاده خواهد شد.

طبق منبع ASCE Manual 42 [26]، مقاومت دینامیکی مورد نیاز در راستای اعمال بارهای انفجار را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$R=\frac{P}{\frac{\sqrt{\alpha}}{\pi\tau}+\frac{\alpha\tau}{2\delta_m(\tau+0.7)}} \qquad (۵۷)$$

که در آن:

1- Equivalent wind approach
2- Elasto plastic

R مقاومت دینامیکی مورد نیاز اجزای سازه‌ای که به عنوان بار ایستای معادل با مدت زمان و فشار ناشی از انفجار در نظر گرفته می‌شود برحسب kPa؛

P اضافه‌فشار حداکثر انفجار که به اجزای تحت بررسی اختصاص می‌یابد برحسب kPa؛ این پارامتر در سازه‌های شبه ساختمانی برای بارهای وارد بر دیوارها برابر با P_r، برای بارهای وارد بر سقف برابر با P_f و بارهای وارد بر تیرها و دال‌ها برابر با P_o منظور می‌شود؛

α ضریب جذب انرژی و برابر با $2\delta_m-1$؛

δ_m ضریب جابه‌جایی بیشینه که برابر است با X_m/X_y؛

τ ضریب تداوم و برابر با t_o/T؛

X_m جابه‌جایی دینامیکی بیشینهٔ سازه برحسب mm؛

X_y جابه‌جایی مؤثر در تسلیم اولیهٔ سازه برحسب mm؛

t_o زمان تداوم بار انفجار برحسب ms؛

T زمان تناوب ارتعاش سازه یا عنصر مورد بررسی برحسب ms.

یادآوری ۱- ضریب تغییرمکان دینامیکی برای انواع سازه باید به موارد جدول ۳۱ محدود شود.

یادآوری ۲- بیشینه مقدار جابه‌جایی نسبی مفصل خمیری، X_m/l، باید به مقادیر مندرج در جدول ۳۲ محدود شود.

جدول ۳۱- حداکثر مقدار ضریب تغییرمکان دینامیکی

نوع سازه یا عنصر سازه‌ای	$\delta_{m(max)}$
سازه‌های فولادی	۵٫۰
سازه‌های بتن مسلح (تحت خمش)	۳٫۰
سازه‌های بتن مسلح (تحت فشار محوری یا برش)	۱٫۵
تیر فولادی یا بتن مسلح در قاب اصلی سازه که تحت بار جانبی و قائم قرار دارد	۱٫۰

جدول ۳۲- حداکثر مقدار ضریب تغییرمکان دینامیکی

نوع سازه یا عنصر سازه‌ای	X_m/l
سازه‌های فولادی	۰٫۰۳
سازه‌های بتن مسلح	۰٫۰۲

که در آن:

l طول قسمت بین مفاصل خمیری در عضو سازه‌ای مورد مطالعه برحسب mm؛

X_m برابر با $\delta_m R/K_e$ که K_e سختی مؤثر عناصر سازه‌ای برحسب kPa/mm.

۱۴-۱۵-۳ تحلیل دینامیکی خطی

در این نوع تحلیل، رفتار مصالح در برابر بارها به‌صورت ارتجاعی در نظر گرفته می‌شود ولی ماهیت بارگذاری به‌صورت دینامیکی خواهد بود. در این روش، بارگذاری انفجاری تابع زمان به‌صورت نمایی، مثلثی یا مستطیلی به مدل سازه اعمال می‌شود. برای سهولت تحلیل، بار فشار انفجار صرفاً در محدودهٔ فاز مثبت منظور می شود و از فاز منفی که تأثیر ناچیزی در بازتاب حداکثر سازه دارد صرف‌نظر می شود. محدوده‌های مذکور در شکل ز-۱ پیوست **ز** نشان داده شده است. برای تعیین تاریخچهٔ فشار- زمان انفجار در تحلیل دینامیکی خطی می‌توان رابطهٔ ز-۲ پیوست **ز** را به‌کار برد. پس از تعیین الگوی بار انفجار، از تحلیل تاریخچه زمانی ارتجاعی برای تعیین پاسخ‌های سازه در برابر انفجار استفاده می‌شود.

۱۴-۱۵-۴ تحلیل دینامیکی غیرخطی

۱۴-۱۵-۴-۱ ملاحظات کلی

برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه، باید ضمن معرفی الگوی بار انفجار به صورت تابع زمان، مشخصات جرم، سختی و میرایی سازه به نحو مناسب در نظر گرفته شود. تحلیل باید قادر به پیش‌بینی رفتار دینامیکی سازه با میزان دقت مناسب باشد. مدل سازه‌ای باید مشخصات هندسی و پیکربندی سازه شامل طول دهانه‌ها، شرایط تکیه‌گاهی و مشخصات دینامیکی مصالح مصرفی در سازه را شامل شود. تابع ظرفیت اجزای سازه به‌صورت نمودار نیرو- تغییرشکل (تعمیم‌یافته) برای هر عضو مؤثر در باربری با توجه به سازوکار شکست آن عضو، پیکربندی و ظرفیت‌های مقطع تعریف می‌شود. باید تحلیل دینامیکی سازه، موارد زیر را به صورت شفاف به‌دست دهد:

الف- بیشینه تغییرشکل‌های نسبی هر عنصر سازه‌ای؛

ب- زوایای دوران نسبی در موقعیت‌های مفاصل خمیری؛

پ- واکنش‌های دینامیکی منتقل شده به عناصر تکیه‌گاهی؛

ت- تغییرشکل‌ها و واکنش‌های پس از باربرداری[1].

در روش تحلیل دینامیکی علاوه بر ضرایب افزایش مقاومت مصالح (SIF)، از ضرایب افزایش مقاومت دینامیکی (DIF) طبق زیربند ز-۹ پیوست **ز** استفاده خواهد شد. در این روش، عموماً با فرض رفتار کشسان- خمیری، از توزیع بار انفجار به صورت مثلثی با در نظر گرفتن بیشینه اضافه‌فشار در زمان $t = 0$ و اضافه‌فشار صفر در زمان $t = t_d$، استفاده می‌شود.

۱۴-۱۵-۴-۲ مدل تک‌درجه آزادی

مدل تحلیلی اولیه در طراحی اکثر سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، یک سامانهٔ یک‌درجه آزادی است. با آن که اکثر سازه‌ها دارای درجات آزادی بیش از یک هستند، بسیاری از سازه‌ها را می‌توان به‌صورت تک‌درجه نیز

1- Rebound

شبیه‌سازی نمود. دقت به‌دست‌آمده از این نوع مدل سازه‌ای، بستگی به این دارد که شکل تغییرشکل‌یافتهٔ سازه چقدر به سازهٔ واقعی شبیه است و همچنین این که آیا مقاومت آن نسبت به زمان قابل ارائه است یا خیر. برای اعضای اصلی باربر سازه مانند تیرچه، تیرهای اصلی، ستون‌ها، پانل‌های دیواری، دال‌های دیافراگم و دیوارهای برشی، استفاده از مدل تک‌درجه آزاد می‌تواند نتایج قابل قبولی به‌دست دهد. برای جزئیات بیشتر در خصوص این روش می‌توان به منابع [36] و [23] مراجعه کرد.

۱۴-۱۵-۴-۳ مدل چنددرجه آزادی

در خصوص سازه‌های قابی شکل چند طبقه شامل دال، تیرچه، تیر و ستون و سازه‌هایی که دارای جرم متمرکز قابل توجهی در تراز طبقات هستند، مدل چنددرجه آزادی می‌تواند نتایج دقیق‌تری نسبت به مدل تک درجه آزادی به‌دست دهد. نیروهای معادل ضربه جانبی ناشی از انفجار در تراز طبقات اعمال می‌شوند. با حل معادلات دیفرانسیل تعادل دینامیکی، می‌توان آثار نیروهای دینامیکی وارد بر سازه را تعیین نمود.

۱۴-۱۵-۵ روش تحلیل دینامیکی پیشرفته

در این روش، از نرم‌افزارهای اجزای محدود[1] برای تحلیل دینامیکی و بر پایه رفتار غیرخطی هندسی و مصالح استفاده می‌شود. به واسطهٔ وجود آثار غیرخطی مربوط به خواص خمیری و جابه‌جایی‌های بزرگ محتمل طی اعمال بارهای دینامیکی انفجاری، باید از رویکرد انتگرال‌گیری زمانی مستقیم[2] استفاده نمود. از بین روش‌های انتگرال‌گیری مستقیم، روش Newmark-β معمول‌ترین روش است. البته روش‌هایی مانند Houbult، روش Wilson-θ و روش تفاضل مرکزی[3] نیز متداول هستند. روش تحلیل دینامیکی پیشرفته با مدل اجزای محدود زمانی پیشنهاد می‌شود که یک یا چند یک از شرایط زیر برقرار باشد:

الف- نسبت بسامد طبیعی یک عضو به بسامد طبیعی سامانه تکیه‌گاهی در محدوده ۰٫۵ تا ۲٫۰ باشد به‌گونه‌ای که یک روش تحلیل ناهم‌بسته منجر به نتایج غیر دقیق شود؛

ب- واکنش‌های تکیه‌گاهی تابع زمان یا نیروهای اعضا برای ارزیابی سازه یا شالوده آن به تفصیل مورد نیاز باشد تا هزینه‌های سازه‌ای انجام تعمیرات پس از انفجار به حداقل برسد؛

پ- ارزیابی رفتار سازه‌ای کلی به‌منظور سنجش پایداری سازه‌ای (مانند کمانش قاب)، جابه‌جایی‌های ناخالص و آثار ثانویهٔ P-Δ مدنظر باشد؛

ت- سازه دارای ویژگی‌های نامعمول مانند عدم تقارن یا ویژگی‌های توزیع جرم و سختی غیر یکنواخت باشد.

1- Finite element programs
2- Direct time integration method
3- Central difference method

۱۴-۱۶ معیارهای پذیرش تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت در برابر انفجار

۱۴-۱۶-۱ سطوح آسیب‌دیدگی

برای سطوح آسیب‌دیدگی اعضای سازه‌ای در یک مجتمع صنعت نفت، جدول ۳۳ تعریف شده است.

جدول ۳۳- تعریف سطوح آسیب‌دیدگی اعضای سازه‌ای در یک مجتمع صنعت نفت

سطح آسیب‌دیدگی	شرح
زیاد	عناصر کلیدی سازه، یکپارچگی خود را از دست می‌دهند و حتی ممکن است فروریزش سازه تحت شرایط محیطی (نظیر باد، باران و برف) پس از انفجار رخ دهد. در این سطح، نباید بهره‌برداری از سازه ادامه یابد. هزینه تعمیرات سازه ممکن است با هزینه احداث مجدد برابری کند.
متوسط	آسیب در برخی عناصر قابل‌توجه است. سازه تا زمان تعمیر نباید مورد استفاده قرار گیرد. در برخی نواحی، عضو وارد مرحلهٔ غیرارتجاعی شده ولی قابل‌تعمیر خواهد بود. هزینهٔ تعمیرات قابل‌ملاحظه است.
کم	تغییرشکل قابل توجهی در عضو ایجاد نمی‌شود و صرفاً برخی آسیب‌های موضعی قابل مشاهده است. سازه قابل استفاده خواهد بود ولی به تعمیرات جزیی نیاز است.

۱۴-۱۶-۲ پاسخ عناصر سازه‌ای به انفجار

سه تراز پاسخ برای اعضای سازه‌ای در برابر انفجار تعریف می‌شود. این ترازها در جدول ۳۴ آمده است.

جدول ۳۴- تعریف سطوح آسیب‌دیدگی اعضای سازه‌ای در یک مجتمع صنعت نفت

تراز پاسخ	شرح
زیاد	عنصر دچار شکست نمی‌شود اما تغییرشکل قابل توجهی در آن ایجاد می‌شود تا حدی که قابل تعمیر نخواهد بود.
متوسط	عنصر دارای تغییرشکل دائمی می‌شود ولی در صورت لزوم عموماً قابل تعمیر است گرچه جایگزینی کامل آن از دیدگاه اقتصادی و زیبایی‌شناسی منطقی‌تر است.
کم	عنصر دچار آسیب ناچیز تا حدی است که قابل مشاهده نیست.
یادآوری- ترازهای پاسخ مندرج در جدول ۳۴ با ردیف‌های سطوح آسیب‌دیدگی در جدول ۳۳ در تناظر است.	

۱۴-۱۶-۳ معیارهای پاسخ

معیارهای پاسخ سازه شامل دو معیار پذیرش اصلی نسبت شکل‌پذیری، μ، و زاویهٔ دوران تکیه‌گاهی، θ برای سازه‌های فولادی در جدول ۳۵ و برای سازه‌های بتن مسلح و بنایی در جدول ۳۶ ارائه شده است.

جدول ۳۵- معیارهای پذیرش برای سازه فولادی[۱] [23]

عنصر مورد بررسی	پاسخ کم		پاسخ متوسط		پاسخ زیاد	
	μ_a	θ_a	μ_a	θ_a	μ_a	θ_a
اعضای فولادی نورد گرم فشرده ثانویه مانند تیرها، لاپه جانبی (Girts) و لاپه‌های اصلی (Purlins)[۲]	۳	۲	۱۰	۶	۲۰	۱۲
اعضای فولادی اصلی قاب (دارای نیروی محوری فشاری قابل ملاحظه)[۲، ۳ و ۴]	۱٫۵	۱	۲	۱٫۵	۳	۲
اعضای فولادی اصلی قاب (فاقد نیروی محوری فشاری قابل ملاحظه)[۲، ۳ و ۴]	۱٫۵	۱	۳	۲	۶	۴
ورق‌های فولادی[۷]	۵	۳	۱۰	۶	۲۰	۱۲
تیرچه‌های فولادی با جان باز	۱	۱	۲	۳	۴	۶
پانل‌های فولادی سبک سردنورد (با نواحی انتهایی ایمن)[۵ و ۸]	۱٫۷۵	۱٫۲۵	۳	۲	۶	۴
پانل‌های فولادی سبک سردنورد (فاقد نواحی انتهایی ایمن)[۶ و ۸]	۱٫۰	-	۱٫۸	۱٫۳	۳	۲
تیرها، لاپه‌های جانبی، لاپه‌های اصلی و سایر اعضای نورد گرم غیرفشرده ثانویه فولادی از نوع سبک سردنورد[۸]	۲	۱٫۵	۳	۳	۱۲	۱۰

[۱] حدود پاسخ ذکر شده در این جدول، در مورد اعضایی است که اساساً تحت خمش قرار دارند مگر اینکه مشخصاً خلاف این موضوع قید شده باشد. جایی خمش کنترل‌کننده است که مقاومت برشی حداقل ٪ ۱۲۰ ظرفیت خمشی باشد.

[۲] اعضای اصلی، عناصری هستند که از دست رفتن آن‌ها روی عناصر متکی بر آن‌ها تاثیر بگذارد و همچنین عناصری که از دست رفتن آن‌ها روی پایداری سازه‌ای کل سازه در منطقه تحت تاثیر، مؤثر باشد. اعضای ثانویه عناصری هستند که متکی بر اعضای اصلی قاب قرار دارند.

[۳] منظور از نیروی محوری فشاری قابل ملاحظه، وجود بار محوری فشاری بزرگ‌تر از ٪ ۲۰ ظرفیت محوری دینامیکی عضو است. فشار محوری باید طبق مقاومت نهایی عناصر متکی در معرض فشار انفجار منظور شود. در منبع PDC-TR 06-08 [37]، مثال‌های تفصیلی در مورد محاسبه فشار محوری و ظرفیت محوری دینامیکی ستون ارائه شده است. برای تحلیل اعضای تحت فشار محوری خالص به زیربند 5.6.2 راهنمای ASCE [23] مراجعه شود.

[۴] حدود جابه‌جایی جانبی برای قاب‌های خمشی فولادی در سه ردهٔ زیر طبقه‌بندی می‌شود:

جابه‌جایی نسبی کم: ارتفاع تقسیم بر ۵۰، جابه‌جایی نسبی متوسط: ارتفاع تقسیم بر ۳۵ و جابه‌جایی نسبی زیاد: ارتفاع تقسیم بر ۲۵

[۵] پانل‌ها باید در هر دو انتها با پیچ یا جوش محکم شوند.

[۶] پانل‌ها در هر دو انتها متصل نمی‌شوند (به عنوان نمونه پانل‌های سقف فلزی ایستا)

[۷] معیارهای پانل فولادی را می‌توان در مورد ورق‌های موج‌دار نیز اعمال کرد به شرطی که مودهای کمانش موضعی یا سایر مودهای پاسخ در تحلیل لحاظ شود. به زیربند 5.4.4 راهنمای ASCE [23] مراجعه شود.

[۸] فولاد سبک مصالح فولادی با ضخامت کوچک‌تر از ۳ mm است.

جدول ۳۶- معیارهای پذیرش برای سازه بتنی مسلح و مصالح بنایی مسلح[1] [23]

عنصر مورد بررسی	پاسخ کم		پاسخ متوسط		پاسخ زیاد	
	μ_a	θ_a	μ_a	θ_a	μ_a	θ_a
تیرها، دال‌ها و پانل‌های دیواری بتنی مسلح (بدون میلگرد برشی)		۱		۲		۵
تیرها، دال‌ها و پانل‌های دیواری بتنی مسلح (وجود میلگردهای وجه فشاری و میلگردهای برشی در نواحی بیشینه لنگر خمشی)		۲		۴		۶
مصالح بنایی مسلح		۱		۲		۵
دیوارها، دال‌ها و ستون‌ها (تحت خمش و بار محوری فشاری)[2]		۱		[4]۲		[4]۲
دیوارهای برشی بتنی مسلح و مصالح بنایی مسلح و دیافراگم‌ها	۳		۳		۳	
اجزای بتنی مسلح یا مصالح بنایی مسلح (کنترل‌شونده توسط برش، بدون نیروی برشی)	۱٫۳		۱٫۳		۱٫۳	
اجزای بتنی مسلح یا مصالح بنایی مسلح (کنترل‌شونده توسط برش، دارای نیروی برشی)	۱٫۶		۱٫۶		۱٫۶	
بتن پیش‌تنیده ($w_p \le 0.15$)[3]	۱			۱		۲
بتن پیش‌تنیده ($0.15 \le w_p \le 0.30$)[3]	۱		$\frac{۰/۲۵}{w_p}$	۱	$\frac{۰/۲۹}{w_p}$	۱٫۵

[1] حدود پاسخ ذکر شده در این جدول، در مورد اعضایی است که اساساً تحت خمش قرار دارند مگر اینکه مشخصاً خلاف این موضوع قید شده باشد.

[2] هنگامی قابل کاربرد است که بار محوری فشاری بزرگ‌تر از ٪ ۲۰ ظرفیت محوری دینامیکی عضو باشد. فشار محوری باید طبق مقاومت نهایی عناصر متکی در معرض فشار انفجار منظور شود. در منبع PDC-TR 06-08 [37]، مثال‌های تفصیلی در مورد محاسبهٔ فشار محوری و ظرفیت محوری دینامیکی ستون ارائه شده است. به‌منظور تحلیل اعضای تحت فشار محوری خالص به زیربند 5.6.2 راهنمای ASCE [23] مراجعه شود.

[3] w_p شاخص تسلیح است که برابر است با: $w_p = (A_{ps}/bd_p)(f_{ps}/f'_c)$

که در آن:

A_{ps} سطح مقطع فولاد پیش‌تنیدگی در ناحیه کششی؛

b پهنای عضو؛

d_p عمق عضو تا مرکز سطح فولاد پیش‌تنیدگی؛

f_{ps} تنش محاسباتی در فولاد پیش‌تنیدگی تحت بار طراحی؛

f'_c مقاومت فشاری مشخصه بتن.

[4] دوران تکیه‌گاهی ۴ درجه صرفاً برای عناصر بتنی مسلحی مجاز است که دارای میلگرد در وجه فشاری و میلگرد برشی در نواحی بیشینه لنگر خمشی باشند.

۱۴-۱۷ حالات حدی طراحی و ترکیبات بارگذاری شامل بار انفجار

برای طراحی سازه مقاوم در برابر انفجار، از روش طراحی مبتنی بر حالات حدی استفاده می‌شود. این روش قادر به پیش‌بینی جامع، قابل اطمینان و نزدیک به واقعیت سازوکارهای خرابی و ظرفیت‌های سازه‌ای ا ست. مقررات طراحی مبتنی بر حالات حدی برای طراحی سازه‌های فولادی، فولاد سردنورد، بتن مسلح، آلومینیم و

سازه‌های بنایی مسـلح در دسترس است که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به استانداردهای AISC 360 و ACI 318 به ترتیب برای طراحی سازه‌های فولادی و بتن مسلح اشاره کرد. در استانداردهای مورد اشاره، ضوابط ویژه‌ای برای طـراحی لرزه‌ای سازه‌ها وجود دارد که می‌تـواند برای طراحی سازهٔ مقاوم در برابر انفـجار نیز به کار رود. این ضـوابط برای جلوگیـری از مودهای شکست ترد نظیـر کمانش یا خـردشدگی زودهنگام مصـالح همراه با جزئیات ویژه به‌منظور تأمین شکل‌پذیری تدارک دیده شده است.

بار انفجار را بایـد در ترکیب با بارهـای دائمی و بهره‌برداری منظور کرد و نیازی به ترکیب بار انفجار با آثار باد و زلزله نیست. برای طراحی تأسیسات و سازه‌های واقع در یک مجتمع صنعت نفت، ترکیب بار مبنا برای انواع سازه‌ها با مصالح متفاوت به روش حالات حدی را می‌توان به این صورت تعیین کرد:

$$1.0(DL)+1.0(LL)+1.0(BL) \qquad (۵۸)$$

که در آن:

DL بارهای دائمی؛

LL بارهای بهره‌برداری (مثل بارهای زنده)؛

BL بار انفجار.

یادآوری ۱- به منظور طراحی سازه‌های ساختمانی، می‌توان بار انفجار را یک بار غیرعادی محسـوب نمود و ترکیبات بارگـذاری مربـوط به آن را با توجـه به زیربند ۵-۴ این استاندارد تعیین کرد. دقت شـــود در این صورت ضریب بارهای دائمی دارای کران پایینی ۰٫۹ و کران بالایی ۱٫۲ بوده، ضریب بارهای بهره‌برداری هم، بسته به شرایط سازه، می‌تواند تا ۰٫۵ کاهش پیدا کند.

یادآوری ۲- در طراحی سـازه‌های مقـاوم در برابر انفـجار به روش ضرایب بار و مقاومت، برای تعیین ظرفیت اجـــزای سازه‌ای، ضریب کاهش مقاومت، ϕ، برابر با یک فرض می‌شود.

یادآوری ۳- قاعدهٔ ترکیب جهتی آثار بار انفـجار، توسط مطالعات ایمنی فرایندی با توجه به موقعیت چشمهٔ انفجاری نسبت به سازه تعیین می‌شود.

۱۴-۱۸ طراحی شالوده در برابر انفجار

۱۴-۱۸-۱ ملاحظات کلی

به‌طور معمول، ظرفیت کلی یک سـازه در برابر انفـجار توســط شـالودهٔ آن حاکم نمی‌شود زیرا مقاومت ذاتی برای جلوگیری از شـکست یا جابه‌جایی فزاینده در شالوده وجود دارد. اما جابه‌جایی‌های دینامیکی زیاد ناشی از بار انفـجاری ممکن است منجـر به آسـیب غیرقابل پذیرش در شـالوده شود که به خاطر عدم دسترسی به آن، شناسایی و تعمیـر آن دشوار خواهـد بود. شالودهٔ ســـازه‌های مقاوم در برابر انفجار دارای صلبیت بیشتری نسبت به ســـازه‌های عـادی هستند. جابه‌جایی‌های نســـبی بین سـتون‌ها و دیـوارها باید به حداقـل برسد تا یکپارچگی سـازه‌ای حفـــظ شود. در طـراحی شـالوده‌های سـطحی مقـاوم در برابر انفـجار، مشـــابه طراحی سـازهٔ مقاوم در برابر زلـزله باید از کلاف‌های افـقی رابـط بیـــــن پی‌ها یا شـمع‌های منفرد اسـتفاده کرد و یا

این که شالوده‌های گسترده[1] را مورد استفاده قرار داد. به واسطه بزرگ بودن بارهای انفجاری در مقایسه با بارهای متعارف وارد بر سازه، می‌توان از شمع‌های مایل برای تحمل بارهای انفجار استفاده نمود. اتصالات سازه‌ای عناصر نگهدارنده جانبی نظیر شمع‌های مایل باید با جزئیات دقیق طراحی شوند.

یادآوری- استفاده از شمع‌های مایل ممکن است از دیدگاه طراحی در برابر زلزله، محدودیت‌هایی را برای سازه‌های مورد نظر برای احداث در مناطق لرزه‌خیز ایجاد نماید که باید در طرح مدنظر قرار گیرد. این موضوع به طور ویژه در مورد اسکله‌ها در پیوست **ث** مورد اشاره قرار گرفته است.

۱۴-۱۸-۲ تعیین نیروهای برکنش ناشی از انفجار

تحت برخی شرایط اعمال بار انفجار، نیروهای برکنش زیادی ممکن است در شالوده ایجاد شود که از حد ظرفیت برکنش پی تجاوز کند. در این مورد، میل‌مهارها را باید برای وزن شالوده همراه با وزن خاک روی آن (برای شالوده مدفون) طراحی کرد و چنانچه قیدی برای برکنش وجود داشته باشد، آثار اینرسی شالوده و خاک به جای واکنش بیشینه برکنش ستون که از یک مدل تحلیلی به‌دست می‌آید تعیین می‌شود. آثار اینرسی را می‌توان با استفاده از یک زیرمدل ساده‌شدهٔ جداگانه[2] یا نمودار جسم آزاد سامانهٔ شالوده و اعمال نیروی واکنش دینامیکی به‌صورت بار تابع زمان تخمین زد. انعطاف‌پذیری افزایش‌یافتهٔ ستون یا میل‌مهارها را باید در این زیرمدل ساده‌شده در نظر گرفت و در غیر این صورت، تحلیل مدل جسم صلب منجر به هیچ کاهشی در نیروهای طراحی میل‌مهار نخواهد گردید. تخمینی از برکنش بیشینهٔ شالوده را می‌توان با اعمال اصول اندازه حرکت- ضربه و کار- انرژی به‌دست آورد.

۱۴-۱۸-۳ انتخاب سامانهٔ شالوده

عموماً برای سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، شالودهٔ گسترده توصیه می‌شود. نباید از دال‌های شناور[3] به عنوان یک دیافراگم در طراحی شالوده استفاده کرد زیرا این دال‌ها فاقد شرایط تکیه‌گاهی مناسب برای دیوارها ه ستند. روش برتر طراحی شالوده یکپارچه آن ا ست که دیواره‌های شالوده باید به صورت یکپارچه با دال و دیواره‌های بتنی یا مصالح بنایی در تراز دال بتن‌ریزی شوند. این روش طراحی موجب می‌شود خاک بین دیوارهای شالوده محبوس شود و جرم سامانه شالوده افزایش یابد و مقاومت بیشتری در برابر انفجار تأمین شود و در عین حال، جابه‌جایی‌های افقی کاهش پیدا کند.

اتصال مناسب بین شالوده و روسازه پیش‌ساخته باید تأمین شود تا اطمینان حاصل شود شالوده، بخشی یکپارچه از سامانهٔ مقاوم در برابر انفجار است. نیروی افقی اتصال ناشی از انفجار نباید از نیروی اصطکاک بین بتن شالوده و خاک فراتر رود. در محاسبهٔ مقاومت جانبی باید از فشار مقاوم[4] خاک در اطراف شالوده که از زمین مجاور به میزان ۰٫۶ m پایین‌تر است صرف‌نظر کرد. در مواردی که شرایط زیرسطحی خاک ضعیف

1- Mat foundation
2- Isolated simplified sub-model
3- Floating slab
4- Passive pressure

است (مانند وجود خاک نرم قابل تراکم)، ممکن است به شالوده‌های شمعی برای تأمین بخشی از مقاومت جانبی در برابر بارهای انفجار نیاز باشد. در تعیین ظرفیت‌های نهایی خاک و شمع، نرخ اثر بارگذاری ناشی از بار ضربه‌ای (تکانه) که عموماً منجر به مقاومت بزرگ‌تری می‌شود را می‌توان منظور کرد.

یادآوری ۱- مقاومت مجاز دینامیکی خاک باید بر اساس نتایج گزارش مطالعات ژئوتکنیک با منظور کردن اثرات نشست نامتقارن و نشست کلی مجاز خاک به دست آید.

یادآوری ۲- به منظور تعیین آثار اندرکنش خاک- سازه و مشخص کردن آثار سختی خاک زیر پی سطحی یا اطراف پی عمیق، باید به منبع [1] مراجعه شود.

۱۴-۱۸-۴ بارهای انفجاری وارد بر شالوده

شالوده باید به گونه‌ای طراحی شود که قادر باشد واکنش‌های دینامیکی مربوط به سازه ناشی از بار انفجار را تحمل کند. در مورد سازه‌های شبه ساختمان، باید شالوده بیشینه اضافه‌فشارهای زیر را تحمل کند:

الف- حداکثر اضافه‌فشار ارتجاعی، P_r، وارد بر یک از دیوارها؛

ب- حداکثر اضافه‌فشارهای وارد بر بام، P_f؛

پ- بارهای دائمی، DL، و بهره‌برداری، LL.

۱۴-۱۸-۵ روش‌های تحلیل شالوده در برابر انفجار

۱۴-۱۸-۵-۱ روش ایستای معادل

در روش تحلیل ایستا، شالوده‌ها باید برای واکنش‌های بیشینه ناشی از تحلیل دینامیکی سازه طراحی می‌شوند. این واکنش‌ها به‌صورت بارهای ایستای هم‌زمان بدون توجه به رابطهٔ بار انفجار با زمان منظور می‌گردند. تحت شرایط اعمال بار انفجار، بیشینه ظرفیت باربری خاک و فشارهای مقاوم برای جلوگیری از جابه‌جایی فزاینده شالوده باید مورد استفاده قرار داده شود.

ضرایب اطمینان (تعریف شده به‌صورت نسبت ظرفیت نهایی عناصر شالوده به ترکیب بارهای مرده و انفجار) در روش تحلیل ایستای معادل باید طبق جدول ۳۷ منظور شود.

یادآوری ۱- اطلاعات بیشتر در مورد روش تحلیل ایستای شالوده در برابر انفجار در منبع TM5-856 [38] آمده است.

یادآوری ۲- در هیچ وضعیتی نباید ظرفیت شالوده در برابر انفجار، از ظرفیت ایستایی نهایی سازه واقع بر آن کوچک‌تر اختیار شود.

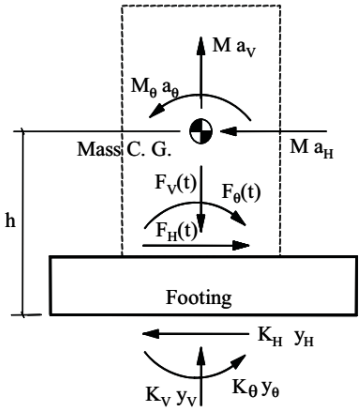
یادآوری ۳- در برخی ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار در مجتمع‌های صنعتی (مانند ساختمان کنترل، پست برق و ...)، ممکن است کنترل پایداری سازه برای واژگونی یا لغزش، حاکم بر طراحی باشد.

جدول ۳۷- ضرایب اطمینان طراحی شالوده در روش تحلیل ایستای معادل [23]

بارهای وارد بر شالوده	ضریب اطمینان
بارهای قائم وارد بر خاک	۱٫۲
بارهای قائم وارد بر شالودهٔ شمعی	۱٫۲
بارهای جانبی وارد بر شمع‌های قائم همراه با مقاومت غیرفعال یا بدون آن	۱٫۵
بارهای جانبی وارد بر شمع‌های مایل بدون مقاومت غیرفعال	۱٫۲
بارهای جانبی وارد بر شمع‌های مایل با مقاومت غیرفعال	۲٫۰
بار جانبی تحمل شده توسط مقاومت اصطکاکی بین خاک و زیر پی گسترده یا منفرد (کنترل لغزش)	۱٫۰
بارهای جانبی (غلبه‌کننده بر اصطکاک) تحمل شده توسط مقاومت غیرفعال	۱٫۵
کنترل واژگونی	۱٫۲

۱۴-۱۸-۵-۲ روش دینامیکی

روش ایستای معادل تشریح شده در زیربند ۱۴-۱۸-۵-۱ به‌طور گسترده برای طراحی تأسیسات صنعت نفت مورد کاربرد است اما ممکن است استفاده از آن برای برخی شالوده‌ها غیرعملی یا غیراقتصادی باشد. در آن صورت می‌توان از روش تحلیل دینامیکی استفاده کرد. در تحلیل دینامیکی، اینرسی جرمی شالوده برای مقاومت در برابر بار انفجار منظور می‌شود که این موضوع موجب طرح اقتصادی‌تر شالوده خواهد شد. نیروهای وارد بر شالوده در شکل ۴۰ نشان داده شده است.



شکل ۴۰- نیروهای خارجی وارد بر شالوده در روش تحلیل دینامیکی [23]

معادلات حرکت را می‌توان از تعادل نیروها و لنگرهای وارد بر مرکز ثقل شالوده به این صورت بیان کرد:

برای نیروهای قائم:

$$Ma_V + K_V y_V = F_V(t) + F_s \qquad (۵۹)$$

برای نیروهای افقی:

$$Ma_H + K_H(y_H - y_\theta h) = F_H(t) \qquad (۶۰)$$

و برای دوران:

$$M_\theta a_\theta + K_\theta y_\theta - K_H(y_H - y_\theta h)h = F_\theta(t) \quad (۶۱)$$

که در آن‌ها:

a_H شتاب افقی؛

a_V شتاب قائم؛

a_θ شتاب دورانی؛

F_H نیروی دینامیکی افقی؛

F_V نیروی دینامیکی قائم؛

F_θ نیروی دینامیکی دورانی؛

g شتاب ثقل؛

h فاصله از کف پی تا مرکز ثقل سازه؛

K_H سختی افقی خاک زیر پی؛

K_V سختی افقی خاک زیر پی؛

K_θ سختی دورانی خاک زیر پی؛

M جرم سازه مستقر بر شالوده؛

M_θ ممان اینرسی جرمی حول مرکز ثقل؛

y_H تغییرشکل افقی شالوده؛

y_V تغییرشکل قائم شالوده؛

y_θ دوران شالوده.

یادآوری ۱- مقادیر سختی خاک زیر پی (شامل پارامترهای K_H، K_V و K_θ) توسط ظرفیت‌های باربری خاک و جابه‌جایی‌های مورد نیاز برای بسیج شدن آن‌ها محدود می‌شود. این پارامترها باید توسط مشاور ژئوتکنیک و بر اساس روش ارائه شده در [1] تخمین زده شوند.

یادآوری ۲- برگشت جابه‌جایی و برکنش[1]، می‌تواند موجب ایجاد مقاومت صفر شود و این موضوع باید در تحلیل منظور شود. برای این موضوع، باید فنرهای معادل خاک صرفاً به‌صورت فشاری عمل کنند و حذف فنرهای کششی باید در مدل شالوده صورت پذیرد.

1- Reversals of movement & uplift

یادآوری ۳- مقاومت برکنش نهایی شالوده‌های سطحی مدفون و شالوده‌های شمعی عمدتاً قابل توجه است گرچه جابه‌جایی متناظر با چنین مقاومتی ممکن است با وضعیت بارگذاری قائم فشاری (رو به پایین) تفاوت زیادی داشته باشد.

یادآوری ۴- سختی افقی خاک زیر پی، K_H بر اساس اصطکاک، چسبندگی و فشار مقاوم (غیرفعال) متناسب با بازوی لنگر، h به‌دست می‌آید. در شالوده‌های سطحی در معرض هم‌زمان نیروهای جانبی و برکنش، اصطکاک لغزشی جانبی زیر پی کمی از دست می‌رود گرچه مقاومت غیرفعال خاک مجاور شالوده همچنان قابل اتکا خواهد بود.

یادآوری ۵- با تعیین توابع نیرو و واکنش‌ها از عناصر متکی بر شالوده، جابه‌جایی‌ها و دوران‌های شالوده با استفاده از یک انتگرال‌گیری عددی غیرخطی حاصل می‌شود. توجه شود که جابه‌جایی‌های جانبی و دورانی، هم‌بسته[1] هستند و نیاز به یک انتگرال‌گیری عددی اصلاح شده برای دو درجه آزادی وجود دارد. چنانچه جابه‌جایی‌های بیشینه اعداد غیرقابل پذیرشی باشند، باید ابعاد شالوده را گسترش داد تا سطح تماس با خاک افزایش یابد یا اینکه عمق دفن را زیاد کرد تا مقاومت غیرفعال خاک بهبود پیدا کند. سعی و خطا تا مرحله‌ای ادامه پیدا خواهد کرد که طرح رضایت‌بخش حاصل شود.

یادآوری ۶- سازه‌های قابی شکل انعطاف‌پذیر، تأثیر قابل توجهی روی رفتار دینامیکی شالوده نمی‌گذارند و بنابراین نیازی به منظور کردن جرم سازه در محاسبات دینامیکی شالوده نیست. در سازه‌های دارای دیوارهای برشی، اثر سازه روی رفتار دینامیکی شالوده پررنگ‌تر است و باید در تحلیل لحاظ شود. عموماً مدل شالوده باید شامل کلیه عناصر سازه‌ای باشد که به‌صورت صلب رفتار می‌کنند و همراه با شالوده جابه‌جا می‌شوند.

یادآوری ۷- جابه‌جایی‌های مجاز شالوده معمولاً بر اساس قضاوت مهندسی طراح و یا محدودیت‌های بهره‌برداری تعیین می‌شود. مشابه عناصر سازه‌ای، معمولاً محدود کردن جابه‌جایی‌های شالوده به مقادیر ارتجاعی ممکن نیست. لذا میزان معینی رواداری برای لغزش یا واژگونی در طرح منظور می‌شود. لذا مهندس طراح باید موارد مرتبط با تعمیر و استفادهٔ مجدد از سازه پس از رخداد انفجار و همچنین تأثیر جابه‌جایی شالوده روی تجهیزات زیر زمین و جابه‌جایی ناهمسان شالوده روی عناصر سازه‌ای را مدنظر قرار دهد.

۱۴-۱۹ عناصر غیرسازه‌ای مقاوم در برابر انفجار

۱۴-۱۹-۱ درها و پنجره‌ها

۱۴-۱۹-۱-۱ بارگذاری انفجاری

به‌طور کلی درها در سازه‌های ساختمانی مستقر در مجتمع‌های صنعتی به عنوان عناصری ضعیف در برابر موج انفجار به شمار می‌آیند و به واسطهٔ وجود بازشو در سازه، در صورت ضعیف بودن «در»، بازشو به عنوان بزرگ‌ترین منشأ نفوذ موج انفجار عمل خواهد کرد. عموماً درهای مقاوم در برابر انفجار، نسبت به درهای معمولی، از وزن بزرگ‌تری برخوردار هستند و هرچه وزن بیشتر باشد، عموماً مقاومت آن در برابر موج انفجاری بزرگ‌تر است. می‌توان از درهای سبک‌تر حاوی الیاف شیشه[2] نیز استفاده کرد ولی باید توجه داشت مقاومت این درها در برابر انفجار نسبت به درهای فولادی کوچک‌تر است.

1- Coupled
2- Fiber glass

درهای بیرونی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار باید در یکی از سه ردهٔ زیر برای تحمل بارهای انفجاری مربوطه بیان شده در جدول ۳۸ طراحی شوند. در رفتار ارتجاعی، یک نیروی ایستای معادل نصف نیروی دینامیکی با مدت تداوم نامحدود فرض می‌شود.

یادآوری- برای باقی ماندن در حوزه ارتجاعی، مقدار نیروی ایستای اعمالی به «در» برابر با نصف مقدار نیروی دینامیکی اعمال شده در مدت زمان بی‌نهایت فرض می‌شود.

جدول ۳۸- بارهای طراحی درهای مقاوم در برابر انفجار، P_r [23]

نوع در	فشار ایستای معادل kPa
سبک[1]	۲۱
متوسط[2]	۲۱ تا ۱۷۲
سنگین[3]	بزرگ‌تر از ۱۷۲

۱۴-۱۹-۱-۲ رده‌های عملکردی و معیارهای پذیرش

معیارهای پذیرش درها در ۴ رده عملکردی بیان شده در جدول ۳۹ طبقه‌بندی می‌شود. بر اساس مطالعات ایمنی فرایندی یا پدافند غیرعامل، این رده‌های عملکردی متناظر با سطح‌بندی حفاظتی انتخاب می‌شود.

۱۴-۱۹-۲ پنجره‌ها

استفاده از پنجره‌های شیشه‌ای متعارف به هیچ عنوان برای ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار واقع در مجتمع‌های صنعتی حتی برای اضافه‌فشارهای تا ۱٫۴ kPa مناسب نیست. بسیاری از جراحات وارد به افراد پس از وقوع انفجار مربوط به شکست شیشه پنجره‌ها است و از این رو باید در انتخاب پنجره‌های مقاوم در برابر انفجار دقت لازم صورت پذیرد. در صورت نیاز به وجود پنجره، جنس شیشهٔ آن باید از نوع پرمقاومت و مواد لعاب‌دار[4] مانند شیشه چند لایه[5]، پلی کربنات همراه با لایه داخلی پلاستیکی متناسب با اضافه‌فشار طرح باشد. پنجره‌ها را باید برای تحمل بارهای انفجاری معادل دیوارها طراحی کرد. برخی سازمان‌های معتبر برای حملات تروریستی قوی همراه با دوام کوتاه محصولاتی را پیشنهاد می‌دهند که متناسب با تأسیسات و سازه‌های صنعتی مانند صنعت نفت نیست؛ اما این محصولات قادر هستند حفاظت مناسبی در برابر خرده‌شیشه‌های حاصل از انفجار تودهٔ ابر بخار و گاز و همچنین انفجار ظروف تحت فشار ایجاد کنند. کمینه بار انفجار مورد تأیید، اضافه‌فشاری معادل ۲۸ kPa با تکانهٔ ۱۹۳ kPa-ms است. کمینه بار انفجار مورد تأیید

1- Low-range door
2- Mid-range door
3- High-range door
4- Glazing materials
5- Laminated glass

اضافه‌فشاری معادل kPa ۴۱ با تکانه kPa-ms ۲۹۰ است. به علت تداوم بالاتر انفجار تودهٔ ابر بخار و گاز در صنایع نفت، محصولات مورد اشاره را باید برای اضافه‌فشارهای کوچک‌تری به‌کار برد.

جدول ۳۹- رده‌بندی عملکردی و معیارهای پذیرش درهای مقاوم در برابر انفجار [23]

رده	معیارهای پذیرش	توضیحات
۱	پس از رخداد انفجار، «در» قابل باز و بسته شدن باشد و از معیارهای طراحی (تنش و محدوده تغییرشکل دایمی) خارج نشود. ضریب شکل‌پذیری، μ، کوچک‌تر یا مساوی با ۱ (محدوده ارتجاعی) و دوران انتهایی، θ، برابر با $^{\circ}$ ۱٫۲ قابل پذیرش است. در این رده، اضافه‌فشار انفجار برابر با P_r (مورد اشاره در جدول ۳۸) به‌صورت رفت و برگشتی منظور می‌شود.	این‌رده هنگامی به‌کارمی‌رود که «در» برای تحمل وقوع انفجارهای پی در پی طراحی می‌شود یا آنکه محبوس‌شدن کارکنان به عنوان یک نگرانی مطرح بوده، «در» به عنوان خروجی اصلی سازه مدنظر باشد.
۲	پس از انفجار، «در» قابل باز و بسته شدن باشد اما ایجاد تغییرشکل دائمی قابل توجه در آن قابل پذیرش است. ضریب شکل‌پذیری، μ، بین ۲ تا ۳ و دوران انتهایی، θ، برابر با $^{\circ}$ ۲ قابل قبول خواهد بود. در این رده، اضافه‌فشار انفجار برابر با P_r (مورد اشاره در جدول ۳۸) به‌صورت رفت و برگشتی منظور می‌شود.	در این رده، «در» باید حتماً قابل بهره‌برداری باشد و این رده زمانی به‌کار می‌رود که حبس‌شدن کارکنان به عنوان یک نگرانی مطرح باشد. به عنوان نمونه برای یک تلمبه‌خانهٔ نفت، این رده عملکردی را می‌توان برای سطح حفاظت ۱ در نظر گرفت و از جمله مصادیق آن می‌توان به «در» ورودی اصلی ساختمان اتاق واپایش اشاره کرد.
۳	در این رده عملکردی، نباید هیچ شکست فاجعه‌باری ایجاد شود. «در» باید پس از رخداد انفجار به صورت باز باقی بماند. هیچ شکست سازه‌ای اساسی نباید در ساختار «در» و سامانه سخت‌افزاری مقیدکننده آن، قاب یا مهار آن ایجاد شود تا به‌عنوان مانعی در برابر انتشار موج انفجار عمل نماید. ضریب شکل‌پذیری، μ، بین ۵ تا ۱۰ و دوران انتهایی، θ، کوچک‌تر یا مساوی $^{\circ}$ ۸ قابل قبول است. در این رده، اضافه‌فشار انفجار برابر با P_r (مورد اشاره در جدول ۳۸) به صورت رفت و برگشتی منظور می‌شود.	این‌رده زمانی به‌کارمی‌رود که احتمال حبس‌شدن کارکنان وجود ندارد. به عنوان نمونه برای یک تلمبه‌خانه نفت، این رده عملکردی را می‌توان برای سطح حفاظت ۲ در نظر گرفت و از جمله مصادیق آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: • درهای اتاق HVAC در ساختمان کنترل؛ • درهای اتاق باطری؛ • درهای قرارگرفته در دیواره خارجی اتاق Switch Gear؛ • در مربوط به فضای قرارگیری پمپ‌های آب آتش‌نشانی در ساختمان آتش‌نشانی.
۴	نیروی برگرداننده بیرونی* و شکست ناشی از آن قابل پذیرش است.	به‌عنوان نمونه برای یک تلمبه‌خانهٔ نفت، این رده عملکردی را می‌توان برای سطح حفاظت صفر در نظر گرفت و در این رده، نیازی به طراحی در برابر بار انفجار نیست.
* Outward rebound force		

۱۴-۱۹-۳ بازشوهای تأسیساتی[1]

ساختمان‌های واقع در یک مجتمع صنعتی به‌جز «در» و پنجره، دارای بازشوهای عبور هوا، اگزوز، کابل‌های برق و ابزاردقیق و لوله‌کشی‌های خدماتی مانند ساختمان‌های متعارف هستند. در مورد ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار، معمولاً ورود لوله‌ها و کابل‌ها به‌صورت زیرزمینی انجام می‌شود. از ادواتی مانند میراگرهای انفجار[2] و مستهلک‌کننده‌های انفجار[3] در سامانهٔ تهویه می‌توان برای مقاومت تأسیسات در برابر انفجار استفاده کرد. میراگرهای انفجار ابزاری با عناصر مکانیکی هستند که در عرض چند ms رسیدن موج انفجار بسته می‌شوند. این ابزارها دارای این قابلیت هستند که پس از انفجار بسته شوند یا مجدداً پس از عبور موج انفجار باز شوند. مستهلک‌کننده‌های انفجار هم ابزاری مشابه میراگرهای انفجار هستند با این تفاوت که دارای قطعات جابه‌جاشونده نیستند. این ابزار به‌صورت دستگاه‌هایی ثابت هستند که آثار موج انفجار را با کاستن اضافه فشار داخلی مستهلک می‌کنند. این مستهلک‌کننده‌ها برای انفجار با دوام کوتاه مناسب هستند. تمرکز بالای کابل‌ها یا مجراهای فاقد محافظ می‌تواند منجر به ورود موج‌های انفجاری شدید شود. با استفاده از ابزار مخصوص، فواصل حلقوی اطراف کابل یا مجرا به طور کامل محصور می‌شود. به‌عنوان راهکاری دیگر می‌توان از ورق‌های پرکننده نیز استفاده کرد.

۱۴-۱۹-۴ درزهای انقطاع

تا حد امکان باید از تعبیه درزهای انقطاع و بازشوهای سازه‌ای در ساختمان‌های مقاوم در برابر انفجار اجتناب نمود. چنانچه بنا به دلایل فنی استفاده از چنین ناپیوستگی‌های سازه‌ای گریزناپذیر باشد، لازم است که اثرات درزهای انقطاع و بازشوهای سازه‌ای در تحلیل و طراحی سازه و پاسخ آن به بارگذاری انفجاری در نظر گرفته شود تا طراح از عدم ایجاد نقطه ضعف در موقعیت تعبیه این بازشوها در اجزای سازه‌ای اطمینان حاصل کند. همچنین برای جلوگیری از نفوذ موج انفجار از طریق این ناپیوستگی‌ها به داخل فضاهای بسته، لازم است از تمهیدات مختلف از جمله نصب اجزای پرکنندهٔ انعطاف‌پذیر استفاده شود.

1- Utility openings
2- HVAC blast dampers
3- HVAC blast attenuators

پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

چگالی مواد و مصالح (تکمیل‌کننده پیوست شماره ۶-۲ منبع [4])

در این پیوست، مقادیر چگالی مواد و مصالح اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای در قالب جدول الف-۱ ارائه می‌شود. در صورتی که این موارد، با موارد ذکرشده در پیوست شماره ۶-۲ منبع [4] مشابهت داشته باشد، موارد ذکر شده در این استاندارد ملاک عمل خواهد بود. همچنین فشار وارد بر سطوح سازه از طرف برخی مصالح پرکاربرد در سازه‌ها در جدول الف-۲ بیان گردیده است. زاویهٔ شیب طبیعی و مقادیر چگالی مصالح انبار شده نیز در جدول الف-۳ ارائه شده است.

جدول الف-۱- مقادیر جرم حجمی مواد و مصالح به‌کار رفته در اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای

جرم حجمی kgf/m^3	مصالح	جرم حجمی kgf/m^3	مصالح
	آجرها و بلوک‌های ساختمانی		چوب (در هوای خشک و بیشینه رطوبت ٪۱۵)[1]
	آجر پختهٔ رسی		چوب جنگلی (چوب سفت)
۱۶۰۰	مقاومت فشاری تا ۱۴ MPa	۶۸۰	درخت راش
۱۸۰۰	مقاومت فشاری بیش از ۱۴ MPa	۶۹۰	درخت بلوط
۱۶۰۰	چنانچه حجم سوراخ‌ها از ٪ ۲۵ حجم آجر بیشتر باشد	۸۰۰	اقاقیای بلند برزیلی
۸۲۰ تا ۱۳۵۰	آجر سفال	۶۴۰ تا ۷۷۰	بلوط ترکیه‌ای
۱۱۵۰ تا ۱۴۵۰	آجر سوراخ‌دار	۶۴۰	درخت سرخدار
۱۷۰۰	آجر ماسه آهکی		چوب سفت استرالیایی
۱۶۰۰	آجر چینه، آجر خام	۱۱۲۰	شمشاد، غان
۱۸۵۰	آجر نسوز جهت مصارف عمومی		**چوب نرم**
۱۸۵۰	خاک نسوز	۵۷۰	کاج سیاه
۲۱۰۰	خاک نسوز مقاومت بالا	۵۵۰	درخت صنوبر
۱۸۰۰	سیلیس	۴۳۰	صنوبر نروژی
۲۸۰۰	کربنات منیزیم	۳۸۰ تا ۴۴۰	کاج
۳۰۰۰	کرومات منیزیم	۴۹۰	کاج اسکاتلندی
۲۶۰۰	سنگ سنباده	۳۳۰	درخت بید سفید
	آجرهای پوششی	۴۱۰	درخت تبریزی پهن پیکر
۱۶۰۰	پوشش دیوارهای داخلی	۴۱۰ تا ۴۵۰	درخت تبریزی لرزنده
۱۸۰۰	پوشش نمای بیرونی	۴۰۰ تا ۶۰۰	درختانی که میوه مخروطی دارند
۲۰۰۰	پوشش نمای بیرونی با آجر لعابی	۵۰۰ تا ۷۵۰	نئوپان
	آجر جوش		**فیبر**
	بلوک‌های سیلیکاتی متخلخل	۹۰۰ تا ۱۱۰۰	سفت
۵۰۰	با مقاومت فشاری ۲ MPa	۶۰۰ تا ۸۵۰	نسبتاً سفت
۷۰۰	با مقاومت فشاری ۵ MPa	۲۵۰ تا ۴۰۰	متخلخل پوشش‌دار
۹۰۰	با مقاومت فشاری ۷٫۵ MPa	۷۵۰ تا ۸۵۰	تخته چند لا
۲۰۰۰	آجر ضد اسید	۴۵۰ تا ۶۵۰	تخته ساندویچی
۱۱۰۰	بلوک توفی با با مقاومت فشاری ۵ MPa		**سنگ‌های ساختمانی طبیعی**
۸۷۰ تا ۱۱۰۰	آجر شیشه‌ای، دوجداره	۲۶۵۰ تا ۳۰۰۰	سنگ‌های آذرین ماگماتیک
	ملات‌ها	۲۵۰۰ تا ۲۸۵۰	سنگ‌های ولکانیت ماگماتیک
۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰	ملات ماسه آهک	۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰	توف‌های آذرین
۱۷۵۰ تا ۲۰۰۰	ملات ماسه سیمان و آهک (باتارد)		**سنگ‌های رسوبی**
۲۱۰۰	ماسه سیمان (مقاومت بیش از ۲٫۵ MPa)	۲۷۰۰	ماسه سنگ
۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰	ملات پودر سنگ	۲۳۰۰	مارل
۱۹۰۰	ملات گچ	۱۷۰۰ تا ۲۲۰۰	سنگ آهک متخلخل

جرم حجمی kgf/m^3	مصالح	جرم حجمی kgf/m^3	مصالح
۲۱۰۰	ملات خاک نسوز	۲۴۰۰	سنگ آهک آبی
	ملات پرلیت	۲۶۵۰ تا ۲۸۰۰	سنگ آهک سخت
۳۴۰	آهکی	۲۸۰۰	دولومیت
۳۷۰	گچی		**سنگ‌های دگرگونی**
۴۴۰	سیمانی	۲۶۰۰	سنگ رسی
۱۷۰۰	ملات قیری با ماسه رودخآن‌های	۲۷۰۰	سنگ مرمر
	بتن[۲]	۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰	بتن با خرده آجر
۲۲۵۰ تا ۲۵۰۰	بتن با شن	۱۶۰۰ تا ۱۹۰۰	بتن با سرباره کوره آهن‌گدازی
۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰	بتن با سنگ بازالت	۶۰۰ تا ۱۵۰۰	بتن هوادار و گازی
	فلزات برای سازه‌ها	۷۰۰ تا ۱۷۰۰	بتن با شن و رس منبسط شونده
۷۸۵۰	فولاد ساختمانی	۳۵۰ تا ۷۰۰	بتن با پرلیت
۷۱۰۰	چدن	۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰	بتن با سنگ توف
۲۷۰۰	آلومینیوم		**بتن با سنگدانه سبک با کلوخه**
	پوشش‌ها و سایر مواد ساختمانی	۱۶۰۰ تا ۱۸۵۰	دانه‌های خاکستر پودر شده سوخت
۲۲۰۰	آسفالت خالص	۳۰۰ تا ۹۰۰	بتن عایق حرارتی با حباب هوا
۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰	قیر	۲۶۰	آجر عایق حرارتی پرلیتی
۱۱۰۰ تا ۱۴۰۰	قطران		**سنگدانه‌ها و پرکننده‌ها**
۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰	ورقه آزبستی پوشش سقف	۱۵۵۰	ماسه
۱۶۰۰	ورق‌های موج‌دار آزبست	۱۷۰۰	شن و ماسه (دانه‌ها بین صفر تا ۴۰ mm)
۱۸۰۰	لوله‌های آزبستی سیمانی	۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰	شن
۱۳۰۰	پانل استات سلولزی	۱۷۰۰	سرباره کوره آهنگدازی
۲۴۰۰	موزائیک سیمانی	۱۲۰۰	سرباره دآن‌های کوره آهنگدازی
۲۲۰۰	موزائیک	۱۵۰۰	سنگ سرباره شکسته (دانه‌ها بین ۵ تا ۴۰ mm)
۲۲۰۰	سنگ‌فرش بتنی	۱۰۰۰	سیلیکات هوا داده
۱۷۵۰ تا ۲۰۰۰	کاشی	۸۰۰ تا ۱۰۵۰	خاکستر پران پوزولانی برای بتن
۲۵۰۰	آجرنما (آجرنمای سخت)	۷۵۰ تا ۱۰۰۰	مصالح سنگی بتن سبک (چگالی حجمی)
۲۴۰۰	کاشی سرامیکی	۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰	سنگدانه سبک به‌کار رفته در کلوخه دانه‌های خاکستر پودر شده سوخت/ ماسه
	آجر فرش نرم		**بنایی با سنگ‌های طبیعی**
۱۳۵۰	سوراخ‌دار		گیرش اولیه سنگ‌ها
۱۶۰۰	توپر	۳۰۰۰	بازالت، مورفیر، دیورت، گابرو
	رزین اپوکسی	۲۴۰۰	بازالت شسته
۱۱۵۰	بدون فیلر (افزودنی)	۲۹۰۰	دیاباز
۲۰۰۰	با مواد معدنی	۲۸۰۰	گرانیت، سگنیت، پورفیت
۱۸۰۰	با فایبر گلاس	۲۶۰۰	لاشه آذرین (تراشیت)
۱۵۰۰	فنوپلاست		**سنگ رسوبی**
۱۸۰۰	کف‌پوش لاستیکی	۲۷۰۰	گریواک، ماسه سنگ، شفته طبیعی

جرم حجمی kgf/m^3	مصالح	جرم حجمی kgf/m^3	مصالح
۱۰۰	کف‌پوش پلاستیکی	۲۸۰۰	سنگ آهک فشرده، دولومیت، سنگ آهک و سنگ مرمر
۱۱۰۰	پلی آمید (مانند: دیامید)		**جوش سنگ**
۱۳۵۰	رزین پلی‌استر، بدون فیلر (افزودنی)	۲۶۰۰	جوش سنگ آهک (مانند: تراورتن و غیره)
۹۳۰	پلی اتیلن	۲۰۰۰	توف آتشفشانی
۱۳۵۰	ورق ساخته شده از پلی‌ایزوبوتیلن		سنگ‌های دگرگون
۱۱۵۰	پلی‌پروپیلن	۳۰۰۰	گنیس، گرانولیت
۹۳۰	پلی‌پروپیلن	۲۸۰۰	Slate تخته سنگ
۱۴۰۰	صفحات پی‌وی‌سی	۲۷۰۰	سرپنتین
۱۶۰۰	صفحات کفپوش پی‌وی‌سی		بنایی با آجر[۳]
۱۷۰۰	کفپوش پی‌وی‌سی	۱۵۰۰	آجر معمولی
۲۶۰۰	شیشهٔ جام		آجر توپر پخته رسی
۳۰۰۰	شیشهٔ مسلح	۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰	تا مقاومت فشاری حداکثر ۱۴ MPa
۶۰۰ تا ۸۰۰	شیشه با مقاومت فشاری بین ۱٫۵ MPa تا ۲٫۵ MPa	۱۹۰۰	مقاومت فشاری بیشتر از ۱۴ MPa
۸۰۰ تا ۱۴۰۰	شیشه با مقاومت فشاری بین ۲٫۵ MPa تا ۵ MPa	۱۱۵۰ تا ۱۴۵۰	دیوارهای ساخته شده از آجر سوراخ‌دار یا بلوک‌های سفالی (بسته به نوع آجر یا بلوک های به‌کار رفته)
۹۰۰ تا ۱۳۰۰	شیشه با مقاومت فشاری بین ۵ MPa تا ۱۰ MPa	۱۲۰۰	بتن با توف، بلوک ساختمانی با اندازه متوسط
۱۰۰۰ تا ۱۶۰۰	شیشه با مقاومت فشاری بین ۱۰ MPa تا ۲۰ MPa	۱۲۰۰	سیلیکات متخلخل، بلوک ساختمانی با اندازه متوسط

[۱] در صورتی که چوب با آب اشباع شده باشد به مقادیر وزن مخصوص اشاره شده در این جدول، $120\ kg/m^3$ اضافه می‌شود.

[۲] برای تعیین ردهٔ بتن در صنعت نفت می‌توان به استاندارد IPS-E-CE-200 [39] تحت عنوان «بتن و سازه‌های بتنی» مراجعه کرد. در صورتی که بتن در بتن مسلح استفاده شود و درصد میلگردها کوچک‌تر یا مساوی ۱٫۲۵ باشد، به مقادیر مندرج در این جدول برای بتن، $100\ kg/m^3$ اضافه می‌شود. برای بتن مسلح با درصد فولاد بیشتر باید مقادیر متناسب انتخاب شود.

[۳] وزن مخصوص مصالح بنایی بدون اندود (آستر) با احتساب ملات پرکننده حفره‌ها منظور می‌شود. وزن مخصوص بتن، بتن سبک و دیوار بتن مسلّح طبق وزن مخصوص مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها منظور می‌شود.

جدول الف-۲- مقادیر وزن مخصوص و فشار سطحی وارد از طرف مصالح به اجزای سازه

مصالح	وزن مخصوص سطحی kgf/m^3	فشار سطحی Pa
پوشش‌های سقف، سقف‌های پوسته‌ای[1]		
پوشش سقف با سفال		
سفال مسطح، رس پخته	۳۸	۳۸۰
سفال پرسی، رس پخته	۴۸	۴۸۰
سفال مسطح، پوشش منفرد	۳۵	۳۵۰
سفال مسطح، پوشش دوبله	۷۰	۷۰۰
پوشش سقف با قطعات بتنی مسطح	۶۰	۶۰۰
قطعات بتنی، پوشش منفرد	۴۰ تا ۵۰	۴۰۰ تا ۵۰۰
پوشش سقف با ورق فلزی		
پوشش با ورق فولادی گالوانیزه به ضخامت ۰٫۵۳ mm، موج‌دار یا صاف	۴	۴۰
پوشش با ورق فولادی گالوانیزه دو لایه به ضخامت ۰٫۶۳ mm، موج‌دار یا	۵٫۵	۵۵
پوشش با ورق روی به ضخامت ۰٫۷۵ mm، جوش‌کاری‌شده	۴٫۵	۴۵
پوشش با ورق مسی دو لایه به ضخامت ۰٫۶ mm	۶	۶۰
پوشش سقف آلومینیومی		
با ضخامت ۰٫۶ mm	۲	۲۰
با ضخامت ۰٫۷ mm	۲٫۵	۲۵
پوشش سقف با ورق سربی به ضخامت ۲ mm، لحیم‌کاری‌شده	۲۴	۲۴۰
پوشش سقف با سفال لبه‌دار فولادی (گالوانیزه)	۱۵	۱۵۰
پوشش سقف با قطعات ورق فولادی	۷٫۵ تا ۲۴	۷۵ تا ۲۴۰
سایر ورق‌های پوشش سقف		
پوشش سقف پلاستیکی نرم به ضخامت ۱ mm	۹	۹۰
پوشش سقف چوبی قیراندودشده		
دو لایه میخ‌کوب‌شده	۸	۸۰
سه لایه با شن پخش شده به‌هم‌چسبیده	۲۵	۲۵۰
پوشش سقف با ورق موج‌دار آزبست یا مسلح شده با سایر الیاف		
پوشش سقف استاندارد و سقف پوش با ورق موج‌دار	۲۰	۲۰۰
پوشش سقف دولایه	۲۵	۲۵۰
پوشش سقف با ورق موج‌دار پلاستیکی به ضخامت ۱٫۵ mm	۲	۲۰
پوشش‌های سقف با سایر مصالح		
پوشش سقف از پلاستیک- قیر، ضخامت پوشش ۴ mm	۵	۵۰
پوشش سقف از شیشه مصنوعی، ضخامت پوشش ۱ mm	۶	۶۰
پوشش سقف از شیشه جام، با ضخامت ۶ mm	۲۰	۲۰۰
پوشش سقف از شیشه مسلح، با ضخامت ۶ mm	۲۵	۲۵۰
پوشش سقف از شیشه مسلح و موج‌دار، با ضخامت ۶ mm	۳۰	۳۰۰
پوشش سقف از قطعات شیشه		
تکی	۲۰	۲۰۰
دوتایی	۴۰	۴۰۰

[1] مقادیر مندرج در جدول شامل سازه‌های تثبیت‌کننده و نگهدارندهٔ پوسته‌ها نیست.

جدول الف-۳- زاویهٔ شیب طبیعی و مقادیر چگالی مصالح انبار شده

زاویهٔ شیب طبیعی (°)	وزن مخصوص kgf/m^3		مصالح
	مواد انبارشده (کپه)	به صورت فله‌ای	
			مصالح ساختمانی
—	۲۷۵۰ تا ۳۰۰۰	—	تخته‌سنگ بازالت
—	۲۱۰۰	—	قلوه‌سنگ رسی
۲۵ تا ۴۰	—	۱۵۰۰	آجر ماسه‌ای، آجر سخت، آجر از سنگ‌ریزه، خاک مرطوب
			سیمان
۱۸ تا ۲۸	۱۳۰۰ تا ۱۶۰۰	۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰	خاک رس
—	—	۱۱۰۰	فلورفین خشک
—	—	۱۶۰۰	فلورفین سنگین و خشک‌شده در مجاورت هوا
—	۶۰	—	نخاله چوب پنبه
۲۵	—	۷۵۰	خاکستر ذغال
۳۵	—	۹۰۰	سرباره خردشده کوره آهن‌گدازی
			شن رسی منبسط‌شونده
۳۰ تا ۳۵	—	۲۵۰	سبک
۳۰ تا ۳۵	—	۴۰۰	متوسط
۳۰ تا ۳۵	—	۵۵۰	سنگین
—	۱۶۰ تا ۱۸۰	—	فایبرگلاس
۳۵	—	۱۰۰۰	خاک مرطوب، خردشده، کف سرباره
—	۱۰۰ تا ۱۱۰	—	پشم شیشه
—	۲۶۰۰ تا ۲۸۰۰	—	تخته سنگ گرانیت
۳۰ تا ۳۶	—	۱۸۰۰	شن و ماسه خشک یا خاک مرطوب
—	۵۰۰	—	بتن متخلخل عایق حرارتی
—	۲۶۰	—	آجر پرلیتی عایق حرارتی
—	۲۶۰	—	عایق حرارتی پرلیتی لوله
۲۵	۶۰۰	۵۰۰	آهک هیدراته
			آهک
۴۵	—	۸۵۰ تا ۱۳۰۰	کلوخه
۲۵	۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰	۶۰۰ تا ۱۳۰۰	خردشده
—	۱۳۰۰	—	خاک سنگ آهک
—	۱۲۰۰	—	کربنات منیزیم
—	۷۵ تا ۲۶۰	—	پشم معدنی خردشده و مشتقات
۲۵	۱۱۰۰ تا ۱۵۰۰	۱۰۰۰	پلاستر (اندود)
			پلاستیک‌ها
—	۶۵۰	—	پلی‌اتیلن و پلی‌استر دانه‌ای
—	۶۰۰	—	پلی‌وینیل کلراید پودر شده
—	۱۲۰۰	—	رزین پلی‌استر
—	۷۰ تا ۲۵۰	—	پرلیت

زاویهٔ شیب طبیعی (°)	وزن مخصوص kgf/m³		مصالح
	مواد انبارشده (کپه)	به صورت فله‌ای	
—	۱۵۰ تا ۲۲۰	—	ورق پوشش بام از جنس نی
۲۵	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	۹۰۰	خاکستر ذغال سنگ پودرشده
—	۱۸۰۰	—	سیلت
—	۲۰۰ تا ۳۰۰	—	پشم سرباره
۳۰	—	۱۱۰۰	سربار آهن‌گدازی دانه‌ای
—	۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰	—	آهک آب‌دیده
—	۱۵۰۰	—	تراس، خردشده
—	۳۰۰ تا ۳۸۰	—	پشم چوب
			سوخت‌ها و مواد قابل اشتعال
			ذغال سنگ
۳۰ تا ۳۵	—	۹۰۰ تا ۱۲۰۰	ذغال سنگ معدنی
۳۰ تا ۴۵	—	۴۵۰ تا ۶۵۰	ذغال کک
			بریکت
۲۵	—	۸۰۰	ایگت
۳۵	—	۷۰۰	ذغال‌سنگ گوشه‌دار
			ذغال‌سنگ سوخته
۳۵	—	۸۰۰	خشک
۳۰	—	۱۰۰۰	خاک مرطوب
۳۰	—	۸۰۰	خاک ذغال
۴۰	—	۱۰۰۰	ذغال کک
۲۵	—	۵۰۰	گرد ذغال‌سنگ سوخته
—	—	۲۵۰	ذغال چوب
			روغن‌ها
—	—	۸۰۰ تا ۱۰۰۰	مازوت، گازوئیل
—	—	۹۸۰	روغن خام
—	—	۷۵۰ تا ۸۰۰	بنزین
—	—	۸۰۰	نفت خام
			گاز مایع
—	—	۵۰۰	پروپان
—	—	۵۸۰	بوتان
			چوب (خشک شده در مجاورت هوا با رطوبت تقریبی ٪ ۱۵)
			چوب سخت
۴۵	—	۴۰۰ تا ۶۰۰	خردشده
۵۰	۶۰۰ تا ۷۰۰	۵۰۰	کنده
			چوب نرم
۴۵	۴۰۰	۲۵۰	خردشده
—	۴۰۰ تا ۶۰۰	۳۰۰	کنده

زاویهٔ شیب طبیعی (°)	وزن مخصوص kgf/m^3		مصالح
	مواد انبارشده (کپه)	به صورت فله‌ای	
۴۵	—	۴۰۰	هیزم
—	۲۰۰	—	چوب دسته‌شده
—	۵۰۰ تا ۹۰۰	۳۰۰ تا ۶۰۰	خاک نباتی
			مواد غذایی و محصولات کشاورزی
—	—	۸۰۰	الکل
۳۰	—	۵۰۰ تا ۸۰۰	جو
—	۶۵۰ تا ۷۵۰	—	جو کیسه‌شده
—			**ماءالشعیر**
	—	۱۰۵۰	در مخازن
	—		در بشکه
	۹۰۰	—	**کره**
—	۵۵۰	—	در بشکه
—	۵۰۰ تا ۸۰۰	—	به‌صورت قالب یا قوطی درآمده
—	۵۵۰	—	کاکائو به‌صورت جعبه‌ای
—	۵۵۰ تا ۷۰۰	—	قهوه به‌صورت جعبه‌ای
—	۷۵۰	—	دانه بسته‌بندی شده به‌صورت جعبه‌ای
—	۸۰۰	—	کنسرو به‌صورت قوطی یا بطری
			علوفهٔ خشک
—	۵۰	—	گونی پیچ‌شده
—	—	۱۰۰۰	در سیلو انبارشده
			روغن خوراکی
—	۷۵۰	—	در بشکه
—	۵۵۰	—	بطری داخل جعبه
—	۵۵۰	—	تخم‌مرغ به‌صورت شانه‌ای
—	۸۰۰	—	روغن به‌صورت جعبه‌ای
			ماهی
	۶۰۰		در بشکه
—	۸۰۰	—	در صندوق
—	۱۳۰۰	—	گونی حاوی بذر
—	۷۰۰	—	بذر کیسه‌شده
۲۵	—	۵۰۰ تا ۷۰۰	میوه (در ظرف)
—	۳۵۰ تا ۴۰۰	—	میوه بسته‌بندی شده در جعبه
—	۴۰۰	—	بادام زمینی
—	۱۵۰ تا ۲۰۰	—	علف خشک (در گونی)
۲۵	—	۵۰۰	شاه‌دانه
—	۴۵۰	—	شاه‌دانه بسته‌بندی شده در کیسه
			عسل

مصالح	وزن مخصوص kgf/m^3		زاویهٔ شیب طبیعی (°)
	به صورت فله‌ای	مواد انبارشده (کپه)	
در مخازن	۱۳۰۰	—	—
در قوطی	—	۱۰۰۰	—
در بطری	—	۶۰۰	—
گیاهان خوردنی	۸۵۰	—	—
گیاهان خوردنی بسته‌بندی شده در کیسه	—	۸۰۰	—
خوشهٔ ذرت	۴۵۰	—	—
دانه‌های ذرت	۷۰۰	—	—
کره مارگارین			
در بشکه	—	۵۵۰	—
به‌صورت قالب یا جعبه‌ای	—	۷۰۰	—
مواد غذایی	۶۰۰	—	—
مواد غذایی بسته‌بندی شده در کیسه	—	۵۰۰ تا ۶۰۰	—
گوشت یخ‌زده	—	۴۰۰ تا ۷۰۰	—
شیر			
در مخازن	۹۵۰ تا ۱۰۰۰	—	—
در قوطی	—	۸۵۰	—
در بطری	—	۷۰۰	—
جو دو سر	۴۵۰ تا ۶۰۰	—	—
جو دو سر آسیاب‌شده	۷۵۰ تا ۸۰۰	—	—
پیاز			
در کیسه	—	۵۵۰	—
بسته‌بندی شده در صندوق	—	۵۵۰	—
خیار شور در ظرف	—	۷۰۰	—
فلفل شیرین	—	۵۰۰	—
نوشیدنی‌ها			
در بطری	—	۸۵۰	—
بطری داخل جعبه	—	۸۰۰	—
بطری داخل صندوق	—	۷۵۰	—
انواع سیب‌زمینی	۷۰۰ تا ۷۶۰		۳۰
سیب‌زمینی در کیسه	—	۵۰۰ تا ۷۰۰	—
برنج (آسیاب نشده)	۵۰۰	—	—
برنج پوست‌کنده آسیاب‌نشده در کیسه	—	۸۰۰	—
گندم سیاه	۷۵۰	—	—
نمک (سنگ نمک)	—	۲۲۰۰	—
نمک به‌صورت کپه (آسیاب‌شده)	۱۰۰۰	—	—
نمک به‌صورت کپه فشرده‌شده	—	۱۸۰۰	—
آرد نشاسته در کیسه	—	۸۰۰	—

زاویهٔ شیب طبیعی (°)	وزن مخصوص kgf/m^3		مصالح
	مواد انبارشده (کپه)	به صورت فله‌ای	
—	۱۷۰	—	گونی کاه (گونی استاندارد)
—	۶۰۰	—	گونی کاه با چگالی بالا
			شکر پودر شده یا دانه‌ای
—	۶۰۰	—	در کیسه‌های کاغذی
—	۸۰۰	—	کیسه‌های گونی
			شکر کلوخه شده
—	۶۰۰	—	در کیسه‌های کاغذی
—	۷۰۰	—	در جعبه
—	۳۰۰ تا ۵۰۰	—	گونی تنباکو
۳۰	—	۵۵۰ تا ۸۲۰	گندم
—	۷۵۰	—	کیسه گندم
			شربت
—	—	۱۰۰۰	در مخازن
—	۸۵۰	—	در بشکه‌ها
			سایر مواد[۴]
—	—	۲۷۰۰	آلومینیوم
—	—	۲۸۰۰	آلیاژ آلومینیوم
—	۵۰۰	—	بسته‌های عدل‌بندی شده
—	—	۷۰۰	خرده استخوان
—	۸۵۰	—	کتاب و کاغذ انباشته شده
—	—	۸۳۰۰ تا ۸۵۰۰	فلز برنج
—	۴۰۰	—	پارچه ماهوت به‌صورت توپ
—	—	۸۴۰۰	برنز
			کربولینیوم قطران
—	—	۱۰۰۰	در مخازن
—	۸۰۰	—	در بشکه
—	۱۰۰	—	سلولز در گونی
			سلولز رشته‌ای
—	۷۵۰	—	به‌صورت عدل (گونی)
—	۱۲۰۰	—	فشرده‌شده در عدل (گونی)
—	۴۰۰	—	پارچه عدل‌بندی شده
			کود شیمیایی
—	—	۱۲۰۰ تا ۱۶۰۰	فسفاتی
—	۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰	—	منیزی قلیایی در کیسه
—	—	۱۶۰۰	سولفات قلیایی
—	۲۰۰۰	—	ازته در کیسه
—	—	۱۲۰۰	کمپوست

مصالح	وزن مخصوص kgf/m^3		زاویهٔ شیب طبیعی (°)
	به صورت فله‌ای	مواد انبارشده (کپه)	
مس	۸۷۰۰ تا ۸۹۰۰	—	—
کتان عدل‌بندی شده	—	۷۰۰ تا ۱۳۰۰	—
فضله	۱۲۰۰	—	—
نمد پیچیده‌شده در گونی	—	۵۰۰	—
رشته پیچیده‌شده و فشرده‌شده در گونی	—	۱۲۰۰	—
شیشه			
بطری و غیره	—	۴۰۰	—
شیشهٔ جام بسته‌بندی‌شده در صندوق	—	۱۰۰۰	—
شاه‌دانه در گونی	—	۴۰۰	—
آهن، چدن	۷۱۰۰ تا ۷۲۵۰	—	—
سنگ معدن آهن	۳۰۰۰	—	—
یخ (ساخته شده از آب) به‌صورت قالبی	—	۸۵۰ تا ۹۰۰	—
یخ (ساخته شده از کربنیک اسید) به‌صورت قالبی	—	۱۷۰۰	—
الیاف کنف عدل‌بندی شده	—	۷۰۰	—
سرب	۱۱۴۰۰ تا ۱۲۰۰۰	—	—
چرم فله‌ای (پرداخت شده)	—	۹۰۰ تا ۱۰۰۰	—
توپ پارچه کتانی	—	۶۰۰	—
مشمع کف‌پوش به‌صورت رول‌شده	—	۱۳۰۰	—
منیزیم	۱۸۵۰	—	—
نیکل	۸۹۰۰	—	—
رنگ روغن و لاک الکل، در قوطی یا جعبه	—	۱۱۰۰	—
کاغذ			
به‌صورت ورقه‌ای	—	۱۲۰۰	—
به‌صورت رولی	—	۱۱۰۰	—
پوست خام			
به‌صورت کپه (خشک شده)	—	۳۵۰	—
به‌صورت کپه (نمک زده شده)	—	۱۱۰۰	—
لاستیک			
مصالح کفپوش به‌صورت رول	—	۱۳۰۰	—
به‌صورت خام در گونی	—	۱۰۰۰	—
فولاد	۷۸۵۰	—	—
خط آهن فولادی	۲۶۰۰	—	—
منسوجات به‌صورت توپ	۱۱۰۰	—	—
حلبی رول‌شده	—	۷۲۰۰ تا ۷۴۰۰	—
صندوق حاوی وسایل فرسوده	۳۰۰	—	—
پشم			
گونی‌پیچ‌شده	۷۰۰	—	—

مصالح	وزن مخصوص kgf/m³		زاویهٔ شیب طبیعی (°)
	به صورت فله‌ای	مواد انبارشده (کپه)	
به طور فشرده گونی‌پیچ‌شده	۱۳۰۰	—	—
روی			
به‌صورت شمش	۶۹۰۰	—	—
رول شده	۷۲۰۰	—	—
انواع خاک[۵]			
خاک‌های چسبنده غیرآلی			
نرم	۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰	—	۱۰ تا ۲۴
سخت	۱۹۰۰ تا ۲۰۵۰	—	۱۲ تا ۲۶
نیمه سخت	۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰	—	۱۷ تا ۲۷
خاک رس نرم آلی	۱۴۰۰	—	۱۵
سیلت آلی	۱۷۰۰	—	—
ماسه			
خاک مرطوب			
شل و سست	۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰	—	۳۰
با تراکم متوسط	۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰	—	۳۰
متراکم	۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰	—	۳۵
اشباع‌شده			
شل و سست	۱۵۰۰ تا ۱۸۰۰	—	۳۰
با تراکم متوسط	۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰	—	۳۰
متراکم	۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰	—	۳۵
تحت فشار رو به بالا			
شل و سست	۹۰۰ تا ۱۰۰۰	—	۳۰
با تراکم متوسط	۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰	—	۳۰
متراکم	۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰	—	۳۵
شن			
مرطوب			
شل و سست	۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰	—	۳۲
با تراکم متوسط	۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰	—	۳۵
متراکم	۱۹۰۰	—	۳۷
اشباع‌شده			
شل و سست	۱۹۰۰	—	۳۲
تراکم متوسط	۲۰۰۰	—	۳۵
متراکم	۲۱۰۰	—	۳۷
تحت فشار رو به بالا			
شل و سست	۹۰۰	—	—
با تراکم متوسط	۱۰۰۰	—	—
متراکم	۱۱۰۰	—	—

[۱] چگالی مواد انبار شده به‌صورت توده در داخل گونی.
[۲] فلّه: مصالحی که به‌صورت توده یا نامنظم انبار می‌شود، مانند مایعات درون مخازن.
[۳] منظور از مواد انبار شده به‌صورت کپه، مصالح و مواد دارای نظم و ترتیب است که به هم پیوسته‌اند و یا از هم‌گسسته هستند.
[۴] با توجه به شرایط واقعی، چگالی فلز انبار شده می‌تواند با تأثیر ضریبی کوچک‌تر از یک کاهش یابد.
[۵] مقادیر چگالی و زاویهٔ شیب طبیعی داده‌شده در جدول که می‌تواند با مقادیر حاصل از آزمایش‌های ژئوتکنیک متفاوت باشد، به شـرطی قابل کاربرد است که شرایط خاک انبارشده با شرایط خاک تعریف‌شده در جدول مشابه باشد.

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

تعیین ضرایب اهمیت برای بار باد

در این پیوست، طبق تفسیر استاندارد ASCE7: 2005، مقدار ضـریب اهمیت در رده‌های خطرپذیری مختلف برای بار باد محاسبه شده است. در رابطهٔ زیر T، دورهٔ بازگشت باد است.

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12T)$$

برای دورهٔ بازگشت ۵۰ سال:

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12\times50) = 1.000, \qquad F_c = \sqrt{F} = 1.000 \rightarrow F = 1.000$$
$$1.00 = 1.6\ I \rightarrow I = 0.62$$

برای دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال:

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12\times100) = 1.069, \qquad F_c = \sqrt{F} = 1.069 \rightarrow F = 1.143$$
$$1.143 = 1.6\ I \rightarrow I = 0.71$$

برای دورهٔ بازگشت ۳۰۰ سال:

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12\times300) = 1.178, \qquad F_c = \sqrt{F} = 1.178 \rightarrow F = 1.39$$
$$1.39 = 1.6\ I \rightarrow I = 0.87$$

برای دورهٔ بازگشت ۷۰۰ سال:

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12\times700) = 1.263. \qquad F_c = \sqrt{F} = 1.263 \rightarrow F = 1.60$$
$$1.6 = 1.6\ I \rightarrow I = 1.00$$

برای دورهٔ بازگشت ۱۷۰۰ سال:

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12\times1700) = 1.352. \qquad F_c = \sqrt{F} = 1.352 \rightarrow F = 1.829$$
$$1.829 = 1.6\ I \rightarrow I = 1.15$$

برای دورهٔ بازگشت ۳۰۰۰ سال:

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12\times3000) = 1.409, \qquad F_c = \sqrt{F} = 1.409 \rightarrow F = 1.986$$
$$1.986 = 1.6\ I \rightarrow I = 1.25$$

برای دورهٔ بازگشت ۱۰،۰۰۰ سال:

$$F_c = 0.36 + 0.1\ln(12\times10000) = 1.530. \qquad F_c = \sqrt{F} = 1.530 \rightarrow F = 2.34$$
$$2.34 = 1.6\ I \rightarrow I = 1.50$$

پیوست پ

(آگاهی‌دهنده)

پل‌های راه و راه‌آهن

پ-۱ پل‌های راه

پ-۱-۱ ملاحظات کلی

در این پیوست، منبع AASHTO LRFD [40] به عنوان مبنای بارگذاری پل‌های راه انتخاب شده است. لازم به ذکر است برخی تغییرات در خصوص مشخصات بارهای زندهٔ متناسب با بارهای بهره‌برداری پل‌ها در ایران و طبق آیین‌نامهٔ بارگذاری پل‌ها (نشریهٔ شمارهٔ ۱۳۹) [41] اعمال شده است. برای طراحی پل‌های بزرگراهی، آزادراه و راه‌ها، حداقل الگوهای بار زیر در طراحی سازه پل مدنظر قرار می‌گیرد:

- بارهای دایمی شامل:
  - وزن اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، DC؛
  - وزن روسازی (آسفالتی یا بتنی) سطح سواره‌رو، DW؛
  - نیروی فروکش در شمع‌ها، DD؛
  - نیروهای مربوط به آثار خزش مصالح، CR؛
  - نیروهای مربوط به انقباض مصالح، SH؛
  - نیروهای مربوط به فشار جانبی خاک، EH؛
  - نیروهای قائم ناشی از وزن خاک، EV؛
  - آثار نیروی ناشی از فرایند اجرا شامل جک‌زنی طره‌ها در روش اجرای طره‌ای، EL؛
  - بار سربار خاک، ES؛
  - نیروهای ثانویه ناشی از پیش‌تنیدگی در عناصر پیش‌تنیده، PS؛
- بارهای گذرا شامل:
  - بارهای بهره‌برداری مربوط به عبور خودروها از روی پل، LL و آثار ضربه، IM و سربار ناشی از عبور بار متحرک، LS؛
  - نیروی ترمز یا شتاب، BR؛
  - نیروی گریز از مرکز، CE؛
  - بارهای وارد بر پیاده‌رو، PL؛

- نیروهای ناشی از برخورد خودرو با پایه پل، CT؛
- نیروهای ناشی از برخورد اجسام شناور با اجزای پل در آب، CV؛
- نیروی ناشی از جریان آب و امواج ناشی از آن، WA؛
- بار برخورد یخ، IC؛
- اثر باد وارد بر سازهٔ پل، WS؛
- اثر باد وارد بر خودروی عبوری از روی پل، WL؛
- آثار اختلاف دمای یکنواخت، TU؛
- آثار گرادیان حرارتی، TG؛
- آثار ناشی از نشست یا بالاآمدگی پایه‌ها، SE؛
- بار ناشی از اصطکاک، FR؛
- بار ناشی از انفجار، BL؛
- آثار ناشی از زمین‌لرزه، EQ.

یادآوری ۱- در این پیوست، طراحی سازه‌ای پل‌های راه طبق منبع AASHTO LRFD [40] انجام می‌پذیرد.

یادآوری ۲- در این پیوست، عمر بهره‌برداری پل راه برابر با ۷۵ سال در نظر گرفته می‌شود.

پ-۱-۲ ضرایب بار در ترکیبات بارگذاری

طراحی سازه‌ای پل برای چهار حالت حدی زیر صورت می‌پذیرد و هر کدام از این حالات حدی دارای ترکیبات بارگذاری مختص به خود هستند که همراه با ضرایب بار مربوطه در جدول پ-۱ آمده است:

- حالت حدی مقاومت[1]؛
- حالت حدی بهره‌برداری[2]؛
- حالت حدی خستگی و شکست[3]؛
- حالت حدی رخداد فوق‌العاده[4].

ضـــریب بارهای دایمی، γ_p در جدول پ-۲ و پ-۳ ارائه گردیـده است. ضریب بار زنده، γ_{LL} در جدول پ-۴ و ضریب بارهای ناشی از نشست شالوده، γ_{SE} در جـدول پ-۵ آمده است. باید ضریب بار گرادیان حرارتی، γ_{TG}، بر اساس اطلاعات ویژهٔ ساختگاه پروژه به‌دست آید اما در صورت دسترسی نداشـتن به این اطلاعات، می‌تـوان از جدول پ-۶ استفاده کرد.

1- Strength limit state
2- Service limit state
3- Fatigue & fracture limit state
4- Extreme event limit state

یادآوری- برای طراحی اجزای اصلی روسازه دال و تیر فولادی (I شکل یا U شکل) باید بیشـــینه آثار نیروی ایجاد شده حین ساخت در یک ترکیب بار اضـافی شـامل بارهای DC و هرگونه بارهـای اجرایی دیگر که به شاهتیر فولادی نصب‌شده اعمـــال می‌شـود را در نظر گرفت. برای این ترکیب بار اضـــافی، ضریب بار DC و بارهـای حیـــن اجـرا شـامل آثار ضـــربه (در صـورت وجود) نباید از ۱٫۴ کوچک‌تر منظور شود.

پ-۱-۳ بارهای دائمی

پ-۱-۳-۱ وزن اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، DC

این بار شـامل وزن اجـزای باربـر و غیـر باربر تشکیل‌دهنده پل است. مقصود از اجزای باربر، قطعاتی است که نقش سـازه‌ای داشته باشـند، و منـظور از اجزای غیر باربر، پیاده‌روها، عایـق‌کاری، جان‌پناه‌ها، لوله‌ها، مجـاری عبـور کابـل‌ها و سـایر تجهیـزات الحـاقی به پل است. در محاسـبهٔ این بارها، مشـخصات هندسـی پل و وزن مخصوص هریک از مصالح مصرفی بر اساس پیوست **الف** ملاک عمل قرار داده می‌شود.

جدول پ-۱- ترکیبات بارگذاری برای پل‌های راه [40]

حالت حدی/ ترکیب بار	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	این بارها به‌طور هم‌زمان اعمال نمی‌شوند				
										EQ	BL	IC	CT	CV
مقاومت I	γ_p	۱٫۷۵	۱٫۰۰	–	–	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–	–
مقاومت II	γ_p	۱٫۳۵	۱٫۰۰	–	–	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–	–
مقاومت III	γ_p	–	۱٫۰۰	۱/۴۰	–	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–	–
مقاومت IV	γ_p	–	۱٫۰۰	–	–	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	–	–	–	–	–	–	–
مقاومت V	γ_p	۱٫۳۵	۱٫۰۰	۰/۴۰	۱/۰	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–	–
رخداد فوق‌العاده I	۱٫۰۰	γ_{EQ}	۱٫۰۰	–	–	۱٫۰۰	–	–	–	۱٫۰۰	–	–	–	–
رخداد فوق‌العاده II	۱٫۰۰	۰٫۵	۱٫۰۰	–	–	۱٫۰۰	–	–	–	–	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰
بهره‌برداری I	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۰/۳۰	۱/۰	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–	–
بهره‌برداری II	۱٫۰۰	۱٫۳۰	۱٫۰۰	–	–	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	–	–	–	–	–	–	–
بهره‌برداری III	۱٫۰۰	۰٫۸۰	۱٫۰۰	–	–	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	γ_{TG}	γ_{SE}	–	–	–	–	–
بهره‌برداری IV	۱٫۰۰	–	۱٫۰۰	۰٫۷۰	–	۱٫۰۰	۰٫۵۰ تا ۱٫۲۰	–	۱٫۰۰	–	–	–	–	–
خستگی I- فقط LL، IM و CE	–	۱٫۵۰		–	–		–	–	–	–	–	–	–	–
خستگی II- فقط LL، IM و CE	–	۰٫۷۵		–	–		–	–	–	–	–	–	–	–

یادآوری ۱- در صورت عدم انجام مطالعات ترافیکی ویژه، می‌توان ضریب γ_{EQ} را در ترکیب بار رخداد فوق‌العاده I برابر با ۰٫۵ فرض کرد.

یادآوری ۲- ضریب بارهای دائمی، γ_p، در جدول پ-۲ و پ-۳ ارائه شده است. ضریب ضریب بار زنده، γ_{LL} در جدول پ-۴ و ضریب بارهای ناشی از نشست شالوده، γ_{SE} در جدول پ-۵ آمده است. ضریب بار ناشی از گرادیان حرارتی، γ_{TG}، در جدول پ-۶ ارائه شده است.

جدول پ-۲- کران‌های پایین و بالا برای ضریب بارهای دایمی، γ_p [40]

ضریب بار		نوع بار، نوع تابع و روش مورد استفاده برای محاسبه نیروی فروکش[1] شمع‌ها	
کمینه	بیشینه		
۰٫۹	۱٫۲۵	DC: وزن اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای	
۰٫۹	۱٫۵۰	DC: فقط مقاومت IV	
۰٫۲۵	۱٫۴۰	DD: نیروی فروکش	شمع‌ها، روش α تامیلسون
۰٫۳۰	۱٫۰۵		شمع‌ها، روش λ
۰٫۳۵	۱٫۲۵		چاهک‌های درجاریز، روش O'Neil & Reese (۱۹۹۹)
۰٫۶۵	۱٫۵۰	DW: وزن سطوح پوششی و تجهیزات	
		EH: فشار افقی خاک	
۰٫۹۰	۱٫۵۰	- شرایط فعال	
۰٫۹۰	۱٫۳۵	- شرایط سکون	
غیر قابل کاربرد	۱٫۳۵	- فشار ظاهری خاک در دیوارهای مهار شده (بدون تغییرمکان جانبی)	
۱٫۰۰	۱٫۰۰	EL: تنش‌های حین ساخت	
		EV: فشار قائم خاک	
غیر قابل کاربرد	۱٫۰۰	- پایداری کلی	
۱٫۰۰	۱٫۳۵	- دیوارهای حایل و کوله‌ها	
۰٫۹۰	۱٫۳۰	- سازه مدفون صلب	
۰٫۹۰	۱٫۳۵	- قاب‌های صلب	
		- سازه‌های مدفون انعطاف‌پذیر	
۰٫۹۰	۱٫۵۰	o آبرو جعبه‌ای فلزی، آبروی ساخته شده از ورق با شیارهای عمیق یا مصالح الیاف شیشه	
۰٫۹۰	۱٫۳۰	o آبروهای گرمانرم[2]	
۰٫۹۰	۱٫۹۵	o سایر آبروها	
۰٫۷۵	۱٫۵۰	ES: سربار خاک	

[1] Down drag
[2] Thermoplastic

جدول پ-۳- ضرایب بارهای دایمی، γ_p برای بارهای PS، CR و SH [40]

جزء سازه‌ای پل	PS	CR, SH
روسازه‌های قطعه‌ای[1] درجاریز یا پیش‌ساخته	۱٫۰	γ_p مربوط به DC در جدول پ-۱ ملاحظه شود.
زیرسازه‌های بتنی نگهدارنده روسازه‌های قطعه‌ای (صرفاً در صورتی که آزمون فیزیکی برای تعیین مشخصات مصالح و مقادیر کرانهٔ بالای مورد استفاده در تحلیل انجام شود)	۱٫۰	۱٫۰
روسازه‌های بتنی- غیر قطعه‌ای	۱٫۰	۱٫۰
زیرسازه‌های نگهدارندهٔ روسازه‌های غیر قطعه‌ای		
با استفاده از ممان اینرسی مقطع ترک‌نخورده، I_g	۰٫۵	۰٫۵
با استفاده از ممان اینرسی مقطع مؤثر، I_{eff}	۱٫۰	۱٫۰
زیرسازه‌های فولادی (پایه‌های میانی و کوله‌ها)	۱٫۰	۱٫۰

[1] Segmental

جدول پ-۴- ضرایب بار زنده در ترکیب بار بهره‌برداری III، γ_{LL} [40]

عنصر مورد بررسی	γ_{LL}
اجزای بتنی پیش‌تنیده طراحی‌شده با اســـتفاده از روش‌های دقیق[1] تخمین افت‌های (اتلاف) تابع زمان[2] همراه با منظور کردن بازیابی[3] مربوط به سخت‌شدگی ارتجاعی	۱٫۰
سایر اجزای بتنی پیش‌تنیده	۰٫۸

[1] Refined estimates
[2] Time-dependent losses
[3] Elastic gain

جدول پ-۵- ضرایب بارهای دایمی ناشی از نشست شالوده، γ_{SE} [40]

جابه‌جایی شالوده و روش تخمین آن	γ_{SE}
نشست آنی	
- روش Hough	۱٫۰۰
- روش Schmertmann	۱٫۴۰
- سایر روش‌های مورد تأیید کارفرما	*
نشست تحکیم	۱٫۰۰
جابه‌جایی جانبی	
- روش اندرکنش خاک- سازه (روش p-y یا گوه کرنش)	۱٫۰۰
- سایر روش‌های مورد تایید کارفرما	*
یادآوری- در مواردی که نشان * قرار داده شده، γ_{SE}باید توسط کارفرما و بر اساس وضعیت زمین‌شناسی ساختگاه به‌دست آید.	

جدول پ-۶- ضرایب بار ناشی از گرادیان حرارتی، γ_{TG} [40]

حالت حدی مورد بررسی	γ_{TG}
برای حالات حدی مقاومت و رخداد فوق‌العاده	صفر
برای حالت حدی بهره‌برداری (بدون منظورکردن بار زنده)	۱٫۰
برای حالت حدی بهره‌برداری (با منظورکردن بار زنده)	۰٫۵

پ-۱-۳-۲ وزن روسازی، DW

بســـته به ضـخامت روکـش آســـفالتی یا روســازی بتـنی روی سـواره‌رو و بر اسـاس وزن مخصـوص مصـالح روســازی، وزن آن محاســبه و در تحلیــل و طــراحی لحاظ می‌شود. در محاسبهٔ روسازی، وزن یک لایه روکش آینده نیز باید در نظر گرفته شود.

پ-۱-۳-۳ نیروی فروکش در شمع‌ها، DD

احتمال ایجاد نیروی فروکش در شمع‌ها و چاهک‌های درجاریز باید در شرایط زیر بررسی شود:

- ساختگاه دارای لایه‌های زیرین متشکل از مصالح تراکم‌پذیر مانند رس، لای یا خاک نباتی باشد؛
- خاکریز به تازگی در مجاورت شمع کوبشی یا درجاریز اجرا شده یا خواهد شد، که حالتی است که به‌صورت مکرّر در خاکریزهای دسترسی پل رخ می‌دهد؛
- سطح آب زیرزمینی به‌طور قابل توجهی کاهش یابد، یا
- قابلیت ایجاد پدیده روانگرایی در خاک‌های سست ماسه‌ای.

زمانی که احتمال وارد آمدن نیروی فروکش روی شمع یا چاهک به دلیل جابه‌جایی رو به پایین خاک مجاور آن وجود دارد، و این قابلیت از طریق پیش‌بارگذاری خاک برای کاهش جابه‌جایی رو به پایین یا سایر روش‌های کاهش آن از بین نرفته است، شمع یا چاهک باید برای مقاومت در برابر بار فروکش وارده طراحی شود. در شمع کوبشی، یکی از دو روش α تامیلسون یا λ و در شمع درجاریز، روش O'Neil & Reese برای محاسبه نیروی فروکش به کار می‌رود.

پ-۱-۳-۴ نیروهای مربوط به آثار خزش مصالح، CR

آثار خودکرنشی ناشی از خزش مصالح بتنی باید طبق ضوابط طراحی جزء بتنی مسلح یا پیش‌تنیده در محاسبات سازه لحاظ شود. این موضوع به ویژه در پل‌های با اجرای قطعه‌ای[1] از اهمیت زیادی برخوردار است. برای اطلاعات بیشتر باید به فصل پنجم منبع AASHTO LRFD [40] مراجعه نمود. استاندارد منبع در این خصوص، استاندارد ACI 209R [42] است.

پ-۱-۳-۵ نیروهای مربوط به انقباض مصالح، SH

یکی دیگر از آثار خودکرنشی مهم مصالح بتنی در پل‌ها، خواص مربوط به جمع‌شدگی یا انقباض مصالح بتنی است که می‌تواند منجر به ایجاد نیروهای قابل توجهی در سازه پل شود. مشابه نیروهای مربوط به خزش مصالح، اطلاعات بیشتر در Section 5 منبع AASHTO LRFD [40] و همچنین ACI 209R [42] در این خصوص در دسترس قرار دارد.

پ-۱-۳-۶ نیروی ناشی از فشار جانبی خاک، EH

در مورد اجزای سازه‌ای مجاور خاک (نظیر کوله پل یا دیوار حایل)، باید برحسب شرایط سکون، رانش فعال یا غیر فعال، نیروی جانبی افقی خاک وارد بر جزء سازه‌ای محاسبه شود.

یادآوری- در جهت اطمینان از رانش غیرفعال جلوی پنجهٔ شالودهٔ کوله صرف‌نظر می‌شود.

پ-۱-۳-۷ نیروی ناشی از فشار قائم خاک، EV

این نیرو وابسته به وزن مخصوص خاک است که به‌صورت قائم روی اجزای سازه‌ای پل نظیر پاشنه یا پنجهٔ شالودهٔ پایه‌ها یا کوله اعمال می‌شود و باید در محاسبات پایداری کوله و شالوده آن مدنظر قرار گیرد.

1- Segmental construction

پ-۱-۳-۸ آثار تنش‌های قفل‌شدگی حین ساخت[1]، EL

وقتی که اجـزای پیش‌تنیده همراه با شاه‌تیرهای فولادی مورد اسـتفاده قرار می‌گیرند، به واسطهٔ آثار نیروهای ناشی از عوامل زیر، باید نیرویی به عنوان بار حین ساخت، EL، مد نظر قرار گیرد:

- به هنگام پیش‌تنیده‌سـازی طولی عرشـه پیش‌ساخته قبل از گیرش بتـن دال و تأمین عملکرد مختلط دال عرشه با شاه‌تیرها، اصطکاک میان مقاطع عرشه پیش‌ساخته و شاه‌تیرهای فولادی باید منظور شود؛
- هنگامی که پیش‌تنیدگی در طول پل اجـرا می‌شود، پس از تأمین عملـکرد مختلط دال عرشـه با شاه‌تیرها، نیروهای اضافی ایجاد شده در شاه‌تیرهای فولادی و برش‌گیرها باید منظور شود؛
- آثار تفاضلی تنش‌های خزش و جمع‌شدگی بتن؛
- اثر پواسون در کرنش‌های عرضی.

پ-۱-۳-۹ بار سربار خاک، ES

در صـورت وجود سـربار یکنواخت دائمی بالای یک گود، یا پشـت کولهٔ پل، باید یک فشـار ثابت خاک جانبی به فشار جانبی اولیه خاک افزوده شود. این فشار خاک ثابت را می‌توان برابر با مقدار زیر در نظر گرفت:

$$\Delta_p = k_s \, q_s \qquad (پ-۱)$$

که در آن:

Δ_p فشار خاک ثابت افقی ناشی از وجود سربار بالایی برحسب MPa؛

k_s ضریب رانش خاک ناشی از وجود سربار؛

q_s سربار یکنواخت اعمال‌شده روی سطح بالایی گوه فعال خاک برحسب MPa.

در شـرایط سکون، مقدار k_s برابر با k_0 و در وضـعیت فشـار خاک فعـال، مقـدار k_s برابر با k_a خـواهد بود. در غیر این صورت، می‌توان از مقادیر بینابینی متناسب با نوع خاکریزی و جابه‌جایی و دوران دیوار استفاده کرد.

پ-۱-۳-۱۰ نیروهای ثانویه ناشی از پیش‌تنیدگی در عناصر بتنی پیش‌تنیده، PS

در قطـعات بتنی پیش‌تنیـده، در اثر اعمال نیروهای پیش‌تنیدگی روی سـازهٔ پیوسته، واکنش‌های تکیه‌گاهی و نیروهای داخلی ایجاد می‌شوند که نیروهای ثانویه نامیده شده، باید در صورت لزوم لحاظ شوند.

پ-۱-۴ بارهای گذرا

پ-۱-۴-۱ بارهای بهره‌برداری، LL

در این پیوست، بارهای بهره‌برداری وارد بر پل‌های راه شامل چند نوع بار ترافیکی است که اثر آن‌ها معادل اثر بارهـای واقعـی مؤثر بر اجـزای پـل است. تعـداد و موقعیـت این بـارهـا روی سـواره‌رو با هدف دسـت‌یابی به بحرانی‌ترین شرایط با توجه به منحنی‌ها (یا سطوح) تأثیر تلاش‌های داخلی اعضا تعیین می‌شود.

1- Locked-in construction stresses

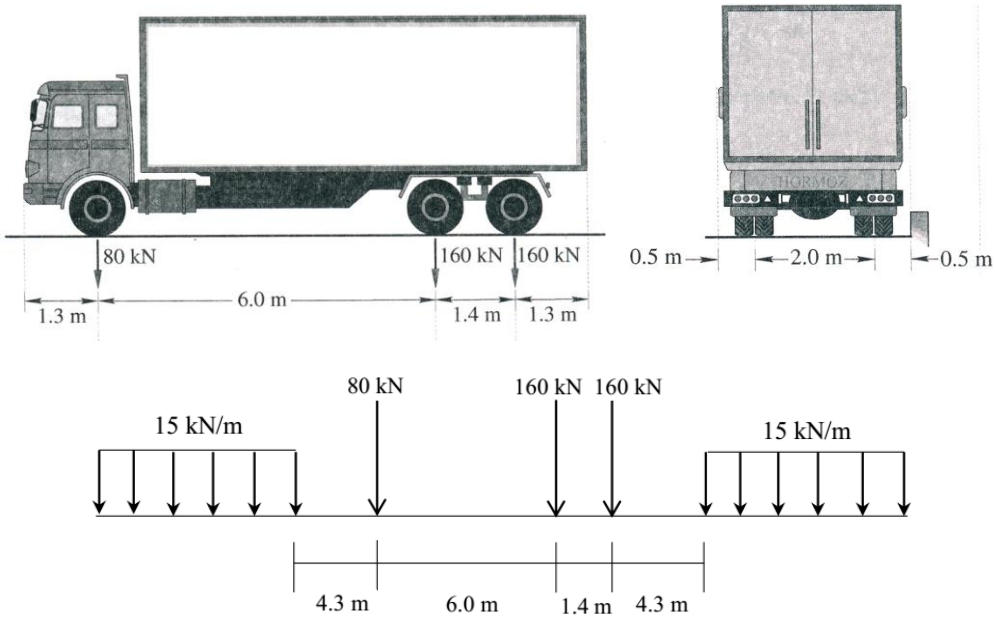
پ-۱-۴-۱-۱ بار نوع اول: کامیون طراحی[1] (بار عادی)

این بارگذاری که «بار عادی» نامیده می‌شود، معرف اثر محورهای سنگین، اثر عبور کامیون‌ها و وسایل نقلیه مشابه است که در سطح راه‌های کشور تردد می‌کنند. بار عادی هر خط عبور محاسباتی طبق شکل پ-۱ شامل دو قسمت است:

الف- یک کامیون به وزن ۴۰۰ kN به طول ۱۰ m که ۳ m جلو و ۳ m عقب آن خالی است؛

ب- در بقیهٔ طول خط عبور، به فاصله ۴٫۳ m از محورهای عقب و جلوی کامیون، یک بار یکنواخت به میزان ۱۵ kN/m در هر خط عبور که به‌طور نیمه بی‌نهایت و به طول‌های لازم که بحرانی‌ترین اثر مورد نظر را در مورد نیروها و تلاش‌های داخلی ایجاد کند، قرار داده می‌شود.

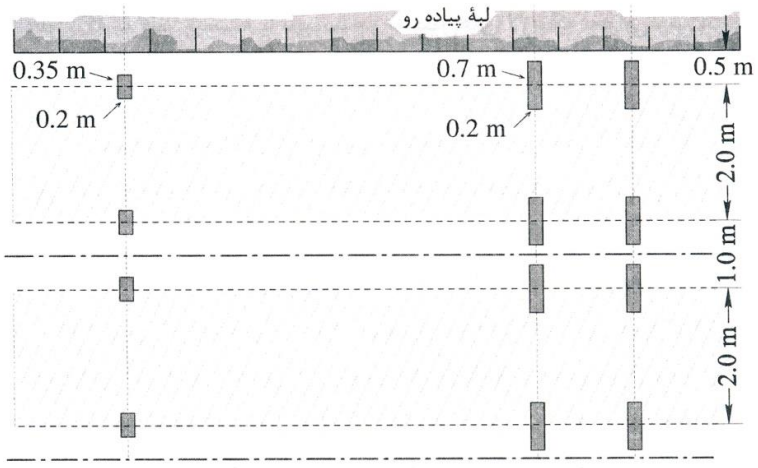
یادآوری- ضریب ضربه قابل اعمال به بارهای محور کامیون طراحی در زیربند پ-۱-۴-۱-۶ تعریف شده است.



شکل پ-۱- مشخصات بارهای محور[2] و بار گسترده[3] در کامیون طراحی (بار زندهٔ عادی) [41]

[1] - این بار همان بار کامیون استاندارد ذکر شده در نشریهٔ شمارهٔ ۱۳۹ [41] است.

2- Axle load
3- Lane load



شکل پ-۲- موقعیت قرارگیری چرخ‌های کامیون طراحی (بار زنده عادی) نسبت به جدول لبهٔ راه [41]

در امتداد عرضی پل، بار عادی یک خط عبور محاسباتی به پهنای محاسباتی ۳ m را اشغال کرده، حداکثر تعداد کامیون‌ها به تعداد خط‌های عبور طرح هندسی راه (هر کدام به پهنای ۳ m) محدود می‌شود. نحوهٔ استقرار این بار در عرض سواره‌رو طبق شکل پ-۲ است.

یادآوری ۱- در مورد پل‌های دارای چند مسیر عبور محاسباتی، در صورتی که به‌منظور حصول شرایط بحرانی، خطوط متعدد بارگذاری شوند، می‌توان از یک ضریب کاهش مربوط به احتمال عدم وقوع هم‌زمانی بارها به شرح جدول پ-۷ در نیروهای داخلی حاصل استفاده کرد.

جدول پ-۷- ضریب کاهش هم‌زمانی بارهای زنده برای پل‌های دارای چند خط عبور [41]

تعداد خطوط عبور محاسباتی	ضریب کاهش هم‌زمانی بارها
یک یا دو	۱
سه	۰٫۹
چهار یا بیشتر	۰٫۷۵

یادآوری ۲- پهنای خط عبور محاسباتی در این استاندارد ۳ m منظور می‌شود اما پهنای خط عبور واقعی در طرح هندسی راه، ۳٫۶۵ m است.

یادآوری ۳- نیروی ترمز یا شتاب یک کامیون از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود، اما لازم نیست از ۴۰۰ kN بزرگ‌تر منظور شود. لازم به ذکر است این نیرو فقط در یک مسیر عبور اعمال می‌شود.

$$F_f = 200 + 7L_0 \leq 400\text{kN} \qquad \text{(پ-۲)}$$

که در آن:

L_0 فاصلهٔ درز انبساط تا درز انبساط مجاور یا به عبارت دیگر فواصل محور به محور پایه‌ها برحسب m؛

F_f نیروی ترمز برحسب kN.

یادآوری ۴- در پل‌های خمیده در پلان، باید یک نیروی گریز از مرکز که به‌صورت افقی و در امتداد عمود بر خط مماس بر محور طولی راه اثر می‌کند منظور شود. مقدار این نیرو از رابطهٔ زیر به‌صورت درصدی از بار کامیون طراحی در هر خط عبور در نظر گرفته می‌شود و در محاسبه آن نیازی به اعمال اثر ضربه، IM، نیست:

$$F_c=\frac{V^2}{Rg}W \qquad (پ-۳)$$

که در آن:

V سرعت طراحی راه برحسب m/s؛

R شعاع قوس محور راه برحسب m؛

W وزن کامیون طراحی برحسب kN؛

g شتاب ثقل برحسب m/s^2؛

F_c نیروی گریز از مرکز که در فاصلهٔ ۱٫۸ m بالای تراز روسازه پل (سطح روسازی) اعمال می‌شود برحسب kN.

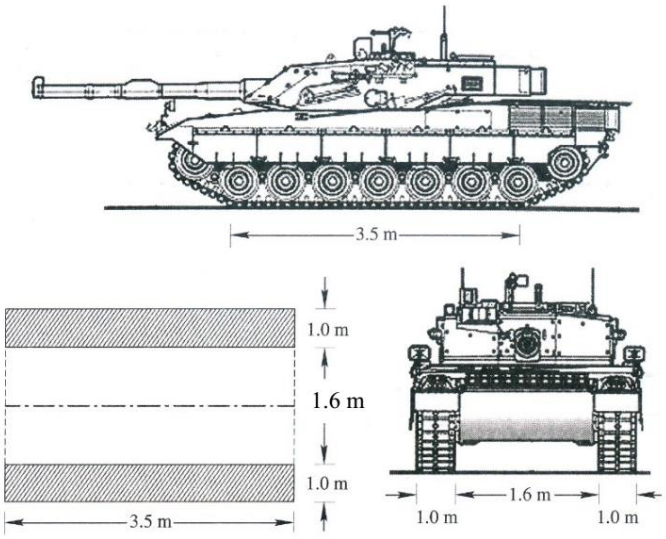
یادآوری ۵- حداقل فاصلهٔ مرکز چرخ‌های کامیون تا لبهٔ جدول یا پیاده‌روی پل ۰٫۵ m است.

پ-۱-۴-۱-۲ بار نوع دوم: اثر تیغه‌ای بار زنده (بار متمرکز)

بار متمرکز ۸۰ kN که سطح اثر آن مربعی به ابعاد ۰٫۳ m و موقعیت آن در محدودهٔ سواره‌رو متغیر است.

پ-۱-۴-۱-۳ بار نوع سوم- الف: بار غیر عادی- تانک ارتشی

این بار به‌میزان ۷۰۰ kN به‌صورت گستردهٔ یکنواخت روی دو زنجیر به ابعاد ۱٫۰۰ m × ۳٫۵۰ m طبق شکل پ-۳ منظور می‌شود. در هر قسمت از عرض سواره‌رو تنها یک تانک قرار گرفته، در امتداد طولی پل، حداقل فاصله وسط تا وسط تانک‌های متوالی، ۳۰ m در نظر گرفته می‌شود.



شکل پ-۳- مشخصات هندسی بار معادل تانک ارتشی طراحی [41]

پ-۱-۴-۱-۴ بار نوع سوم- ب: بار غیر عادی- تریلی تانک‌بر (بوژی)

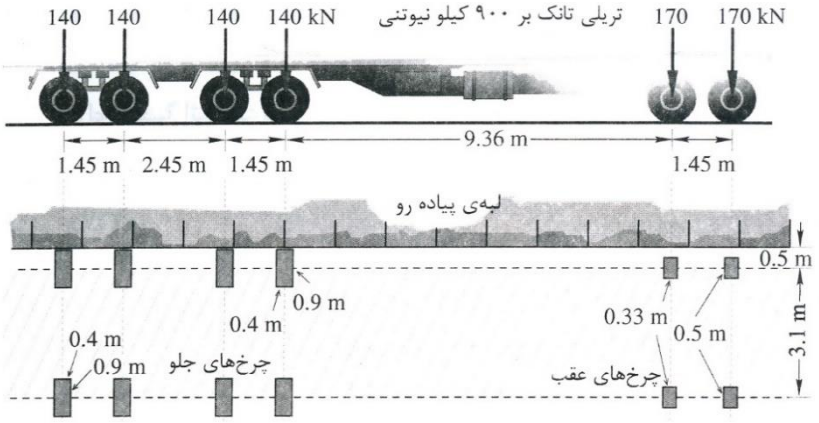
این بار مربوط به نوعی تریلی ۶ محوره است که برای حمل تانک ارتشی به‌کار می‌رود. این تریلی دارای ۲ محور عقب به وزن ۱۷۰ kN و چهار محور جلو به وزن ۱۴۰ kN و جمعاً ۹۰۰ kN است. در عرض پل تنها یک تریلی و در طول پل حداکثر دو دستگاه تریلی تانک‌بر با حداقل فواصل بین محورهای دو تریلی متوالی برابر با ۱۲ m منظور می‌شود. فاصلهٔ محور تا محور چرخ‌ها در این تریلی، در جهت عرض تریلی برابر با ۳٫۱۰ m و حداقل فاصلهٔ مرکز چرخ‌های آن از لبه پیاده‌رو، ۰٫۵۰ m است. مشخصات هندسی یکی از تریلی‌ها و بارهای آن در شکل پ-۴ نشان داده شده است.

یادآوری ۱- برای عبور بارهای استثنایی و سنگین‌تر از مفروضات فوق، باید مجوز عبور از مرجع ذیصلاح قانونی اخذ شود.

یادآوری ۲- حداقل سربار قائم زنده برای خاکریز پشت پایه‌های کناری پل (کوله) ناشی از عبور تریلی تانک‌بر (بار با شاخص LS) برابر با ۱۰ kPa فرض می‌شود.

یادآوری ۳- حداقل شعاع دور زدن تریلی‌های تانک‌بر در قوس‌های افقی، ۵۰ m است.

یادآوری ۴- بار تانک و تریلی تانک‌بر صرفاً در ترکیب بار II حالت حدی مقاومت طبق جدول پ-۱ با ضریب بار زنده ۱٫۳۵ منظور می‌شود و نیازی به لحاظ کردن آن‌ها در ترکیب بار مقاومت I نیست.



شکل پ-۴- مشخصات هندسی و بارهای محور معادل تریلی تانک‌بر [41]

پ-۱-۴-۱-۵ بار نوع چهارم- بار ویژهٔ حالت حدی خستگی و شکست

به‌منظور ارزیابی حالت حدی خستگی و شکست (در روسازه‌های فولادی و همچنین مختلط شامل دال بتنی و تیر فولادی)، یک بار ویژهٔ خستگی معادل وزن محورهای بار عادی (کامیون طراحی) بدون بار گستردهٔ ۱۵ kN/m باید مدنظر قرار داده شود. این بار تنها در یک خط عبور منظور می‌شود.

پ-۱-۴-۱-۶ ضریب ضربه (اثر دینامیکی عبور بار زنده عادی)، IM

بار محورهای کامیون طراحی (بار عادی) باید در ضریب ضربه که از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید ضرب شود:

$$IM = 1.3 - 0.005L - 0.15h \geq 1.0 \qquad (پ-۴)$$

که در آن:

L در پل‌های با دهانه ساده، معادل طول دهانه برحسب m. در پل‌های با روسازه‌های پیوسته نیز، در محاسبهٔ لنگر خمشی مثبت هر دهانه، L طول همان دهانه و در محاسبهٔ لنگرهای خمشی تکیه‌گاهی L مقدار متوسط طول دو دهانهٔ مجاور تکیه‌گاه مورد نظر است. در مورد تیرهای عرضی و دال‌ها، L طول دهانهٔ عرضی مربوطه است. در محاسبهٔ اجزای طره‌ای، L طول طره است؛

h ارتفاع خاکریز روی پل برحسب m.

یادآوری ۱- پارامتر h مربوط به پل‌های زیرخاکی بوده، در پل‌های فاقد خاکریز (پل هم‌سطح) برابر با صفر منظور می‌شود.

یادآوری ۲- در محاسبات سازه‌ای اعضای روسازه و پایه‌های میانی، ضریب ضربه منظور می‌شود. برای طراحی دیوارهای حایل، کوله و شالوده نیازی به لحاظ‌کردن این ضریب نیست.

یادآوری ۳- در خصوص بار ویژهٔ خستگی و شکست، ضریب ضربه باید طبق همین زیربند اعمال شود.

پ-۱-۴-۲ بارهای پیاده‌رو، PL

در پل‌های سواره‌رو، در صورتی که بار زندهٔ عادی (کامیون طراحی) روی سطح سواره‌رو قرار داده شود، یک بار گستردهٔ یکنواخت به شدت ۲ kPa در بخش پیاده‌رو اعمال می‌شود. برای طراحی اجزای ثانویهٔ روسازهٔ پل (به‌جز تیرهای باربر اصلی)، باید باری معادل ۴ kPa در سطح پیاده‌رو اعمال نمود. در شرایط استثنایی، باید اثر بار چرخ جلوی کامیون طراحی (بار متمرکز ۴۰ kN) در سطح با ابعاد ۰٫۲ m × ۰٫۳۵ m در نامناسب‌ترین موقعیت روی سطح پیاده‌رو منظور شود. نیازی به ترکیب این بار متمرکز با بارهای گسترده پیاده‌رو نیست.

بار زندهٔ محاسباتی در پل‌های ویژه عابرین پیاده و عبور دوچرخه از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$p = 2 + \frac{150}{L+150} \qquad (پ-۵)$$

که در آن:

L طول بارگذاری‌شده (که معادل طول دهانهٔ پل است) برحسب m؛

p بار محاسباتی پیاده‌رو برحسب kPa.

برای طراحی سازه‌ای پل‌های عابر پیاده، استفاده از مراجع معتبر مانند منبع [43] توصیه می‌شود.

پ-۱-۴-۳ نیروهای ناشی از برخورد خودرو با پایهٔ پل، CT

اگر از پایه‌های پل در برابر برخورد وسایل نقلیهٔ عبوری از راه زیرگذر پل محافظت به عمل نیاید، باید در امتداد محور راه زیر پل، یک نیروی افقی متمرکز به شدت ۸۰۰ kN و در امتداد عمود بر محور راه زیر پل، یک نیروی افقی متمرکز به شدت ۳۰۰ kN در تراز ۱ m از سطح راه به پایه پل در نظر گرفته شود. نیازی به اعمال هم‌زمان این دو نیرو با یکدیگر نیست.

پ-۱-۴-۴ نیروهای ناشی از برخورد اجسام شناور با پایهٔ پل، CV

در صورتی که احتمال برخورد کشتی یا سایر شناورها بر پایه‌های پل وجود داشته باشد، لازم است بار ضربه اجسام شناور در آب با عمق طراحی بزرگ‌تر یا مساوی ۶۰۰ mm از تراز متوسط آب در نظر گرفته شود.

بار کمینهٔ ضربه برای طراحی زیر سازهٔ پل باید با فرض یک بارج خالی که با سرعتی برابر با سرعت متو سط سالانهٔ جریان آب در آن محـل در حال حرکت است، تعیین شـود. بارج طـراحی، با ابعاد ۱۰٫۷ m × ۶۰ m، با جـرم حداقـل ۱۸۰ Mg در وضعیت خالی و بدون نیاز به اعمـال ضریب ضربه است مگر آنکه در مشخصـات فنی پروژه، روند دیگری قید شده باشد.

پ-۱-۴-۵ نیروهای ناشی از جریان آب، WA

در پل‌های رودخانه‌ای، فشار ناشی از جریان آب روی پایه‌ها از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$P = 0.512KV^2 \qquad (پ-۶)$$

که در آن:

P فشار جریان آب برحسب kPa (توزیع فشار در ارتفاع پایه به‌صورت گستردهٔ یکنواخت فرض می‌شود)؛

V سرعت جریان آب برحسب m/s (که بر اساس مطالعات هیدرولوژی و دورهٔ بازگشت مورد تایید کارفرما به‌دست می‌آید)؛

K ضریبی که با توجـه به شـکل مقطع عرضـی پایه پل به‌دست می‌آید. برای مقـطع دایره‌ای ۰٫۶۶، برای مقطع مستطیلی برابر با ۱٫۵ و برای مقاطع دماغه‌ای شکل (بیضی) برابر با ۰٫۵ است.

یادآوری ۱- به جای رابطهٔ سـاده‌شـدهٔ پ-۶، می‌توان از روابط مبتنی بر ضـریب پسای طـولی و عرضـی در Section 3 منبع AASHTO LRFD [40] برای تعیین نیروهای ناشی از جریان آب در دو راستای طولی و عرضی پایه‌های پل استفاده کرد.

یادآوری ۲- احتمال غوطه‌وری و شناوری اجزای پل باید در محاسبات منظور شود.

یادآوری ۳- بار مـوج برای پایه پل‌های مسـتقر در آب آزاد باید با یک روش مهندسی قابل قبـول تعیین شـود. باید مطالعات ساختگاهی در این مورد انجـام پذیرد تا مشـخصات ویژهٔ امـواج تعیین شـود. برای این موضـوع می‌توان به منـابع معتبر نظیر راهنمای حفاظت از سواحل ایالات متحده [44] مراجعه کرد.

یادآوری ۴- انجام مطالعات هیدرولوژی و هیدرولیک در پل‌های واقع بر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها الزامی است و هندسهٔ پل شامل طول دهانه‌ها و ارتفاع روسازه نسبت به تراز سیلابی، عمـق استقرار پی (تعیین عمق فرسـایش و آب‌شسـتگی) و بارهـای مربوط به جریان آب وارد بر پایه‌ها بر اساس آن مطالعات حاصل خواهد شد.

پ-۱-۴-۶ بار یخ، IC

بارهـای یخ در رودخانه‌ها و دریاها باید با استفاده از اطلاعات ویژهٔ سـاختگاه تعیین شـود. نیـروهای یخ روی پایـه‌ها باید با توجـه به شرایط ساختگاه و مودهای مورد انتظار رفتار یخ به شرح زیر تعیین شود:

- فشار دینامیکی ناشی از تخته‌های یخ متحرک که از طریق وزش جریان باد یا آب حمل می‌شوند؛
- فشار ایستا ناشی از تغییرات حرارتی قطعات یخ؛
- فشار ناشی از یخ‌بندهای معلق یا یخ انباشته؛
- برکنش ایستا یا نیروی قائم ناشی از آمیختن یخ در آب در ترازهای متلاطم.

ضخامت مورد انتظار یخ، جهت حرکت آن، و ارتفـاع مؤثر در عملکرد آن، بایـد با استفاده از مطالعات میدانی، مرور تاریخچه، نقشه‌برداری هوایی، یا سایر روش‌های مناسـب تعیین شود. در نبود اطلاعات بیشتر می‌توان از الزامات مندرج در بند ۱۲ استفاده نمود.

پ-۱-۴-۷ اثر باد وارد بر سازه پل، WS و اثر باد وارد بر بار زنده، WL

پ-۱-۴-۷-۱ مؤلفه افقی بار باد

پ-۱-۴-۷-۱-۱ ملاحظات کلی

فشار باد باید به‌صـورت یکنواخت روی سطح در معـرض باد اجزای پل توزیع شود. این اجزا شامل کلیه عناصر بادگیر شـامل سـامانهٔ روســازه، نرده‌ها و جان‌پناه‌ها و موانـع صـوتی نصب‌شده روی روسازه، ســطوح بادگیر وسـایل نقلیهٔ عبــوری از روی پل و همچنین عناصـر زیرسـازه مانند پایه‌های میـانی و کـوله‌ها است. بار باد به‌صورت حاصل ضرب فشار باد و سطح بادگیر محاسبه می‌شود. بار باد باید به‌صورت مؤلفهٔ افقی و مؤلفهٔ قائم محاسبه و به اجزای پل اعمال شـود. از سطوحی که در تأثیر نیروی مورد بررسی مشـارکت نمی‌کنند می‌توان در تحلیل پل در برابر باد صرف‌نظر نمـود. در پل‌های متعارف، بارهای باد منتقل شــده از روسـازه به زیرسازه را می‌توان برای باد در راستای عرضی پل عمـود بر سـطوح نمای طولی پل تعیین نمـود و سپس برای زوایای مختلف وزش باد با اسـتفاده از زیربند پ-۱-۴-۷-۱-۶-۳-۱ اصلاح کرد. الزامات بار قائم باد در زیربند پ-۱-۴-۷-۲ آمده است.

پ-۱-۴-۷-۱-۲ سرعت مبنای باد

طـراحی پل در برابر بار باد باید بر اساس یکی از ترکیبـات بارگذاری جدول پ-۸ انجام شود. برای ترکیب بار مقاومت III، سرعت مبنای باد همان سرعت تندباد s ۳ مطرح شده در زیربند ۱۳-۴ این اسـتاندارد است. این سرعت بر اساس جدول ۱۷ یا مطالعات ویژهٔ ساختگاه به دسـت می‌آید. باید پل‌های راه، حداقل بر اساس ردهٔ خطرپذیــری ۲ جدول ۱۶ (با دورهٔ بازگشت ۷۰۰ سال) در برابر بار باد طراحی شـوند اما انتخاب ردهٔ بالاتر با توجه به میزان اهمیت پل امکان‌پذیر است. رده‌های خطرپذیری در برابر باد در جدول ۴ بیان شده است.

جدول پ-۸- سرعت مبنای باد (تندباد s ۳) برای ترکیبات مختلف طراحی [40]

ترکیب بارگذاری	سرعت مبنای باد m/s
مقاومت III	سرعت تندباد s ۳ طبق جدول ۱۷ (یا مطالعات ویژهٔ ساختگاه)
مقاومت V	۳۵
بهره‌برداری I	۳۰
بهره‌برداری IV	٪ ۷۵ سرعت باد به‌کار رفته در ترکیب بار مقاومت III

یادآوری- ضریب اهمیت طـراحی پل‌های متعارف در برابر باد طبـق جدول ۱۶ برابر با ۱٫۰۰ منظور می‌شـود و به همـین علت ضریب اهمیت بار باد، I_w، در رابطهٔ (پ-۷) این پیوست اعمال نشده است. در صورت نیاز به اعمال دورهٔ بازگشت متفاوت با ۷۰۰ سال در طراحی پل، می‌توان ردهٔ خطرپذیری و اهمیت مناسب را طبق جدول ۱۶ و پیوست **ب** تعیین کرد.

پ-۱-۴-۷-۱-۳ راستای باد برای تعیین ردهٔ مواجهه

مشابه آنچه در زیربند ۱۳-۶-۲ این استاندارد بیان شد، ردهٔ مواجـهه باد وارد بر سازه (در اینجا پل) باید برای دو مؤلفهٔ متعامد انجام پذیـرد. در پل‌های متعـارف، نیـروی باد عمـود بر اجـزای پل مدنظر قرار داده می‌شود. در پل‌های طویـل و همچنین در پل‌های مرتفع، چنـدین ردهٔ مواجهه بایـد برای تعیین بحرانی‌ترین راســتای اعمال باد ارزیابی شود.

پ-۱-۴-۷-۱-۴ رده‌های پوشش سطح زمین

این رده‌ها در زیربند ۱۳-۶-۳ این استاندارد تعریف شده، در این پیوست نیز قابل استفاده است.

پ-۱-۴-۷-۱-۵ رده‌های مواجههٔ باد

این رده‌ها در زیربند ۱۳-۶-۴ این استاندارد تعریف شده، در این پیوست نیز قابل استفاده است.

پ-۱-۴-۷-۱-۶ بار باد وارد بر سازهٔ پل، WS

پ-۱-۴-۷-۱-۶-۱ فشار مبنای باد

فشار مبنای باد از رابطهٔ زیر قابل تعیین است:

$$P_z = 0.613V^2K_zGC_D \qquad (پ-۷)$$

که در آن:

P_z فشار مبنای باد برحسب Pa؛

V سرعت مبنای باد بر اسـاس تندباد ۳ s طبق جدول ۱۷ یا مطالعات ویژهٔ سـاختگاه برحسب m/s؛

K_z ضریب مواجهه که برای ترکیبـات بار مقاومت III و بهره‌برداری IV طبق جدول ۲۰ و در سایر ترکیبات بارگذاری برابر با واحد منظور می شود. در تعیین این پارامتر، مقدار ارتفاع سازه، Z برحسب m به نحو زیر تعیین می‌شود:

- در روسازهٔ پل: میانگین ارتفاع تراز فوقانی روسازه بالای سطح زمین یا تراز آب؛
- در زیرسازهٔ پل که ارتفاعی پایین‌تر از تراز روسـازه دارد: همان ارتفاع مورد استفاده در تعیین فشار باد وارد بر روسازه ملاک عمل است؛
- در زیرسازهٔ پلی که ارتفـاع آن بیشتر از تراز روسـازه باشـد (مانند پایلون‌ها): ارتفـاع بالاترین بخش زیرسازه منظور می‌شود.
- برای موانع صوتی[1] نصب شده روی پل: ارتفاع بالاترین بخش مانع صوتی بالای سطح زمین یا تراز آب اطراف سازه ملاک قرار می‌گیرد.
- در هیچ موردی نباید مقدار Z کوچک‌تر از ۱۰ m منظور شود.

1- Sound barriers

G ضریب اثر تندباد که برای ترکیبات بار مقاومت III و بهره‌برداری IV بر اساس مطالعهٔ مختص سازه مورد بررسی یا جدول پ-۹ به‌دست می‌آید و در سایر ترکیبات بارگذاری برابر با واحد منظور می‌شود؛

C_D ضریب پسای تعیین‌شده با یک مطالعهٔ مختص سازه یا جدول پ-۱۰ است.

جدول پ-۹- ضریب اثر تندباد، G [40]

نوع سازه	ضریب اثر تندباد، G
موانع صوتی نصب‌شده روی پل‌ها	۰٫۸۵
سایر سازه‌ها	۱٫۰۰

جدول پ-۱۰- ضریب پسا، C_D [40]

جزء مورد بررسی		رو به باد[1]	پشت به باد[2]
روسازه‌های با شاه‌تیرهای I شکل و جعبه‌ای		۱٫۳	غیر قابل کاربرد
خرپاها، ستون‌ها و قوس‌ها	عضو با لبه تیز	۲٫۰	۱٫۰
	عضو گرد	۱٫۰	۰٫۵
زیرسازهٔ پل		۱٫۶	غیر قابل کاربرد
موانع صوتی		۱٫۲	غیر قابل کاربرد

پ-۱-۴-۷-۱-۶-۲ بار باد وارد بر روسازهٔ پل

در تعیین مقادیر نیروی باد وارد بر روسازه، دو مؤلفهٔ طولی و عرضی باد وارد بر روسازه به‌صورت جداگانه مدنظر قرار داده می‌شود. بارهای باد به‌صورت جمع جبری مؤلفه‌های طولی و عرضی بار باد وارد بر اجزای روسازه منظور می‌شود. راستای حاکم باد برای اثر در جزء مورد بررسی، راستایی است که بحرانی‌ترین وضعیت را ایجاد کند. دو مؤلفهٔ طولی و عرضی باد باید به‌صورت هم‌زمان بر عضو مورد بررسی روسازه اثر داده شود. مقدار بار باد از حاصل‌ضرب فشار مبنای باد در مساحت سطح بادگیر عضو به دست می‌آید.

پ-۱-۴-۷-۱-۶-۳ بار باد وارد بر زیرسازهٔ پل

پ-۱-۴-۷-۱-۶-۳-۱ بارهای منتقل شده از روسازه به زیرسازه

مؤلفه‌های طولی و عرضی بار باد منتقل شده از روسازه به زیرسازه برای زوایای مختلف باد برابر است با حاصل‌ضرب ضرایب زاویه تورب[3] طبق جدول پ-۱۱، فشار مبنای باد طبق رابطهٔ پ-۷ این پیوست و ارتفاع

1- Windward
2- Leeward
3- Skew coefficient

پل به‌دست می‌آید. ارتفاع پل باید در نمای پل عمـود بر راستای طولی آن مدنظر قرار داده شود. هر دو مؤلفهٔ بارهای باد باید به‌صورت بارهای خطـی در میـانهٔ ارتفـاع روسـازه اثر داده شوند. در پلان، مؤلفه‌های طولی باد باید به‌صـورت بارهای خطی در راسـتای محـور طـولی روسـازه اعمـال گردند. زاویهٔ تورب باید عمود بر محور طولی پل در پلان سـنجیده شود. راسـتای باد بـرای طـراحی بایـد به‌گونـه‌ای باشـد که بیشـترین اثـر را در زیرسازه ایجاد کند. مؤلفه‌های طولی و عرضی باد وارد بر روسازه باید به‌طور همزمان اعمال شوند.

یادآوری- در پل‌های متع ـارف دال و تی ـر (بتنی، فولادی یا مختلط) با ط ـول دهانهٔ کوچک‌تر از m ۴۵ و بیش ـینه ارتفاع m ۱۰ بالای سطح زمین یا تراز آب، مؤلفه‌های بار باد را به‌صورت زیر می‌توان به‌کار برد:

- مؤلفه عرضی: ٪ ۱۰۰ بار باد محاسباتی مبتنی بر راستای باد عمود بر محور طولی پل؛
- مؤلفه طول: ٪ ۲۵ بار عرضی.

هر دو نیرو به‌صورت هم‌زمان اعمال می‌شود.

جدول پ-۱۱- ضرایب تورب برای زوایای تورب وزش باد [40]

زاویهٔ تورب باد	خرپاها، ستون‌ها و قوس‌های قائم		شاه‌تیرها	
(°)	ضریب تورب عرضی	ضریب تورب طولی	ضریب تورب عرضی	ضریب تورب طولی
۰	۱٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۱٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
۱۵	۰٫۹۳۳	۰٫۱۶۰	۰٫۸۸۰	۰٫۱۲۰
۳۰	۰٫۸۶۷	۰٫۳۷۳	۰٫۸۲۰	۰٫۲۴۰
۴۵	۰٫۶۲۷	۰٫۵۴۷	۰٫۶۶۰	۰٫۳۲۰
۶۰	۰٫۳۲۰	۰٫۶۶۷	۰٫۳۴۰	۰٫۳۸۰

پ-۱-۴-۷-۱-۶-۳-۲ بارهای باد وارد بر زیرسازه به‌صورت مستقیم

نیروهای طولی و عرضی باد وارد بر زیرسـازه باید بر اسـاس فشـار مبنای باد محاسبه شود. برای راستاهای باد زاویه‌دار نسبت به زیرسـازه، فشـار باد باید به دو مؤلفهٔ عمـــود بر نماهای طولی و عرضی زیرسازه تجزیه شود. مؤلفهٔ عمود بر نمای عرضی باید به سـطح نمایان زیرسازه که در نمای عرضی دیده می‌شـود و مؤلفهٔ عمود بر نمای طولی باید بر سطح نمایان زیرسازه که در نمای طولی دیده می‌شـود اثر نماید. دو مؤلفهٔ نیروی باد وارد بر زیرسازه باید به‌طور هم‌زمان با بارهای باد اعمالی از طرف روسازه اعمال شوند.

پ-۱-۴-۷-۱-۶-۴ بارهای باد وارد بر موانع صوتی مستقر بر پل یا زمین

فشار باد وارد بر موانع صوتی متکی بر زمیـن یا پل باید با استفاده از رابطهٔ پ-۷ و با این فرض که راستای باد عمود بر سطح مانع صوتی است محاسبه شـود. این موانع باید با فرض توزیع یک فشـار گستردهٔ یکنواخت باد روی مانع طراحی شـوند. عناصـر تکیه‌گاهی قائم این موانع (در صـورت وجود)، شـالوده‌ها و اتصـالات پانل یا عناصر تکیه‌گاهی قائم به شـالوده یا سازهٔ نگهدارنده باید برای یک بار خطی برابر با فشار سرعتی باد ضرب در ارتفـاع مانع صـوتی طرح شـوند. بار خطی باید در فاصـله‌ای معـادل ۰٫۵۵ برابر ارتفـــاع مانع صوتی (از سمت

تحتانی) اعمال شود. برای تعیین موقعیت بار خطی، ارتفاع مانع صوتی باید در فاصله‌ای از بالای مانع صوتی تا موقعیت زیر منظور شود:

- تراز زمین بلافاصله مجاور مانع صوتی برای موانع صوتی متکی بر زمین؛
- تراز اتصال مانع صوتی تا سازه نگهدارنده برای موانع صوتی متکی بر سازه پل.

در صورتی که مانع صوتی روی نرده ترافیکی یا دیوار حائل بالای سطح زمین نصب شود، مقدار و موقعیت بارهای باد منتقل شده پای نرده ترافیکی نگهدارنده یا دیوار حائل باید بر ا ساس ضوابط فوق به د ست آید با این فرض که ارتفاع سطح نمایان برابر با مجموع ارتفاع مانع صوتی به علاوه ارتفاع نرده نگهدارنده یا دیوار حائل است. ارتفاع نردهٔ نگهدارنده یا دیوار حائل منظورشده در تعیین مقدار و موقعیت بار باد باید از بالای سطح زمین، عرشهٔ پل یا روکش (روسازی) سواره‌رو تا بالای نردهٔ نگهدارنده یا دیوار حائل در نظر گرفته شود.

پ-۱-۴-۷-۱-۶-۵ بار باد وارد بر خودروهای عبوری از روی پل، WL

بار باد وارد بر وسایل نقلیه باید به‌صورت یک بار متحرک عمود بر سطح بادگیر وسیلهٔ نقلیه با مقداری برابر با ۱٫۵ kN/m به‌صورت عرضی، و در تراز ۱٫۸ m بالای سطح سواره‌رو اعمال‌شده، به سازه منتقل شود. برای زوایای گوناگون راستای باد، مؤلفه‌های طولی و عرضی بار باد وارد بر بار زنده را می‌توان طبق جدول پ-۱۲ بر اساس زاویهٔ تورب سنجیده‌شده به‌صورت عمود بر محور طولی پل در پلان تعیین کرد.

جدول پ-۱۲- مؤلفه‌های بار باد وارد بر بار ترافیک، WL [40]

زاویهٔ تورب (°)	مؤلفهٔ عرضی kN/m	مؤلفهٔ موازی kN/m
صفر	۱٫۵۰	صفر
۱۵	۱٫۳۰	۰٫۲۰
۳۰	۱٫۲۰	۰٫۳۵
۴۵	۱٫۰۰	۰٫۴۵
۶۰	۰٫۵۰	۰٫۵۵

در پل‌های دال و تیر متعارف با طول دهانهٔ کوچک‌تر از ۴۵ m و ارتفاع کوچک‌تر از ۱۰ m بالای سطح زمین یا تراز آب، مؤلفه‌های بار باد وارد بر بار زندهٔ زیر را می‌توان به کار برد:

- مقدار ۱٫۵ kN/m به‌صورت عرضی؛
- مقدار ۰٫۶ kN/m به‌صورت طولی.

این دو نیرو باید به‌صورت هم‌زمان اعمال شود.

پ-۱-۴-۷-۲ مؤلفهٔ قائم بار باد

در صورتی که از ضوابط زیربند پ-۱-۴-۷-۳ استفاده نشود، آثار نیروهای باد متمایل به ایجاد برکنش و واژگونی در پل را باید به‌صورت یک نیروی قائم رو به بالا برابر با مقادیر زیر:

- مقدار ۱ kPa برای ترکیب بار مقاومت III؛
- مقدار ۰٫۵ kPa برای ترکیب بار بهره‌برداری IV.

ضرب در پهنای عرشه شامل جان‌پناه‌ها و پیاده‌روها به‌صورت یک بار خطی اعمال نمود. این نیرو باید فقط هنگامی منظور شود که راستای باد افقی عمود بر محور طولی پل در نظر گرفته شده باشد. این نیرو باید به‌صورت رو به بالا و در موقعیت یک چهارم پهنای عرشه از لبهٔ آن همراه با مؤلفهٔ افقی بار باد بیان‌شده در زیربند پ-۱-۴-۷-۱ اعمال شود. بار قائم باد را نباید در ترکیبات بار به‌جز مقاومت III و بهره‌برداری IV منظور کرد.

پ-۱-۴-۷-۳ آثار جابه‌جایی ناشی از باد

پ-۱-۴-۷-۳-۱ ملاحظات کلی

ضوابط این زیربند باید برای پل‌های تحت بهره‌برداری و همچنین پل‌های در حال ساخت پس از نصب عرشه و سایر اجزای تأثیرگذار در رفتار هواکشسان[1] به‌کار رود. آثار نیرویی ارتعاشات ناشی از باد باید در طراحی پل‌ها و اجزای سازه‌ای حساس به باد منظور شود. برای برآورده شدن الزام این زیربند، پل‌های زیر باید حساس به باد دانسته شوند:

- کلیهٔ پل‌ها با نسبت طول دهانه به ارتفاع و همچنین اجزای سازه‌ای آن‌ها با یک نسبت طول به پهنای بزرگ‌تر از ۳۰؛
- کلیهٔ پل‌های کابل ایستا (ترکه‌ای) و معلق؛
- کلیهٔ پل‌ها با زمان‌های تناوب اصلی قائم یا جانبی بزرگ‌تر از ۱ s.

قابلیت ارتعاشات ناشی از باد کابل‌ها (و اثر توأم باد و باران[2]) به علت سازوکار سببی نیز باید لحاظ شود.

پ-۱-۴-۷-۳-۲ ارتعاشات ناشی از باد

ارتعاشات ناشی از باد به علت لرزش[3]، تحریک گردباده[4]، پدیدهٔ رقصانی[5]، بال‌بال زدن[6] و واگرایی ایستا[7] پل‌های حساس به باد و همچنین اجزای حساس به باد باید مدنظر باشد.

پ-۱-۴-۷-۳-۳ کنترل پاسخ‌های دینامیکی

در پل‌های حساس به باد، بیشینه شتاب‌های قائم وارد بر روسازه ناشی از جداشدگی گردباده یا لرزش باید کمتر از ٪ ۵ شتاب ثقل برای سرعت‌های پایدار باد کوچک‌تر از km/h ۵۰ و کمتر از ٪ ۱۰ شتاب ثقل برای سرعت‌های پایدار باد بزرگ‌تر از km/h ۵۰ و کوچک‌تر از km/h ۸۰ باشد. پل‌های حساس به باد و عناصر سازه‌ای حساس به باد آن‌ها شامل کابل‌ها را باید برای آثار خستگی ناشی از نوسانات مربوط به

1- Airoelastic
2- Rain-wind induced vibration
3- Buffeting
4- Vortex excitation
5- Galloping
6- Flutter
7- Static divergence

گردباده یا پدیدهٔ رقص ـانی طراحی کرد. پل‌ها باید به‌گونـ ـه‌ای طرح شـ ـوند که فاقد آثار واگ ـرایی، رقصانی و بال‌بال زدن برای باد با سـرعت پایـدار میانگین ۱۰ min معـادل ٪ ۸۵ سرعت باد طـراحی قابل اعمال در پل تکمیل شده برای تراز روسـازه باشند. به‌منـظور تعیین سرعت باد میانگین ۱۰ min، سـرعت باد طراحی قابل اعمال به پل تکمیل شده در تراز روسـازه را باید در ضـریب $V(K_z)^{0.5}$ ضـرب کرد که در آن پارامترهای V و K_z در زیربند ۱۳-۴ و زیربند ۱۳-۹-۱ این استاندارد تعریف شده است.

پ-۱-۴-۷-۴ مطالعات ویژهٔ ساختگاه یا ویژه یک پل خاص

الزامات زیربند پ-۱-۴-۷-۳-۳ را می‌توان با منظور کردن موارد زیر برآورده نمود:

- تحلیـل تاریخـچهٔ داده‌های باد ویژهٔ سـاختگاه در مناطـق طوفـان‌خیـز و شبیه‌سازی عددی ویژهٔ ساختگاه مربوط به سرعت‌های باد در رخداد طوفان محتمل برای تعیین معیارهای باد طراحی به‌کار رود؛
- آزمون‌های تونل باد با اسـتفاده از روندهای مورد تأیید برای تعیین بارهای باد و سنجش پایداری هواکشسان به‌کار گرفته شود. اطلاعات بیشتر برای آزمـون تونـل باد در زیربند ۱۳-۱۵ این استاندارد ارائه شده است. همچنین بررسـی نیاز به آزمایـش تونل باد در پل‌های راه (به ویـژه پل‌های معـلق و ترکه‌ای) را می‌توان طبق ضوابط منبع CD 363 [45] به انجام رساند.

یادآوری- منبع CD 363 جایگزین منبع قدیمی DMRB-BD49/01 شده است.

پ-۱-۴-۸ اثرات دما

پ-۱-۴-۸-۱ بارهای ناشی از اختلاف یکنواخت دما، TU

اثر تغییرات یکنواخت دما باید در محاسبهٔ تمـام اجـزای باربر پل مورد توجـه باشد. در نبـود اطلاعات ویـژهٔ ساختگاه (که با مطالعات هواشناسی در بازهٔ زمانی حداقل ۵۰ سال به‌دست می‌آید) این تغییرات برای پل‌های سطحی که خاک‌ریزی روی آن‌ها انجام نمی‌شود، برابر با $35 \pm ^{\circ}C$ و برای پل‌های زیرخاکی کم‌عمق (با ارتفاع خاکریزی m ۳ یا کمتر) معادل $20 \pm ^{\circ}C$ منظور می‌شود. این زیربند بر اساس نشریهٔ شمارهٔ ۱۳۹ [41] تدوین شده است.

پ-۱-۴-۸-۲ بارهای ناشی از اختلاف غیر یکنواخت دما (اختلاف دمای جهشی)، TG

اثر اختلاف دما بین سـطوح فوقانی و تحتانی روسازهٔ پل با این فرض که تغییر ضخامت مقطع خطی است، در محاسبات وارد می‌شود. این اختلاف تابع اوضاع فصلی است که خود به یکی از دو حالت زیر ظاهر می‌شود:

الف- تابش خورشید روی سطح فوقانی (گرم‌تر) و سایه در سطح تحتانی (سردتر) روسازه پل؛

ب- یخبندان روی سطح فوقانی عرشه پل.

مقدار اختلاف دما با توجه به شرایط یادشده و نوع پل از جدول پ-۱۳ به‌دست می‌آید.

جدول پ-۱۳- اختلاف دمای جهشی (گرادیان حرارتی) در سطوح فوقانی و تحتانی روسازهٔ پل‌ها (°C)

نوع پل / اوضاع فصلی	روسازهٔ فلزی	روسازهٔ بتنی	روسازهٔ مختلط (مرکب)
حالت ۱	۱۰	۷	۱۰
حالت ۲	۵	۳٫۵	۷

یادآوری- موضوع گرادیان حرارتی افقی در پل‌هایی که به صورت طرهٔ آزاد نصب و اجرا می‌شوند را می‌توان به صورت یک اختلاف دمای $6\ ^{\circ}C$ بین داخل تیرجعبه و بیرون آن مدنظر قرار داد.

پ-۱-۴-۹ آثار ناشی از نشست پایه‌ها، SE

چنانچه نشست یا کوتاه‌شدگی نامساوی بین دو یا چند پایهٔ پل محتمل باشد باید اثرات آن در طراحی پل (به ویژه پل‌های نامعین ایستا) منظور شود. آثار نیرویی و لنگرهای خمشی ناشی از مقادیر حدی نشست نامتقارن در زیرسازه‌ها و در واحدهای مجزای زیرسازه باید مدنظر قرار گیرد.

یادآوری ۱- یک رویهٔ متعارف برای واپایش نشست پایه‌ها آن است که ابتدا نشست پایه‌ها به‌صورت مستقل از یکدیگر محاسبه می‌شود و سپس هر پایه برای ٪ ۶۷ نشست نسبی بین آن پایه و پایهٔ مجاور واپایش می‌شود. ترکیب‌های بارگذاری واپایش نشست نامتقارن بین پایه‌ها بر اساس ترکیب‌های بارگذاری حالت حدی بهره‌برداری خواهد بود.

یادآوری۲- در طراحی دستگاه‌های تکیه‌گاهی (نشیمن‌گاه) پل‌ها، علاوه بر اثر بارهای اصلی باید اثر تغییرشکل‌هایی که به علت تغییرات دما، پیش‌تنیدگی، جمع‌شدگی و خزش بتن در عرشهٔ پل ایجاد می‌شوند و نیز اثر نشست و دوران پایه‌ها هم در نظر گرفته شود. به علاوه نیروهای داخلی حاصل از تغییرشکل‌های مختلف این دستگاه‌ها هم باید در محاسبهٔ پایه‌ها در نظر گرفته شوند.

پ-۱-۴-۱۰ بار ناشی از انفجار، BL

چنانچه مقرر باشد پل یا اجزایی از آن برای نیروی انفجار عمدی یا غیرعمدی طراحی شود، موارد زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- مقدار مواد منفجره؛
- آرایش مواد منفجره؛
- نوع مواد منفجره؛
- فاصله گریز و ترتیب و توالی انفجارها؛
- موقعیت استقرار مواد منفجره؛
- حالات محتمل ظرفیت‌های حمل مواد منفجره (مثلاً، بیشینهٔ وزن مواد منفجره به نوع وسیلهٔ نقلیه که ممکن است سواری، کامیون یا کشتی باشد وابسته است)؛
- پراکنده‌شدن همراه با مواد منفجره حمل‌شده با وسایل نقلیه.

برای طراحی پل‌های راه در برابر انفجار، می‌توان به منبع NCHRP R645 [46] مراجعه کرد.

پ-۱-۴-۱۱ بار ناشی از اصطکاک، FR

نیروهای ناشی از اصطکاک باید بر مبنای مقادیر حدی ضریب اصطکاک بین سطوح لغزنده روی هم تعیین شود. در صورت لزوم، تأثیر رطوبت و زوال یا آلودگی احتمالی سطوح لغزشی و چرخشی روی ضریب اصطکاک باید در نظر گرفته شود.

پ-۱-۴-۱۲ آثار ناشی از زلزله، EQ

برای تعیین آثار زلزله و طراحی پل در برابر زلزله باید به استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۴۶۸۴ [47] مراجعه شود. آثار فشار دینامیکی وارد از طرف خاک به دیوارهای حائل و کولهٔ پل‌ها در شرایط وقوع زلزله نیز در همان منبع قابل تعیین است.

پ-۱-۵ بارهای وارد بر نرده‌های ایمنی و جان‌پناه

پ-۱-۵-۱ ملاحظات کلی

به منظور حفاظت از وسایل نقلیه و تأمین ایمنی عابران پیاده باید اعضا و قطعات محافظ (جان‌پناه یا نرده) در دو لبهٔ روسازه پل نصب شوند.

پ-۱-۵-۲ نرده‌های ایمنی

در پل‌هایی که سطح جاده در دو طرف به دو پیاده‌رو با اختلاف ارتفاع حداقل ۲۵۰ mm ختم می‌شود، برای حفاظت جان عابران پیاده باید نرده‌های ایمنی در دو طرف روسازهٔ پل نصب شوند. حداقل ارتفاع نرده از سطح پیاده‌رو ۱ m در نظر گرفته می‌شود. کمینه بار طراحی برای نرده‌ها یک بار خطی به میزان ۰٫۸ kN/m است که به‌صورت قائم و افقی بر لبهٔ نرده اعمال می‌شود. به علاوه باید بار قائم متمرکزی به میزان ۱ kN در هر نقطه از اجزای افقی نرده، در نظر گرفته شود.

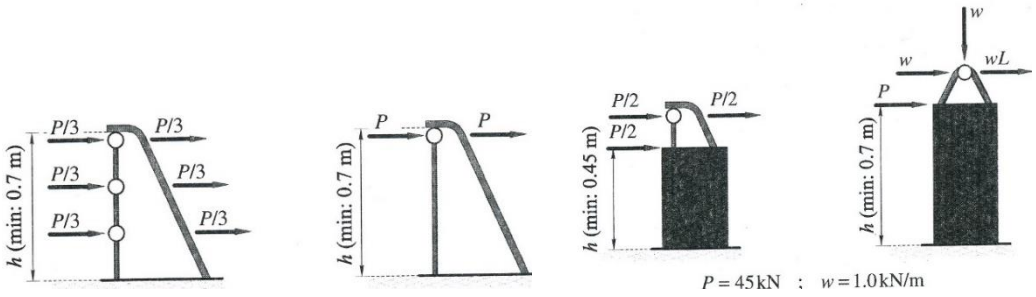
پ-۱-۵-۳ جان‌پناه

در پل‌های فاقد پیاده‌رو یا در مواردی که اختلاف تراز پیاده‌رو نسبت به سطح راه کمتر از ۲۵۰ mm بوده، احتمال انتقال اتفاقی بخشی از چرخ‌های وسیلهٔ نقلیه به سطح پیاده‌رو وجود داشته باشد، به جای نرده‌های ایمنی، جان‌پناهی مناسب در طرفین روسازه پل تعبیه می‌شود. جان‌پناه باید از جنس فولاد با کرنش گسیختگی بیش از ٪ ۱۰ یا آلیاژهای سبک نوردشده با کرنش بیش از ٪ ۶ ساخته شود. حداقل ارتفاع جان‌پناه از سطح تمام‌شدهٔ لبهٔ دال عرشه ۷۰۰ mm و ارتفاع معمول آن بین ۷۰۰ mm تا ۱۰۰۰ mm است.

پ-۱-۵-۴ بارگذاری

نردهٔ ایمنی یا جان‌پناه باید برای مجموعهٔ بارهای عرضی که در شکل پ-۵ نشان داده شده محاسبه شود. در این شکل مقادیر p و w به ترتیب معادل ۴۵ kN و ۱ kN/m در نظر گرفته می‌شوند. در مواردی که ارتفاع جان‌پناه، h از ۸۵۰ mm بزرگ‌تر باشد، بارهای طراحی به میزان ٪ ۳۵ افزایش می‌یابند. در امتداد

طول جان‌پنـــاه باری به میزان نصف بار عرضـــی روی یک تیرک[1] اعمـــال و حداکثر بین چهار تیرک تقسیم می‌شود. در پل‌های درون شهری باید یک جان‌پناه در حد فاصل پیاده‌رو و سطح سواره‌رو تعبیه شود.



شکل پ-۵- بارهای وارد بر نرده و جان‌پناه [41]

پ-۱-۶ واپایش تغییرشکل‌های روسازه

پ-۱-۶-۱ تغییرشکل‌های ناشی از بارهای دائمی

پس از محاســـبهٔ تغییرشـکل ناشـی از بارهـای دائمی وارد بر روسـازه پـل (به ویژه بارهای DC و DW)، باید پیش‌خیز[2] مناسب (تغییرشکل رو به بالا) هنگام ساخت شاه‌تیرها در طراحی مدنظر قرار گیرد.

یادآوری- توصیه می‌شود پیش‌خیز برای کل بار دایمی به اضـــافه نصف بارهای بهره‌برداری محاسبه شـود و در طراحی روسازه لحاظ شود.

پ-۱-۶-۲ تغییرشکل‌های ناشی از بارهای بهره‌برداری (افتادگی)

باید تغییرشکل‌های روسازه تحت بارهای بهره‌برداری (بار زنده عادی، LL تحت اثر ضربه، IM)، به این صورت محدود شود:

- پل‌های دال و تیر فولادی مختلط داخل شهر: یک هشت‌صدم طول دهانه؛
- پل‌های دال و تیر بتنی مختلط: یک هزارم طول دهانه به علاوه ۵۰ mm؛
- پل‌های طره‌ای: یک سی‌صدم طول دهانه.

یادآوری- تغییرشکل‌های بیشینه در آزمایش بارگذاری باید کوچک‌تر از ٪ ۷۵ مقادیر تغییرشکل مجاز ارائه‌شدهٔ فوق باشد.

1- Post
2- Camber

پ-۲ پل‌های راه‌آهن

پ-۲-۱ ملاحظات کلی

در این پیوست، مجموعه آیین‌نامه‌های اروپایی[1] برای تعیین بارهای وارد بر پل‌های راه‌آهن انتخاب شده که شامل زیرمجموعه زیر است:

- استاندارد EN 1990 [48] مبانی طراحی سازه‌ای (به‌طور ویژه، موضوع کنترل تغییرشکل‌ها)؛
- استاندارد EN 1991.1.1 [49] برای تعیین وزن مخصوص مصالح؛
- استاندارد EN 1991.2 [50] برای تعیین آثار بارهای ترافیکی (بهره‌برداری) وارد بر پل راه‌آهن؛
- استاندارد EN 1991.1.3 [51] برای تعیین بارهای برف (در صورت نیاز)؛
- استاندارد EN 1991.1.4 [52] برای تعیین بارهای باد (باد وارد بر سازهٔ پل و باد وارد بر قطار عبوری)؛
- استاندارد EN 1991.1.5 [53] برای تعیین آثار حرارتی؛
- استاندارد EN 1991.1.6 [54] برای تعیین بارهای وارد بر سازه به هنگام اجرا؛
- استاندارد EN 1991.1.7 [55] برای تعیین بارهای تصادفی و استثنایی؛
- استاندارد EN 1998.2 [56] برای تعیین آثار ناشی از زلزله در پل‌ها.

یادآوری- علت انتخاب آیین‌نامه‌های اروپایی، هماهنگی مشخصات فنی راه‌آهن ایران و قطارهای مورد استفاده در آن با آن آیین‌نامه‌ها است. لذا توصیه می‌شود برای طراحی پل‌های راه‌آهن مجموعه آیین‌نامه‌های اروپایی به کار رود. این پیوست را می‌توان به عنوان جایگزینی برای بخش بارهای وارد بر پل‌های راه‌آهن در نشریهٔ شمارهٔ ۱۳۹ (آیین‌نامه بارگذاری پل‌ها) [41] مدنظر قرار داد. استانداردهای مربوط به طراحی اجزای سازه‌ای پل راه‌آهن در زیربند پ-۲-۱۲ این پیوست بیان شده است.

پ-۲-۲ بارهای بهره‌برداری از پل راه‌آهن

پ-۲-۲-۱ کلیات

۱- این زیربند، برای تعیین آثار بارهای معادل قطار در خطوط راه‌آهن استاندارد و عریض[2] قابل کاربرد است.

۲- مدل‌های بار تعریف شده در این زیربند لزوماً منطبق با بارهای واقعی نیست. این بارها به‌صورتی انتخاب شده‌اند که آثار آن‌ها و اثرات دینامیکی (ضربه) که بیانگر اثرات ترافیک ریلی به هنگام بهره‌برداری است، به صورت جداگانه منظور شوند. در صورتی که ترافیک ریلی مدنظر در این زیربند با ترافیک مدنظر در پروژه متفاوت باشد، مدل‌های بار جایگزین همراه با قواعد ترکیبی متناظر باید به کار گرفته شوند.

۳- این زیربند از این پیوست برای تعیین کنش‌های ناشی از موارد زیر قابل کاربرد نیست:

- ریل راه‌آهن باریک[3]؛
- خطوط تراموا و سایر خطوط سبک ریلی شهری؛
- خطوط راه‌آهن ویژهٔ نگهداری مسیر خط[4]؛

1- Eurocode

۲- مطابق با آیین‌نامه طرح هندسی راه‌آهن (نشریهٔ شمارهٔ ۲۸۸) [57]

3- Narrow-gauge railways

4- Preservation railways

- خطوط راه‌آهن کوهستانی[1]؛
- خطوط راه‌آهن معلق (کابلی)[2].

یادآوری- بارگـذاری و مقادیر مشـخصه برای تعیین نیـروها در این نوع راه‌آهن را می‌توان توسـط کمیتهٔ فنی کارفرما مشخص کرد.

۴- الزامات مشخص شـده در Annex A2 اسـتاندارد EN 1990 [48] برای حدود تغییرشکل پل‌های راه‌آهن برای حفظ ایمنی بهره‌برداری و اطمینان از آسایش مسافران ارائه شده است.

۵- سه ترکیب مربوط به ترافیک ریلی به عنوان مبنای محاسبه عمر خستگی پل‌های راه‌آهن ارائه شده است (اطلاعات بیشتر در Annex D استاندارد EN 1991.2 [50] بیان گردیده است).

۶- وزن عناصر غیرسازه‌ای در پل راه‌آهن مانند وزن حصـــارهای صوتی و ایمنی[3]، علائـم، غلاف‌ها، کابل‌ها و تجهیزات بالاسری خط (به‌جز نیـروهای ناشی از کشـــش سیم و ...) است. برای تعیین آثار بارهای دایمی می‌توان به استاندارد EN 1991.1.1 [49] مراجعه کرد.

یادآوری ۱- در مورد پل‌های راه‌آهن باید علاوه بر وزن اجزای سازه‌ای، وزن اجـزای غیرسازه‌ای مانند بالاست، تراورس، پابندها، ریل، عایق‌کاری، نرده و جان‌پناه، لوله‌ها، مجاری عبور کابل، شبکه برق بالاسری و ... را در محاسبات سازه‌ای لحاظ کرد.

یادآوری ۲- وزن مخصـوص بالاست برابر با $19\ kN/m^3$ و مجمـوع وزن مربـوط به ریـل، تراورس، پابندها، سوزن ریل و علائم برابر با $7\ kN/m$ (به ازای هر خط عبـور راه‌آهن) منظور می‌شـــود. برای مشـاهده وزن مخصوص مصالح می‌توان به پیوست **الف** این اسـتاندارد و یا استاندارد EN 1991.1.1 [49] مراجعه کرد.

۷- در طراحی، باید توجـه ویـژه‌ای به پل‌های موقـت شود زیـــرا برخی از انواع این پل‌ها دارای انعطاف‌پذیری هستند. بارگذاری و الزامات طراحی پل‌های موقت باید توسط کارفرما مشخص شود.

۸- در طراحی پل‌های راه‌آهن و شـــرایطی که برای انجـام عملکرد پل نیـــاز است، ترکیب بار مناسب عوامل باید مورد استفاده قرار گیرد. همچنین شرایط طراحی پیش‌رو باید در نظر گرفته شود:

- شرایط عادی، عمدتاً مربوط به شرایط بهره‌برداری معمـول با اسـتفاده از دورهٔ بازگشـت برابر با عمر مورد انتظار سازه؛
- شرایط گـــذرا، مرتبط با شرایط موقت بهـره‌برداری از سـازه همراه با دورهٔ بازگشـت بسـیار کوچک‌تر از عمر سازه (مانند بارهای حین اجرا و بارهای مربوط به تعمیر و نگهـداری پل و اجـــزای غیرسازه‌ای آن)؛
- شرایط تصـادفی، شـامل وضـعیت‌های استثنایی، مانند بارهای ناشـی از خـروج قطار از خـــط، ضربه ناشی از برخورد وسیلهٔ نقلیه با پل و ...؛
- شرایط طراحی در برابر زلزله؛

1- Rack and pinion railways
2- Funicular railways
3- Noise & safety barriers

- هر شرایط طراحی دیگر لازم دانسته‌شده توسط کارفرما یا الزامات تعیین شده توسط مراجع ذیصلاح (مانند انفجار، بسته به نیاز کارفرما).

۹- بارهای وارد بر پل‌های شبکهٔ اصلی و فرعی راه‌آهن کشور از نوع متعارف را می‌توان بر اساس این پیوست تعیین نمود. برای تعیین بارهای وارد بر پل راه‌آهن با سازهٔ نامتعارف، مانند پل‌های کابل‌ایستا و معلق، باید به ضوابط استانداردهای معتبر دیگر مراجعه شود.

یادآوری- در این پیوست، عمر بهره‌برداری پل راه‌آهن برابر با ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده، نحوه محاسبهٔ بارهای وارد بر پل با توجه به این عمر ارائه می‌شود.

۱۰- برای مشخصات هندسی پل راه‌آهن تک خطه یا دو خطه شامل مقطع عرضی، شیب طولی و عرضی و ارتفاع آزاد مورد نیاز زیر پل به آیین‌نامه طرح هندسی راه‌آهن (نشریهٔ شمارهٔ ۲۸۸) [57] مراجعه شود.

پ-۲-۲-۲ معرفی بارهای ترافیکی ریلی

۱- در این پیوست، قواعد کلی برای محاسبه آثار دینامیکی بارهای قطار (ضربه)، نیروهای گریز از مرکز، نیروی نوسانات جانبی[1]، نیروهای ترمز و شتاب و آثار آئرودینامیکی ناشی از عبور قطار ارائه می‌شود.

۲- کنش‌های ناشی از بهره‌برداری از راه‌آهن در این پیوست شامل موارد زیر است:

- بارهای قائم: مدل بار LM71، SW (SW/0 و SW/2)، «قطار خالی» و قطار پر سرعت (HSLM)؛
- بار قائم خاکریز؛
- آثار دینامیکی بار قطار (ضربه)؛
- نیروهای گریز از مرکز؛
- نیروهای ترمز و شتاب؛
- کنش‌های آئرودینامیکی ناشی از عبور قطار؛
- کنش‌های مربوط به تجهیزات شبکه بالاسری برق و سایر تأسیسات و تجهیزات ویژهٔ خطوط راه‌آهن.

۳- کنش‌های مربوط به خارج شدن قطار از خط[2]

پ-۲-۳ بارهای قائم – مقادیر مشخصه (آثار ایستایی)، خروج از مرکزیت و توزیع بارگذاری

پ-۲-۳-۱ ملاحظات کلی

۱- آثار ترافیک ریلی به وسیلهٔ مدل‌های بارگذاری زیر تعریف می‌شود. برای بارهای قائم، چهار مدل بارگذاری (بارهای زنده) در ادامه آمده است:

- مدل بار ۷۱ و مدل بار SW/0 (برای پل‌های پیوسته) برای منظور کردن بار ترافیکی عادی راه‌آهن؛
- مدل بارگذاری SW/2 برای منظور کردن اثر بارهای ترافیک ریلی سنگین؛
- مدل بارگذاری HSLM[3] برای قطارهای پر سرعت؛

1- Nosing force
2- Derailement
3- High speed load model

- مدل بارگذاری «قطار خالی» برای منظور کردن آثار عبور قطار بدون بار.

یادآوری ۱- در استاندارد EN 1991.2 [50] یک مدل بارگذاری به نام HSLM (HSLM-A و HSLM-B) برای عبور قطار مسافربری با سرعت بزرگ‌تر از ۲۰۰ km/h ارائه گردیده است که می‌تواند با نظر کارفرما برای خطوط ریلی پرسرعت مورد استفاده قرار داده شود.

یادآوری ۲- الزامات اعمال مدل‌های بار مختلف در زیربند پ-۲-۸ آمده است.

۲- الزام فوق برای ایجاد تغییر در بارگذاری مشخصه به‌منظور اجازه دادن در اختلاف میان شکل، حجم و بیشینه وزن ترافیک ریلی در خطوط راه‌آهن مختلف منظور شده است.

[58]

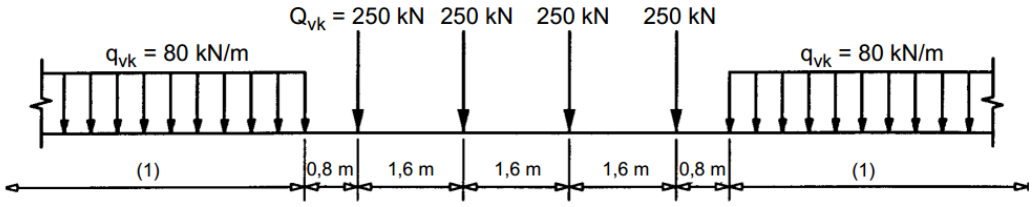
پ-۲-۳-۲ مدل بارگذاری ۷۱ (LM71)

۱- مدل بارگذاری ۷۱ (LM71) اثر ایستایی بارگذاری قائم ناشی از ترافیک ریلی عادی است.

۲- آرایش این مدل بار و مقادیر مشخصه بارهای قائم آن طبق شکل پ-۶ در نظر گرفته می‌شود.

۳- مقادیر مشخصه این بار باید برای قطارهای سنگین‌تر یا سبک‌تر، بنا به تشخیص کارفرما در ضریب α ضرب شود. این وضعیت، بارهای قائم طبقه‌بندی[1] شده نامیده می‌شود:

$\alpha = 0.75, 0.83, 0.91, 1.00, 1.10, 1.21, 1.33, 1.46$



راهنما:

۱ نامحدود

شکل پ-۶- مدل بار ۷۱ (LM71) [50]

علاوه بر بارهای قائم زنده، ضریب α را باید در بارهای زیر نیز ضرب نمود:

- بارگذاری قائم معادل برای خاک‌ریزی و اثرات فشار خاک؛
- نیروهای گریز از مرکز؛
- نیروی نوسانات جانبی (صرفاً با ضرب بار در ضریب α برای $\alpha \geq 1$)؛
- نیروهای شتاب و ترمز قطار؛
- اندرکنش سازه و خط ناشی از کنش‌های متغیر؛
- اثرات خروج قطار از خط (موارد استثنایی)؛

1- Classified vertical loads

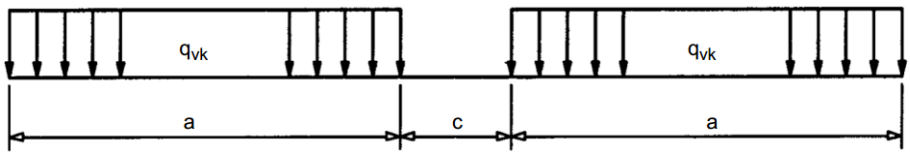
- مدل بارگذاری SW/0 برای پل‌های با دهانهٔ پیوسته.

یادآوری- برای خطوط راه‌آهن بین‌المللی، پیشنهاد می‌شود که $\alpha \geq 1$ باشد. کارفرما ضریب α را در هر پروژه مشخص می‌کند.

۴- به‌منظور بررسی حدود تغییرشکل، باید بارهای قائم طبقه‌بندی شده و سایر کنش‌های تشدیدشده با ضریب α طبق ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ به کار روند (به استثنای موضوع آسایش سرنشینان که در آن ضریب α باید برابر با واحد منظور شود).

پ-۲-۳-۳ مدل‌های بارگذاری SW/0 و SW/2

۱- مدل بار SW/0 بیانگر اثر ایستایی بارگذاری قائم ناشی از ترافیک ریلی عادی روی تیرهای پیوسته است.
۲- مدل بار SW/2 بیانگر اثر ایستایی بارگذاری قائم ناشی از ترافیک ریلی سنگین است.
۳- آرایش بار باید طبق شکل پ-۷ باشد که در آن مقادیر مشخصهٔ بارهای قائم طبق جدول پ-۱۴ است.
۴- خطوط یا بخشی از خطوط راه‌آهن که ترافیک ریلی سنگین دارند و باید مدل بار SW/2 در آن‌ها منظور شود، باید توسط بهره‌بردار خط مشخص شود.
۵- مقادیر مشخصه بارهای قائم در مدل بار SW/0 باید در ضریب α طبق ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ ضرب شود.



شکل پ-۷- مدل‌های بارگذاری SW/0 و SW/2 [50]

جدول پ-۱۴- مقادیر مشخصه برای بارهای قائم در مدل‌های بارگذاری SW/0 و SW/2 [50]

مدل بار	q_{vk} kN/m	a m	c m
SW/0	۱۳۳	۱۵٫۰	۵٫۳
SW/2	۱۵۰	۲۵٫۰	۷٫۰

پ-۲-۳-۴ مدل بار قطار خالی

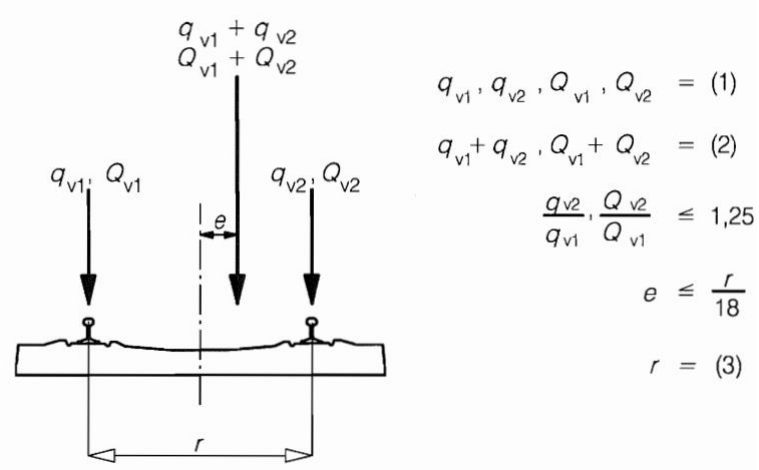
در برخی از موارد به‌منظور انجام صحت‌سنجی، یک مدل بار ویژه با نام «قطار خالی[1]» به‌کار می‌رود. این مدل بار شامل یک بار گستردهٔ یکنواخت قائم با شدت ۱۰ kN/m است. اطلاعات بیشتر در این خصوص در Annex A2 استاندارد EN 1990 [48] آمده است.

1- Unloaded train

پ-۲-۳-۵ خروج از مرکزیت بارهای زندهٔ قائم (مدل‌های بار LM71 و SW/0)

۱- اثر جابه‌جایی جانبی بارهای قائم را باید با به‌صورت نسبت بارهای چرخ روی کلیهٔ محورها تا اندازه ۱٫۲۵ به ۱٫۰۰ روی یک خط منظور کرد. خروج از مرکزیت حاصله در شکل پ-۸ نشان داده شده است. از این اثر می‌توان به هنگام بررسی آثار خستگی چشم‌پوشی کرد.

یادآوری- الزامات منظورکردن این موقعیت و رواداری در موقعیت خطوط در زیربند پ-۲-۸ آمده است.



راهنما:

۱ بار گسترده یکنواخت و بارهای متمرکز روی هر ریل قرار می‌گیرد.

۲ فقط برای مدل بار LM71 (و SW/0 در صورت نیاز)

۳ r، فاصله بین دو ریل (که در ایران ۱۴۳۵ mm است)

شکل پ-۸- خروج از مرکزیت بارهای زنده قائم [50]

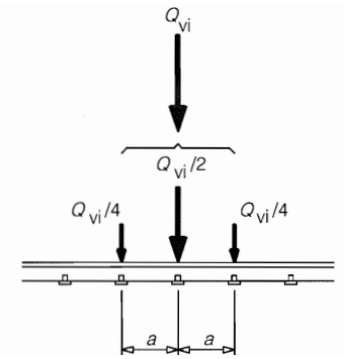
پ-۲-۳-۶ توزیع بارهای محور قطار روی ریل‌ها، تراورس‌ها و بالاست

زیربندهای زیر در خصوص قطارهای واقعی، قطارهای خستگی، مدل‌های بار LM71، SW/0، SW/2، «قطار خالی» و بار HSLM قابل کاربرد است.

یادآوری- بارهای ترافیکی برای طراحی پل در برابر خستگی در زیربند پ-۲-۹ معرفی شده است.

پ-۲-۳-۶-۱ توزیع طولی یک نیروی متمرکز یا بار چرخ روی ریل

نیروی متمرکز در مدل بار LM71 (یا بار قائم رده‌بندی‌شده مطابق با ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ در صورت لزوم) و HSLM (به‌جز HSLM-B) یا بار چرخ را طبق شکل پ-۹ روی سه نقطه تکیه‌گاه روی ریل توزیع می‌شود.



راهنما:

Q_{vi} بار متمرکز روی هر ریل ناشی از بار زنده LM71 یا بار قطار واقعی، بارهای مربوط به طراحی در برابر خستگی یا HSLM (به‌جز HSLM-B)

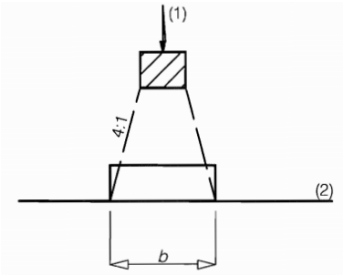
a فاصلهٔ میان نقاط تکیه‌گاهی ریل

شکل پ-۹- توزیع طولی یک بار متمرکز یا بار چرخ روی ریل [50]

پ-۲-۳-۶-۲ توزیع طولی بار از طریق تراورس‌ها و بالاست

۱- عموماً بارهای متمرکز مدل بار LM71 (یا بار قائم طبقه‌بندی‌شده مطابق با ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ در صورت لزوم) یا یک بار محور را می‌توان به‌طور یکنواخت در راستای طولی توزیع کرد به‌جز در مواردی که آثار موضعی بار دارای اهمیت باشد (مانند طراحی عناصر موضعی کف).

۲- به‌منظور طراحی عناصر موضعی کف (مثل تیرچه‌های طولی و عرضی، زیرریلی‌ها[1]، تیرهای عرضی، ورق‌های عرشه، دال‌های بتنی نازک)، توزیع طولی بار زیر تراورس‌ها باید طبق شکل پ-۱۰ منظور شده، صفحهٔ مرجع به‌صورت رویهٔ فوقانی عرشه در نظر گرفته شود.



راهنما:

۱ بار وارد بر تراورس

۲ صفحهٔ مرجع

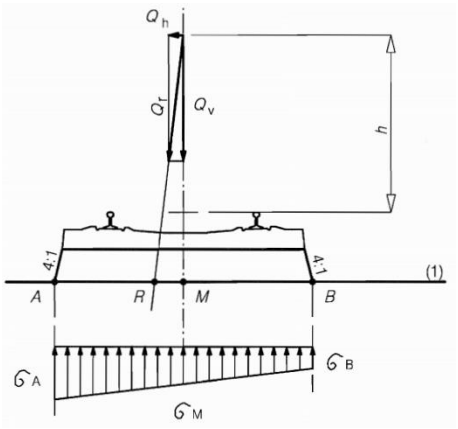
شکل پ-۱۰- توزیع طولی یک بار توسط یک تراورس و بالاست [50]

پ-۲-۳-۶-۳ توزیع عرضی بار از طریق تراورس و بالاست

۱- در پل‌های با رویهٔ بالاست فاقد شیب عرضی[2]، نیروها باید طبق شکل پ-۱۱ توزیع شوند.

1- Rail bearers

2- Without cant

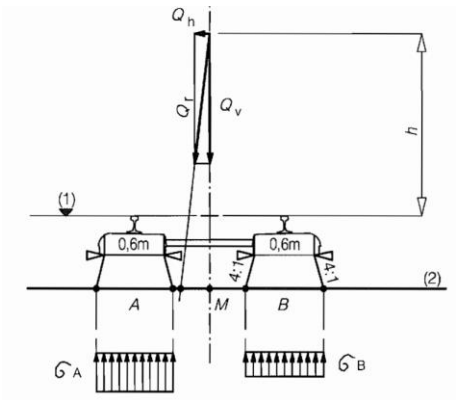


راهنما:

۱ صفحهٔ مرجع

شکل پ-۱۱- توزیع عرضی نیروها از طریق تراورس و بالاست برای مسیر فاقد شیب عرضی (اثر خروج از مرکزیت بارهای قائم نشان داده نشده است) [50]

۲- در پل‌های با رویه بالاست بدون شیب عرضی و با تراورس‌های با طول کامل[1] که بالاست صرفاً زیر ریل‌ها ریخته شده، متراکم می‌شود یا در مواردی که از تروارس‌های دوقلو استفاده می‌شود، نیروها باید مانند آنچه در شکل پ-۱۲ نمایش داده شده، به‌صورت عرضی توزیع شوند.



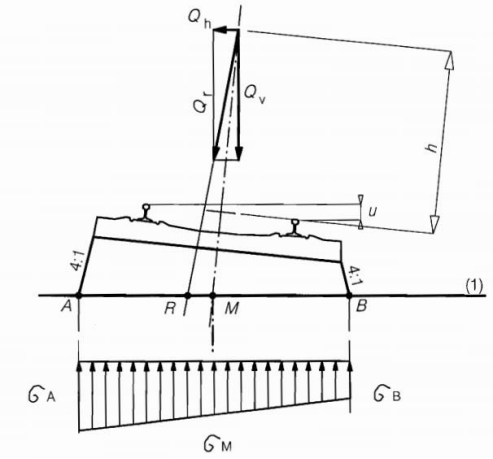
راهنما:

۱ صفحهٔ مرجع

شکل پ-۱۲- توزیع عرضی نیروها از طریق تراورس و بالاست برای مسیر فاقد شیب عرضی (اثر خروج از مرکزیت بارهای قائم نشان داده نشده است) [50]

۳- در پل‌های با رویه بالاست دارای شیب عرضی، نیروها باید مانند آنچه در شکل پ-۱۳ نمایش داده شده، به‌صورت عرضی توزیع شوند.

1- Full length sleeper



راهنما:

۱ صفحهٔ مرجع

شکل پ-۱۳- توزیع عرضی نیروها از طریق تراورس و بالاست برای مسیر دارای شیب عرضی (اثر خروج از مرکزیت بارهای قائم نشان داده نشده است) [50]

۴- در پل‌های با رویهٔ بالاست و دارای شیب عرضی و همچنین دارای تراورس‌های با طول کامل که بالاست صرفاً زیر ریل‌ها ریخته شده، متراکم می‌شود یا در مواردی که تروارس‌های دوقلو استفاده می‌شود، شکل پ-۱۳ باید به‌گونه‌ای اصلاح شود که توزیع بار عرضی زیر هر ریل طبق شکل پ-۱۲ باشد.

۵- توزیع عرضی مورد استفاده باید مشخص شود.

یادآوری- در هر پروژه، توزیع عرضی ویژهٔ همان پروژه باید مشخص شود.

پ-۲-۳-۶-۴ بارگذاری قائم معادل برای خاکریزی و آثار فشار خاک

۱- برای آثار کلی (غیر موضعی)، بارگذاری قائم مشخصهٔ معادل ناشی از نیروهای وارد از طرف ترافیک ریلی به خاکریزهای زیر ریل یا اطراف آن را می‌توان برای مدل‌های بار مناسب (مدل بار LM71 (یا بار قائم طبقه‌بندی شده طبق ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ در صورت لزوم) و مدل بار SW/2) به‌صورت یکنواخت در یک پهنای ۳ m و در تراز ۰٫۷ m پایین سطح مسیر ریلی توزیع نمود.

۲- نیازی به اعمال ضریب ضربه یا هر ضریب افزایش‌دهنده دیگری به بار توزیع‌شده فوق وجود ندارد.

۳- برای طراحی عناصر موضعی نزدیک به مسیر ریلی (مانند دیوارهای نگهدارندهٔ بالاست[1]) محاسبهٔ ویژه برای منظور کردن بارهای موضعی بیشینهٔ قائم، طولی و عرضی ناشی از ترافیک ریلی که به آن عنصر وارد می‌شود باید انجام پذیرد.

پ-۲-۳-۷ بارهای وارد بر پیاده‌روهای غیر عمومی

۱- پیاده‌روهای غیر عمومی در پل‌های راه‌آهن، ویژهٔ عبور افراد صلاحیت‌دار طراحی می‌شود.

1- Retension walls

۲- بارهای پیاده‌رو، دوچرخه، موتورسیکلت و بارهای عمومی ویژهٔ عوامل بهره‌برداری و تعمیرات را می‌توان برابر با یک بار مشخصهٔ q_{fk} =5 kPa منظور نمود.

۳- برای طراحی عناصر موضعی، یک بار متمرکز به شدت Q_k = 2.0kN باید به تنهایی منظور شود که سطح اثر آن یک مربع به ضلع ۲۰۰ mm خواهد بود.

۴- نیروهای افقی وارد بر جان‌پناه‌ها، دیوارهای جداکننده و موانع ناشی از برخورد افراد باید در رده B و C1 استاندارد EN 1991.1.1 [49] منظور شود.

یادآوری- در هر پروژه، الزامات دیگری نیز برای پیاده‌روهای غیر عمومی، مسیرهای عبور و سکوهای ویژهٔ عوامل بهره‌برداری و تعمیرات می‌تواند مدنظر باشد.

پ-۲-۴ آثار ضربه

پ-۲-۴-۱ ملاحظات کلی

۱- تنش‌ها و تغییرشکل‌های ایستا (و شتاب عرشهٔ پل متناظر با آن) ایجاد شده در پل در اثر عوامل زیر تشدید یا تقلیل پیدا می‌کند:

- نرخ سریع بارگذاری ناشی از عبور پرسرعت قطارها از سازه و پاسخ اینرسی (ضربه‌ای) سازه؛
- عبور پشت سرهم بارها با فواصل تقریباً یکسان می‌تواند منجر به تحریک سازه شود و در موارد مشخصی ایجاد تشدید نماید (هنگامی که بسامد تحریک با بسامد طبیعی سازه برابر شود، احتمال ایجاد نوسان‌های ناشی از عبور پی‌درپی محورهای قطار از روی سازه وجود دارد)؛
- تغییرات بارهای چرخ ناشی از نقص در مسیر ریل خط راه‌آهن یا قطار عبوری (شامل نامنظمی‌های موجود در چرخ‌ها).

۲- برای تعیین آثار (تنش‌ها، تغییرشکل‌ها، شتاب عرشهٔ پل و ...) کنش‌های ترافیک ریلی، عوامل فوق باید مدنظر باشد.

پ-۲-۴-۲ عوامل مؤثر روی رفتار دینامیکی

عوامل اصلی تأثیرگذار ناشی از عبور قطارها روی رفتار دینامیکی پل شامل موارد زیر است:

الف- سرعت قطار عبوری از پل؛

ب- دهانه عنصر، L، و طول خط تأثیر برای تغییرشکل عنصر مورد بررسی؛

پ- جرم سازه؛

ت- بسامدهای طبیعی کل سازه و عناصر آن و شکل‌های مودی متناظر در طول مسیر خط راه‌آهن؛

ث- تعداد محورهای قطار، بارهای محور و همچنین فواصل محورها؛

ج- میرایی سازه؛

چ- نامنظمی‌های قائم در مسیر خط راه‌آهن؛

ح- مشخصات جرم در مدل‌های فاقد فنر و دارای فنر و همچنین مشخصات سامانهٔ تعلیق قطار؛

خ- وجود تکیه‌گاه‌ها با فواصل منظم دال عرشه و یا خط راه‌آهن (تیرهای عرضی، تراورس و ...)؛

د- نواقص قطار (نامنظمی در چرخ، غیرمدور بودن چرخ، ضعف سامانهٔ تعلیق و ...)؛

ذ- مشخصات دینامیکی خط راه‌آهن (بالاست، تراورس، متعلقات خط و ...).

این عوامل در زیربندهای 6.4.4 تا 6.4.6 استاندارد EN1991.2 [50] منظور شده‌اند.

یادآوری- حدود تغییرشکل مشخصی برای اجتناب از پدیده تشدید و آثار ارتعاشی فزاینده وجود ندارد. برای معیارهای تغییرشکل به‌منظور عبور ایمن ترافیک و آسایش مسافرین به Annex A2 استاندارد EN 1990 [48] مراجعه شود.

پ-۲-۴-۳ قوانین عمومی طراحی

۱- تحلیل ایستا باید با مدل‌های بار تعریف‌شده در زیربند پ-۲-۳ (LM71 و در صورت لزوم SW/0 و SW/2) انجام گیرد. نتایج این تحلیل باید در ضریب ضربه، Φ، که در زیربند پ-۲-۴-۵ تعریف می‌شود ضرب شود (و در صورت لزوم ضریب α نیز باید طبق ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ اعمال شود).

۲- معیارهای نیاز یا عدم نیاز به تحلیل دینامیکی در زیربند 6.4.4 استاندارد EN 1991.2 [50] آمده است.

پ-۲-۴-۴ ضریب ضربه

پ-۲-۴-۴-۱ حدود کاربرد

۱- ضریب ضربه، Φ، منظورکننده اثر بزرگ‌نمایی دینامیکی تنش‌ها و آثار ارتعاش در سازه ناشی از بارهای متحرک است اما آثار تشدید[1] را منظور نمی‌کند.

۲- اگر معیارهای ذکر شده در زیربند 6.4.4 استاندارد EN 1991.2 [50] برآورده نشود، خطر ایجاد پدیدهٔ تشدید یا ارتعاش فزایندهٔ پل وجود خواهد داشت (در این صورت ممکن است شتاب‌های زیاد عرشه منجر به ایجاد ناپایداری در بالاست، تغییرشکل‌ها و تنش‌های بیش از حد شود) در چنین مواردی، یک تحلیل دینامیکی برای محاسبهٔ آثار ضربه و تشدید مورد نیاز است.

یادآوری- روش‌های شبه‌ایستا که از بار ایستا ضرب در یک ضریب ضربه استفاده می‌کنند، قادر به پیش‌بینی آثار تشدید ناشی از عبور قطارهای پرسرعت نیستند. شیوه‌های تحلیل دینامیکی که طبیعت وابسته به زمان بارگذاری را طبق مدل بار پرسرعت (HSLM) و همچنین قطارهای واقعی منظور می‌کنند برای پیش‌بینی این آثار مورد نیاز خواهند بود.

۳- اگر بیش از یک مسیر عبور قطار روی پل وجود داشته باشد، هیچ کاهشی در ضریب ضربه مجاز نیست.

پ-۲-۴-۴-۲ تعریف ضریب ضربه، Φ

۱- ضریب دینامیکی (ضربه)، Φ، که آثار بار ایستا ناشی از مدل‌های بارگذاری LM71، SW/0 و SW/2 را افزایش می‌دهد، با دو پارامتر Φ_2 و Φ_3 باید لحاظ شود.

1- Resonance effects

۲- ضریب دینامیکی (ضربه)، Φ، بسته به شرایط نگهداری خط به این ترتیب تعیین می‌شود:

الف- برای شرایط نگهداری خط راه‌آهن با معیارهای دقیق (انجام پایش سلامت):

$$\Phi_2=\frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi-0.2}}+0.82 \qquad (پ-۸)$$

و $1.00 \leq \Phi_2 \leq 1.67$

ب- برای شرایط نگهداری خط راه‌آهن با معیارهای متعارف:

$$\Phi_3=\frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi-0.2}}+0.73 \qquad (پ-۹)$$

و $1.00 \leq \Phi_3 \leq 2.00$

که در آن:

L_Φ طول حاکم برحسب m (طول مربوط به تعیین Φ که در زیربند پ-۲-۴-۵-۳ تعریف شده است)

یادآوری- در این استاندارد، ضرایب ضربه برای شاه‌تیرهای با دهانه ساده تعیین شده‌اند. با طول L_Φ، لحاظ کردن این ضرایب برای سایر اعضای سازه‌ای با شرایط تکیه‌گاهی متفاوت امکان‌پذیر خواهد شد.

۳- در صورتی که هیچ ضریب ضربه‌ای مشخص نشده باشد، Φ_3 را باید مورد استفاده قرار داد.

۴- ضریب ضربه Φ، نباید در موارد زیر به‌کار رود:

- بارگذاری ناشی از قطارهای واقعی (که آثار آن روی پل به دقت ثبت شده باشد)؛
- بارگذاری مربوط به طراحی در برابر خستگی (Annex D استاندارد EN 1991.2 [50])؛
- مدل بار HSLM (زیربند 6.4.6.1.1(2) استاندارد EN 1991.2 [50])؛
- مدل بار قطار خالی (به زیربند پ-۲-۳-۴ مراجعه شود).

پ-۲-۴-۴-۳ پارامتر طول حاکم، L_Φ

۱- پارامتر L_Φ در محاسبه ضریب ضربه برای شرایط تکیه‌گاهی مختلف، در جدول پ-۱۵ ارائه شده است.

۲- چنانچه هیچ مقداری برای L_Φ در جدول پ-۱۵ مشخص نشده باشد، طول حاکم باید بر اساس طول خط تأثیر برای تغییرشکل عنصر مورد بررسی منظور شود.

۳- در صورتی که تنش حاصل در یک عضو سازه‌ای وابسته به چندین اثر باشد، هر یک از این آثار که وابسته به رفتار سازه‌ای جداگانه است، باید بر اساس طول حاکم مربوط به خودش محاسبه شود.

پ-۲-۴-۴-۴ آثار ضربه کاهش‌یافته

۱- در مورد پل‌های قوسی و پل‌های بتنی با پوشش خاکریزی روی پل بزرگ‌تر از ۱٫۰۰ m، ضرایب ضربه Φ_2 و Φ_3 را می‌توان به‌صورت زیر کاهش داد:

$$red\Phi_{2,3}=\Phi_{2,3}-\frac{h-1,00}{10} \geq 1.0 \qquad (پ-۱۰)$$

که در آن:

h ارتفاع پوشش خاکریز شامل بالاست از بالای عرشه تا بالای تراورس (در پل‌های قوسی، از تاج قوس).

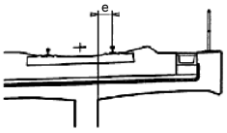
۲- در مورد آثار کنش‌های ریلی وارد بر ستون‌های دارای لاغری (با نسبت طول کمانشی به شعاع ژیراسیون) کوچک‌تر از ۳۰، کوله‌ها، شالوده‌ها، دیوارهای حائل و فشارهای خاک، نیازی به اعمال آثار ضربه نیست.

پ-۲-۴-۶ الزامات انجام تحلیل دینامیکی

در صورت استفاده از بار قطارهای واقعی، باید تحلیل دینامیکی انجام شود. ضوابط انجام تحلیل‌های دینامیکی در زیربند 6.4.6 استاندارد EN 1991.2 [50] ارائه شده است. همچنین مشخصات مدل‌های بار HSLM در زیربند 6.4.6 استاندارد EN 1991.2 [50] بیان شده است.

جدول پ-۱۵- تعیین مقدار طول حاکم، L_Φ، در محاسبهٔ ضریب ضربه، Φ [50]

حالت	عنصر سازه‌ای	طول حاکم، L_Φ
ورق عرشهٔ فولادی: عرشه بسته با بستر بالاست (ورق عرشهٔ ارتوتروپیک) (برای تنش‌های موضعی و عرضی)		
	عرشه با تیرهای عرضی و تیرچه‌های طولی پیوسته	
۱-۱	ورق عرشه (برای هر دو راستا)	سه برابر فاصلهٔ تیرهای عرضی
۲-۱	تیرچه‌های طولی پیوسته (شامل نواحی طره‌ای کوچک تا ۰٫۵ m [الف])	سه برابر فاصلهٔ تیرهای عرضی
۳-۱	تیرهای عرضی	دو برابر طول تیر عرضی
۴-۱	تیرهای عرضی انتهایی	۳٫۶ m [ب]
	ورق عرشه همراه با فقط تیرهای عرضی	
۱-۲	ورق عرشه (برای هر دو راستا)	دو برابر فاصلهٔ تیر عرضی + ۳ m
۲-۲	تیرهای عرضی	دو برابر فاصلهٔ تیر عرضی + ۳ m
۳-۲	تیرهای عرضی انتهایی	۳٫۶m [ب]
شبکهٔ فولادی: عرشهٔ باز بدون بستر بالاست [ب] (برای تنش‌های موضعی و عرضی)		
۱-۳	زیرریلی‌ها	
	- به عنوان عنصری از یک شبکهٔ پیوسته	سه برابر فاصلهٔ تیرهای عرضی
	- دهانه ساده	فاصلهٔ تیرهای عرضی + ۳ m
۲-۳	- ناحیهٔ طره‌ای زیرریلی [الف]	۳٫۶ m [ب]
۳-۳	تیرهای عرضی (به عنوان بخش از شبکهٔ زیرریلی- تیر عرضی پیوسته)	دو برابر طول تیر عرضی
۴-۳	تیرهای عرضی انتهایی	۳٫۶ m [ب]
دال بتنی همراه با بستر بالاست (برای تنش‌های موضعی و عرضی)		
۱-۴	دال بتنی به عنوان بخشی از تیرجعبه یا بال بالایی تیر اصلی	
	- قرار گرفته به‌صورت عرضی روی شاه‌تیرهای اصلی	سه برابر دهانهٔ ورق عرشه
	- قرار گرفته در راستای طولی	سه برابر دهانهٔ ورق عرشه

حالت	عنصر سازه‌ای	طول حاکم، L_Φ
	- تیرهای عرضی - طره‌های عرضی نگهدارندهٔ بار قطار	دو برابر طول تیر عرضی  - $e \leq 0{,}5m$: ۳ برابر فاصله جآن‌ها - $e > 0{,}5m$: [الف]
۲-۴ ۳-۴	دال پیوسته عرشه (در راستای شاه‌تیرها) مستقر بر تیرهای عرضی دال پیوسته عرشه در پل‌های عبور از میان و عبور از نیمهٔ ارتفاع - قرار گرفته عمود بر شاه‌تیرهای اصلی - قرار گرفته در راستای طولی	دو برابر فواصل تیرهای عرضی دو برابر دهانهٔ دال + ۳ m دو برابر دهانه دال
۴-۴ ۵-۴ ۶-۴	دال‌های عرشه به‌صورت عرضی روی تیرهای فولادی قرار گرفته است بخش‌های طرهٔ طولی دال عرشه تیرهای عرضی انتهایی یا تیرهای متقاطع	دو برابر طول حاکم در راستای طولی - $e \leq 0/5m$: ۳٫۶ m [ب] - $e > 0/5m$: [الف] ۳٫۶ m [ب]

[الف] عموماً تمام اعضای طره‌ای با طولی بزرگ‌تر از ۰٫۵۰ m که کنش‌های ترافیک ریلی را تحمل می‌کنند نیاز به مطالعهٔ ویژه طبق زیربند 6.4.4 استاندارد EN 1991.2 [50] دارند؛

[ب] پیشنهاد می‌شود که اعمال شود.

یادآوری- در مورد ۱-۱ تا ۶-۴ مقدار L_Φ باید بر اساس بیشینه طول حاکم شاه‌تیرهای اصلی محاسبه شود.

شاهتیرهای اصلی

۱-۵	شاه‌تیرها و دال‌ها با دهانه ساده (شامل تیرهای فولادی مدفون در بتن)	دهانه در راستای شاه‌تیر اصلی
۲-۵	شاه‌تیرها و دال‌های پیوستهٔ دارای n دهانه با: $L_m=\frac{1}{n}(L_1+L_2+..+L_n)$	$L_\Phi=k\times L_m$ اما نه کوچک‌تر از بیشینه L_i که $i=1,\ldots n$ n= ۲ | ۳ | ۴ | ≥ ۵ k= ۱٫۲ | ۱٫۳ | ۱٫۴ | ۱٫۵
۳-۵	قاب‌های پرتال و یا قاب‌های جعبه‌ای - تک‌دهانه - چنددهانه	به‌صورت یک تیر پیوستهٔ سه‌دهانه فرض شود (از زیربند ۵-۲ با طول‌های افقی و قائم اعضای قاب یا جعبه استفاده شود) به‌صورت یک تیر پیوسته سه‌دهانه فرض شود (از زیربند ۵-۲ با طول‌های افقی و قائم اعضای قاب یا جعبه استفاده شود)
۴-۵	قوس تک، دنده قوس، شاه‌تیرهای دارای سخت‌کننده کمانی	نصف طول دهانه
۵-۵	مجموعه‌ای از قوس‌ها با لبه‌های نگهدارنده خاکریز	دو برابر بازشدگی خالص

حالت	عنصر سازه‌ای	طول حاکم، L_Φ
۶-۵	عناصر آویز (همراه با شاه‌تیرهای سخت‌کننده)	۴ برابر فاصله طولی عناصر آویز
تکیه‌گاه‌های سازه‌ای		
۶	ستون‌ها، خرک‌ها، نشیمن‌گاه‌ها، تکیه‌گاه‌های مقاوم در برابر بلندشدگی، مهارهای کششی و برای محاسبه فشارهای تماسی زیر نشیمن‌گاه‌ها	طول حاکم اعضای متکی

پ-۲-۵ نیروهای افقی

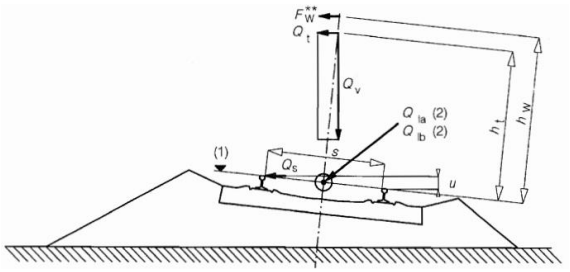
پ-۲-۵-۱ نیروهای گریز از مرکز

۱- در صورتی که بخشی از پل راه‌آهن یا تمام آن در یک مسیر منحنی شکل واقع شود، نیروی گریز از مرکز و شیب عرضی مسیر باید در محاسبات پل مدنظر قرار داده شود.

۲- نیروهای گریز از مرکز باید در یک راستای افقی (رو به بیرون) و در تراز ۱٫۸۰ m بالای سطح عبور قطار بالای ریل، منظور شود (شکل پ-۱۴). در برخی انواع ترافیک ریلی مانند قطارهای دو طبقه، این ارتفاع باید افزایش داده شود.

۳- نیروی گریز از مرکز همیشه باید با بار ترافیکی قائم ترکیب شود. نیروی گریز از مرکز را نباید با ضریب ضربه Φ_2 و Φ_3 تشدید نمود.

یادآوری- به هنگام منظور کردن آثار قائم بارگذاری گریز از مرکز، اثر بار قائم بارگذاری گریز از مرکز که از آن مقدار بار قائم ناشی از شیب عرضی کسر شده است با ضریب ضربه، تشدید می‌شود.



راهنما:

۱ سطح عبور (تراز بالای ریل)

۲ نیروهای طولی وارد بر خط مرکزی مسیر

شکل پ-۱۴- بارهای قائم و افقی (گریز از مرکز) وارد از طرف قطار به پل راه‌آهن در پل‌های خمیده در پلان [50]

۴- مقدار مشخصهٔ نیروی گریز از مرکز باید با روابط زیر تعیین شود:

$$Q_{tk}=\frac{v^2}{g\times r}\left(f\times Q_{vk}\right)=\frac{V^2}{127r}\left(f\times Q_{vk}\right) \qquad (پ-۱۱)$$

$$q_{tk}=\frac{v^2}{g\times r}\left(f\times q_{vk}\right)=\frac{V^2}{127r}\left(f\times q_{vk}\right) \qquad (پ-۱۲)$$

که در آن‌ها:

Q_{tk}، q_{tk} مقادیر مشخصهٔ نیروهای گریز از مرکز به ترتیب بر حسب kN و kN؛

Q_{vk}، q_{vk} مقادیر مشخصهٔ نیروهای گریز از مرکز مشخص‌شده در زیربند پ-۲-۵ بدون هرگونه افزایش به علت آثار دینامیکی (ضربه) برای مدل‌های بار LM71، SW/0، SW/2 و قطار خالی به ترتیب برحسب kN و kN/m؛

f ضریب کاهش (جدول پ-۱۶)؛

v بیشینه سرعت طراحی برحسب m/s؛

V بیشینه سرعت طراحی برحسب km/h؛

g شتاب ثقل ۹٫۸۱ m/s^2؛

r شعاع انحنای مسیر خط راه‌آهن در محل پل برحسب m.

در مواردی که شعاع‌های انحنا تغییر می‌کند، مقادیر میانگین مناسب را می‌توان برای r به‌کار برد.

۵- محاسبات باید بر اساس بیشینهٔ سرعت طراحی خط راه‌آهن انجام پذیرد. در مورد مدل بار SW/2، سرعت بیشینهٔ جایگزین را می‌توان فرض نمود.

یادآوری ۱- ممکن است در هر پروژه، ضابطهٔ خاصی در این خصوص توسط کارفرما ارائه شود.

یادآوری ۲- در خصوص مدل بار SW/2، بیشینهٔ سرعت ۸۰ km/h را می‌توان به‌کار برد.

یادآوری ۳- در هر پروژهٔ خاص، توصیه می شود یک سرعت بیشینهٔ افزایش‌یافتهٔ خط راه‌آهن نیز مشخص شود تا اصلاحات محتمل سازهٔ پل و زیرساخت خط و قطارهای آینده مدنظر باشد.

۶- علاوه بر موارد فوق، برای پل‌های واقع در مسیرهای خمیده، بارگذاری مشخص شده در زیربند پ-۲-۳-۲ و در صورت کاربرد، زیربند پ-۲-۳-۳ باید بدون منظور کردن نیروی گریز از مرکز لحاظ شود.

۷- برای مدل بار LM71 (و در صورت لزوم مدل بار SW/0)، و همچنین در خصوص سرعت بیشینهٔ خط بزرگ‌تر از ۱۲۰ km/h، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

الف- برای مدل بار LM71 (و در صورت لزوم مدل بار SW/0)، ضریب ضربهٔ مربوطه و نیروی گریز از مرکز به ازای سرعت V=120km/h طبق روابط (پ-۱۱) و (پ-۱۲) مقدار f =1 فرض می‌شود.

ب- برای مدل بار LM71 (و در صورت لزوم مدل بار SW/0)، ضریب ضربه و نیروی گریز از مرکز به ازای بیشینه سرعت V طبق روابط (پ-۱۱) و (پ-۱۲) و f از رابطهٔ (پ-۱۳) به‌دست می‌آید.

۸- در مدل بار LM71 (و در صورت لزوم SW/0)، ضریب کاهش‌دهنده f از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

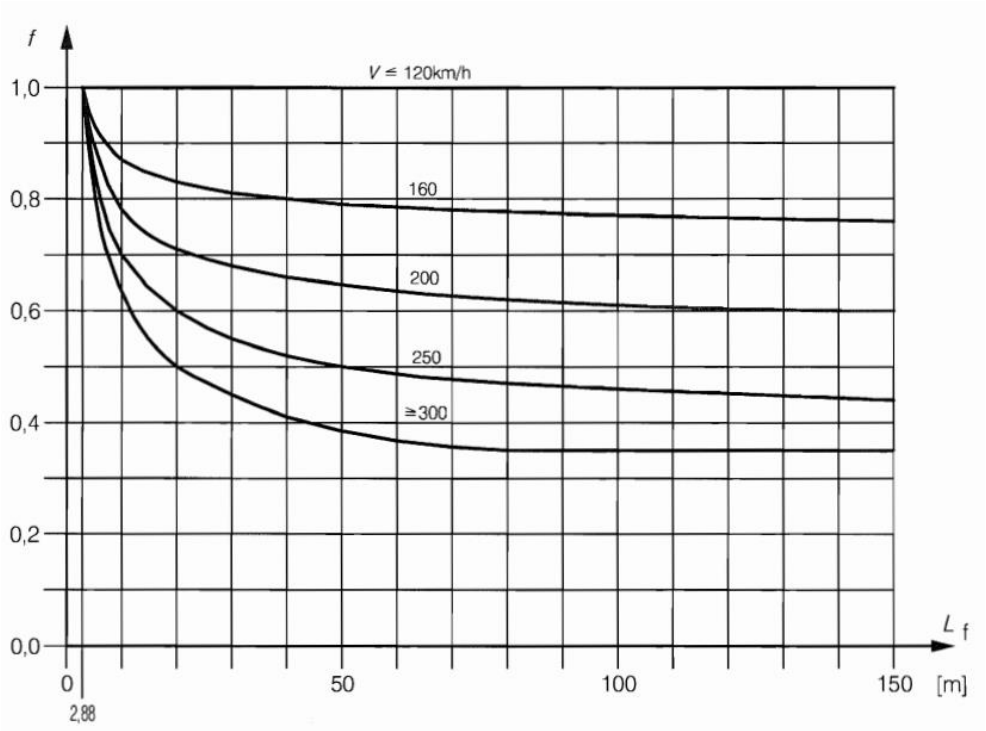
$$f=1-\frac{V-120}{1000}\left(\frac{814}{V}+1.75\right)\left(1-\sqrt{\frac{2.88}{L_f}}\right) \qquad (پ-۱۳)$$

که در هر صورت نباید کوچک‌تر از ۰٫۳۵ منظور شود و:

L_f طول تأثیر بخش بارگـذاری شده مسیر خـط راه‌آهـن واقع در پل که بدترین وضـــعیت را برای طراحی عنصر سازه‌ای مورد بررسی ایجاد نماید (برحسب m).

- برای $V \leq 120$ km/h یا $L_f \leq 2.88$ m مقدار ضریب کاهش‌دهنده f برابر با واحد است.
- برای 120 km/h $\leq V \leq$ 300 km/h و $L_f > 2.88$m مقدار ضریب f کوچک‌تر از یک و بزرگ‌تر یا مساوی ۰٫۳۵ است و از جدول پ-۱۶، شکل پ-۱۵ یا رابطهٔ پ-۱۳ به‌دست می‌آید.
- برای $V >$ 300 km/h، مقدار f همان مقدار f به‌دست‌آمده به ازای V = 300km/h منظور می‌شود.
- برای مدل‌های بار SW/2 و قطار خالی، مقدار ضریب کاهش‌دهنده f باید برابر با ۱٫۰ فرض شود.

۹- برای مدل‌های بار LM71 و SW/0، نیروهای گریز از مرکز باید طبق روابط (پ-۱۱) و (پ-۱۲) با استفاده از بارهای قائم بیان‌شده در زیربند پ-۲-۳-۲ (۳) و طبق حالات بار مطرح‌شده جدول پ-۱۷ تعیین شود.



شکل پ-۱۵- ضریب f برای مدل بار LM71 و SW/0 [50]

جدول پ-۱۶- ضریب کاهش‌دهنده، f، برای مدل بار LM71 و SW/0 [50]

L_f m	بیشینه سرعت طراحی km/h				
	≤ ۱۲۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۵۰	≥ ۳۰۰
≤ ۲٫۸۸	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰
۳	۱٫۰۰	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۹	۰٫۹۸
۴	۱٫۰۰	۰٫۹۶	۰٫۹۳	۰٫۹۰	۰٫۸۸
۵	۱٫۰۰	۰٫۹۳	۰٫۸۹	۰٫۸۴	۰٫۸۱
۶	۱٫۰۰	۰٫۹۲	۰٫۸۶	۰٫۸۰	۰٫۷۵
۷	۱٫۰۰	۰٫۹۰	۰٫۸۳	۰٫۷۷	۰٫۷۱
۸	۱٫۰۰	۰٫۸۹	۰٫۸۱	۰٫۷۴	۰٫۶۸
۹	۱٫۰۰	۰٫۸۸	۰٫۸۰	۰٫۷۲	۰٫۶۵
۱۰	۱٫۰۰	۰٫۸۷	۰٫۷۸	۰٫۷۰	۰٫۶۳
۱۲	۱٫۰۰	۰٫۸۶	۰٫۷۶	۰٫۶۷	۰٫۵۹
۱۵	۱٫۰۰	۰٫۸۵	۰٫۷۴	۰٫۶۳	۰٫۵۵
۲۰	۱٫۰۰	۰٫۸۳	۰٫۷۱	۰٫۶۰	۰٫۵۰
۳۰	۱٫۰۰	۰٫۸۱	۰٫۶۸	۰٫۵۵	۰٫۴۵
۴۰	۱٫۰۰	۰٫۸۰	۰٫۶۶	۰٫۵۲	۰٫۴۱
۵۰	۱٫۰۰	۰٫۷۹	۰٫۶۵	۰٫۵۰	۰٫۳۹
۶۰	۱٫۰۰	۰٫۷۹	۰٫۶۴	۰٫۴۹	۰٫۳۷
۷۰	۱٫۰۰	۰٫۷۸	۰٫۶۳	۰٫۴۸	۰٫۳۶
۸۰	۱٫۰۰	۰٫۷۸	۰٫۶۲	۰٫۴۷	۰٫۳۵
۹۰	۱٫۰۰	۰٫۷۸	۰٫۶۲	۰٫۴۷	۰٫۳۵
۱۰۰	۱٫۰۰	۰٫۷۷	۰٫۶۱	۰٫۴۶	۰٫۳۵
≥ ۱۵۰	۱٫۰۰	۰٫۷۶	۰٫۶۰	۰٫۴۴	۰٫۳۵

جدول پ-۱۷- حالات بار برای نیروی گریز از مرکز متناظر با مقادیر α و بیشینه سرعت طراحی خط [50]

مقدار α	بیشینه سرعت طراحی km/h	نیروی گریز از مرکز بر مبنای: ت				کنش ترافیکی قائم متناظر بر مبنای: الف
		V km/h	α	f		
α<1.0	> ۱۲۰	V	۱ پ	f	ردیف ۷ زیربند پ-۲-۵-۱ ب: 1پ×f×(LM71"+"SW/0)	Φ×α×1×(LM71"+"SW/0)
		۱۲۰	α	۱	ردیف ۷ زیربند پ-۲-۵-۱ الف: α×1×(LM71"+"SW/0)	Φ×α×1×(LM71"+"SW/0)
		صفر	-	-	-	
	≤ ۱۲۰	V	α	۱	α×1×(LM71"+"SW/0)	
		صفر	-	-	-	

α=1.0	> ۱۲۰	V	۱	f	ب ردیف ۷ زیربند پ-۲-۵-۱ ب: 1×f×(LM71"+"SW/0)	Φ×α×1×(LM71"+"SW/0)
		۱۲۰	۱	۱	ردیف ۷ زیربند پ-۲-۵-۱ ب: 1×1×(LM71"+"SW/0)	Φ×1×1×(LM71"+"SW/0)
		صفر	-	-	-	
	≤ ۱۲۰	V	۱	۱	1×1×(LM71"+"SW/0)	
		صفر	-	-	-	
α>1.0	> ۱۲۰[ب]	V	۱	f	ردیف ۷ زیربند پ-۲-۵-۱ الف: α×1×(LM71"+"SW/0)	Φ×1×1×(LM71"+"SW/0)
		۱۲۰	α	۱	-	Φ×α×1×(LM71"+"SW/0)
		صفر	-	-	-	
	≤ ۱۲۰	V	α	۱	α×1×(LM71"+"SW/0)	
		صفر	-	-	-	

[الف] جایی که بارهای ترافیکی قائم در حد متعارف باشد، 0.5×(LM71+SW/0) به جای (LM71+SW/0) به‌کار می‌رود.

[ب] برای عبور ترافیک کالای سنگین با بیشینه سرعت طراحی ۱۲۰ km/h قابل استفاده است.

[پ] برای اجتناب از کاهش دوباره در جرم قطار به خاطر f، از مقدار α=1.0 استفاده می‌شود.

[ت] برای آثار قائم بارگذاری گریز از مرکز، ردیف ۳ زیربند پ-۲-۵-۱ ملاحظه شود. اثر بار قائم بارگذاری گریز از مرکز که از آن هر گونه کاهش ناشی از شیب عرضی کسر شده است باید با ضریب ضربه، تشدید شود. به هنگام تعیین اثر قائم نیروی گریز از مرکز، ضریب f باید به‌صورت فوق لحاظ شود.

که در جدول فوق:

V بیشینه سرعت، مطابق با ردیف ۵ زیربند پ-۲-۵ برحسب km/h؛

f ضریب کاهش، طبق ردیف ۸ زیربند پ-۲-۵-۱؛

α ضریب مربوط به بارهای قائم طبقه‌بندی شده طبق ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲.

(LM71"+"SW/0): مدل بار LM71 و برای پل‌های چند دهانه پیوسته، مدل بار SW/0

۱۰- توجه شود که معیارهای بیان‌شده در ردیف ۵ زیربند پ-۲-۵-۱ و ردیف ۷ زیربند پ-۲-۵-۱ تا ردیف ۹ زیربند پ-۲-۵-۱ برای بار ترافیک ریلی سنگین همراه با بیشینه سرعت مجاز قطار بالاتر از km/h ۱۲۰ معتبر نیست. برای بار ترافیک ریلی سنگین با سرعتی فراتر از km/h ۱۲۰، ضوابط دیگری باید مشخص شود.

پ-۲-۵-۲ نیروی نوسانات جانبی[1]

۱- نیروی نوسانات جانبی باید به‌صورت یک نیروی متمرکز افقی در بالای ریل عمود بر محور مرکزی خط اعمال شود. این نیرو باید هم برای مسیرهای مستقیم و هم منحنی منظور شود.

1- Nosing force

۲- مقدار مشخصه نیروی نوسانات جانبی باید برابر با Q_{sk}=100kN باشد. در این مقدار نباید ضریب ضربه، Φ طبق زیربند پ-۲-۴-۵-۲ و ضریب کاهش‌دهنده f طبق ردیف ۸ زیربند پ-۲-۵-۱ اعمال شود.

۳- مقدار مشخصه نیروی نوسانات جانبی باید در ضریب α مطابق با ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ (برای مقادیر $\alpha \geq 1$) ضرب شود.

۴- نیروی نوسانات جانبی باید همواره در ترکیب با بار ترافیکی قائم اعمال شود.

پ-۲-۵-۳ کنش‌های ناشی از شتاب و ترمز

۱- نیروهای نا شی از شتاب و ترمز قطار روی پل در تراز بالای سطح ریل‌ها در را ستای طولی م سیر ایجاد می‌شود. این نیروها را باید به‌صورت گسترده یکنواخت در طول خط تأثیر $L_{a,b}$ برای آثار شتاب و ترمز بر عنصر سازه‌ای اعمال کرد. راستای نیروی شتاب و ترمز باید در هر خط به‌صورت جداگانه اعمال شود.

۲- مقادیر مشخصه نیروهای شتاب و ترمز باید به شرح زیر منظور شود:

نیروی شتاب: $L_{a,b}[m] \leq 1000$ [kN] Q_{lak}=33 [kN/m] برای مدل بار LM71، SW/0، SW/2 و HSLM

نیروی ترمز: $L_{a,b}[m] \leq 6000$ [kN] Q_{lbk}=20 [kN/m] برای مدل بار LM71، SW/0 و HSLM

$L_{a,b}[m]$ Q_{lbk}=35 [kN/m] برای مدل بار SW/2

مقادیر مشخصه نیروهای شتاب و ترمز را نباید در ضریب ضربه Φ، طبق زیربند پ-۲-۴-۵-۲ و ضریب کاهش‌دهنده f طبق ردیف ۸ زیربند پ-۲-۵-۱ ضرب نمود.

یادآوری ۱- برای مدل‌های بار SW/0 و SW/2، باید نیروهای کشش و ترمز فقط به آن قسمت از اعضای سازه که تحت اثر بارگذاری است مطابق با شکل پ-۷ و جدول پ-۱۴ وارد شود.

یادآوری ۲- می‌توان از نیروی شتاب و ترمز برای مدل بارگذاری «قطار خالی» صرف‌نظر کرد.

۳- مقادیر مشخصهٔ فوق برای تمام انواع اجرای خطوط ریلی، به‌طور مثال ریل‌های پیوستهٔ جوش داده شده یا ریل‌های درزدار[1] با یا بدون دستگاه‌های انبساطی قابل کاربرد است.

۴- نیروهای شتاب و ترمز برای مدل‌های بارگذاری LM71 و SW/0 باید در ضریب α طبق الزامات زیربند ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ ضرب شوند.

۵- در طول‌های بارگذاری‌شده بزرگ‌تر از m ۳۰۰ برای اثرات ترمز باید الزامات تکمیلی درنظر گرفته شود.

۶- برای خطوط حامل ترافیک ویژه (مانند مسیر محدودشده به ترافیک مسافری پر سرعت)، نیروهای شتاب و ترمز را می‌توان برابر با ٪ ۲۵ مجموع بارهای محور (قطار واقعی) که روی طول تأثیر نحوه عملکرد عنصر سازه‌ای مدنظر وارد می‌شود با مقدار بیشینه kN ۱۰۰۰ برای Q_{lak} و kN ۶۰۰۰ برای Q_{lbk} در نظر گرفت. خطوط حامل ترافیک ویژه و جزئیات بارگذاری مربوطه توسط کارفرما مشخص می‌شود.

یادآوری ۱- در خصوص زیربند فوق، الزامات ویژه برای هر پروژه به‌صورت مستقل توسط کارفرما قابل تعیین است.

1- Welded or jointed rails

یادآوری ۲- چنانچه در یک پروژهٔ معین، بارگذاری شتاب و ترمز به‌صورت خاص مطابق با الزامات فوق مشخص شده باشد، این بارگذاری باید سایر بارهای ترافیکی مورد استفاده در خط مانند قطارهای مربوط به انجام تعمیرات را نیز شامل شود.

۷- نیروهای شتاب و ترمز را باید با بارهای قائم متناظر، ترکیب نمود.

۸- در صورتی که خط حداقل در یکی از دو انتهای پل پیوسته باشد، صرفاً بخشی از نیروی شتاب و ترمز از طریق عرشه به تکیه‌گاه‌ها انتقال خواهد یافت؛ باقی نیرو در راستای خط به پشت کوله‌ها وارد می‌شود. نسبت نیروی انتقال‌یافته از عرشه به تکیه‌گاه‌ها باید با در نظر گرفتن پاسخ ترکیبی سازه و خط مطابق با زیربند پ-۲-۵-۴ تعیین شود.

۹- در مواردی که پل، شامل دو یا چند خط راه‌آهن است، نیروهای ترمز روی یک خط با نیروهای شتاب روی خط مقابل باید با هم در نظر گرفته شود. چنانچه دو یا چند خط دارای راستای حرکت یکسان باشند، شتاب روی دو خط یا ترمز روی دو خط باید مدنظر باشد.

یادآوری- برای پل‌های حامل دو یا چند خط با راستای حرکت یکسان، کارفرما می‌تواند الزامات دیگری برای کاربرد نیروهای شتاب و ترمز را مشخص نماید.

پ-۲-۵-۴ پاسخ ترکیبی سازه و خط در برابر کنش‌های متغیر

۱- در صورتی که ریل‌ها به‌صورت پیوسته از روی درزهای تکیه‌گاهی خط عبور نمایند (مانند درز محل سازه پل و یک خاکریز)، سازه پل (شامل عرشه، نشیمن‌گاه‌ها و زیرسازه) و مسیر خط (شامل ریل، بالاست و ...) به‌طور هم‌زمان، کنش‌های طولی ناشی از شتاب و ترمز را متحمل می‌شوند. بخشی از کنش‌های طولی توسط ریل‌ها به خاکریز پشت کوله انتقال می‌یابند و بخشی دیگر توسط نشیمن‌گاه‌های پل و زیرسازه به شالوده منتقل می‌گردند.

یادآوری- خطوط مرجع خاکریز در این زیربند را می‌توان همان خطوط مرجع استقرار خط راه‌آهن یا زمین زیر خط راه‌آهن در محل دسترسی به پل در نظر گرفت؛ چه مسیر خط روی خاکریز، سطح زمین یا در یک گودی باشد.

۲- چنانچه ریل‌های پیوسته، حرکت آزادانهٔ عرشهٔ پل را مقید نمایند، تغییرشکل‌های عرشهٔ پل (مثلاً ناشی از تغییرات دما، بارگذاری قائم، خزش و جمع‌شدگی) موجب ایجاد نیروهای طولی در ریل‌ها و در نشیمن‌گاه‌های ثابت پل می‌شود.

۳- آثار ناشی از پاسخ ترکیبی سازه و مسیر خط (اندرکنش بین سازهٔ پل و اجزای مسیر خط راه‌آهن) در برابر کنش‌های مختلف باید برای طراحی روسازه، نشیمن‌گاه‌های ثابت و زیرسازه و همچنین به‌منظور بررسی آثار بار ایجاد شده در ریل‌ها مدنظر باشد.

۴- الزامات زیربند پ-۲-۵-۴ برای خطوط راه‌آهن متداول دارای بالاست معتبر است.

۵- الزامات خطوط راه‌آهن بدون بالاست (و دال- خط[1]) باید توسط کارفرما مشخص شود.

1- Slab track

۶- برای اطلاعات بیشتر در خصوص پارامترهای تأثیرگذار روی پاسخ ترکیبی بین سازه ریلی و خط راه‌آهن، نیروهای وارد بر پل، ضوابط مدل‌سازی آثار ترکیبی خط- سازه، معیارهای طراحی و روش‌های محاسباتی مربوط به اندرکنش سازه- خط به زیربند 6.5.4 استاندارد EN 1991.2 [50] مراجعه شود.

پ-۲-۶ کنش‌های آئرودینامیکی عبور قطارها

۱- کنش‌های آئرودینامیکی عبور قطار از پل باید در طراحی سازه‌های مجاور خطوط راه‌آهن هم منظور شود.

۲- عبور اجسام ترافیکی ریلی از جوار هر سازه، موجب انتشار موج فشاری و مکش می‌شود. مقدار کنش ایجاد شده وابسته به عوامل زیر است:

- مجذور سرعت قطار؛
- شکل آئرودینامیکی قطار؛
- شکل سازه؛
- موقعیت سازه، به ویژه فاصلهٔ بین قطار و سازه.

۳- برای بررسی حالات حدی مقاومت (نهایی)، بهره‌برداری و خستگی، کنش‌ها را می‌توان با بارهای معادل در ابتدا و انتهای قطار تقریب زد. مقادیر مشخصه بارهای معادل در زیربندهای 6.6.2 تا 6.6.6 استاندارد EN 1991.2 [50] آمده است.

پ-۲-۷ آثار خروج قطارها از خط در پل‌های راه‌آهن

سازه‌های ریلی را باید برای وضعیتی که در آن خروج قطار از خط اتفاق می‌افتد طراحی نمود به نحوی که واژگونی یا فروریزش کلی سازه رخ ندهد و کمترین آسیب به پل وارد شود.

پ-۲-۷-۱ آثار خروج از خط از ترافیک عبوری روی یک پل راه‌آهن

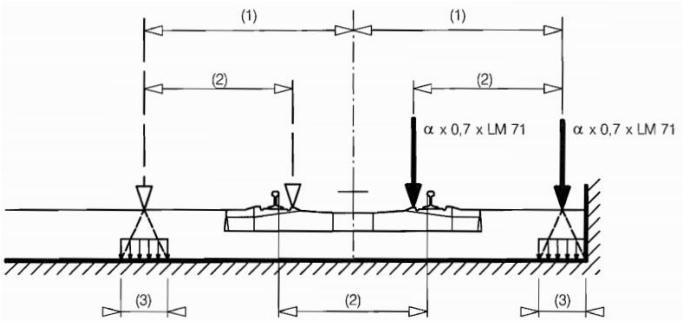
۱- خروج از خط قطار روی یک پل راه‌آهن را باید یک موقعیت طراحی استثنایی در نظر گرفت.

۲- دو وضعیت طراحی باید در نظر گرفته شود:

- وضعیت طراحی ۱: خروج قطار از خط، به صورتی که بخشی از قطار در محوطه خط روی عرشهٔ پل باقی بماند و قطارهای از خط خارج شده تو سط ریل مجاور یا یک دیوار نگهدارنده، متوقف شوند (به شکل پ-۱۶ مراجعه شود).
- وضعیت طراحی ۲: خروج قطار از خط، در حالتی که کل قطار از خط خارج‌شده به‌صورت متعادل روی لبه پل واقع شود و بارگذاری به لبهٔ روسازه (به‌جز عناصر غیرسازه‌ای مانند پیاده‌روها) اعمال شود.

۳- برای وضعیت طراحی ۱، از فروریزش یک بخش اصلی سازه باید جلوگیری شود اما آسیب موضعی قابل پذیرش است. بخش‌هایی از سازه که متأثر از خروج از خط هستند باید برای بارهای طراحی در وضعیت طراحی استثنایی (تصادفی) به شرح زیر طراحی شوند:

بار معـادل $\alpha \times 1.4 \times LM71$ (شامل بارهـای متمرکز، Q_{A1d}، و بارهای گسترده یکنواخت، q_{A1d}) به موازات خط در نامناسـب‌ترین موقعیت داخـل محـدوده‌ای به عرض ۱٫۵ برابر فاصـلهٔ ریـل‌ها در هر طرف محـور مرکزی خط (به شکل پ-۱۶ مراجعه شود).



راهنما:

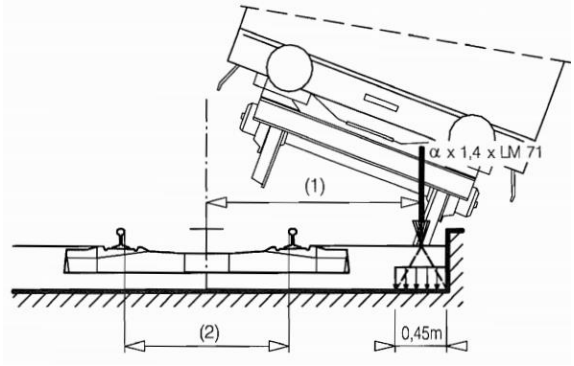
۱ حداکثر ۱٫۵ برابر فاصلهٔ بین دو ریل یا کمتر در صورت وجود دیوار کناری؛

۲ فاصلهٔ بین ریل‌ها؛

۳ برای عرشه‌های دارای بالاست، بارهای متمرکز را می‌توان در یک سطح مربعی به ضلع ۴۵۰ mm روی سطح عرشه توزیع نمود.

شکل پ-۱۶- وضعیت طراحی ۱: بار معادل Q_{A1d} و q_{A1d} [50]

۴- برای وضعیت طراحی ۲، نباید واژگونی یا فروریزش کلی در پل ایجاد شـود. به‌منظور تعیین پایداری کلی، بار گسـتردهٔ یکنواخت قائم مؤثر بر لبـهٔ پل برابر با $q_{A2d}=\alpha \times 1.4 \times LM71$ در ۲۰ m از طـول کل پل باید در نظر گرفته شود (به شکل پ-۱۷ مراجعه شود).



راهنما:

۱ بار مؤثر بر لبهٔ سازه

۲ فاصلهٔ بین ریل‌ها

شکل پ-۱۷- وضعیت طراحی ۲: بار معادل q_{A2d} [50]

یادآوری- بار معادل فوق‌الذکر صرفاً برای تعیین مقاومت نهایی یا پایداری کلی سـازه در نظر گرفته می‌شـود. نیازی به طراحی عناصر سازه‌ای فرعی برای تحمل این بار نیست.

۵- وضعیت طراحی ۱ و ۲ را باید به‌طور جداگانه لحاظ نمود. نیازی به ترکیب این بارها وجود ندارد.

۶- در وضعیت طراحی ۱ و ۲، برای اثر خروج از خط قطار، از سایر بارهای ترافیکی ریلی باید صرف‌نظر کرد.

۷- نیازی به اعمال ضریب ضربه به بارهای طراحی در ردیف ۳ و ۴ زیربند پ-۲-۷-۱ نیست.

۸- برای عناصر سازه‌ای مستقر در بالای تراز ریل، اقدامات لازم جهت علاج‌بخشی عواقب ناشی از خروج قطار از خط لازم است مطابق با الزامات مقرر توسط کارفرما انجام شود. این موضوع به ویژه برای پل‌های راه‌آهن عبور از میان از اهمیت ویژه برخوردار است.

پ-۲-۷-۲ خروج از خط زیر یا مجاور یک سازه و سایر تلاش‌ها برای وضعیت‌های طراحی تصادفی

۱- به هنگام خروج از خط، خطر برخورد بین واگن‌های خارج‌شده از خط و سازه‌های بالایی یا مجاور خط وجود دارد. الزامات مربوط به بارگذاری ناشی از برخورد و سایر ضوابط طراحی در این خصوص در استاندارد EN 1991.1.7 [55] آمده است.

۲- سایر تلاش‌های ناشی از وضعیت‌های طراحی استثنایی باید طبق استاندارد EN 1991.1.7 [55] لحاظ شود.

پ-۲-۷-۳ سایر کنش‌ها

در طراحی سازه، باید کنش‌های زیر نیز مدنظر قرار گیرند:

- آثار ناشی از عرشه‌های شیب‌دار (دارای شیب عرضی) یا سطوح نشیمن‌گاهی شیب‌دار؛
- نیروهای مهاری طولی ناشی از تنیدگی یا کاهش تنش[1] ریل‌ها مطابق با الزامات مشخص‌شده؛
- نیروهای طولی ناشی از گسیختگی تصادفی ریل‌ها طبق الزامات مشخص‌شده؛
- کنش‌های ناشی تجهیزات برق بالاسری متصل به سازه مطابق با الزامات مشخص‌شده؛
- کنش‌های وارد از طرف تأسیسات و تجهیزات راه‌آهن مطابق با الزامات مشخص‌شده.

پ-۲-۸ اعمال بارهای ترافیکی وارد بر پل‌های راه‌آهن

پ-۲-۸-۱ ملاحظات کلی

یادآوری- ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲ برای ضریب α و زیربند پ-۲-۴-۵-۲ برای ضریب ضربه، Φ، ملاحظه شود.

۱- سازهٔ پل باید برای تعداد و موقعیت‌های مورد نیاز خطوط راه‌آهن مطابق با موقعیت‌ها و رواداری‌های خاص هر پروژه طراحی شود.

۲- هر سازه باید برای بیشترین تعداد خطوطی که به لحاظ هندسی و سازه‌ای امکان‌پذیر است و بدترین وضعیت قرارگیری آن‌ها، صرف‌نظر از هندسه استقرار موردنظر خطوط با منظور کردن کمینه فاصلهٔ بین خطوط و الزامات فاصلهٔ سازه‌ای حداقل طراحی شود.

۳- آثار کلیه کنش‌ها باید با بارهای ترافیکی و نیروهای مستقر در بدترین وضعیت ممکن به‌دست آیند. از کنش‌های ترافیکی که اثر خنثی‌کننده دارند باید صرف‌نظر نمود.

۴- در تعیین نامناسب‌ترین آثار بار ترافیکی ناشی از اعمال بار LM71:

- در تمام طول خط باید یک بار گسترده یکنواخت، q_{vk}، به یک خط و حداکثر ۴ بار متمرکز، Q_{vk} در هر خط اعمال شود؛

1- Destressing

- برای پل‌های راه‌آهن دو خطه، مدل بار LM71 باید روی یک یا هر دو خط اعمال شود؛
- برای پل‌های راه‌آهن سه خطه یا بیشتر، مدل بار LM71 باید روی یک یا دو خط، یا ۰٫۷۵ برابر بار LM71 روی سه خط یا بیشتر اعمال شود.

۵- در تعیین نامناسب‌ترین آثار بار ترافیکی ناشی از اعمال بار SW/0:

- بارگذاری معرفی‌شده در شکل پ-۷ و جدول پ-۱۴ باید در یک خط اعمال شود؛
- برای پل‌های راه‌آهن دوخطه، مدل بار SW/0 باید روی یک یا هر دو خط اعمال شود؛
- برای پل‌های راه‌آهن سه خطه یا بیشتر، مدل بار SW/0 باید روی یک یا دو خط، یا ۰٫۷۵ بار SW/0 روی سه خط یا بیشتر اعمال شود.

۶- در تعیین نامناسب‌ترین آثار بار ترافیکی ناشی از اعمال بار SW/2:

- بارگذاری معرفی‌شده در شکل پ-۷ و جدول پ-۱۴ باید در یک خط اعمال شود؛
- برای پل‌های راه‌آهن دارای بیشتر از یک خط، مدل بار SW/2 باید به یک خط اعمال شود به‌طوری که مدل بار LM71 یا SW/0 طبق ردیف ۴ و ۶ زیربند پ-۲-۸-۱ به خط دیگر وارد شود.

۷- در تعیین نامناسب‌ترین آثار بار متناظر با مدل بار «قطار خالی»:

- کل طول پل باید تحت بار گستردهٔ یکنواخت q_{vk} قرار گیرد؛
- عموماً مدل «قطار خالی» باید برای طراحی پل‌های راه‌آهن تک خطه در نظر گرفته شود.

۸- پل‌های دارای تیر پیوستهٔ طراحی شده با مدل بار LM71، باید برای مدل بار SW/0 نیز واپایش گردند.

۹- اگر انجام تحلیل دینامیکی طبق زیربند 6.4.4 استاندارد EN 1991.2 [50] ضروری باشد، پل باید برای بارگذاری قطارهای واقعی و مدل بار HSLM نیز طراحی شود. تعیین بدترین وضعیت بارگذاری قطارهای واقعی و مدل بار HSML باید مطابق با ردیف ۶ زیربند 6.4.6.1.1 استاندارد EN 1991.2 [50] و ردیف ۳ زیربند 6.4.6.5 استاندارد EN 1991.2 [50] انجام شود.

۱۰- برای راستی‌آزمایی تغییرشکل‌ها و ارتعاشات، اعمال بار قائم باید طبق الزامات زیر انجام شود:

- مدل بار LM71 و در صورت نیاز، مدل‌های بار SW/0 و SW/2؛
- مدل بار HSLM چنانچه در زیربند 6.4.6.1.1 استاندارد EN 1991.2 [50] ضروری باشد؛
- بار قطارهای واقعی چنانچه تعیین رفتار دینامیکی در خصوص کنترل پدیدهٔ تشدید[1] یا ارتعاشات بیش از حد عرشه طبق زیربند 6.4.6.1.1 استاندارد EN 1991.2 [50] ضروری باشد.

۱۱- برای عرشهٔ پل‌های یک یا دو خطه، کنترل حدود تغییرشکل و ارتعاش باید برحسب تعداد خطوط بارگذاری‌شده با کلیهٔ آثار ترافیکی طبق جدول پ-۱۸ انجام شود. بارهای طبقه‌بندی‌شده باید طبق زیربند پ-۲-۳-۲ منظور شوند.

1- Resonance

جدول پ-۱۸- تعداد خطوط راه‌آهن بارگذاری‌شده برای کنترل حدود تغییرشکل و ارتعاش پل [50]

حالت حدی و معیارهای پذیرش متناظر	تعداد خطوط راه‌آهن روی پل		
	۱	۲	۳ و بیشتر
کنترل‌های مربوط به ایمنی ترافیک ریلی			
• تابیدگی عرشه (طبق زیربند A2.4.4.2.2 استاندارد EN 1990 [48])؛	۱	۱ یا ۲ [الف]	۱، ۲، ۳ یا بیشتر [ب]
• تغییرشکل قائم عرشه (طبق زیربند A2.4.4.2.3 استاندارد EN 1990 [48])؛	۱	۱ یا ۲ [الف]	۱، ۲، ۳ یا بیشتر [ب]
• تغییرشکل افقی عرشه (طبق زیربند A2.4.4.2.4 استاندارد EN 1990 [48])؛	۱	۱ یا ۲ [الف]	۱، ۲، ۳ یا بیشتر [ب]
• پاسخ ترکیبی (اندرکنش) خط و سازه برای آثار کنش‌های متغیر شامل حدود جابه‌جایی قائم و طولی انتهای یک عرشه (زیربند پ-۲-۵-۴)؛	۱	۱ یا ۲ [الف]	۱ یا ۲ [الف]
• شتاب قائم عرشه (طبق زیربند 6.4.6 استاندارد EN 1991.2 [50] و زیربند A2.4.4.2.1 استاندارد EN 1990 [48]).	۱	۱	۱
کنترل‌های حالت حدی بهره‌برداری (SLS)			
• معیارهای آسایش مسافرین (طبق زیربند A2.4.4.3 استاندارد EN 1990 [48])	۱	۱	۱
کنترل‌های حالت حدی مقاومت (ULS)			
• کنترل برکنش در نشیمن‌گاه‌ها (طبق زیربند A2.4.4.1(2)P استاندارد EN 1990	۱	۱ یا ۲ [الف]	۱، ۲، ۳ یا بیشتر [ب]

[الف] در هر موقعیت که بحرانی‌تر است.

[ب] در صورتی که گروه‌های بار به‌کار گرفته شود، تعداد خطوط بارگذاری شده باید مطابق با جدول پ-۱۹ باشد. اگر گروه‌های بار استفاده نشود نیز، تعداد خطوط بارگذاری‌شده باید طبق جدول پ-۱۹ منظور شود.

پ-۲-۸-۲ گروه‌های بار- مقادیر مشخصه کنش‌های چند مؤلفه‌ای

۱- هم‌زمانی بارهای تعریف شده طبق زیربندهای پ-۲-۳، پ-۲-۵ و پ-۲-۷ را می‌توان با منظور کردن گروه‌های بار تعریف شده در جدول پ-۱۹ در نظر گرفت. هر یک از گروه‌های بار، که دو به دو منحصر به هم هستند، باید برای تعریف یک کنش تک‌متغیره در ترکیب با بارهای غیرترافیکی منظور شوند. هر گروه از بارها باید به عنوان یک کنش تک‌متغیری اعمال شود.

یادآوری- در برخی موارد که منظور کردن سایر ترکیبات متناسب کنش‌های ترافیک ریلی منفرد مورد نیاز باشد، به ردیف ۴ زیربند A2.2.6 استاندارد EN 1990 [48] مراجعه شود.

۲- ضرایب جدول پ-۱۹ باید به مقادیر مشخصهٔ کنش‌های مختلف منظور شده در هر گروه اعمال شود.

یادآوری- مقادیر جدول پ-۱۹ پیشنهادی است و برحسب مورد هر پروژه بر اساس ملاحظات کارفرما قابل تغییر است.

۳- در مواردی که گروه‌های بار منظور نمی‌شود، کنش‌های ترافیک ریلی باید طبق جدول A2.3 استاندارد EN 1990 [48] ترکیب شود.

جدول پ-۱۹- ارزیابی گروه‌های بار برای ترافیک ریلی (مقادیر مشخصه کنش‌های چند مؤلفه‌ای) [50]

تعداد خطوط			گروه‌های بار			نیروهای قائم			نیروهای افقی			توضیحات
۱	۲	۳ و بیشتر	تعداد خطوط بارگذاری شده	گروه بار [۸]	خط بارگذاری شده	HSLM [۶] و [۷] SW/0 [۱] و [۲] LM71 [۱]	SW/2 [۱] و [۳]	قطار خالی	شتاب و ترمز [۱]	گریز از مرکز [۱]	نیروی نوسان جانبی [۱]	
			۱	gr11	T_1	۱			[۵]۱	[۵]۰٫۵	[۵]۰٫۵	بیشینهٔ قائم ۱ و بیشینهٔ طولی
			۱	gr12	T_1	۱			[۵]۰٫۵	[۵]۱	[۵]۱	بیشینهٔ قائم ۲ با بیشینهٔ عرضی
			۱	gr13	T_1	[۴]۱			۱	[۵]۰٫۵	[۵]۰٫۵	بیشینهٔ طولی
			۱	gr14	T_1	[۴]۱			[۵]۰٫۵	۱	۱	بیشینهٔ جانبی
			۱	gr15	T_1			۱		[۵]۱	[۵]۱	پایداری جانبی با قطار خالی
			۱	gr16	T_1		۱		[۵]۱	[۵]۰٫۵	[۵]۰٫۵	SW/2 با بیشینه طولی
			۱	gr17	T_1		۱		[۵]۰٫۵	[۵]۱	[۵]۱	SW/2 با بیشینه عرضی
			۲	gr21	T_1 T_2	۱ ۱			[۵]۱ [۵]۱	[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	بیشینهٔ قائم ۱ و بیشینهٔ طولی
			۲	gr22	T_1 T_2	۱ ۱			[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	[۵]۱ [۵]۱	[۵]۱ [۵]۱	بیشینهٔ قائم ۲ و بیشینهٔ عرضی
			۲	gr23	T_1 T_2	[۴]۱ [۴]۱			۱ ۱	[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	بیشینهٔ طولی
			۲	gr24	T_1 T_2	[۴]۱ [۴]۱			[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	۱ ۱	۱ ۱	بیشینهٔ جانبی
			۲	gr26	T_1 T_2	۱	۱		۱ ۱	[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	SW/2 با بیشینهٔ طولی
			۲	gr27	T_1 T_2	۱	۱		[۵]۰٫۵ [۵]۰٫۵	[۵]۱ [۵]۱	[۵]۱ [۵]۱	SW/2 با بیشینهٔ عرضی
			بیشتر از ۳	gr31	T_1	۰٫۷۵			[۵]۰٫۷۵	[۵]۰٫۷۵	[۵]۰٫۷۵	حالت بار اضافی

[۱] کلیه ضرایب مربوطه (α، Φ، f و ...) باید لحاظ شوند.

[۲] مدل بار SW/0 باید صرفاً در مورد پل‌های دارای تیرهای پیوسته به کار رود.

[۳] نیاز به منظورکردن مدل بار SW/2 صرفاً در صورت ضروری دانسته‌شدن توسط کارفرما وجود خواهد داشت.

[۴] در صورتی که بار، اثر نامطلوبی را ایجاد کند این ضریب را می‌توان تا ۰٫۵ کاهش داد ولی این ضریب نمی‌تواند صفر اختیار شود.

[۵] در موارد مساعد، این مقادیر غیرحاکم را می‌توان برابر با صفر منظور کرد.

[۶] مدل‌های بار HSLM و قطار واقعی در صورت نیاز، طبق زیربندهای 6.4.4 و 6.4.6.1.1 استاندارد EN 1991.2 [50] منظور خواهد شد.

[۷] اگر تحلیل دینامیکی لازم مورد نیاز باشد، این تحلیل طبق زیربندهای 6.4.4، 6.4.6.5 و ردیف ۳ زیربند 6.4.6.1.2 استاندارد EN 1991.2 [50] انجام می‌پذیرد.

[۸] جدول پ-۲۰ نیز ملاحظه شود.

راهنما:

کنش مؤلفهٔ حاکم در صورت تناسب؛

در طراحی یک پل تک‌خطه منظور می‌شود (گروه‌های بار ۱۱ تا ۱۷)؛

در طراحی یک پل دوخطه منظور می‌شود (گروه‌های بار ۱۱ تا ۲۷ به جز ۱۵). هر یک از دو خط به عنوان T_1 و T_2 در نظر گرفته می‌شوند؛

در طراحی یک پل سه‌خطه یا بیشتر منظور می‌شود (گروه‌های بار ۱۱ تا ۳۱ به‌جز ۱۵). یکی از خطوط به‌صورت T_1، دیگری به عنوان T_2 و بقیه بدون بار منظور می‌شوند. ضمناً گروه بار ۳۱ به عنوان بار اضافی لحاظ می‌شود طوری که تمام طول‌های نامساعد خط T_1 بارگذاری شده باشد.

پ-۲-۸-۳ گروه‌های بار- سایر مقادیر کنش‌های چند مؤلفه‌ای

پ-۲-۸-۳-۱ مقادیر مکرر کنش‌های چند مؤلفه‌ای[1]

۱- جایی که گروه بار در نظر گرفته می‌شود، قواعد مشابه زیربند پ-۲-۸-۲ با اعمال ضرایب مذکور در جدول پ-۱۹ روی مقادیر مکرر تلاش‌های مربوط به هر گروه بار، قابل اعمال است.

یادآوری- مقادیر مکرر کنش‌های چندمؤلفه‌ای ارائه‌شده، پیشنهادی است و می‌تواند توسط کارفرما مورد بازبینی قرارداده شود.

۲- جایی که گروه بارها مورد استفاده نیست، کنش‌های ترافیک ریلی را باید طبق Table A2.3 در استاندارد EN 1990 [48] ترکیب نمود.

پ-۲-۸-۳-۲ مقادیر شبه دائمی کنش‌های چند مؤلفه‌ای[2]

۱- کنش‌های ترافیکی شبه دائمی را باید برابر با صفر منظور کرد.

یادآوری- مقادیر شبه دائمی کنش‌های چند مؤلفه‌ای ارائه‌شده پیشنهادی است و توسط کارفرما قابل بازنگری خواهد بود.

پ-۲-۸-۴ بارهای ترافیکی در موقعیت‌های طراحی گذرا

۱- بارهای ترافیکی برای موقعیت‌های طراحی گذرا باید تعریف شود.

یادآوری- برخی از بارهای مورد اشاره در Annex H استاندارد EN 1991.2 [50] ارائه شده است. این بارها را می‌توان در هر پروژهٔ خاص، به‌صورت ویژه معین کرد.

پ-۲-۹ بارهای ترافیکی برای طراحی پل در برابر خستگی

۱- ارزیابی آسیب ناشی از پدیده خستگی[3] باید برای کلیه عناصر سازه‌ای تحت تنش‌های متناوب انجام شود.

۲- برای بارهای ترافیک ریلی عادی مبتنی بر مقادیر مشخصه مدل بار LM71، همراه با ضریب ضربه، Φ، ارزیابی خستگی باید بر مبنای ترکیبی از «ترافیک ریلی استاندارد»، «ترافیک ریلی با بارهای محور ۲۵۰ kN» یا «ترکیب ترافیک ریلی سبک» بسته به اینکه پل چه ترافیک ریلی را تحمل می‌کند (ترافیک ترکیبی سنگین و سبک، ترافیک عمدتاً سنگین باری، ترافیک عمدتاً سبک مسافری و باری) طبق الزامات کارفرما انجام پذیرد. جزئیات قطارهای بهره‌برداری و ترکیبات ترافیک ریلی و همچنین ضرایب ضربه مربوطه در Annex D استاندارد EN 1991.2 [50] بیان شده است.

۳- در صورتی که ترکیب ترافیک بیانگر ترافیک ریلی واقعی نباشد (مثلاً در موقعیت‌های ویژه‌ای که تعداد محدودی از انواع واگن، حاکم بر بارگذاری خستگی باشد یا اینکه ترافیک مورد نظر نیازمند ضریب α بزرگ‌تر از واحد طبق ردیف ۳ زیربند پ-۲-۳-۲)، یک ترکیب ترافیک جایگزین باید مدنظر باشد.

1- Frequent values of the multicomponent actions

2- Quasi-permanent values of the multicomponent actions

۳- منظور از آسیب ناشی از خستگی، آسیب‌های سازه‌ای ناشی از تکرار بارهای وارد بر اجزای سازه‌ای پل حتی در تنش‌های کوچکتر از حد تسلیم عناصر سازه است که به آن خستگی پرتواتر (High-cycle fatigue) نیز گفته می‌شود.

۴- هر ترکیب ترافیکی باید مبتنی بر یک ظرفیت حمل بار سالانه برابر با ۲۵×۱۰^{۶} تن روی هر خط راه‌آهن مستقر بر پل اختیار شود.

۵- در پل‌های چند خطه، بارگذاری خستگی باید حداکثر به دو خط عبوری در بدترین وضعیت ممکن اعمال شود.

۶- آسیب ناشی از خستگی باید در طول عمر بهره‌برداری پل مورد ارزیابی قرار داده شود.

یادآوری- حداقل طول عمر بهره‌برداری از پل، ۱۰۰ سال پیشنهاد می‌شود. توصیه‌های بیشتر در این مورد، در استاندارد EN 1990 [48] بیان شده است.

۷- به صورت جایگزین، ارزیابی خستگی را می‌توان بر مبنای یک ترکیب ترافیکی ویژه انجام داد.

۸- الزامات تکمیلی برای ارزیابی خستگی پل‌های راه‌آهن در صورت انجام تحلیل دینامیکی طبق زیربند 6.4.4 استاندارد EN 1991.2 [50]، در زیربند 6.4.6.6 استاندارد EN 1991.2 [50] بیان شده است.

۹- کنش‌های قائم ترافیک ریلی شامل آثار ضربه و نیروهای گریز از مرکز باید در ارزیابی خستگی به‌صورت هم‌زمان مدنظر قرار داده شود. می‌توان از بار ناشی از نوسان جانبی و کنش‌های ترافیکی طولی (شتاب و ترمز)، در ارزیابی خستگی صرف‌نظر نمود.

یادآوری- در برخی موقعیت‌های خاص، مثلاً پل‌های نگهدارندهٔ خطوط راه‌آهن در محل ایستگاه‌ها (به دلیل تکرار وقوع زیاد)، اثرات کنش‌های طولی را باید در ارزیابی خستگی منظور نمود.

پ-۲-۱۰ سایر بارهای وارد بر پل راه‌آهن

پ-۲-۱۰-۱ آثار زلزله

برای تعیین آثار ناشی از زلزله، باید از استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۴۶۸۴ [47] استفاده شود. در صورتی که پل راه‌آهن به جداساز لرزه‌ای مجهز باشد، علاوه بر استاندارد EN 1998.2 [56]، ضوابط نشریهٔ شمارهٔ ۸۴۵ [58] نیز قابل استفاده است. در صورت تجهیز پل به سایر سامانه‌های اتلاف انرژی (مانند میراگرها) باید از مراجع معتبر استفاده کرد.

پ-۲-۱۰-۲ آثار باد

به‌منظور تعیین آثار باد وارد بر سازهٔ پل راه‌آهن و همچنین بار باد وارد بر قطار، به استاندارد EN 1991.1.4 [52] مراجعه شود. برای تعیین سرعت مبنای باد طبق تعاریف زیربند 4.2 استاندارد EN 1991.1.4 عمل شود. طبق زیربند مورد اشاره، سرعت مبنای باد، V_{b0}، یک سرعت میانگین ۱۰ min است که فارغ از راستای وزش باد و زمان آن در طول سال، در تراز ۱۰ m زمین در فضای باز (فاقد پوشش گیاهی) محاسبه می‌شود. به‌منظور تبدیل سرعت مبنای باد (از سرعت تندباد ۳ s به سرعت باد ۱۰ min) می‌توان از شکل ۲۱ استفاده کرد.

پ-۲-۱۰-۳ آثار برف

طبق ردیف ۱ زیربند A2.2.4 استاندارد EN 1990 [48]، در طراحی پل راه‌آهن (مشابه پل راه)، از اثر بار برف صرف‌نظر می‌شود اما در مناطق سردسیر، با صلاح‌دید کارفرما، می‌توان از استاندارد EN 1991.1.3 [51] در این مورد استفاده کرد. برای تعیین مقدار بار برف روی زمین، نقشهٔ پهنه‌بندی برف کشور (جدول ۷ این استاندارد) در دسترس است.

پ-۲-۱۱ ترکیبات بارگذاری

پ-۲-۱۱-۱ ملاحظات کلی

قواعد کلی ترکیبات بارگذاری برای طراحی پل‌ها در زیربند A2.2.1 استاندارد EN 1990 آمده است. قواعد اختصاصی ترکیبات بارگذاری برای طراحی پل‌های راه‌آهن در زیربند A2.2.4 استاندارد EN 1990 بیان شده است. این قواعد به این شرح است:

۱- نیازی به منظور کردن بار برف در هیچ یک از ترکیبات بارگذاری چه در وضعیت ماندگار و چه در وضعیت موقت پس از احداث پل وجود ندارد مگر اینکه در شرایط ویژهٔ جغرافیایی یا برای انواع خاصی از پل‌های راه‌آهن، این موضوع توسط کارفرما اعلام شود.

۲- ترکیبات بارگذاری شامل باد به هنگام عبور بارهای ترافیکی ریلی باید شامل موارد زیر باشد:

- نیروهای قائم ترافیکی شامل اثر ضربه، نیروهای افقی ترافیکی و نیروهای باد به‌صورت هم‌زمان؛
- نیروهای قائم ترافیکی بدون اثر ضربه و نیروهای نوسان جانبی ناشی از عبور «قطار خالی» همراه با اثر باد به منظور بررسی پایداری (مانند واژگونی).

۳- نیازی به ترکیب نیروی باد با موارد زیر نیست:

- گروه‌های بار gr13 یا gr23 (طبق جدول پ-۱۹)؛
- گروه‌های بار gr16، gr17، gr26، gr27 و مدل بار SW/2.

۴- بار باد بزرگ‌تر از کوچک‌ترین مقدار F_W^{**} و $\psi_0 F_{Wk}$ را نباید با کنش‌های ترافیکی ترکیب کرد.

یادآوری- حدود بیشینه سرعت باد سازگار با ترافیک ریلی به‌منظور تعیین F_W^{**} با استفاده از استاندارد EN 1991.1.4 [52] قابل تعیین است.

۵- کنش‌های مربوط به آثار آئرودینامیکی ناشی از ترافیک ریلی (طبق زیربند 6.6 استاندارد EN 1991.2 [50]) و کنش‌های باد باید با یکدیگر ترکیب شوند.

۶- چنانچه یک سازه مستقیماً در معرض باد نباشد، مقدار کنش q_{ik} ناشی از آثار آئرودینامیکی باید برای سرعت‌های افزایش‌یافته قطار ناشی از سرعت باد تعیین شود.

۷- در صورتی که گروه‌های بار برای بارگذاری ترافیک ریلی مورد استفاده نباشد، بارگذاری ترافیک ریلی باید به‌صورت یک کنش تک متغیره چندجهته همراه با مؤلفه‌های منفرد کنش‌های ترافیک ریلی توأم با بدترین و بهترین مقادیر مناسب منظور شود.

پ-۲-۱۱-۲ ترکیبات بارگذاری مربوط به حالات طراحی تصادفی (به‌جز زلزله)

۱- در صورتی که نیاز به بررسی یک حالت طراحی تصادفی باشد، نیازی به در نظر گرفتن سایر کنش‌های تصادفی (و یا باد و برف) به‌صورت هم‌زمان نیست.

۲- برای یک وضعیت تصادفی طراحی مربوط به اثر برخورد ناشی از عبور ترافیک (کامیون یا قطار) از زیر پل، بارهای ناشی از عبور ترافیک از روی پل باید در ترکیب با کنش‌های همراه با مقدار متناظر به‌طور هم‌زمان منظور شوند.

یادآوری ۱- برای کنش‌های ناشی از برخورد ترافیکی به استاندارد EN 1991.1.7 [55] مراجعه شود.

یادآوری ۲- ترکیبات اضافی کنش‌ها برای حالات طراحی تصادفی (مانند ترکیب کنش‌های ترافیک ریلی با سقوط بهمن، سیلاب یا آثار آب‌شستگی) را می‌توان برای هر پروژه به‌صورت ویژه تعریف نمود.

۳- در وضعیت طراحی تصادفی مربوط به کنش‌های ایجاد شده ناشی از اثر خروج قطار از خط روی پل، کنش‌های ترافیک ریلی در خطوط مجاور باید به‌صورت کنش‌های همراه در ترکیبات منظور شوند.

یادآوری ۳- برای کنش‌های ناشی از برخورد ترافیکی به استاندارد EN 1991.1.7 [55] مراجعه شود.

یادآوری ۴- کنش‌های مربوط به حالات طراحی در وضعیت تصادفی ناشی از برخورد قطار عبوری از روی پل شامل کنش‌های مربوط به خروج از خط در زیربند پ-۲-۷-۱ آمده است.

۴- در مورد پل‌های راه‌آهن واقع در مناطق فراساحلی یا ساحلی، آثار مربوط به برخورد کشتی (یا هر جسم شناور) با پل باید منظور شود.

یادآوری ۵- برای کنش‌های ناشی از برخورد کشتی (یا هر جسم شناور) به استاندارد EN 1991.1.7 [55] مراجعه شود. کارفرما می‌تواند الزامات تکمیلی را در این خصوص منظور نماید.

پ-۲-۱۱-۳ مقادیر ضرایب ψ

۱- ضرایب بار در ترکیبات بارگذاری برای طراحی پل راه‌آهن در جدول پ-۲۰ آمده است؛

۲- در پل‌های راه‌آهن، یک مقدار منحصربفرد ψ باید به یک گروه از بارهای تعریف شده در جدول پ-۱۹، که برابر با مقدار ψ قابل کاربرد به مؤلفهٔ اصلی گروه است به کار رود؛

۳- در پل‌های راه‌آهن، در صورتی که گروه بارها به کار رود، گروه بارهای تعریف‌شده در جدول پ-۱۹ باید مدنظر باشد؛

۴- ترکیبات کنش‌های ترافیکی تک به تک (شامل مؤلفه‌های منفرد) باید در پل‌های راه‌آهن مدنظر قرار داده شود. کنش‌های ترافیکی را می‌توان به صورت جدا از هم نیز اعمال کرد، مثلاً برای طراحی نشیمن‌گاه‌ها، به منظور ارزیابی بیشینه بار جانبی و قائم ترافیکی، قیود نشیمن‌گاهی، بیشینه آثار واژگونی در مورد کوله‌ها (به ویژه پل‌های پیوسته) و .... (به جدول پ-۲۰ مراجعه شود).

جدول پ-۲۰- ضرایب پیشنهادی ψ برای پل‌های راه‌آهن [48]

کنش‌ها		ψ_0	ψ_1	ψ_2
مؤلفه‌های منفرد کنش‌های ترافیک ریلی (۵)	LM71	۰٫۸۰	(۱)	صفر
	SW/0	۰٫۸۰	(۱)	صفر
	SW/2	صفر	۱٫۰۰	صفر
	قطار خالی	۱٫۰۰	–	–
	HSLM	۱٫۰۰	۱٫۰۰	صفر
	شتاب و ترمز	در مورد مؤلفه‌های منفرد کنش‌های ترافیکی در حالات طراحی که در آن‌ها بارهای ترافیکی به‌صورت یک کنش اصلی منفرد (چند جهته) و نه به‌صورت گروه‌هایی از بارها منظور می‌شوند، از همان مقادیر ψ اختیارشده برای بارهای قائم متناظر استفاده می‌شود.		
	نیروهای گریز از مرکز			
	نیروهای اندرکنش ناشی از تغییرشکل تحت بارهای ترافیکی قائم			
	نیروهای ناشی از اثر نوسانات جانبی	۱٫۰۰	۰٫۸۰	صفر
	بارهای پیاده‌روهای غیرعمومی	۰٫۸۰	۰٫۵۰	صفر
	بار قطارهای واقعی	۱٫۰۰	۱٫۰۰	صفر
	فشار افقی خاک ناشی از سربار زنده	۰٫۸۰	(۱)	صفر
	آثار آئرودینامیکی	۰٫۸۰	۰٫۵۰	صفر
کنش‌های اصلی ترافیکی (گروه‌های بار)	gr11 (LM71+SW/0)	بیشینهٔ قائم ۱ همراه با بیشینه طولی	۰٫۸۰	۰٫۸۰	صفر
	gr12 (LM71+SW/0)	بیشینهٔ قائم ۲ همراه با بیشینه عرضی			
	gr13 (ترمز و شتاب)	بیشینهٔ طولی			
	gr14 (نیروی گریز از مرکز/ اثر نوسانات جانبی)	بیشینهٔ جانبی			
	gr15 (قطار خالی)	پایداری جانبی با «قطار خالی»			
	gr16 (SW/2)	SW/2 با بیشینه طولی			
	gr17 (SW/2)	SW/2 با بیشینه عرضی			
	gr21 (LM71+SW/0)	بیشینهٔ قائم ۱ همراه با بیشینه طولی	۰٫۸۰	۰٫۷۰	صفر
	gr22 (LM71+SW/0)	بیشینهٔ قائم ۲ همراه با بیشینه عرضی			
	gr23 (ترمز و شتاب)	بیشینهٔ طولی			
	gr24 (نیروی گریز از مرکز/ اثر نوسانات جانبی)	بیشینهٔ جانبی			
	gr26 (SW/2)	SW/2 همراه با بیشینهٔ طولی			
	gr27 (SW/2)	SW/2 همراه با بیشینهٔ عرضی			
	gr31 (LM71+SW/0)	حالات بار تکمیلی	۰٫۸۰	۰٫۶۰	صفر
	آثار آئرودینامیکی		۰٫۸۰	۰٫۵۰	صفر

کنش‌ها		ψ_0	ψ_1	ψ_2
سایر کنش‌های بهره‌برداری	بارگذاری عمومی تعمیر و نگهداری برای پیاده‌روهای غیرعمومی	۰٫۸۰	۰٫۵۰	صفر
نیروهای باد [۲]	F_{wk}	۰٫۷۵	۰٫۵۰	صفر
	F_W^{**}	۱٫۰۰	صفر	صفر
کنش‌های حرارتی [۳]	T_k	۰٫۶۰	۰٫۶۰	۰٫۵۰
بارهای برف	$Q_{sn,k}$ (حین اجرا)	۰٫۸۰	–	صفر
بارهای حین اجرا	Q_c	۱٫۰۰	–	۱٫۰۰

یادآوری ۱- برابر با ۰٫۸ زمانی که فقط یک خط تحت بار قرار داده شود.
برابر با ۰٫۷ زمانی که دو خط به‌صورت هم‌زمان تحت بار قرار داده شود.
برابر با ۰٫۶ زمانی که سه خط یا بیشتر به‌صورت هم‌زمان تحت بار قرار داده شود.

یادآوری ۲- زمانی که نیروهای باد به‌صورت هم‌زمان با کنش‌های ترافیکی اعمال می‌شوند، نیروی ضریب‌دار باد، $\psi_0 F_{Wk}$، باید از F_W^{**} کوچک‌تر منظور شود (به استاندارد EN 1991.1.4 مراجعه شود). ردیف ۴ زیربند پ-۲-۱۱-۱ ملاحظه شود.

یادآوری ۳- استاندارد EN 1991.1.5 ملاحظه شود.

یادآوری ۴- چنانچه تغییر شکل برای حالات طراحی دائم و موقت منظور می شود، ψ_2 را باید برای کنش‌های ترافیک ریلی برابر با ۱٫۰۰ فرض کرد. برای حالات طراحی در برابر زلزله، جدول A2.5 استاندارد EN 1990 ملاحظه شود.

یادآوری ۵- حداقل بار قائم هم‌زمان با مؤلفه‌های منفرد کنش‌های ترافیک ریلی (مانند گریز از مرکز، شتاب یا ترمز) برابر با LM71 ۰٫۵ است.

پ-۲-۱۲ حالت‌های حدی طراحی

پ-۲-۱۲-۱ کلیات

حالت‌های حدی طراحی در مورد پل‌های راه‌آهن شامل حالت حدی نهایی (ULS)[1] و حالت حدی بهره‌برداری (SLS)[2] است که الزامات طراحی آن برای عناصر بتنی در استاندارد EN 1992-2 [58] و برای عناصر فولادی در استاندارد EN 1993-2 [60] ارائه شده است. در مورد عناصر مختلط (به عنوان نمونه روسازه‌های دال بتنی مستقر بر تیرهای فولادی)، حالت‌های حدی طراحی در استاندارد EN 1994-2 [61] بیان گردیده است.

پ-۲-۱۲-۲ حالت حدی نهایی (ULS)

پ-۲-۱۲-۲-۱ ترکیب بار تعادل استاتیکی (EQU)

در این ترکیب بار، از دست‌رفتن تعادل استاتیکی سازه یا بخشی از آن به صورت یک جسم صلب به عنوان حالت حدی تلقی می‌شود به صورتی که:

- تغییرات کوچک در مقدار یا توزیع فضایی بارهای دائمی از یک منشأ قابل توجه باشد؛
- مقاومت مصالح یا زمین عموماً حاکم بر طرح نباشد.

1- Ultimate Limit State (ULS)
2- Service Limit State (SLS)

پ-۲-۱۲-۲-۲ ترکیب بار شکست سازه‌ای (STR)

در این ترکیب بار، شکست عناصر داخلی سازه یا تغییرشکل بیش از حد سازه یا عناصر سازه‌ای شامل پی سطحی، پی عمیق (شمع)، دیوارها و ... به عنوان حالت حدی تلقی می‌شود و مقاومت مصالح سازه حاکم بر این حالت خواهد بود.

پ-۲-۱۲-۲-۳ ترکیب بار شکست زمین (GEO)

در این ترکیب بار، حالت حدی نهایی مربوط به شکست یا تغییرشکل بیش از حد زمین (خاک، سنگ) است.

پ-۲-۱۲-۲-۴ ترکیب بار خستگی (FAT)

در این ترکیب بار، شکست سازه یا عناصر سازه‌ای ناشی از خستگی به عنوان حالت حدی تلقی می‌شود.

یادآوری- برای طراحی عناصر سازه‌ای در برابر خستگی، ترکیبات بارگذاری در استاندارد EN 1992 تا EN 1995 و همچنین استانداردهای EN 1998 و EN 1999 ارائه شده است.

پ-۲-۱۲-۲-۵ ترکیب بار برکنش (UPL)

در این ترکیب بار، از دست رفتن تعادل سازه یا زمین ناشی از برکنش ایجاد شده توسط فشار آب (شناوری) یا سایر نیروهای قائم به عنوان حالت حدی تلقی می‌شود.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر به استاندارد EN 1997 مراجعه شود.

پ-۲-۱۲-۲-۶ ترکیب بار هیدرولیکی (HYD)

در این ترکیب بار، پرش هیدرولیکی[1]، فرسایش داخلی[2] و رگاب[3] داخل زمین ناشی از تغییرات هیدرولیکی به عنوان حالت حدی تلقی می‌شود.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر به استاندارد EN 1997 مراجعه شود.

پ-۲-۱۲-۲-۷ تصدیق تعادل استاتیکی و مقاومت

برای منظور کردن یک حالت حدی برای تعادل استاتیکی سازه (EQU) باید رابطهٔ زیر برقرار باشد:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb} \qquad (پ-۱۴)$$

که در آن:

$E_{d,dst}$: مقدار اثر بارهای بی‌ثبات‌کنندهٔ سازه؛

$E_{d,stb}$: مقدار اثر بارهای پایدارکننده سازه.

1- Hydraulic heave
2- Internal erosion
3- Piping

هنگامی که یک حالت حدی گسیختگی یا جابجایی فزایندهٔ یک مقطع، عضو یا اتصال سازه‌ای مدنظر است (حالات STR و یا GEO)، رابطهٔ پ-۱۵ باید برقرار باشد:

$$E_d \leq R_d \qquad (پ-۱۵)$$

که در آن:

E_d: مقدار اثر بارهایی نظیر نیروی داخلی، لنگر داخلی یا یک بردار بیانگر چندین نیرو یا لنگر؛

R_d: مقدار مقاومت متناظر.

یادآوری- رابطهٔ پ-۱۵ کلیهٔ اشکال تصدیق‌کنندهٔ مربوط به کمانش (آثار مرتبه دوم) که توسط پاسخ سازه‌ای محدود می‌شوند را پوشش نمی‌دهد.

پ-۲-۱۲-۲-۸ ترکیبات بار (بدون اثر خستگی)

پ-۲-۱۲-۲-۸-۱ ملاحظات کلی

در هر پروندهٔ بارگذاری، مقادیر بارها، E_d، باید با ترکیب کردن بارهایی که به‌طور هم‌زمان به سازه وارد خواهد شد تعیین شود. هر ترکیب باید شامل بارهای زیر باشد:

- یک بار متغیر پیش‌رو[1]؛
- یک بار تصادفی.

در صورتی که نتایج تصدیق به تغییرات مقدار یک بار دائمی از یک نقطه به نقطهٔ دیگر سازه حساس باشد، کران پایین بار[2] و کران بالای بار[3] باید به صورت جداگانه مدنظر قرار گیرد.

چنانچه چندین اثر گوناگون (به عنوان مثال لنگر خمشی و نیروی قائم ناشی از وزن) با هم به طور کامل در تناسب نباشند، ضریب جزئی بار، γ (طبق زیربند پ-۲-۱۲-۴)، برای کران پایین باید کاهش داده شود.

پ-۲-۱۲-۲-۸-۲ ترکیب بارها برای موقعیت‌های طراحی دائمی و گذرا (ترکیبات اساسی)

شکل کلی ترکیب بارگذاری به این صورت است:

$$E_d = \gamma_{Sd} E\left\{\gamma_{g,j} G_{k,j} ; \gamma_p P ; \gamma_{q,1} Q_{k,1} ; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\right\} \qquad j \geq 1; i > 1 \qquad (پ-۱۶)$$

ترکیب آثار بار باید مبتنی بر موارد زیر باشد:

- مقدار بار متغیر پیش‌رو؛
- مقدار ترکیب شدهٔ سایر بارهای متغیر.

1- Leading action
2- Favorable action
3- Unfavorable action

$$E_d=E\left\{\gamma_{G,j}G_{k,j}\ ;\ \gamma_p P\ ;\ \gamma_{Q,1}Q_{k,1}\ ;\ \gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}\right\} \qquad j\geq 1;\ i>1 \qquad (پ-۱۷)$$

ترکیب بارهای داخل { } در رابطهٔ پ-۱۷ را می‌توان به این صورت نوشت:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_p P"+"\gamma_{Q,1}Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \qquad (پ-۱۸)$$

یا به صورت جایگزین برای حالات حدی STR و GEO، بدترین وضعیت بین دو عبارت زیر را می‌توان منظور کرد:

$$\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_p P"+"\gamma_{Q,1}\psi_{0,i}Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \qquad (پ-۱۹)$$

$$\sum_{j\geq 1}\xi_j\gamma_{G,j}G_{k,j}"+"\gamma_p P"+"\gamma_{Q,1}Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \qquad (پ-۲۰)$$

که در آنها:

ξ: ضریب کاهشی برای کران پایین بارهای دائمی.

در صورتی که رابطهٔ بین بارها و اثرات آنها خطی نباشد، رابطهٔ پ-۱۶ و پ-۱۷ باید به صورت مستقیم بسته به میزان افزایش نسبی آثار نیروها در مقایسه با افزایش در مقدار آنها اعمال شود.

پ-۲-۱۲-۲-۸-۳ ترکیب بارها برای موقعیت‌های تصادفی

شکل کلی آثار بارها برای موقعیت‌های تصادفی (نظیر برخورد خودرو با پل یا اثرات خروج قطار از خط) باید به این صورت باشد:

$$E_d=E\left\{G_{k,j}\ ;\ P\ ;\ A_d\ ;\ (\psi_{1,1}\text{ یا }\psi_{2,1})Q_{k,1}\ ;\ \psi_{2,i}Q_{k,i}\right\} \qquad j\geq 1;\ i>1 \qquad (پ-۲۱)$$

در رابطهٔ پ-۲۱، ترکیب بارها داخل { } را می‌توان به این شکل نوشت:

$$\sum_{j\geq 1}G_{k,j}"+"\ P\ "+"\ A_d"+"\ (\psi_{1,1}\text{ یا }\psi_{2,1})Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\psi_{2,i}Q_{k,i} \qquad (پ-۲۲)$$

انتخاب بین $\psi_{1,1}\,Q_{k,1}$ یا $\psi_{2,1}\,Q_{k,1}$ باید مبتنی بر وضعیت طراحی تصادفی (نظیر برخورد، آتش‌سوزی پس از سانحه و غیره) باشد.

یادآوری- راهنمایی بیشتر در این خصوص در استانداردهای EN 1991 تا EN 1999 ارائه شده است.

ترکیب نیروها برای وضعیت‌های تصادفی طراحی باید شامل:

- یک نیروی تصادفی A (آتش‌سوزی یا ضربه) یا
- یک وضعیت پس از رخداد سانحه باشد (A=0).

در موارد آتش‌سوزی، به جز اثر حرارت روی مشخصات مصالح، A_d باید بیانگر مقدار طراحی آثار غیرمستقیم کنش حرارتی ناشی از آتش‌سوزی باشد.

پ-۲-۱۲-۲-۸-۴ ترکیب بارها برای طراحی در برابر زلزله

شکل کلی ترکیب آثار شامل زلزله باید به صورت رابطهٔ پ-۲۳ باشد:

$$E_d=E\left\{G_{k,j}\ ;\ P\ ;\ A_{Ed}\ ;\ \psi_{2,1}Q_{k,i}\right\} \qquad j\geq 1;\ i>1 \qquad \text{(پ-۲۳)}$$

ترکیب بارهای داخل { } را می‌توان به این صورت نوشت:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j}\text{"+"}\ P\ \text{"+"}\ A_{Ed}\text{"+"}\sum_{i>1}\psi_{2,i}Q_{k,i} \qquad \text{(پ-۲۴)}$$

پ-۲-۱۲-۲-۹ ضرایب جزیی بار، γ

این ضرایب برای حالات حدی گوناگون در Annex A2 استاندارد EN 1990 [48] تشریح شده است.

پ-۲-۱۲-۳ حالت حدی بهره‌برداری (SLS)

پ-۲-۱۲-۳-۱ ملاحظات کلی

در حالت حدی بهره‌برداری، رابطهٔ پ-۲۵ باید برقرار باشد:

$$E_d \leq C_d \qquad \text{(پ-۲۵)}$$

که در آن:

C_d: مقدار طراحی محدودکننده در معیار بهره‌برداری؛

E_d: مقدار طراحی آثار بارهای مشخص‌شده در معیار بهره‌برداری به دست آمده از ترکیب بار مشخص؛

پ-۲-۱۲-۳-۲ معیارهای بهره‌برداری

تغییرشکل‌های منظور شده در رابطه با الزامات بهـــره‌برداری باید طبق زیربند A2.4.4 از Annex A استاندارد EN 1990 (ویژهٔ پل‌های راه‌آهن) و مبتنی بر نوع عملیات اجرایی باشد.

پ-۲-۱۲-۳-۳ ترکیب بارها

ترکیب بارها باید موقعیت‌های آشکار طراحی را در تناسب با الزامات بهره‌برداری و معیارهای عملکردی منظور کند. ترکیب بارها برای حالات حدی بهره‌برداری در ادامه بیان می‌شود.

یادآوری- در کلیهٔ روابط ارائه شدهٔ ترکیبات بارگذاری در حالت حـدی بهره‌برداری، فرض می‌شـود که ضرایب جزئی بار برابر با واحد است.

۱- ترکیب بار مشخصه[1]:

$$E_d=E\left\{G_{k,j}\ ;\ P\ ;\ \ Q_{k,1}\ ;\ \psi_{0,i}Q_{k,i}\right\} \qquad j\geq 1;\ i>1 \qquad \text{(پ-۲۶)}$$

1- Characteristic combination

ترکیب بارهای داخل { } را می‌توان به این صورت نوشت:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j}"+"\ P\ "+"\ Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\psi_{0,i}Q_{k,i} \qquad (پ-۲۷)$$

یادآوری- ترکیب بار مشخصه معمولاً برای حالات حدی غیرتکرارشونده[1] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- ترکیب بار مکرّر[2]:

$$E_d=E\left\{G_{k,j}\ ;\ P\ ;\ \psi_{1,1}Q_{k,1}\ ;\ \psi_{2,i}Q_{k,i}\right\} \qquad j\geq 1;\ i>1 \qquad (پ-۲۸)$$

ترکیب بارهای داخل { } را می‌توان به این صورت نوشت:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j}"+"\ P\ "+"\ \psi_{1,1}Q_{k,1}"+"\sum_{i>1}\psi_{2,i}Q_{k,i} \qquad (پ-۲۹)$$

یادآوری- ترکیب بار مکرّر، معمولاً برای حالات حدی تکرارشونده[3] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- ترکیب بار شبه دائمی[4]:

$$E_d=E\left\{G_{k,j}\ ;\ P\ ;\ \psi_{2,i}Q_{k,i}\right\} \qquad j\geq 1;\ i>1 \qquad (پ-۳۰)$$

ترکیب بارهای داخل { } را می‌توان به این صورت نوشت:

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j}"+"\ P\ "+"\sum_{i\geq 1}\psi_{2,i}Q_{k,i} \qquad (پ-۳۱)$$

یادآوری - ترکیب بار شبه دائمی معمولاً برای آثار بلندمدت و شکل ظاهری سازه[5] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای تعیین مقدار نیروی پیش‌تنیدگی (P_k یا P_m) باید نوع روش پیش‌تنیدگی طبق استانداردهای Eurocode مورد توجه قرار داده شود.

آثار نیروهای ناشی از تغییرشکل‌های وارده باید در صورت وجود در این حالت حدی مدنظر قرار داده شود.

یادآوری- در برخی موارد، روابط پ-۲۶ تا پ-۳۱ نیازمند اصلاح است. جزئیات بیشتر در این مورد در زیربندهای مشخصی در استانداردهای EN 1991 تا EN 1999 ارائه شده است.

پ-۲-۱۲-۳-۴ ضرایب جزئی مصالح

در حالت حدی بهره‌برداری، ضرایب جزئی مصالح، γ_M را باید برابر با یک اختیار کرد، مگرآنکه در برخی موارد، ضریب دیگری در استانداردهای EN 1992 تا EN 1999 ذکر شده باشد.

1- Irreversible limit states
2- Characteristic combination
3- Reversible limit states
4- Quasi-permanent combination
5- The appearance of the structure

پیوست ت

(الزامی)

مخازن ذخیرهٔ استوانه‌ای فولادی سیالات هیدروکربوری

ت-۱ کلیات

مخازن ذخیرهٔ استوانه‌ای فولادی، یکی از تأسیسات ثابت مکانیکی حاوی سیالات هیدروکربوری نصب‌شده در محوطه‌های صنعتی به ویژه صنعت نفت هستند. این مخازن عمدتاً روی زمین استقرار پیدا می‌کنند و از لحاظ سامانهٔ سقف به دو نوع ثابت و شناور تقسیم‌بندی می‌شوند. از دیدگاه مهار، این مخازن به دو دسته خودمهار و دارای مهار مکانیکی رده‌بندی می‌شوند.

در این پیوست، روند تعیین بارهای طراحی این مخازن بر اساس استاندارد API 650 ارائه شده است.

یادآوری ۱- روش طراحی در استاندارد API 650، روش تنش مجاز (WSD) است.

یادآوری ۲- به‌منظور تعیین بارهای وارد بر مخازن آب فولادی، می‌توان به استاندارد AWWA D100 [62] یا نشریهٔ شمارهٔ ۱۲۳ [63] مراجعه کرد.

یادآوری ۳- برای تعیین بارهای وارد بر مخازن فولادی سیالات با فشار کم نیز استاندارد API 620 [64] می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

ت-۲ بارهای دایمی، D_L

این بارها شامل وزن اجزای مخزن فولادی شامل ورق سقف، کف، جداره و سایر اجزای متصل به آن است.

یادآوری- در تعیین ضخامت ورق‌های مخزن، ضخامت اضافه جبران‌کننده خوردگی[1] نیز لحاظ می‌شود.

ت-۳ فشار بیرونی، P_e

در مخازنی که دارای دریچه‌های گردش هوا با مشخصات اعلام شده در Appendix H استاندارد API 650 هستند، مقدار این فشار برابر با صفر لحاظ می‌شود. در سایر مخازن این مقدار نباید کوچک‌تر از ۰٫۲۵ kPa منظور شود. در مخازن با فشار خارجی بزرگ‌تر از ۰٫۲۵ kPa باید الزامات Appendix V استاندارد API 650 در نظر گرفته شود. الزامات برای طراحی در برابر فشار بیرونی فراتر از این مقدار و الزامات طراحی برای شناوری و فشار بیرونی سیال باید بر اساس نظر مشترک کارفرما و سازنده مخزن تعیین شود (به Appendix V استاندارد API 650 مراجعه شود).

یادآوری- مخازنی که الزامات API 650 را برآورده می‌سازند، ممکن است در معرض یک خلاء نسبی برابر با ۰٫۲۵ kPa بدون نیاز به هیچ‌گونه محاسبات پشتیبان اضافه قرار گیرند.

1- Corrosion allowance

ت-۴ فشار داخلی طراحی، P_i

مقدار فشار داخلی طراحی مخزن نباید از ۱۸ kPa فراتر رود.

ت-۵ آزمون آب‌ایستایی، H_t

این بار ناشی از پر کردن مخزن از آب تا تراز طراحی سیال به‌منظور انجام آزمون آب‌اندازی[1] است.

یادآوری- وزن مخصوص آب در این آزمون را می‌توان ۱۰۰۰ kg/m^3 منظور کرد.

ت-۶ بارهای سقف شناور داخلی

این مجموعه از بارها شامل چهار حالت بار به شرح زیر است:

ت-۶-۱ بار مرده سقف شناور داخلی، D_f

این بار شامل وزن اجزای شناور، نشت‌بند و سایر اجزا و ملحقات سقف شناور است.

ت-۶-۲ بار زنده یکنواخت سقف شناور داخلی، L_{f1}

در صورت تعبیه نکردن سامانهٔ خودکار تخلیه و زهکشی مقدار این بار برابر با ۰٫۶ kPa و در غیر این صورت ۰٫۲۴ kPa لحاظ می‌شود.

ت-۶-۳ بار زنده متمرکز سقف شناور داخلی، L_{f2}

این بار باید حداقل معادل وزن دو نفر در هر بخش از سقف باشد. مقدار ۲٫۲ kN در مساحتی برابر با ۰٫۱ m^2 در هر محل از سقف به عنوان حداقل بار متمرکز سقف شناور داخلی در نظر گرفته می‌شود.

ت-۶-۴ فشار بیرونی طراحی سقف شناور داخلی، P_{fe}

مقدار این فشار باید حداقل برابر با ۰٫۲۴ kPa لحاظ شود.

ت-۷ کمینه بار زندهٔ سقف، L_r

کمینه بار زندهٔ سقف که به‌صورت عمود بر سطح تصویر شده افقی سقف وارد می‌شود برابر با ۱ kPa منظور می‌شود. به عنوان روش جایگزین می‌توان از شیوه ارائه‌شده در بند ۷ این استاندارد استفاده کرد. در این صورت مقدار این بار نباید کوچک‌تر از ۰٫۷۲ kPa لحاظ شود. در هر حال مقدار بار زنده استفاده‌شده در طراحی سقف باید به اطلاع کارفرما برسد.

ت-۸ بارهای ناشی از زلزله، E

آثار بارهای وارد بر زلزله در مخازن ذخیره باید بر اساس منبع [1] تعیین شود.

1- Hydrotest

ت-۹ بار برف، S

ت-۹-۱ ملاحظات کلی

بار برف مبنا (روی زمین)، p_g، طبق زیربند ۱۰-۱ این استاندارد تعیین می‌شود.

یادآوری- اگر بتـوان با مطالعات و محاسـبات دقیق‌تر (ویژهٔ سـاختگاه) به مقادیر بار برف بزرگ‌تری دست یافت، می‌تـوان از آن مقادیر به عنوان بار برف مبنا استفاده نمود.

ت-۹-۲ بار برف متوازن، S_b

این بار باید معادل ۰٫۸۴ برابر بار برف تراز زمین، p_g، در نظر گرفته شود. مقدار محاسباتی بار برف متوازن باید به اطلاع کارفرما برسد.

ت-۹-۳ بار برف نامتوازن، S_u

بار برف نامتـوازن، در سقف‌های مخروطی با زاویهٔ شیب کوچک‌تر یا مساوی $^\circ$ ۱۰ باید برابر با بار برف متوازن در نظر گرفته شـــود. در مورد سـایر شیب‌ها، مقـدار این بار باید ۱٫۵ برابر بار برف طراحی متوازن، S_b منظور شود. این بـار باید در قطاعی از ســقف به زاویهٔ حامل $^\circ$ ۱۳۵ در پلان وارد شود در حالی که $^\circ$ ۲۲۵ باقیمانده بدون برف در نـظر گرفته می‌شـود (به شکل ۱۱ این اسـتاندارد مراجـعه شود). مقـدار محاسـبه‌شده بار برف نامتوازن باید به اطلاع کارفرما برسد.

ت-۱۰ بار سیال ذخیره‌شده درون مخزن، F

مقدار بار ناشی از پر کردن مخزن تا ارتفاع طراحی، بر اساس جرم حجمی سیال تعیین می‌شود.

ت-۱۱ فشار آزمون، P_t

فشار داخلی ناشی از انجام آزمون‌های پیش از راه‌اندازی باید در زمان طراحی در نظر گرفته شـــود. مقدار این فشار بر اسـاس موارد اعلام شـده در زیربنـــدهای F.4.4 وF.8.3 استاندارد API 650 محاسبه می‌شود. بدیهی اسـت در صـورتی که کارفرما شـیوه آزمایش دیگری را مد نظر داشـته باشـد که منجر به ایجاد فشـار داخلی بزرگ‌تری نســبت به آزمــون استاندارد API 650 شود، لازم است این مقادیر در زمان طــراحی به عنــوان فشار آزمون لحاظ شود.

ت-۱۲ بار باد، W

ت-۱۲-۱ سرعت مبنای باد، V

سرعت مبنای باد، V، برای محاسبه بار باد وارد بر مخزن، بر اساس تندباد s ۳ و طبق زیربند ۱۳-۴ و جدول ۱۷ این اسـتاندارد تعیین می‌شـود. این سرعت باید طبق ردهٔ خطرپذیری و دورهٔ بازگشت متناسب با میـزان اهمیت مخـزن تعیین شود. سرعت تنـدباد s ۳ باید بر اساس داده‌های سرعت باد با احتمال فراگذشت سالانهٔ ٪ ۲ (با میانگین دورهٔ بازگشت ۵۰ سال) به‌دست آید.

ضریب اهمیت مخزن در برابر باد، مشابه سایر سازه‌های غیر ساختمانی در جدول ت-۱ آمده است. رده خطرپذیری مخزن به این صورت قابل تعیین است:

الف- مخازن با اهمیت کم: شامل مخازن موقت کوچک که خرابی آن‌ها باعث خطرات جانی نشود؛

ب- مخازن با اهمیت متوسط: مخازنی که خرابی یا توقف خدمت آن‌ها تلفات انسانی یا زیان‌های اقتصادی زیادی نخواهد داشت. مخازن زمینی آب غیرشرب و غیر آتش‌نشانی و مخازن مواد شیمیایی غیر قابل اشتعال و غیرسمی، به شرطی که خروج سیال باعث ایجاد مشکلات بهره‌برداری در دیگر سازه‌های با اهمیت بالاتر نشود، جزء این رده هستند؛

پ- مخازن با اهمیت زیاد: مخازنی که باید آسیب حاصل از تندباد در آن‌ها محدود باشد و در فاصلهٔ زمانی کوتاهی امکان بازگرداندن آن‌ها به بهره‌برداری وجود داشته باشد. این رده از مخازن، تأسیساتی مهم هستند که تنها برای تعمیر به مدت محدود می‌توان آن‌ها را از خدمت معاف کرد؛

ت- مخازن ضروری: مخازنی که حفظ محتوا یا قابل استفاده بودن آن‌ها پس از وقوع تندباد ضروری است. خرابی این نوع مخزن می‌تواند باعث تلفات قابل توجه انسانی یا آثار زیان‌بار زیست‌محیطی شود. مخازن حاوی مواد شیمیایی سمّی بی‌ثبات یا قابل انفجار، سیالات با اشتعال‌پذیری زیاد، و آب آتش‌نشانی در این رده قرار دارند. مخازنی که آسیب وارد بر آن‌ها می‌تواند باعث توقف طولانی تولید شود، جزء این رده قرار می‌گیرند.

جدول ت-۱- ضریب اهمیت طراحی مخزن در برابر باد

ردهٔ خطرپذیری مخزن در برابر باد	ضریب اهمیت، I_w
۱	۰٫۸۵
۲	۱
۳	۱٫۱۵
۴	۱٫۲۵

ت-۱۲-۲ بار باد وارد بر جداره مخزن، P_{ws}

فشار باد طراحی وارد بر پوستهٔ مخزن، به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$P_{WS} = 0.89\left(\frac{V}{52.8}\right)^2 \times I_w \qquad (ت-۱)$$

که در آن:

V سرعت تندباد ۳s طبق زیربند ت-۱۲-۱ برحسب m/s؛

P_{WS} فشار باد وارد بر جداره مخزن که به‌صورت گسترده یکنواخت و عمود بر تصویر قائم پوسته به سطح آن اعمال می‌شود برحسب kPa.

ت-۱۲-۳ بار باد وارد بر سقف، P_{WR}

در مخازن دارای سقف‌های مخروطی یا دو قوسی، فشار باد طراحی برکنش سقف از رابطهٔ زیر قابل تعیین است:

$$P_{WR}=1.48\left(\frac{V}{52.8}\right)^{2}\times I_w \qquad (ت-۲)$$

که در آن:

V سرعت تندباد s ۳ طبق زیربند ت-۱۲-۱ بر حسب m/s؛

P_{WR} فشار باد وارد بر سقف مخزن که به صورت گسترده و عمود بر صفحهٔ تصویر افقی سقف به سطح وارد می‌شود بر حسب kPa.

یادآوری ۱- در مورد سقف‌های مخروطی غیر خودایستا در صورتی که کلیه ضوابط زیربند 5.10.4 استاندارد API 650 برآورده شده باشد می‌توان مقدار P_{WR} را برابر با صفر منظور کرد.

یادآوری ۲- فشارهای طراحی باد ارائه شده در زیربندهای ت-۱۲-۲ و ت-۱۲-۳، مربوط به رده مواجهه C بیان شده در زیربند ۱۳-۶-۳ این استاندارد است. به جای آن می‌توان برای مخازن با قطر کوچک‌تر از m ۳۶ و همچنین نسبت ارتفاع به قطر بین ۰٫۲۵ و ۴، از زیربند ۱۳-۱۳-۲ این استاندارد برای تعیین فشارهای باد طراحی استفاده نمود.

یادآوری ۳- لازم نیست مجموع فشار برکنش باد بر سقف و فشار داخلی وارد بر سقف از مقدار ۱٫۶ برابر فشار محاسبه شده از رابطهٔ زیر فراتر رود، برحسب kPa:

$$P=\frac{0.00127D_{LR}}{D^2}+\frac{A(\tan\theta)F_y}{200D^2} \qquad (ت-۳)$$

که در آن:

P فشار داخلی طراحی برحسب kPa؛

A مساحت مؤثر ناحیهٔ اتصال سقف به جداره مخزن با لحاظ ضخامت خورده شده (برای محاسبه آن از شکل F.2 پیوست F استاندارد API 650 استفاده می‌شود) برحسب mm^2؛

F_y کوچک‌ترین مقدار مشخصه تنش تسلیم در مصالح به کار رفته در محل اتصال سقف به پوسته برحسب MPa؛

θ زاویهٔ بین سقف با صفحه افقی در محل اتصال سقف به پوسته برحسب °؛

D قطر مخزن برحسب m؛

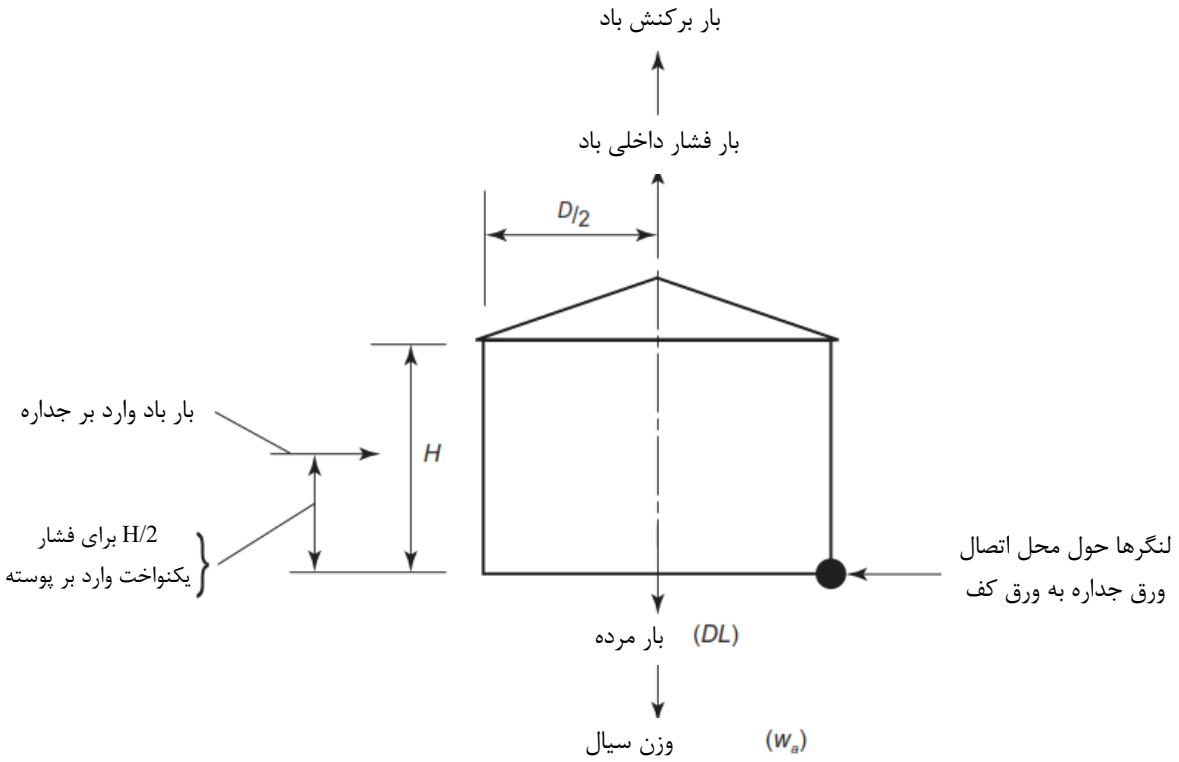
D_{LR} وزن اسمی ورق سقف و اجزای سازه‌ای متصل به آن برحسب N.

در مورد مخازن خود مهار، مقدار P باید به مقادیر اعلام شده در زیربندهای F.4.2 و F.4.3 استاندارد API 650 محدود شود.

یادآوری ۴- بارهای افـقی باد (رو به باد و پشـت به باد) وارد بر سـقف در راستای محـافظه‌کارانه با هم برابر و در جهت عکس یکدیگر به سقف وارد شده، بنابراین در محاسبات سازه‌ای لحاظ نمی‌شوند.

ت-۱۲-۴ کنترل مخزن در برابر واژگونی و لغزش حین رخداد تندباد

به‌منظور کنترل پایداری (واژگونی) مخـــازن خودمهار در برابر باد، باید نیـروهای باد محاسبه‌شده طی بندهای ت-۱۲-۲ تا ت-۱۲-۳، مطابق با شکل ت-۱ به مخزن اعمال شـود و معیارهای مطرح شده در زیربند 5.11.2 استاندارد API 650 مورد بررسی قرار داده شود. چنانچه معیارهای فوق برآورده نشـود، باید از مهـار مکانیکی برای جلوگیـری از واژگونی طبق بند 5.12 استاندارد API 650 استفاده شـود. به‌منظور کنترل لغزش در برابر بار باد نیز، بیشینه ضریب اصطکاک برابر با ۰٫۴ برای تحمل نیروی جانبی توصیه می‌شود.



شکل ت-۱- کنترل واژگونی برای مخازن خود مهار

ت-۱۳ سایر ملاحظات بارگذاری

از جمله سایر بارهای وارد بر مخازن ذخیره می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف- بارهای موضعی ناشی از نردبان، پلهٔ دسترسی، سکوها و نظایر آن باید در نظر گرفته شوند؛

ب- بار باد وارد بر اجزا و ملحقات سقف باید با توافق کارفرما و سازنده تعیین شود؛

پ- کارفرما باید مقدار و راستای سایر بارهای محیطی را که به جداره یا اتصالات آن وارد می‌شوند (در صورت وجود) اعلام نماید. طراحی در برابر این بارها باید با هماهنگی میان سازنده و کارفرما به انجام رسد؛

ت- در صورت وجود بارهایی به جز بارهای عادی ناشی از عبور کارکنان بهره‌برداری از دریچه‌های دسترسی و بازشـــوها، این بارها باید توسـط کارفرما به اطلاع سازنده برسد. طـراحی در برابر این بارها باید با هماهنگی بین سازنده و کارفرما به انجام رسد.

ت-۱۴ ترکیب‌های بارگذاری

ترکیبات بارگذاری طراحی مخازن ذخیرهٔ فولادی سیالات، مطابق با جدول ت-۲ منظور می شود. در صورت نبود هر یک از حالات بار (به‌جز بارهای دایمی) می‌توان مقدار آن را در ترکیب بار، صفر فرض نمود.

جدول ت-۲- ترکیبات بارگذاری طراحی مخزن ذخیره فولادی استوانه‌ای

ردیف	گروه بارگذاری	ترکیب بار
الف	سیال درون مخزن و فشار داخلی	$D_L + F + P_i$
ب	آزمون آب‌ایستایی	$D_L + H_t + P_t$
پ	باد و فشار داخلی[1]	$D_L + W + F_p P_i$
ت	باد و فشار خارجی[2]	$D_L + W + F_{pe} P_e$
ث	بارهای ثقلی	1. $D_L + \left(L_r \text{ یا } S_u \text{ یا } S_b\right) + F_{pe} P_e$ 2. $D_L + P_e + 0.4\left(L_r \text{ یا } S_u \text{ یا } S_b\right)$
ج	بارهای ناشی از زلزله	بر اساس منبع [1]
چ	بارهای ثقلی مخازن با سقف ثابت و شناور داخلی	1. $D_L + D_f + \left(L_r \text{ یا } S\right) + P_e + 0.4\left(P_{fe} \text{ یا } L_{f1} \text{ یا } L_{f2}\right)$ 2. $D_L + D_f + \left(P_{fe} \text{ یا } L_{f1} \text{ یا } L_{f2}\right) + 0.4\left[\left(L_r \text{ یا } S\right) + F_{pe} P_e\right]$

[1] ضـریب ترکیب بار فشـار داخلی، F_p، به صـــورت نسبت فشـار داخلی عادی به فشـار داخـلی طراحی تعریف می‌شـود و نباید کوچک‌تر از ۰٫۴ در نظر گرفته شود.

[2] ضریب ترکیب بار فشار خارجی، F_{pe}، به صورت نسـبت فشـارخارجی عادی به فشار خارجی طراحی تعریف می‌شـــود و نباید کوچک‌تر از ۰٫۴ در نظر گرفته شود.

پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

اسکله‌ها و سازه‌های ساحلی

ث-۱ کلیات

در این پیوست، حداقل بارهای وارد بر اسکله‌ها و تأسیسات بندرگاهی و لنگرگاه‌ها ارائه شده است. در تدوین این پیوست از UFC4-152-01 [65]، نشریهٔ شمارهٔ ۶۳۱ [66] و راهنمای ASCE61 [67] (ویژهٔ طراحی لرزه‌ای اسکله‌ها) استفاده شده است. الزامات این پیوست را می‌توان برای کلیهٔ اسکله‌های مطرح‌شده در جدول ث-۱ این پیوست به‌کار برد.

ث-۲ بارهای دائمی، D

بارهای دائمی شامل وزن اجزای سازه‌ای (نظیر اجزای عرشه و شمع‌ها) و کلیهٔ عناصر دائمی نظیر ادوات مهار[1]، تجهیزات روشنایی[2]، بازوهای بارگیری[3]، طاق‌ها[4]، انبارها[5] و خطوط خدمت‌رسانی[6] هستند. ارزیابی واقع‌بینانه از کلیه ملحقات موجود و آتی باید در تخمین این بارها مدنظر باشد. در اسکله‌های شناور، تخمین دست بالای بارهای دائمی منجر به بیشتر تخمین‌زده شدن عمق آب‌خور و افزایش قابل ملاحظهٔ هزینه‌ها خواهد شد.

بارهای دائمی بر اساس وزن مخصوص مصالح و مواد که در پیوست **الف** معرفی شد تخمین زده می‌شود. بارهایی نظیر تودهٔ کالا روی بارانداز، اتاقک و انبار عبور کالا به عنوان بارهای ایستای دائمی به شمار می‌آیند.

یادآوری- بار ایستای بارانداز را می‌توان بین ۱۰ kPa تا ۳۰ kPa منظور کرد. در بارانداز‌هایی که کالاهای سنگین نظیر مصالح فولادی را حمل می‌کنند، بار ایستا را باید پس از بررسی شرایط حمل کالا تعیین نمود.

ث-۳ بارهای زنده، L

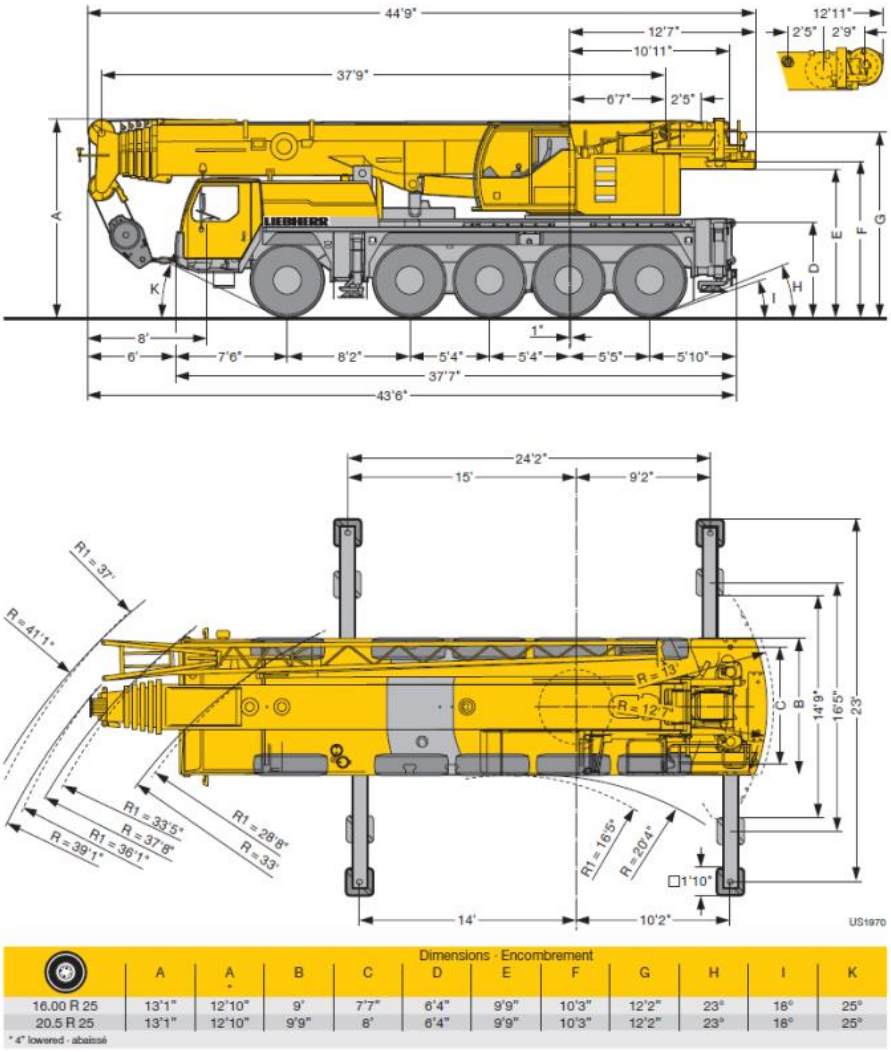
هنگام طراحی تأسیسات بندر و لنگرگاه، بارهایی نظیر خودرو، قطار، تجهیزات حمل و نقل کالا و بار کارکنان به عنوان بارهای زنده مطرح هستند. برای تعیین بارهای معادل خودرو و قطار می‌توان به پیوست **پ** مراجعه کرد. بارهای زنده باید به‌گونه‌ای اعمال شود که بیشینه کنش‌های سازه‌ای را در سازه ایجاد کند. بارهای زنده شامل دو بخش بارهای متمرکز، L_c و بارهای گسترده، L_u هستند.

یادآوری ۱- مقررات مربوط به ابعاد و جرم کانتینرهای حمل و نقل دریایی در استاندارد ISO 668 [68] آمده است.

1- Mooring hardware
2- Light poles
3- Utility booms
4- Vaults
5- Sheds
6- Service utility lines

یادآوری ۲- در طراحی دال‌ها، تیرها و سر شمع‌ها، به هنگام استفاده از بارهای زنده کامیون، ضریب ضربهٔ ۱٫۱۵ باید مدنظر قرار گیرد. نیازی به اعمال ضریب ضربه برای عناصر سازه‌ای پایین‌تر از تراز سرشمع‌ها نیست. ضریب ضربه صرفاً به بارهای متمرکز (بار محور) کامیون، L_c، اعمال می‌شود.

یادآوری ۳- در صورت نیاز به عبور جرثقیل متحرک[1] روی عرشهٔ اسکله، بر اساس نیاز کارفرما، بار آن به عنوان بار زنده روی عرشهٔ اسکله در نظر گرفته می‌شود. نمونه‌ای از مشخصات متداول این جرثقیل در شکل ث-۱ نشان داده شده است.



Dimensions · Encombrement

	A	A *	B	C	D	E	F	G	H	I	K
16.00 R 25	13'1"	12'10"	9'	7'7"	6'4"	9'9"	10'3"	12'2"	23°	18°	25°
20.5 R 25	13'1"	12'10"	9'9"	8'	6'4"	9'9"	10'3"	12'2"	23°	18°	25°

* 4" lowered · abaissé

شکل ث-۱- نمونه‌ای از مشخصات هندسی یک جرثقیل متحرک با ظرفیت ۱۰۰ تن

ث-۴ آثار فشار خاک (عادی و لرزه‌ای) و فشار آب (عادی و لرزه‌ای)، H

فشار خاک به واسطهٔ وجود توده خاک به دیوارهای ساحلی اعمال می‌شود. مقدار این فشار با تغییرشکل سازهٔ اسکله و مشخصات طبیعی خاک از قبیل دانه‌بندی، تخلخل، مقدار آب و الگوی تنش متغیر است. فشار خاک در دو وضعیت عادی و لرزه‌ای باید محاسبه و اعمال شود. برای محاسبهٔ فشار خاک در شرایط عادی (برای

1- Mobile crane

خاک دانه‌ای یا چسبنده) می‌توان به فصل چهاردهم منبع [66] یا فصل دهم منبع [40] مراجعه کرد. فشار خاک برای سه وضعیت سکون، محرک و مقاوم از روابط موجود در منابع مورد اشاره قابل تعیین است. در وضعیت لرزه‌ای، از روش مونونوبه- اوکابه استفاده می‌شود که روابط آن‌ها در دو منبع [40] و [66] آمده است.

فشار آب باقیمانده به علت تأخیر در تغییر در تراز بین سطح دریا و سطح آب باقیمانده هنگام جزر و مد ایجاد می‌شود. همچنین به هنگام ایجاد زلزله، فشار دینامیکی آب ایجاد می‌شود. برای محاسبه این دو فشار، روابطی در منبع [66] آمده است.

از آنجا که معمولاً عرشه بیرون از آب قرار می‌گیرد، نیروی شناوری به آن اعمال نمی‌شود. اما بخش‌هایی از سازه نظیر داکت تأسیسات[1] و طاق[2] ممکن است به اندازه کافی کم ارتفاع باشند که تحت نیروی شناوری قرار گیرند و نیروهای برکنش وارده در ترازهای عادی آب به ازای هر ۳۰۰ mm استقرار پایین‌تر از تراز آب دارای فشاری معادل ۳۰۰۰ kPa است.

ث-۵ نیروی موج و باد، W

امواجی که در طراحی سازه‌ها استفاده می‌شوند معمولاً امواج مشخصه هستند. موج مشخصه موجی فرضی است که شاخصی آماری از یک مجموعه امواج نامنظم به شمار می‌آید. امواج مشخصه ابعادی تقریباً برابر با مقادیر حاصل از مشاهدات بصری دارند و از این رو از آن‌ها در پیش‌یابی امواج استفاده می‌شود. دورهٔ تناوب موج مشخصه تقریباً برابر با دورهٔ تناوب بیشینهٔ طیف موج است. به دلیل این مزیت‌ها، امواج مشخصه معمولاً به عنوان نمایندهٔ گروه موج به‌کار می‌روند. با این همه، بسته به شرایط ممکن است لازم باشد تا امواج مشخصه به یکی دیگر از انواع موج مانند مرتفع‌ترین امواج یا متوسط دهک اول مرتفع‌ترین امواج تبدیل شوند. اطلاعات بیشتر در مورد پارامترهای موج طراحی در منبع [66] آمده است.

اسکله‌ها ممکن است در معرض امواج دریا قرار گیرند که در اثر آن نیروهای آب‌ایستایی جانبی ایجاد خواهد شد. برای تعیین نیروی موج و جریان وارد بر اسکله‌ها می‌توان به منبع API 2MET [69] یا UFC4-150-06 [65] مراجعه کرد.

یادآوری ۱- توجه شود که بارگذاری موج ممکن است به‌صورت قائم باشد و در سازهٔ اسکله، نیروی برکنش ایجاد کند.

یادآوری ۲- در مناطق ساحلی کم عمق، نیروی موج قابل ملاحظه نیست.

به هنگام تعیین سرعت و جهت باد مورد استفاده در تخمین امواج و خیزاب‌های ناشی از طوفان، مقادیر واقعی اندازه‌گیری‌شده یا مقادیر محاسباتی گرادیان باد با اعمال تمام تصحیحات لازم برای ارتفاع اندازه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرعت باد وارد بر بندر یا تجهیزات لنگرگاه باید براساس داده‌های آماری در یک بازهٔ مناسب هم‌راستا با خصوصیات تجهیزات و سازه‌ها تعیین شود. فشار باد باید به نحو مناسبی با درنظر گرفتن وضعیت و توجه به سامانهٔ سازه‌ای تجهیزات و موقعیت آن‌ها تعیین شود. سرعت مبنای طراحی باد، تندباد ۳ s معرفی‌شده در زیربند ۱۳-۹ این استاندارد قابل تعیین است. با توجه به اینکه اسکله‌ها در

1- Utility trenches
2- Vaults

مناطق ساحلی کشور احداث می‌شوند، ممکن است اطلاعات ارائه‌شده در جدول ۱۷ این استاندارد ناکافی باشد. در چنین مواردی توصیه می‌شود از اطلاعات ارائه شده در پیوست **الف** منبع [66] (سرعت سالانهٔ باد خلیج فارس و دریای عمان برای مناطق ساحلی جنوب ایران) استفاده شود.

ث-۶ بارهای یخ و برف، Ice

برای تعیین بارهای برف وارد بر اسکله و تأسیسات بندرگاهی می‌توان به بند ۱۰ این استاندارد مراجعه کرد. همچنین روند محاسبه بار یخ در بند ۱۲ این استاندارد آمده است.

یادآوری- برای سواحل جنوب ایران نیازی به محاسبهٔ بارهای برف وارد بر اسکله نیست.

ث-۷ بارهای لنگراندازی، M

به هنگام پهلوگیری کشتی‌ها و شناورها در جوار اسکله، نیروهای ناشی از لنگراندازی و مهار کشتی به صورت یک نیروی افقی ناشی از باد، جریانات دریایی و امواج به اسکله وارد می‌شود. تعیین این نیروها شامل ارزیابی متغیرهای زیادی از جمله موارد زیر است:

- راستا و مقدار نیروی ناشی از باد، جریان و امواج؛
- میزان جبههٔ پهلوگیری؛
- راستای استقرار شناور؛
- تعداد و فواصل نقاط پهلوگیری؛
- چیدمان و نوع خطوط پهلوگیری؛
- جزر و مد؛
- وضعیت بارگیری کشتی (بار کشتی کمتر از یک سوم، یک سوم کشتی پر باشد، کشتی کامل پر باشد).

ث-۸ بارهای وارد بر شمع‌ها

ث-۸-۱ ملاحظات کلی

علاوه بر بارهای محوری، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی ایجاد شده توسط بارهای جانبی در تراز عرشه ناشی از پهلوگیری و نیروهای زلزله، شمع‌ها نیز در معرض انواع بارهای جانبی در طول شمع قرار می‌گیرند. در نواحی دارای بازه‌های جزر و مدی بزرگ، بارهای جانبی در ترازی پایین‌تر از تراز عرشه اعمال می‌شوند و مقادیر تنش‌های برشی و خمشی قابل توجهی به شمع‌ها اعمال می‌شود.

یادآوری- برای استفاده از شمع‌های مایل، برآورده کردن الزامات زیربند 3.11 راهنمای ASCE61 [67] توصیه می‌شود.

ث-۸-۲ نیروهای جریان و امواج

این بارها در نزدیکی تراز آب رخ می‌دهد و زمانی که از شمع‌های بزرگ در آب عمیق استفاده شود قابل توجه خواهند بود. برای تعیین بارهای جریان و امواج وارد بر شمع‌ها می‌توان از روش‌های ذکرشده در دستورالعمل

API RP2A برای روش تنش مجاز، [70] و برای روش LRFD، [71] استفاده نمود. ضرایب درگ و اینرسی و همچنین میزان ضخامت مربوط به رشد جانداران دریایی نیز بر اساس آن دو راهنما قابل تعیین است.

ث-۸-۳ بارهای خاکریز شیب‌دار[1]

این بارها به علت جابه‌جایی جانبی خاک اطراف شمع‌های اسکله در طول شمع در یک خط ساحلی شیب‌دار ایجاد می‌شود. بیشینه لنگرهای خمشی وارد بر شمع‌ها در این ردهٔ بارگذاری توسط تحلیل سازه و روش‌های ذکرشده در منبع UFC3-220-01 [72] بر اساس شرایط تکیه‌گاهی شمع در سرشمع و خاک و مشخص‌شدن طول مؤثر شمع قابل تعیین است.

ث-۸-۴ بارهای کوبش شمع[2]

شمع‌ها به هنگام کوبش در معرض تنش‌های فشاری و کششی قابل توجهی قرار می‌گیرند و باید به گونه‌ای طرح شوند که این بارها را نیز علاوه بر بارهای بهره‌برداری تحمل کنند. هنگامی که طولانی شدن روند کوبش در لایه‌های متناوب نرم و سخت خاک رخ می‌دهد یا پیش‌بینی شود کوبش در میان رس‌های سفت[3] اتفاق خواهد افتاد، تنش‌های کششی بسیار زیادی شکل می‌گیرد و نیاز به پیش‌تنیدگی مؤثر سطح بالا به میزانی بزرگ‌تر یا مساوی ۷ MPa در شمع‌های پیش‌تنیده وجود خواهد داشت.

ث-۹ بارهای وارد بر تجهیزات

تجهیزات روی عرشه اسکله واقع می‌شوند. مهم است که تجهیزات بالاتر از تراز آب بمانند و ترجیحاً داخل شیارهایی[4] حفاظت شوند. در برخی موارد، تجهیزات زیر عرشه اسکله نصب می‌شوند و بیشتر در معرض آسیب ناشی از باد، موج، جریان و ضربات ناشی از نخاله‌ها هستند. صرف‌نظر از موقعیت تجهیزات، منظور کردن اثر بارهای محیطی نظیر باد، موج و جریان الزامی است. در برآورد این بارها، باید به تراز متناسب آب توجه شود.

ث-۱۰ آثار ناشی از زلزله، EQ

ث-۱۰-۱ ملاحظات کلی

به منظور تعیین آثار زلزله در اسکله‌ها، راهنمای ASCE61 [67] قابل کاربرد است. مراحل طراحی اسکله در برابر زلزله عبارتند از:

الف- ابتدا ردهٔ طراحی طبق جدول ث-۱ تعیین می‌شود؛

ب- سطوح عملکرد اسکله براساس ترازهای خطر تعریف‌شده در جدول ث-۲ تعیین می‌شود؛

1- Sloping fill loads
2- Pile driving loads
3- Stiff quaky clays
4- Trenches

پ- روش تحلیل لرزه‌ای طبق زیربند ث-۱۰-۲ مشخص می‌شود؛

ت- جنبش زمین مبنا برای زلزلهٔ طرح بر اساس تعاریف مطرح‌شده در منبع [1] تعیین می‌شود؛

ث- پارامترهای مدل‌سازی خاک- سازه (فنرهای *p-y* و *t-z*) استخراج می‌شود؛

ج- ملاحظات ویژه ژئوتکنیکی طبق Chapter 4 راهنمای ASCE61 [67] (نظیر روانگرایی و گسترش جانبی ناشی از روانگرایی خاک) منظور می‌شود.

جدول ث-۱- تعریف رده‌های طراحی لرزه‌ای اسکله [67]

رده طراحی لرزه‌ای	کاربری اسکله
بالا	- اسلحه و مهمات؛ - اسکلهٔ نفت و مواد سوختی؛ - اسکلهٔ ویژهٔ مواد منفجره؛ - اسکلهٔ ویژهٔ پهلوگیری با کاربری عمومی؛ - اسکلهٔ تعمیرات؛ - اسکلهٔ صداگیری مغناطیسی[1]؛ - اسکلهٔ دسترسی[2]؛ - بلوک آب عمیق[3].
متوسط	مواردی که در رده بالا و پایین قرار نمی‌گیرد
پایین	- محل دپو محموله‌های غیرفعال؛ - دیوارهای دریایی بلوکی شکل مستقر در آب کم عمق همراه با ریپ‌رپ؛ - اسکله پهلوگیری با آبخور کم و ویژه قایق.
1- Magnetinc silencing 2- Access trestle 3- Deep water bulkhead	

ث-۱۰-۲ تعیین روش تحلیل لرزه‌ای

- برای اسکله‌های دارای اهمیت بسیار زیاد و ارزشمند ملی نظیر اسکله‌های حاوی مواد منفجره، باید از «تحلیل تاریخچهٔ زمانی غیرخطی» استفاده شود؛
- در کلیهٔ رده‌های طراحی لرزه‌ای، استفاده از «روش مبتنی بر عملکرد» مجاز است؛
- انجام تحلیل لرزه‌ای مبتنی بر نیرو صرفاً برای رده‌های طراحی لرزه‌ای «پایین» طبق جدول ث-۱ مجاز است؛
- انجام تحلیل لرزه‌ای مبتنی بر نیرو برای کلیهٔ رده‌های طراحی لرزه‌ای با $S_{DS}<0.33$ مجاز است.

یادآوری- S_{DS} شتاب طیفی طراحی در زمان تناوب کوتاه (۰٫۲ s) است که با مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای ویژه ساختگاه به‌دست می‌آید. برای اطلاعات بیشتر به منبع [1] مراجعه شود.

- استفاده از روش تحلیل لرزه‌ای مبتنی بر نیرو برای کلیه رده‌های طراحی لرزه‌ای مجاز است به شرطی که بتوان نشان داد ظرفیت کلیهٔ عناصر اصلی سازه از تقاضای لرزه‌ای ارتجاعی بالاتر است و از ضریب اصلاح پاسخ برابر با واحد استفاده شده است (R=1.0). برای تعیین ضریب اصلاح پاسخ در روش مبتنی بر نیرو، به راهنمای ASCE61 [67] یا منبع [1] مراجعه شود؛
- استفاده از روش تحلیل لرزه‌ای مبتنی بر نیرو برای طراحی تجهیزات، تکیه‌گاه لوله و سازه‌های فرعی مجاز است؛
- استفاده از روش تنش مجاز (WSD) (طبق تعاریف زیربند ۴-۲-۱) برای طراحی ژئوتکنیکی شالوده‌های سطحی و عمیق توصیه می‌شود.

ث-۱۰-۳ ترازهای خطر لرزه‌ای

بر اساس راهنمای ASCE61 [67]، سه تراز خطر زیر در طراحی لرزه‌ای اسکله‌ها مطابق با جدول ث-۲ مدنظر قرار می‌گیرد.

جدول ث-۲- تعریف ترازهای خطر لرزه‌ای در طراحی اسکله‌ها مطابق با راهنمای ASCE61 [67]

ردهٔ طراحی لرزه‌ای	زلزلهٔ تراز بهره‌برداری[1] (OLE)		زلزلهٔ محتمل[2] (CLE)		زلزلهٔ طرح[3] (DE)	
	احتمال فراگذشت	سطح عملکرد	احتمال فراگذشت	سطح عملکرد	احتمال فراگذشت	سطح عملکرد
بالا	۵۰٪ در ۵۰ سال (دورهٔ بازگشت ۷۲ سال)	آسیب حداقل	۱۰٪ در ۵۰ سال (دورهٔ بازگشت ۴۷۵ سال)	آسیب واپایش شده و قابل تعمیر	زلزلهٔ طرح طبق منبع [1]	ایمنی جانی
متوسط	غیرقابل کاربرد	غیرقابل کاربرد	۲۰٪ در ۵۰ سال (دورهٔ بازگشت ۲۲۴ سال)	آسیب واپایش شده و قابل تعمیر	زلزلهٔ طرح طبق منبع [1]	ایمنی جانی
پایین	غیرقابل کاربرد	غیرقابل کاربرد	غیرقابل کاربرد	غیرقابل کاربرد	زلزلهٔ طرح طبق منبع [1]	ایمنی جانی

1- Operating level earthquake
2- Contigency level earthquake
3- Design earthquake

ث-۱۰-۴ طیف طراحی

برای تعیین طیف پاسخ طراحی، لازم است مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای ویژهٔ ساختگاه متناسب با رده طراحی لرزه‌ای و سه تراز زلزله مطرح‌شده در جدول ث-۲ انجام پذیرد و طیف پاسخ طرح در تراز متناسب، تعیین شود. برای انجام مطالعات مورد اشاره می‌توان از نشریهٔ شمارهٔ ۶۲۶ [73] استفاده کرد.

ث-۱۰-۵ بارهای دینامیکی خاکریز

عموماً شمع‌های در معرض نیروهای زلزله به‌صورت عناصری انعطاف‌پذیر عمل می‌کنند و رفتار آن‌ها اساساً توسط خاک اطراف شمع‌ها واپایش می‌شود. شمع‌های افقی و مایل همراه با خاک اطراف خود به‌هنگام رخداد زلزله با هم جابه‌جا می‌شوند. در صورتی که شکست برشی یا روانگرایی خاک اطراف شمع‌ها به‌هنگام زلزله رخ ندهد، اسکله متکی بر شمع به میزان محدودی جابه‌جا خواهد شد و پس از زلزله ایستا خواهد ماند. مقدار جابه‌جایی افقی بستگی به بزرگای زلزله، مدت تداوم آن، جزئیات طراحی اسکله، انعطاف‌پذیری شمع‌ها و مدول بستر خاک اطراف شمع دارد. در صورتی که خاک اطراف شمع‌ها مستعد روانگرایی باشد یا چنانچه لغزش شیروانی رخ دهد، شمع‌ها به میزان قابل توجهی جابه‌جا خواهند شد و در نتیجه آسیب جدی به شمع‌ها و سازه اسکله وارد خواهد آمد. در چنین مواردی نیاز به تعویض و جایگزینی عناصر آسیب دیده وجود دارد. در صورتی که شمع‌ها ابتدا در یک لایهٔ عمیق نرم و سپس در یک لایه سخت قرار گرفته باشند، خاک به صورت متناوب در طی زلزله به جلو و عقب رانده خواهد شد و شمع‌ها نیز با زمین حرکت خواهند کرد و چنانچه خاک در طی این جابه‌جایی‌ها دچار گسیختگی نشود، شمع‌ها به موقعیت اولیهٔ خود بازخواهند گشت. بر این اساس، برای اینکه شمع‌ها قادر به تحمل بارها پس از زلزله باشند، لازم است توانایی تحمل انحنای ایجادشده ناشی از این جابه‌جایی را داشته باشند. برای تعیین پایداری خاکریزها در اسکله‌ها تحت نیروهای زلزله به منبع UFC3-220-01 [72] مراجعه شود.

ث-۱۰-۶ بارهای هیدرودینامیکی ناشی از زلزله و اندرکنش جرثقیل با اسکله

مطابق با زیربند 3.7.3 راهنمای ASCE61 [67]، برای شمع‌های با قطر mm ۶۰۰ و کوچک‌تر، می‌توان از جرم هیدرودینامیکی صرف‌نظر کرد. برای شمع‌های با قطر بزرگ‌تر از mm ۶۰۰، جرم هیدرودینامیکی آب داخل و بیرون شمع- سازه باید طبق همان زیربند لحاظ شود. همچنین جرم مؤثر لرزه‌ای جرثقیل‌ها را باید طبق زیربند 8.5.2 آن راهنما تعیین کرد و در طول اسکله لحاظ نمود.

ث-۱۱ بارهای حرارتی، T

اثر نیروهای ناشی از اختلاف دما در اسکله به علت نوسانات دمای ایجادشده در سازه در دوران بهره‌برداری نسبت به زمان ساخت باید در طراحی اسکله لحاظ شود. در اسکله‌ها، آب مجاور تأثیر اساسی در تعدیل اثرات مربوط به اختلاف دما روی سازه اسکله می‌گذارد. در نتیجه، سازه متحمل اختلاف دمای بین $^{\circ}C$ ۶ تا $^{\circ}C$ ۱۱ بالاتر یا پایین‌تر از دمای آب خواهد شد. این اثر در مورد اجرای عرشهٔ دارای بالاست کمتر است و به حدود $^{\circ}C$ ۳ تا $^{\circ}C$ ۶ می‌رسد. در مورد عرشهٔ مستقر بر شمع، تغییرات دما منجر به ایجاد تغییرشکل در عرشه شده، از آنجا که سختی محوری عناصر عرشه بسیار بزرگ‌تر از سختی خمشی شمع‌ها است، عناصر عرشه منبسط یا منقبض خواهند شد و در صورتی که قید افقی بین عرشه و شمع وجود داشته باشد، شمع‌ها تحت لنگرهای خمشی و نیروهای برشی ناشی از این اختلاف دما قرار می‌گیرند که این موضوع باید در تحلیل سازه لحاظ شود. شمع‌های مایل را باید به‌گونه‌ای قرار داد که موجب ایجاد قید برای جابه‌جایی ناشی از اختلاف دما نشوند (این شمع‌ها معمولاً در بخش میانی یک اسکله طویل قرار می‌گیرند).

ث-۱۲ جمع‌شدگی (انقباض)، R و خزش مصالح بتنی، S

آثار خودکرنشی مربوط به جمع‌شدگی (انقباض) بتـن و همچنین خزش می‌توانـد موجب ایجـاد نیروهایی در عناصر اسـکله شود. موضوع جمع‌شـدگی به ویژه در اسـکله‌های طـویل از اهمیت بیشتری برخوردار است. در اسکله‌های مستقر بر شمع با سرشـمع‌ها و عرشه‌های بتنی درجاریز، اثر جمع‌شدگی قابل توجه نیست زیرا در مدت زمان طولانی که جمع‌شدگی ایجـاد می‌شود، خاک اطراف شمع‌ها به آرامی نیروهای ایجاد شده ناشی از جـمع‌شدگی را کم اثر می‌کنند. خـزش نیز یک موضـوع ویژهٔ مصـالح بتنی است که در مـورد اجـــرای بتـــن پیش‌تنیده می‌تواند بحرانی شود. به‌منـظور تعیین آثار مربـوط به جمع‌شـــدگی و خزش مصـالح بتنی باید به استاندارد ACI 209.2R [42] مراجعه شود.

ث-۱۳ ترکیب‌های بارگذاری

عناصر سـازه‌ای اسکله باید به گونـه‌ای طراحی شوند که قادر باشند ترکیب‌های بارگذاری ارائه شده در جدول ث-۳ و جدول ث-۴ را تحمل نمایند. عناصر ســـــــازه و شالوده باید برای هرکدام از ترکیبات بارگذاری بیان شده در آن جداول مورد بررسی قرار گیرد. بارهای ذکرشده در این جدول شامل موارد زیر است:

D بار دائمی (وزن اجزای سازه‌ای و متعلقات غیرسازه‌ای)؛

L_u بار زندهٔ گسترده یکنواخت؛

L_c بار زنده متمرکز؛

I ضریب ضربه که صرفاً به بار زنده متمرکز اعمال می‌شود؛

B بار شناوری؛

H بارهای ناشی از فشار خاک، فشار آب یا فشار مواد انباشته شده؛

Be بار پهلوگیری (شامل اثرات پهلوگیری تصادفی)؛

C بار جریان آب وارد بر سازه اسکله؛

EQ بار ناشی از زلزله (که بر اساس راهنمای ASCE61 [67] قابل تعیین است)؛

k ٪ ۵۰ بیشینه شتاب زمین ناشی از زلزله (0.5PGA)؛

k' برابر با ٪ ۷۰ مقدار k یعنی 0.35PGA؛

W بار باد یا موج وارد بر سازهٔ اسکله؛

M بار لنگراندازی و مهار شناور؛

R بار مربوط به اثرات خزش مصالح بتنی؛

S بار مربوط به اثرات جمع‌شدگی (انقباض) مصالح بتنی؛

Ice بار یخ (همراه با بار برف)؛

جدول ث-۳- ترکیب‌های بارگذاری برای طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) [65]

حالت بار	U0	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9
D[الف]	۱٫۴	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۰ + k	۱٫۰− k	۱٫۲	۱٫۲
(Lc+I)|Lu	–	۱٫۶[ب]	–	۱٫۶[ب]	–	۱٫۶[ب]	۰٫۱	–	۱٫۶[ب]	۱٫۰
B	۱٫۴	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۰٫۹	۱٫۲	۱٫۲
Be	–	–	۱٫۶[پ]	–	–	–	–	–	–	–
C	–	–	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	–	–	–	۱٫۲
H[ت]	–	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۶	۱٫۶
Eq	–	–	–	–	–	–	۱٫۰	۱٫۰	–	–
W	–	–	–	–	۱٫۰	–	–	–	–	۱٫۰
M	–	–	–	–	–	۱٫۶	–	–	–	–
R+S+T	–	–	–	۱٫۲	–	–	–	–	–	–
Ice	–	–	–	۰٫۵	–	–	–	–	۱٫۰	۱٫۰

[الف] برای واپایش اعضای تحت بار محوری کمینه و لنگر خمشی بیشینه، برابر با ۰٫۹ فرض شود؛

[ب] برای بیشینهٔ بار شناور مهار بازویی از یک جرثقیل کامیونی برابر با ۱٫۳ فرض شود؛

[پ] در موارد پهلوگیری تصادفی: ۱٫۲ برای سازهٔ نگهدارنده و ۱٫۰ برای اجزای سامانه ضربه‌گیر؛

[ت] در صورتی که نیـروی H برای مقاومت در برابر اثر بار متغیر اصلی به‌کار رود، ضریب بار H باید برابر با ۰٫۹ استفاده شود که H یک بار دائمی است و برای سایر وضعیت‌ها باید برابر با صفر منظور شود.

1- Outrigger float load
2- Accidental berthing
3- Fender

جدول ث-۴- ترکیب‌های بارگذاری برای طراحی به روش تنش مجاز (WSD) و مقاومت مجاز (ASD) [65]

/حالت بار	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
D[الف]	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰ + k'	۱٫۰− k'	۱٫۰	۱٫۰
(Lc+I)|Lu	–	۱٫۰	–	۱٫۰	–	۱٫۰	۰٫۱	–	۱٫۰	۰٫۷۵
B	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۶	۱٫۰	۱٫۰
Be	–	–	۱٫۰	–	–	–	–	–	–	–
C	–	–	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	–	–	۱٫۰	۱٫۰
H[ت]	–	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰
Eq	–	–	–	–	–	–	۰٫۷	۰٫۷	–	–
W	–	–	–	–	۰٫۶	–	–	–	–	۰٫۶
M	–	–	–	–	–	۱٫۰	–	–	–	–
R+S+T	–	–	–	۱٫۰	–	–	–	–	–	–
Ice	–	–	–	۰٫۲	–	–	–	–	۰٫۷	۰٫۷

[الف] برای واپایش اعضای تحت بار محوری کمینه و لنگر خمشی بیشینه، برابر با ۰٫۶ فرض شود؛

[ب] برای بیشینه بار شناور مهار بازویی از یک جرثقیل کامیونی برابر با ۱٫۳ فرض شود؛

[پ] در موارد پهلوگیری تصادفی: ۱٫۲ برای سازهٔ نگهدارنده و ۱٫۰ برای اجزای سامانهٔ ضربه‌گیر؛

[ت] در صورتی که نیروی H برای مقاومت در برابر اثر بار متغیر اصـلی به‌کار رود، ضریب بار H باید برابر با ۰٫۶ استفاده شود که H یک بار دائمی است و برای سایر وضعیت‌ها باید برابر با صفر منظور شود.

1- Outrigger float load
2- Accidental berthing
3- Fender

پیوست ج

(الزامی)

سکوهای ثابت فراساحلی

حداقل بارهای مدنظر طراحی در سازه‌های فرا ساحلی با ا ستفاده از د ستورالعمل API RP2A با روش تنش مجاز (WSD) [70] و روش ضـرایب بار و مقاومت (LRFD) [71] قابـل تعیین است. برای طراحی سکوها در برابر زلزله به منبع [1] مراجعه شود.

پیوست چ

(آگاهی‌دهنده)

پست‌های برق

چ-۱ کلیات

پست برق اساساً رابط بین سامانه‌های انتقال و توزیع است. این پست‌ها برای کاهش ولتاژ در خطوط انتقال به میزانی طراحی می‌شوند که سامانه‌های توزیع بتوانند در برابر آن مقاومت کنند. قطع‌کننده‌های داخلی از سامانهٔ توزیع محافظت کرده، همچنین جریان را در جهات مختلف تنظیم می‌کنند. پست‌ها همچنین نوسانات ولتاژ را برای مدیریت بارهای سنگین مدیریت می‌کنند. در مجموع یک پست برق شامل اجزای زیر است: گیرنده‌های روشنایی، هادی‌ها، عایق‌ها، ترانسفورماتور ابزار، ترانسفورماتورهای برق، رله‌ها، قطع‌کننده مدار و بانک‌های خازنی. به‌منظور طراحی سازه‌های پست برق باید بارهای دائمی، بهره‌برداری، باد، یخ، کشش کابل[1]، زلزله، بارهای حین اجرا و بارهای تعمیر و نگهداری تجهیزات برقی منظور شود. برای این منظور می‌توان از منبع ASCE MOP 113 [74] استفاده کرد.

لازم به ذکر است که سازه‌های پست برق و تجهیزات برقی متکی بر آن‌ها را باید به‌صورت یک سامانهٔ یکپارچه طراحی نمود. جابه‌جایی‌های بیش از حد در این سامانه می‌تواند منجر به آسیب مکانیکی تجهیزات برقی، مشکلات بهره‌برداری و قطع برق شود. تکنیک‌های تحلیل و مدل‌سازی سازه‌ای عناصر سازه پست برق را می‌توان بر اساس روش‌های ذکرشده در منبع ASCE MOP 113 [74] به‌کار گرفت. در آن راهنما، روش‌های انجام تحلیل ایستایی و دینامیکی تشریح شده است. به عنوان منبع بومی، نشریهٔ شمارهٔ ۴۵۷ [75] برای پست‌های برق فشار قوی قابل استفاده است.

در صنایع مختلف، پست‌های برق بسته میزان ولتاژ به‌صورت فضای بسته[2] یا فضای باز[3] می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. پست‌های بیرونی در فضای باز ساخته می‌شوند. این پست‌ها به عنوان پست ۶۶ kV، پست ۱۳۲ kV، پست ۲۲۰ kV، پست ۴۰۰ kV و غیره شناخته می‌شوند. پست‌های داخلی معمولاً دارای ولتاژهای پایین‌تر بوده، زیر سقف یا محفظه بسته ساخته می‌شوند. این پست‌های فرعی به عنوان پست‌های ۱۱ kV و پست‌های ۳۳ kV و غیره نیز شناخته می‌شوند.

1- Line tensions
2- Indoor substations
3- Outdoor substations

چ-۲ بارهای مرده

وزن اجزای سازه‌ای، تکیه‌گاه تجهیزات و سایر عناصر دائمی را باید در زمرهٔ بارهای مرده منظور کرد. همچنین وزن هادی (اعم از رشته‌ای یا لوله‌ای)، وزن جداکننده‌ها[1] در هادی‌های رشته‌ای و وزن سیم دمپر در لوله‌ها از جمله سایر بارهای مرده محسوب می‌شوند.

چ-۳ بارهای بهره‌برداری از تجهیزات

عملکرد تجهیزات نظیر سوییچ‌ها و کلیدهای قطع‌کننده مدار[2] می‌تواند بارهای دینامیکی و ضربه‌ای را به سازه‌های نگهدارنده خود اعمال کند. این بارها را باید با سایر بارهای محیطی ترکیب نمود. در خصوص تعیین میزان این بارها، باید با سازندگان تجهیزات مشورت شود. برای الزامات تغییرشکل ناشی از اعمال بارها به مراجع مناسب (نظیر فصل چهارم ASCE MOP 113 [74]) مراجعه شود. مهندس طراح باید از جزئیات نحوه تأمین تجهیزات و اطلاعاتی نظیر مرکز ثقل تجهیزات، وزن تجهیزات، ابعاد اجزا برای سطوح بادگیر آن‌ها و همچنین نیروهای دینامیکی و بهره‌برداری تجهیزات وارد بر سازهٔ نگهدارنده مطلع باشد.

چ-۴ بارهای اتصال تجهیزات الکتریکی به ترمینال

هدف اصلی از اتصال ترمینال به تجهیزات پست برق، تأمین مجرای الکتریکی[3] تجهیزات است. این اجزا به عنوان سامانهٔ تکیه‌گاهی اصلی عمل نمی‌کنند. بارهای اتصال ترمینال، نیروها و لنگرهایی هستند که توسط متصل‌کننده‌های شینه انعطاف‌پذیر و صلب[4] به تجهیزات برقی وارد می‌شوند. باید متصل‌کننده‌های شینهٔ انعطاف‌پذیر با لقی کافی به تجهیزات نصب شوند تا جابه‌جایی مورد نیاز تجهیزات تأمین شود. در اتصالات شینه به پدهای پایانه[5] تجهیزات برقی از ادواتی استفاده می‌شود که عموماً دارای طولی متغیر بین ۱۵۰ mm تا ۴۵۰ mm هستند. این ادوات می‌توانند مثل یک بازوی اهرم عمل کنند و لنگرهای اضافی را به پدهای ترمینال تحمیل کنند. نیروها و لنگرها را می‌توان به کمک رابط[6] به پدهای ترمینال تجهیزات منتقل کرد. ترمینال‌های آزمایشی[7] برای استفاده کارکنان بهره‌برداری و تعمیرات را نیز می‌توان بین ادوات و پدهای پایانه را نصب کرد. ترمینال‌های آزمایشی، بارهای وارد بر پدهای ترمینال را افزایش می‌دهند.

توصیه می‌شود اطلاعات زیر در مشخصات فنی خرید تجهیزات برقی منظور شود:

- نوع رابط‌های (شینهٔ انعطاف‌پذیر یا صلب) تجهیزات برقی؛
- نقشه‌های ادوات اتصال، در صورت وجود؛
- راستای مطلوب پدهای پایانه[8]؛

1- Spacers
2- circuit-interrupting devices
3- Conduits
4- Rigid or flexible bus connectors
5- Terminal pads
6- Connector
7- Test Terminal
8- Preferred orientation of terminal pads

- نیروها و لنگرهای بدون ضریب که به پدهای ترمینال وارد می‌شود.

چ-۵ بارهای کشش کابل[1]

سازه‌های نگهدارنده کابل (کانداکتور و سیم محافظ یا شیلد[2]) ورودی یا خروجی به یک پست برق به دکل انتهایی[3] معروف هستند. کشش‌های کابل وارد بر دکل‌های انتهایی را می‌توان بر اساس کشش‌های کابل خط انتقال برق یا یک کشش مشخصه کاهش‌یافتهٔ که به کشش لقی دهانه[4] معروف است تعیین نمود. استفاده از یک کشش لقی دهانه (مثلاً ٪ ۴۰ تا ٪ ۶۰ کشش خط انتقال) به خاطر استفاده از یک دکل انتهایی استاندارد است که وابسته به پارامترهای کشش کابل خط انتقال برق نیست. هنگامی که از یک دکل انتهایی با لقی دهانه استفاده می‌شود، برج خط انتقال مجاور باید یک سازهٔ خط انتقال با مهار کامل باشد. باید دکل انتهایی که کابل‌های امتدادیافته به بیرون از محوطه پست برق را نگه می‌دارد الزامات منبع ANSI/NSEC C2 [14] را برآورده کند. اگر تراز نقاط اتصال کابل اولین سازه خط انتقال بلندتر از نقاط اتصال دکل انتهایی پست برق باشد، بارهای برکنش را می‌توان به دکل انتهایی پست برق[5] اعمال نمود. بارهای برکنش طراحی باید در دکل‌های انتهایی مشخص شوند. عموماً با این فرض که بارهای قائم کابل می‌توانند بزرگ‌تر یا کوچک‌تر شوند و حالات بار برکنش اضافه لازم نیست، ظرفیت برکنش اعضا و اتصالات کفایت می‌کند.

چ-۶ بارهای حدی باد[6]

بارهای باد وارد بر پست‌های برق، تجهیزات و هادی‌ها (رساننده و کابل) باید در راستایی اعمال شود که بدترین وضعیت بارگذاری را ایجاد می‌کند. برای سازه‌های پست برق که بارهای کابل را تحمل می‌کنند، بارهای طولی باد (در راستای کابل‌ها) ممکن است بحرانی‌ترین وضعیت بارگذاری باشد و باید در محاسبات منظور شود. نیروی باد در راستای اعمال باد را می‌توان از رابطهٔ زیر به‌دست آورد:

$$F = 0.613 k_z V^2 I_{FW} G_{RF} C_f A \qquad (چ-۱)$$

که در آن:

k_z ضریب تعریف شده در جدول ۲۰؛

V سرعت مبنای باد (تندباد ۳ s) برحسب m/s تعریف شده در جدول ۱۷؛

I_{FW} ضریب اهمیت بار باد تعریف شده در جدول چ-۱؛

G_{RF} ضریب پاسخ تندباد که برای سازهٔ پست برق با G_{SRF} و برای شینهٔ صلب با G_{WRF} در منبع ASCE MOP 113 [74] قابل تعیین است.

1- Wire tension loads
2- Shield wire
3- Dead-end structures
4- Slack span tension
5- Gantry
6- Extreme wind loads

C_f ضریب نیروی باد که می‌توان برای تعیین آن به منبع ASCE MOP 113 [74] مراجعه کرد؛

A سطح بادگیر عمود بر راستای باد برحسب m^2.

جدول چ-۱- ضریب اهمیت برای بار باد، I_{FW}، در طراحی پست برق

میانگین دورهٔ بازگشت	۵۰ سال	۱۰۰ سال
ضریب اهمیت	۱٫۰۰	۱٫۱۵

بادهای با سرعت نسبتاً کم بعضا قادر به ایجاد نوسان در سازه‌های پست برق هستند. این موضوع به جداشدن گردابده[1] یا نوسانات ناشی از باد[2] معروف است که در برخی سازه‌های صنعت برق نظیر برق‌گیرها و دودکش‌ها نیز ایجاد می‌شود. در طراحی در برابر بار باد، باید این موضوع مدنظر قرار گیرد.

چ-۷ بارهای یخ و ترکیب آن با باد

عموماً در یک پست برق، سازه‌های حساس به بار یخ شامل تجهیزات و هادی‌های شینه صلب و تکیه‌گاه‌های آن‌ها هستند. عمده تأثیر بار یخ در بارگذاری تجهیزات و سازه‌ها به موضوع افزایش وزن و سطح بادخور هادی‌های متصل به آن‌ها مرتبط است. در این حالت و در هنگام تعیین کشش هادی، باید بار ناشی از یخ روی آن را نیز منظور نمود. در صورتی که دمای محیط به زیر صفر برسد و برف یا باران با سطح تجهیز برخورد کند، بیشترین مقدار یخ روی تجهیز انباشته خواهد شد. برای تعیین ضخامت یخ در نواحی مختلف ایران به زیربند ۱۲-۲-۲ مراجعه شود. وزن مخصوص یخ را می‌توان در محاسبات بارگذاری، $9\ kN/m^3$ منظور نمود. برای محاسبهٔ نیروی باد روی اعضای صاف نظیر نبشی‌ها از ضخامت یخ صرف‌نظر می‌شود و این نیرو صرفاً برای هادی‌ها منظور می‌شود.

ضریب اهمیت برای ضخامت یخ، I_{FI}، برای یک دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله (معادل یک احتمال فراگذشت سالیانه ٪ ۲ برای بیشتر شدن ضخامت یخ) برابر با واحد است. در سازه‌های پست برق که نیازمند قابلیت اعتماد بالاتری هستند، انتخاب یک دورهٔ بازگشت بالاتر مثلاً ۱۰۰ ساله توصیه می‌شود. ضرایب اهمیت ضخامت یخ، I_{FI}، و همچنین بار باد هم‌زمان با یخ، I_{FWI}، در جدول چ-۲ آمده است.

جدول چ-۲- ضریب اهمیت برای ضخامت یخ، I_{FI} و ترکیب بار یخ و باد، I_{FIW}

میانگین دورهٔ بازگشت	۵۰ سال	۱۰۰ سال
ضریب اهمیت ضخامت یخ	۱٫۰۰	۱٫۲۵
ضریب اهمیت بار باد هم‌زمان با وجود یخ	۱٫۰۰	۱٫۰۰

1- Wind-induced vortex shedding
2- Wind-induced oscillations

چ-۸ بارهای ناشی از زلزله

برای تعیین آثار بارهای ناشـی از زلـزله و طـراحی لرزه‌ای پست‌های برق، می‌توان به منبع IEEE 693 [76] مراجعه کرد.

یادآوری ۱- تعیین مقادیر شتاب مبنای طرح یا سـایر داده‌های طراحی در برابر زلزله مطابق با منبع [2] انجام می‌شود.

یادآوری ۲- برای تعیین آثار لرزه‌ای وارد بر سـامانه‌های برق‌رسانی، نشریهٔ شمارهٔ ۶۰۲ [77] نیز با توافق کارفرما قابل استفاده است.

چ-۹ بارهای اتصال کوتاه

این بار ناشی از اتصال کوتاه بیـن هادی‌های مجاور است. جـریان‌های اتصـال کوتاه موجب ایجـاد میدان‌های مغناطیسی می‌شـود که نیـروهایی را به هادی‌های شـینه و در نتیـجه به تجهیـزات برقی اعمـال می‌نماید. هادی‌های شینه، عایق‌ها و تکیه‌گاه‌ها باید به میـزان کافی برای تحـمل این نیروها مقاوم باشند. نیروهای وارد بر سازهٔ شینه ناشی از جریان اتصال کوتاه وابسته به فواصل هادی، مقدار جریان قطع اتصـال کوتاه، نوع اتصال کوتاه و میزان عدم تقارن اتصال کوتاه دارد. نیروهای اتصال کوتاه طبـق روابط ارائه‌شده در منبع IEEE 605 [78] تعیین می‌شود.

لازم است مقدار جریان قطع اتصال کوتاه توسط مهندس برق صلاحیت‌دار تعیین شود.

چ-۱۰ بارهای حین ساخت و بارهای اعمال شده حین عملیات تعمیر و نگهداری

در طی ساخت پست برق و همچنین عملیات تعمیر و نگهداری، بعضی اوقات لازم است کارگران روی بخشی از سازه قرار گیرند یا نیروهایی را برای بیرون کشیدن یا بلندکردن تجهیزات به سازه تحمیل کنند.

کلیهٔ اعضای افقی و اعضایی که محور طولی آن‌ها زاویه‌ای کوچک‌تر از 30° C با افق دارد، باید قادر به تحمل بار متمرکز برابر با ۱٫۵ kN (وزن کارگر و وسایل تعمیرات) باشند که به‌صورت قائم بر محور طولی در هر نقطه عضو وارد می‌شود. برای اطلاعات بیشتر در خصـوص کمینه بارهای مربوط به حفـظ ایمنی کارگران به منبع IEEE 1307 [79] مراجعه شود.

یادآوری- نیازی به منظور کردن این الگـوی بار با بارهای حـدی محیطی (نظیر باد یا زلزله) نیست زیرا احتمال انجام عملیات احداث سازه یا تعمیرات در آن مواقع وجود ندارد.

چ-۱۱ ضرایب بار و ترکیب‌های بارگذاری

برای طراحی سـازه پسـت برق، حداقـل ۴ ردیف ترکیب بارهـای طـراحی برای روش ضـرایب بار و مقاومت (LRFD) به شرح جدول چ-۳ باید در نظر گرفته شود. در صورت استفاده از روش تنش مجاز، باید ضرایب بار برابر با واحد منظور شود. در جدول فوق:

D بارهای مرده و کابل؛

W بار باد حدی (F نیروی باد از رابطهٔ (چ-۱) بدون ضریب I_{FW})؛

W_I بار باد در ترکیب با بار یخ؛

I_W بار یخ در ترکیب با باد؛

E بار زلزله (بدون ضریب اهمیت)؛

E_{FS} واکنش‌های بار زلزله از اولین تکیه‌گاه وارد بر بقیهٔ سازه (بدون ضریب اهمیت)؛

T_w کشش کابل افقی در وضعیت مناسب باد و دما؛

SC بار اتصال کوتاه؛

I_F ضرایب اهمیت (به ترتیب I_{FW}، ضریب اهمیت برای بار باد، I_{FI}، ضریب اهمیت برای بار یخ، I_{FWI} ضریب اهمیت برای بار باد همراه با یخ، I_{FE}، ضریب اهمیت بار زلزله).

جدول چ-۳- ترکیب‌های بارگذاری و ضرایب بارها برای طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

ردیف	ترکیب بار
اول	$1.1D + 1.2WI_{FW} + 0.75SC + 1.1T_w$
دوم	$1.1D + 1.2I_W I_{FI}^{1} + 1.2W_I I_{FIW}^{2} + 0.75SC + 1.1T_w$
سوم	$1.1D + 1.0SC + 1.1T_w$
چهارم	$1.1D^{3} + 1.25E \left(\text{یا } E_{FS} \right) I_{FE} + 0.75SC + 1.1T_w$

[1] ضریب اهمیت برای بار یخ به ضخامت یخ اعمال می‌شود.

[2] ضریب اهمیت برای بار باد همراه با یخ، I_{FIW}، برابر با یک است.

[3] ضریب بار مرده در مواردی که روی بار مرده برای تحمل سایر بارها حساب می شود (نظیر واپایش برکنش) به جای ۱٫۱ باید برابر با ۰٫۹ منظور شود.

پیوست ح

(آگاهی‌دهنده)

دکل‌های انتقال نیرو

ح-۱ کلیات

دکل‌های انتقال نیرو، سازه‌هایی هستند که برای حفظ و نگهداری کابل‌های جریان فشار قوی برق طراحی می‌شوند. بارگذاری این دکل‌ها براساس بارهای محیطی و بهره‌برداری وارد بر آن‌ها انجام می‌پذیرد. بارهای وارد بر خط انتقال برق ابتدا به کابل‌ها و سپس به سازهٔ دکل انتقال اعمال می شود. وزن اعمال شده از طرف سیم‌ها و زنجیرهٔ مقرّه در محل اتصال آن به دکل باید محاسبه شود و معمولاً برای سادگی در محاسبات، نیروهای مذکور در محل اتصال کابل‌ها و زنجیرهٔ مقرّه به دکل در سه راستای قائم، افقی و طولی تجزیه شده، به صورت جداگانه محاسبه می‌شود (به شکل ح-۱ مراجعه شود). برای تعیین آثار بارهای وارد بر دکل‌های انتقال نیرو (به‌منظور طراحی سازه دکل به روش LRFD) می‌توان راهنمای ASCE MOP 74 [15] را به‌کار برد.

یادآوری ۱- در پیوست M راهنمای ASCE MOP 74 [15]، متن اولیهٔ استاندارد آینده انجمن مهندسین عمران ایالات متحده برای بارگذاری دکل‌های انتقال نیرو به‌منظور اخذ نظرسنجی ارائه گردیده و این پیوست طبق آن راهنما تهیه شده است.

یادآوری ۲- دستورالعمل جامع بارگذاری خطوط انتقال و فوق توزیع نیروی برق ایران [80] برای تعیین بارهای وارد بر دکل‌های انتقال نیرو قابل کاربرد است و ضوابط ارائه شده در این پیوست نقش پیشنهادی دارد.

یادآوری ۳- طرح پهنه‌بندی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیروی کشور [81] برای تعیین داده‌های ورودی بارگذاری دکل‌های انتقال نیرو قابل استفاده است. همچنین نشریهٔ شمارهٔ ۴۵۶ [82] ضوابطی در این مورد ارائه کرده است.

ح-۲ قابلیت کاربرد

این پیوست برای تعیین بارهای وارد بر دکل‌ها در خطوط انتقال و فوق توزیع نیرو در ردهٔ ۶۳ kV تا ۴۰۰ kV قابل کاربرد است. ضوابط بارگذاری انواع دکل‌های مشبک فولادی خودایستا و مهارشده، پایه تلسکوپی، پایهٔ بتنی پیش‌تنیده و غیر پیش‌تنیده در این پیوست مطرح می‌شود. خطوط تک مدار، دو مدار و چهار مدار و طول اسپن بین ۲۰۰ m تا ۸۰۰ m همراه با دکل‌های با ارتفاع بیشینهٔ ۷۵ m قابل کاربرد است. انواع هادی (AAAC)[1] و (ACSR)[2] و همچنین کابل‌های محافظ و فیبر نوری (OPGW)[3] را می‌توان در این خطوط مورد استفاده قرار داد اما به‌منظور محاسبات کشش و فلش هادی‌های پر ظرفیت باید از مشخصات فنی ارائه شده توسط سازنده استفاده شود.

1- All Aluminum Alloy Conductor
2- Aluminum-Conductor Steel-Reinforced
3- Optical Fiber Ground Wire

ح-۳ اصطلاحات و تعاریف

ح-۳-۱ اسپن

span

فاصلهٔ افقی میان مراکز دو دکل در یک خط انتقال نیرو که با S نمایش داده می‌شود.

ح-۳-۲ اسپن باد

wind span

متوسط بین دو دهانه طرفین یک دکل که با S_{WD} نمایش داده می‌شود (به شکل ح-۱ مراجعه شود).

ح-۳-۳ اسپن وزن

weight span

فاصلهٔ افقی بین دو شکم کابل (پایین‌ترین نقطهٔ منحنی کابل) در دو طرف دکل که با S_{WT} نمایش داده می‌شود (به شکل ح-۱ مراجعه شود).

ح-۳-۴ اسپن معادل طراحی

design or rulling span

اسپنی که محاسبات کشش و فلش[1] کابل و بارگذاری روی دکل بر اساس آن انجام می‌پذیرد. این اسپن طوری انتخاب می‌شود که هزینهٔ احداث خط کمینه شود. در مرحلهٔ احداث دکل، اسپن معادل به‌دست آمده برای قطعات مسیر باید تا حد امکان به اسپن طراحی نزدیک باشد. این اسپن در این پیوست با S_{RL} نمایش داده می‌شود.

ح-۳-۵ بار عرضی یا افقی

transverse load

نیروی افقی وارد بر دکل در راستای عمود بر خط انتقال که با T نمایش داده می‌شود.

ح-۳-۶ بار طولی

longitudinal load

نیروی افقی وارد بر دکل در امتداد خط انتقال که با L نمایش داده می‌شود.

ح-۳-۷ بار قائم

vertical load

نیروی قائم وارد بر دکل ناشی از وزن تجهیزات که با V نمایش داده می‌شود.

1- Sag

ح-۳-۸ کابل

wire

به کلیه هادی‌های الکتریکی، سیم‌های محـافظ، فیبر نوری، پیام‌رسان‌ها و سـیم‌های مخابراتی متصل به دکل انتقال نیرو، کابل گفته می‌شود.

ح-۳-۹ نیروی کششی کابل

tension

نیروی افقی ناشی از کشش کابل که با محاسبهٔ کشش و فلش کابل تعیین شده، با H نمایش داده می‌شود.

ح-۳-۱۰ وزن واحد طول کابل

wire unit weight

وزن m ۱ کابل هادی که با W_c نمایش داده می‌شود.

ح-۳-۱۱ دسته کابل

bundle

تعداد کابل هادی در هر فاز است و با N نشان داده می‌شود. به هادی‌های گروهی، باندل گفته می‌شود.

ح-۳-۱۲ دکل مستقیم

tangent structure

به دکل‌های واقع در مسیر مستقیم خط، دکل مستقیم گفته می‌شود.

ح-۳-۱۳ دکل زاویه‌دار

angle structure

به دکل‌های واقع در نقطه تغییر مسیر، دکل زاویه‌دار گویند.

ح-۳-۱۴ رشته مقرّه آویزی

suspension insulator strings

به نوعی مقرّه برای عایق کردن هادی ولتاژ بالا گفته می‌شود.

ح-۳-۱۵ یراق‌آلات خط انتقال

line hardware and conductor accessories

ادواتی نظیر کلمپ‌ها، اتصالات و محافظ هادی در خطوط انتقال برق، یراق‌آلات نام دارد.

ح-۳-۱۶ هادی محافظ

ground wire, guard wire, OPGW

هادی از جنس مس یا آلومینیم که در بالاترین تراز خط انتقال نصب می‌شود و وظیفهٔ آن حفاظت از تجهیزات خط انتقال در برابر اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه و همچنین پیاده‌سازی اتصال زمین یکپارچه در طول خط انتقال است.

ح-۳-۱۷ دکل انتهایی

dead end or strain structure

سازهٔ نصب‌شده در پایان خط انتقال که نیروهای یک‌طرفه به آن اعمال شده، وزن بزرگ‌تری نسبت به سایر دکل‌ها دارد. نصب زنجیرهٔ مقرّه در این نوع دکل باید به‌صورت کششی باشد.

ح-۳-۱۸ تخلیهٔ الکتریکی

flashover

پدیده‌ای که در اثر شکست عایق ناشی از اضافه ولتاژ به وجود آمده از صاعقه، امواج سیار یا حرارت ناشی از جریان زیاد ایجاد می‌شود.

ح-۴ تعیین اسپن‌های طراحی، باد و وزن

ح-۴-۱ اسپن طراحی، S_{RL}

اسپنی است که برای طراحی دکل انتخاب می‌شود و ضمن رعایت محدودیت‌های مجاز برای کشش کابل در حالات مختلف بارگذاری از نظر هزینه احداث دکل و سایر تجهیزات خط انتقال، اقتصادی باشد.

ح-۴-۲ اسپن باد، S_{WD}

فاصلهٔ افقی بین نقاط وسط دو اسپن مجاور دکل، اسپن باد است که به این صورت قابل محاسبه است:

$$S_{WD} = \frac{(S_1+S_2)}{2} \qquad (ح-۱)$$

که در آن:

S_1 و S_2 طول دو دهانه مجاور است برحسب m (به شکل ح-۱ مراجعه شود).

اسپن باد با توجه به اسپن طراحی و نوع ساختگاه (از نظر پوشش زمین شامل دشت یا کوهستانی بودن) و زاویهٔ مسیر برای هر دکل انتخاب می‌شود. برای دکل آویزی مستقیم (بدون زاویه) برابر با است با:

$$S_{WD}(0^\circ) = S_{RL} \times 1.10 \qquad (ح-۲)$$

ح-۴-۳ اسپن وزن، S_{WT}

فاصلهٔ افقی بین پایین‌ترین نقطهٔ سیم در دو اسپن مجاور دکل برابر است با:

$$S_{WT}(max) = S_{RL} \times \left(1.6 \text{ یا } 2.0\right) \quad (ح-۳)$$

اسپن وزن ضریبی از اسپن طراحی است که ضریب آن برای دشت ۱٫۶ و کوهستان ۲٫۰ منظور می‌شود.

یادآوری ۱- برای بهینه‌سازی طراحی دکل مستقیم، بیشینه ضریب اسپن وزن برای کلیهٔ مناطق برابر با ۱٫۶ توصیه می‌شود.

یادآوری ۲- در پایه‌های تلسکوپی، اسپن باد و وزن متناسب با اسپن طراحی و بسته به شرایط مسیر خط انتخاب می‌شود.

یادآوری ۳- اسپن وزن حداقل (اسپن وزن به‌صورت برکنش) در بارگذاری قائم روی دکل و در ترکیب با سایر نیروهای افقی در تحلیل اعضای برج (به ویژه اعضای اصلی و بازوها) مؤثر است که برای دکل آویزی برابر با ٪ ۲۵ اسپن وزن حداکثر انتخاب می‌شود. اسپن برکنش برای دکل کششی برابر با ٪ ۴۰ بار قائم در کلیه حالات بارگذاری لحاظ می‌شود. لازم به ذکر است در تعیین موقعیت استقرار دکل‌ها، از قرار دادن دکل در دره‌ها خودداری شود و با استفاده از دکل مرتفع یا اسپن بلند، خط انتقال از دره عبور نماید.

یادآوری ۴- با توجه به یکسان نبودن تغییر طول اسپن وزن هادی و کابل محافظ (شیلد) در شرایط مختلف بارگذاری (که معمولاً اسپن وزن کابل محافظ بزرگ‌تر از اسپن وزن هادی است) و همچنین تشکیل یخ با ضخامت بیشتر به علت قطر کوچک‌تر، روابط زیر برای تبدیل اسپن وزن هادی به اسپن وزن کابل محافظ در نواحی مختلف آب و هوایی کشور (معرفی شده در منبع [82]) توصیه می‌شود:

$$S_{WT}(\text{Shield Wire}) = 1.1 \times S_{WT}(\text{Conductor}) \quad \text{منطقهٔ سبک} \quad (ح-۴)$$

$$S_{WT}(\text{Shield Wire}) = 1.2 \times S_{WT}(\text{Conductor}) \quad \text{منطقهٔ متوسط} \quad (ح-۵)$$

$$S_{WT}(\text{Shield Wire}) = 1.3 \times S_{WT}(\text{Conductor}) \quad \text{منطقهٔ سنگین و فوق سنگین} \quad (ح-۶)$$

ح-۳ رابطهٔ بنیادین طراحی سازه دکل

در صورت استفاده از روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)، رابطهٔ بنیادین طراحی اجزای سازه‌ای دکل‌های انتقال نیرو به‌صورت زیر است:

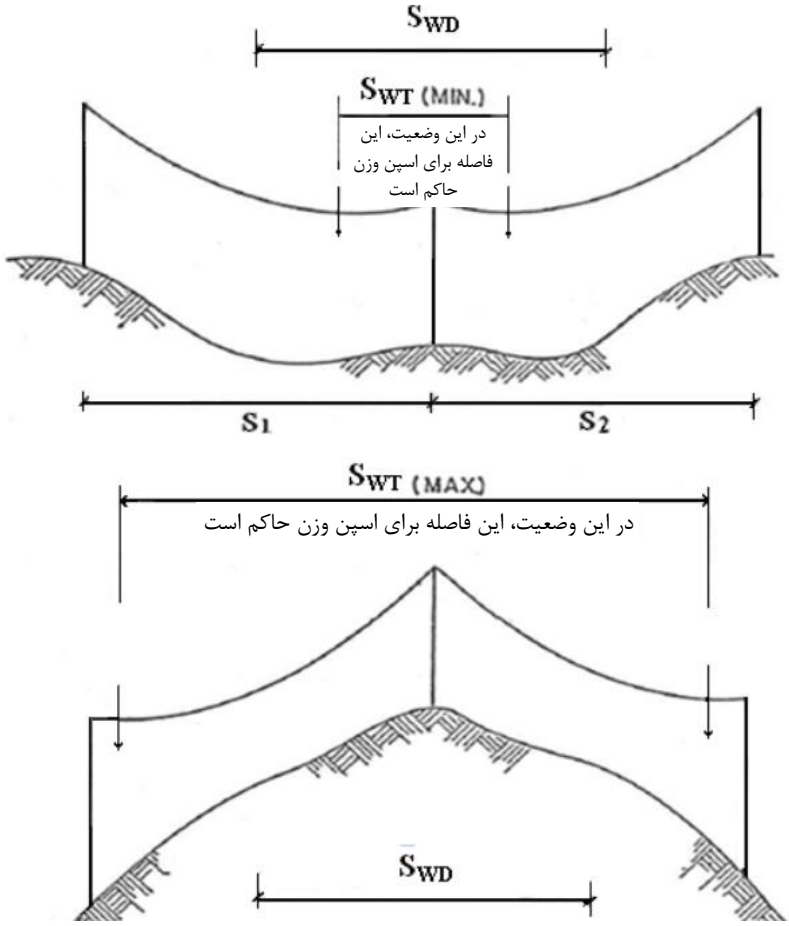
$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Load_i \quad (ح-۱)$$

که در آن:

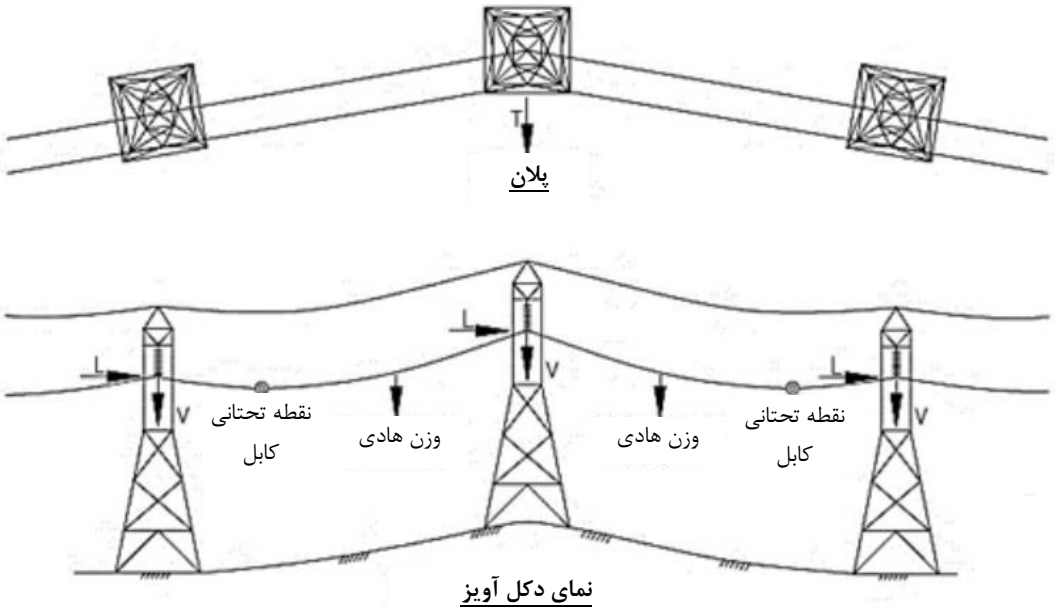
R_n مقاومت اسمی جزء مورد بررسی؛

$Load_i$ بارهای وارد بر سازهٔ دکل شامل بارهای دایمی، کشش کابل، بارهای ناشی از آثار آب و هوایی[1]، بارهای تعمیر و نگهداری، بارهای جلوگیری از فروریزش آبشاری سازهٔ خط انتقال[2] و بارهای قانونی[3] است.

1- Weather-related loads
2- Failure containment
3- Legislated load

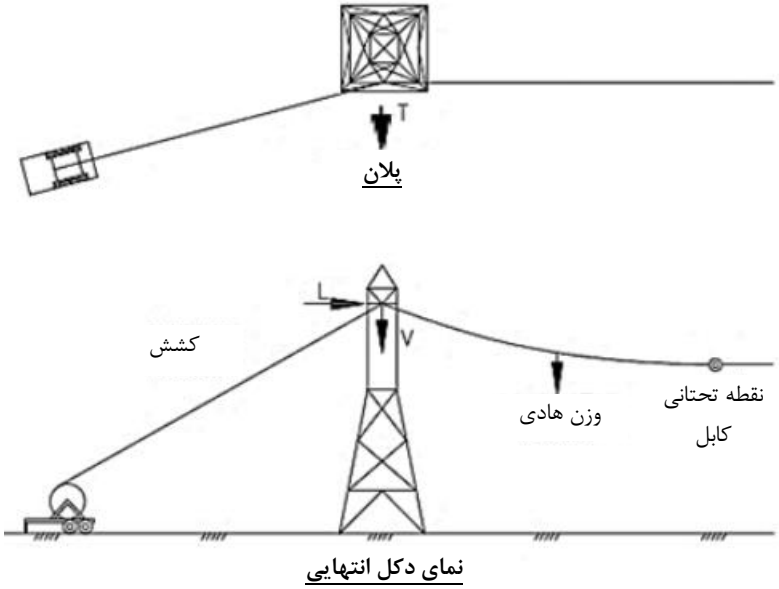


شکل ح-۱- تعریف اسپن باد، S_{WD} و اسپن وزن، S_{WT} حداقل و حداکثر



V، T و L به ترتیب نیروهای قائم، عرضی و طولی وارد بر سازه دکل است.

شکل ح-۲- نمایش بارهای طولی، عرضی و قائم وارد بر دکل انتقال نیرو برای دکل آویز



V، T و L به ترتیب نیروهای قائم، عرضی و طولی وارد بر سازه دکل است.

شکل ح-۳- نمایش بارهای طولی، عرضی و قائم وارد بر دکل انتقال نیرو در دکل پایانه

یادآوری- منظور از بارهای قانونی، بارهایی است که به صورت محلی و در هر کشور ممکن است لازم باشد در طراحی دکل‌های انتقال نیرو لحاظ شود. به عنوان نمونه، در ایالات متحده برای تأمین ایمنی دکل‌ها، بارهایی در آیین‌نامه ANSI/NESC C2 [14] باید مدنظر طراح قرار داده شود.

γ ضریب بار که برای هر الگوی بار می‌تواند متفاوت باشد؛

ϕ ضریب کاهش مقاومت (که برای هر جزء و هر حالت حدی می‌تواند متفاوت منظور شود). برای تعیین این ضریب، می‌توان بسته به نوع دکل و سازه مورد بررسی به یکی از منابع زیر مراجعه نمود:

۱- راهنمای ASCE10 [83] برای طراحی دکل‌های خرپایی فولادی؛

۲- راهنمای ASCE48 [84] برای طراحی تیرهای برق فولادی؛

۳- راهنمای ASCE104 [85] برای محصولات پلیمری مسلح‌شده با الیاف در سازه‌های بالاسری خطوط؛

۴- راهنمای ASCE MOP 123 [86] برای طراحی تیرهای برق بتنی پیش‌تنیده؛

۵- راهنمای ASCE MOP 91 [87] برای طراحی دکل‌های مهارشده؛

۶- راهنمای ASCE MOP 141 [88] برای دکل‌های تک پایه‌چوبی؛

۷- استاندارد ANSI O5.1 [89] برای دکل‌های تک‌پایه چوبی لایه‌لایه،

۸- استانداردهای ANSI O5.2 [90] و ANSI O5.3 [91] برای مهاربندهای چوبی بازویی‌شکل دکل؛

۹- استاندارد ANSI C29 [92] برای مقرّه‌های سرامیکی و غیرسرامیکی؛

۱۰- استاندارد ANSI C119 [93] برای اتصال‌دهنده هادی همراه با اتصالات انتهایی؛
۱۱- استاندارد IEEE135.90 برای اتصال‌دهنده‌های خطوط هوایی به تیرک[۱] [94]؛
۱۲- استاندارد ACI318 برای طراحی عناصر بتنی مسلح و پیش‌تنیده؛
۱۳- استاندارد AISC360 برای طراحی عناصر فولادی.

ح-۴ حالت‌های حدی طراحی

ح-۴-۱ حالت حدی شکست

حالتی است که در آن یک جزء از خط انتقال، قابلیت تحمل یا مقاومت در برابر بارهای وارده را نداشته باشد.

ح-۴-۲ حالت حدی آسیب

حالتی است که در آن جزیی از خط دچار آسیب دایمی شود اما قابلیت بهره‌برداری از خط انتقال همچنان وجود داشته باشد. مثالی از این حالت حدی مربوط به اضافه بار وارد بر هادی‌ها در نقاطی است که امکان انجام تعمیرات به سادگی میسر نباشد. نیاز به ایجاد بازکشیدگی در مهارها نیز به عنوان نمونه‌ای دیگر از این حالت حدی تلقی می‌شود.

ح-۴-۳ حالت حدی بهره‌برداری (کنترل تغییرشکل‌ها و نوسان‌ها)

بررسی این حالت حدی به‌منظور حفظ مسایل بهره‌برداری مورد نیاز است. از جمله کنترل‌های لازم در این حالت حدی، می‌توان به تغییرشکل جانبی دکل اشاره کرد که به مسایل زیبایی‌شناسی مرتبط است. همچنین کنترل تغییرشکل‌های کابل به هنگام وزش باد، تغییر در میزان فلش هادی در این حالت حدی انجام می‌پذیرد. در این حالت حدی از ترکیبات بارگذاری بدون ضریب وارد بر سازه که احتمال رخداد آن‌ها طی عمر بهره‌برداری از خط انتقال زیاد است استفاده می‌شود.

ح-۵ الگوهای بارگذاری

ح-۵-۱ بارهای دائمی

در خطوط انتقال نیرو، بارهای دائمی شامل وزن دکل و کابل‌ها، مقرّه‌ها[۲] و یراق‌آلات است.

ح-۵-۱-۱ وزن کابل

بار قائم حاصل از وزن کابل را می‌توان به این صورت محاسبه نمود:

$$V_c = S_{WT} \times W_c \times n \qquad \text{(ح-۲)}$$

که در آن:

V_c بار قائم ناشی از وزن کابل برحسب N؛

۱- Pole
2- Strings

S_{WT} اسپن وزن برحسب m؛

W_c وزن واحد طول کابل برحسب N/m؛

n تعداد باندل.

ح-۵-۱-۲ وزن مقرّه و یراق‌آلات

وزن مقـرّه و یراق‌آلات با توجه به نقشـهٔ زنجـیره مقرّه بر اساس تعداد مقرّه، وزن هر مقـرّه و ملحـقات زنجیره محاسبه می‌شود:

$$V_{fi} = (V_{in} \times ni + V_f) \times i \qquad (ح-۳)$$

V_{fi} وزن زنجیرهٔ مقرّه برحسب N؛

V_{in} وزن یک مقرّه برحسب N؛

ni تعداد مقرّه در واحد مجموعهٔ زنجیره؛

V_f وزن یراق‌آلات برحسب N؛

i تعداد مجموعهٔ زنجیره در محل اتصال یک فاز به دکل.

یادآوری ۱- ضریب i در دکل‌های کششی برابر با ۲ و در دکل‌های آویز برابر با ۱ است.

یادآوری ۲- در صورت وجود یخ، از وزن آن روی زنجیره صرف‌نظر می‌شود.

یادآوری ۳- در صورتی که محاسبات برای کابل محافظ انجام شود رابطهٔ (ح-۳) به این صورت ساده‌نویسی می‌شود:

$$V_{fi} = V_f \times i \qquad (ح-۴)$$

ح-۵-۱-۳ بار ناشی از وزن دکل

وزن دکل شـامل وزن اعضای سـازه‌ای نظیر نبشی‌ها، صـفحات اتصـال، پیچ و مهره و واشر است که به صورت یک نیروی قائم در طراحی منظور می‌شود.

ح-۶ بارهای ناشی از آثار آب و هوا

ح-۶-۱ ملاحظات کلی

این بارها شامل آثار باد و ترکیب بار باد و یخ اسـت. همچنین آثار حرارت، فشار جو و آثار عارضه‌نگاری محلی روی مقادیر بارهای ناشـی از آثار آب و هـوایی تاثیرگـذار است. تجـمع یخ روی اجـزای خط انتـقال عموماً به عنوان یکی از بارهای مربـوط به آثار آب و هوایی مدنظر است. این موضوع چنان که در بند ۱۲ این استاندارد ذکر گردید به‌صورت ضخامت معینی از یخ روی اجـزای خط انتـقال منظور می‌شود. برای تعیین بارهای ناشی از آثار آب و هوا، باید منطقه احـداث خـط انتقال بر اسـاس یکی از رده‌های چهارگانهٔ آب و هوایی معرفی‌شده در دستورالعمل شرکت توانیر [80] مشخص شود.

ح-۶-۲ بارهای باد

در این پیوست، برای تعیین بار باد طراحی وارد بر دکل‌های انتقال نیرو، از سرعت حدی باد استفاده می‌شود. نیروی باد وارد بر اجزای خط انتقال نیرو را می‌توان از روابط زیر تعیین نمود:

$$F = QK_zK_{zt}(V_{100})^2GC_fAI_w \qquad (ح-۵)$$

$$F = QK_zK_{zt}(V_{MRI})^2GC_fAI_w \qquad (ح-۶)$$

که در آن‌ها:

F نیروی باد در راستای وزش باد برحسب N؛

G ضریب پاسخ تندباد که برای هادی‌ها[1]، کابل‌های محافظ[2] و دکل‌ها[3] به‌صورت جداگانه مطابق با زیربند 2.1.5 راهنمای ASCE MOP 74 [15] تعیین می‌شود؛

C_f ضریب نیروی باد که برای اجزای مختلف خط انتقال طبق زیربند 2.1.6 راهنمای ASCE MOP 74 [15] قابل تعیین است. مثلاً در خصوص تیردکل‌ها[4]، استفاده از جدول ح-۱ توصیه می‌شود؛

جدول ح-۱- مقادیر پیشنهادی برای ضریب نیروی باد، C_f

مقطع دکل تیردکل	C_f
دایره‌ای	۰٫۹
۱۶ ضلعی	۰٫۹
۱۲ ضلعی	۱٫۰
۸ ضلعی	۱٫۴
۶ ضلعی	۱٫۴
مربع یا مستطیل	۲٫۰

A سطح تصویر شده بادگیر عمود بر راستای وزش باد برحسب m^2؛

Q ضریب چگالی هوا برای تبدیل انرژی جنبشی هوای متحرک به انرژی پتانسیل فشار هوا و برابر با ۰٫۶۱۳؛

یادآوری- مقدار ۰٫۶۱۳ با فرض واحدهای m/s برای سرعت باد و Pa برای فشار باد تعیین شده است. این پارامتر وابسته به دما و تراز قرارگیری خط انتقال است و مقدار ۰٫۶۱۳ با فرض دمای ۱۵ °C و فشار هوای ۱۰۰ kPa بیان شده است. برای تعیین مقادیر Q برای دما و فشار متفاوت با مقادیر مفروض فوق، به Appendix C راهنمای ASCE MOP 74 [15] مراجعه شود.

1- Conductors
2- Ground wires
3- Structures
4- Pole structures

K_z ضریب مواجهه با فشار تابع سرعت باد (تعریف شده در جدول ۲۰)؛

K_{zt} ضریب عارضه‌نگاری (تعریف شده در شکل ۲۳)؛

V_{100} سرعت مبنای باد (تندباد s ۳) (که در این پیوست، حداقل برای دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال توصیه می‌شود) برحسب m/s؛

V_{MRI} سرعت مبنای باد (تندباد s ۳) با دورهٔ بازگشت[1] متفاوت با ۱۰۰ سال بسته به میزان اهمیت خط انتقال نیرو بر حسب m/s است.

برای اعمال بار باد به دکل خرپایی فولادی به زیربند 2.1.8 راهنمای ASCE MOP 74 [15] مراجعه شود.

یادآوری ۱- سرعت مبنای باد (تندباد s ۳) با دوره بازگشت ۵۰ سال، در جدول ۱۷ این استاندارد برای شهرهای ایران ارائه گردیده است. در این استاندارد با توجه به اعمال ضریب ۱٫۶ برای بار باد در ترکیبات بارگذاری روش LRFD، از ضریب اهمیت برای بار باد، I_w، برابر با ۰٫۷۰ برای دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال استفاده می‌شود. چنانچه دورهٔ بازگشت طراحی در برابر بار باد برابر با ۵۰ سال منظور شود، ضریب اهمیت بار باد، I_w، را می‌توان برابر با ۰٫۶۰ منظور نمود.

یادآوری ۲- در صورتی که در ترکیبات بارگذاری طراحی (زیربند ح-۱۲ این پیوست)، اثر بار باد با ضریب ۱٫۰ منظور شود (روش‌های ASD یا WSD)، ضریب اهمیت برای بار باد، I_w، برابر با ۱٫۱۰ برای دورهٔ بازگشت ۱۰۰ سال و برابر با ۱٫۰ برای دورهٔ بازگشت ۵۰ سال مدنظر قرار داده می‌شود.

ح-۶-۳ بارهای یخ

ح-۶-۳-۱ ملاحظات کلی

یخزدگی خط انتقال اغلب به عنوان یک بارگذاری حاکم در طراحی سازه‌ای مطرح است. تجمع یخ علاوه بر آنکه منجر به افزایش وزن و تحمیل نیروی اضافی به سامانهٔ سازه می‌شود، سطح بادگیر هادی‌ها را افزایش داده، موجب افزایش ضریب نیروی باد، C_f می‌شود. علاوه بر تأثیر مستقیم یخ روی سامانهٔ سازه‌ای، برآیند بار وارد بر کابل‌ها منجر به ایجاد کشش قابل توجه در کابل‌ها در مقایسه با وضعیت عادی هادی‌ها می‌شود.

ح-۶-۳-۲ بارهای یخ روی هادی‌ها

بار یخ خطی روی هادی‌ها را می‌توان از رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$W_i = Q_i(d+t_z)t_z \qquad (ح-۷)$$

که در آن:

W_i وزن گستردهٔ یخ روی کابل برحسب N/m؛

d قطر کابل قبل از یخزدگی برحسب mm؛

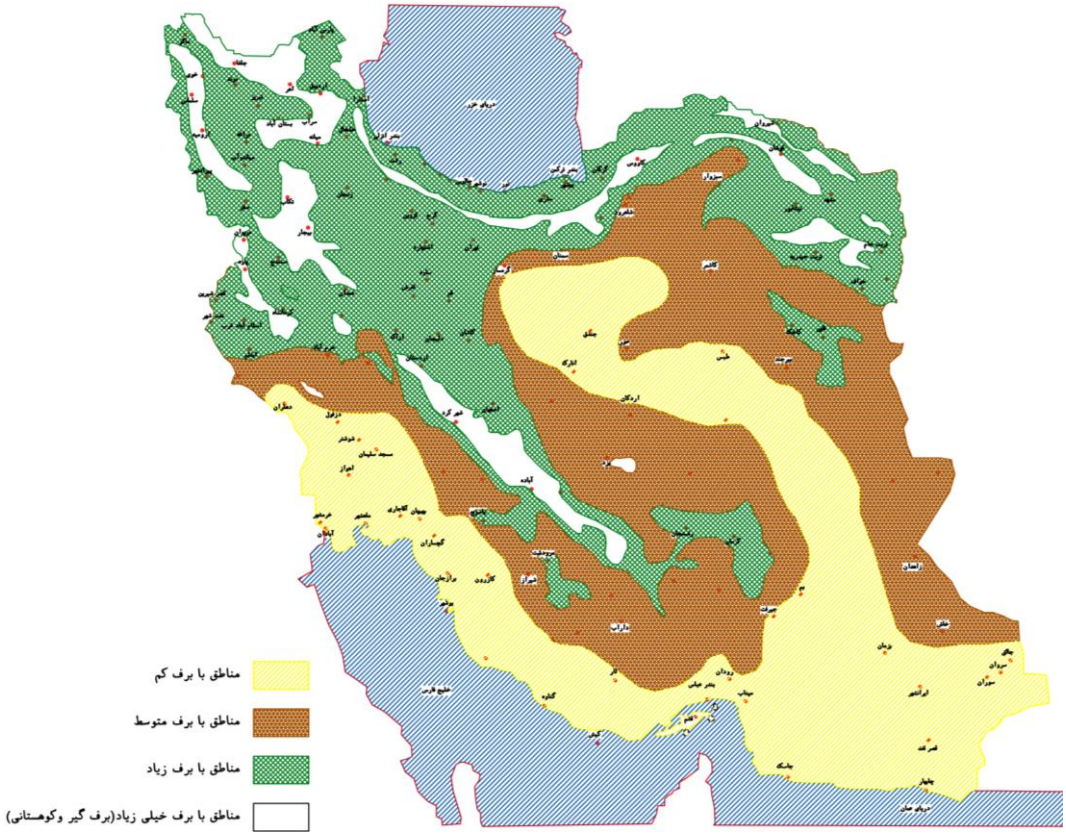
1- Mean Recurrence Intervals (MRI)

t_z ضخامت یـخ طراحی برحسب mm که طبق پهنه‌بندی برف کشـور (به عنوان نمـونه پهنه‌بندی مندرج در منبع [82] نشان داده شده در شکل ح-۴) و جدول ح-۲ به دست می‌آید.

یادآوری- چنـانچه پهنه‌بندی جدید برف و ضخامت یخ برای طـراحی خطوط انتقال نیرو، توسط پژوهشگاه نیرو منتشر و ابلاغ شود، می‌توان از آن در تعیین ضخامت یخ استفاده نمود.

Q_i ضریبی برای تبدیل ضخامت یخ به وزن یخ که برای واحدهای متریک برابر است با ۰٫۰۲۸۲.

تشکیل یخ روی هادی، موجب افزایش سـطح بادگیر آن می‌شـود. بار عرضـی ناشی از فشار باد روی کابل‌های پوشیده از یخ همزمان با بار قائم ناشی از وزن یخ عمـل می‌کند. به هنگام تعیین نیروهای باد وارد بر کابل‌های پوشیده از یخ، ضریب نیروی باد، C_f باید با توجه به این پوشش یخی تعیین شـود. این ضریب بین ۱٫۰ تا ۱٫۴ قابل توصیه است.



شکل ح-۴- پهنه‌بندی برف در ایران برای تعیین ضخامت یخ برای بارگذاری دکل‌های انتقال نیرو [82]

جدول ح-۲- میزان ضخامت یخ در مناطق چهارگانه برف‌گیر ایران برحسب mm [82]

مناطق با برف کم	مناطق با برف متوسط	مناطق با برف زیاد	مناطق با برف بسیار زیاد
۰	۲۰	۳۰	۴۰

ح-۶-۳-۳ بارهای یخ روی اعضای سازه‌ای

ح-۶-۳-۳-۱ بارهای قائم

تجمع یخ روی اعضای سازه‌ای مستقیماً در طراحی منظور نمی‌شود. در طراحی اعضای مهاربندی در دکل‌های شبکه‌ای و تیردکل‌ها[1]، بارهای حین ساخت و همچنین بارهای مربوط به عملیات تعمیر و نگهداری (ذکر شده در زیربند ح-۷)، تنش‌های طراحی بزرگ‌تری را نسبت به تنش‌های خمشی ناشی از وزن قائم اعضای پوشیده از یخ ایجاد می‌کنند. در خصوص دکل‌های قائم (تک‌پایه[2] یا تک ساق[3])، بار محوری اضافی ناشی از یخ روی اعضا تأثیر قابل توجهی روی تنش عضو نمی‌گذارد.

ح-۶-۳-۳-۲ بارهای باد همزمان با یخ

تشکیل یخ روی سازه می‌تواند سطوح تصویرشده سازه در برابر باد را افزایش دهد. در اعضای سازه‌ای با عرض نسبتاً زیاد (نظیر تیرهای برق)، افزایش نسبی در سطح تصویر شده ناشی از یخ کوچک است. در اعضای نبشی، سطح افزایش‌یافته می‌تواند به خاطر کاهش ضریب نیرو، C_f، ناشی از اثر هوالغزی[4] پوشش یخ روی عضو نبشی نسبتاً لغزنده جبران شود. بنابراین، معمولاً در سازه‌های خط انتقال نیرو، نیازی به افزایش سطح تصویرشده سازه ناشی از تشکیل یخ روی اعضا نیست.

ح-۶-۳-۴ بارهای نامتوازن یخ

با آنکه ترکیب بارگذاری اصلی طراحی آن است که یک ضخامت یخ یکسان به کلیه اسپن‌ها اعمال شود، باید بارگذاری نامتعادل یخ نیز لحاظ شود. هنگامی که ردهٔ مواجهه در یک خط انتقال به هنگام عبور خط از تپه یا سراشیبی تغییر نماید، ضخامت‌های یخ و سرعت‌های باد هم‌زمان با یخ می‌تواند از یک دهانه تا دهانه دیگر متفاوت باشد.

یادآوری ۱- در خصوص تعریف رده‌بندی مواجهه در زیربند ۱۳-۶-۴ این استاندارد مراجعه شود.

یادآوری ۲- عموماً، به دکل‌های مستقیم[5] با زنجیره مقرّه آویزان[6] بارهای هادی طولی قابل توجهی ناشی از بارهای یخ نامتعادل وارد نمی‌شود؛ اما ملحقات هادی محافظ[7] با یراق‌آلات کوتاه[8] می‌توانند بیشترین عدم تعادل را به سازه منتقل کنند. برای اطلاعات بیشتر در خصوص این بارها به زیربند 3.1 و Appendix I راهنمای ASCE MOP 74 [15] مراجعه شود.

ح-۶-۳-۵ بارهای وارد بر گوی‌های نشانگر هوایی[9] و ادوات مشابه

باید تجمع یخ ناشی از یخ‌زدگی باران روی گوی‌های نشانگر هوایی متصل به خطوط انتقال نیرو در طراحی لحاظ شود. وزن یخ کشش وارد بر کابل‌ها و بار قائم وارد بر دکل‌های نگهدارنده را افزایش می‌دهد. از آنجا که

1- Crossarms
2- Pole shaft
3- Leg angle
4- Streamlining effect
5- Tangent structures
6- Suspension insulator strings
7- Shield wire attachments
8- Short hardware assemblies
9- Aerial marker balls

ضخامت یخ مشخص‌شده برای تجمع روی کابل‌ها با استفاده از نسبت قطر به محیط $1/\pi$ برای تبدیل تجمع یخ روی یک سطح تخت به یک سطح استوانه‌ای محاسبه می‌شود، ضخامت یخ روی کابل در π ضرب می‌شود (طبق رابطهٔ (ح-۹)). وزن یخ روی یک گوی نشانگر هوایی با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$W_i = V_i \rho \quad (ح-۸)$$

$$V_i = \pi t_z A_s \quad (ح-۹)$$

$$A_s = \pi r^2 \quad (ح-۱۰)$$

که در آن‌ها:

A_s سطح تصویرشدهٔ گوی نشانگر هوایی برحسب m^2؛

V_i حجم یخ تجمع‌یافته روی گوی نشانگر هوایی برحسب m^3؛

t_z ضخامت یخ طراحی روی کابل برحسب m؛

r شعاع گوی نشانگر هوایی برحسب m؛

ρ چگالی یخ برحسب kg/m^3.

ح-۷ ملاحظات اضافی بارگذاری

باید در طراحی خط انتقال، بارها و فرانامه‌های محتملی به‌جز بارهای دایمی و رویدادهای مرتبط با آب و هوا مدنظر قرار گیرد. در این زیربند، بارهای اضافی وارد بر دکل و سامانهٔ کابل ناشی از یخ و باد، هادی‌های گسیخته شده، بارهای حین ساخت، بارهای مربوط به عملیات تعمیر و نگهداری و سایر عوامل مطرح می‌شوند. این بارها هم برای خطوط انتقال نیرو در حال نصب و هم برای انجام بهسازی خطوط انتقال موجود مدنظر قرار می‌گیرند. شرایط ویژهٔ ساختگاه از جمله احتمال رخداد زمین‌لغزش، جریان یخ، بالاآمدگی زمین و سیلاب در این زیربند مطرح نشده اما باید در طرح منظور شود.

ح-۷-۱ بارهای طولی

علاوه بر بارهای قائم و عرضی ناشی از آثار آب و هوایی مطرح شده در زیربندهای قبل، دکل‌های انتقال نیرو ممکن است در معرض بارهای طولی ناشی از عدم توازن در کشش کابل یا یک جزء آسیب دیده قرار گیرند. این عدم توازن‌ها می‌تواند از چندین منشأ ناشی شود و ممکن است هنگامی ظاهر شود که سامانهٔ کابل سالم است و یا هنگامی که در معرض خطر قرار دارد. در صورتی که این موضوع در طراحی دکل و خط انتقال منظور نشود می‌تواند منجر به فروریزش و شکست‌های پیش‌رونده فاجعه‌آمیز منجر شود.

ح-۷-۲ بارهای نامتوازن وارد بر سامانه سالم[1]

در دکل‌های آویـز، کشـش کابل در اسپن‌های مجـاور ممکن است به علت سرعت‌های متفـاوت باد یا تجمع نابرابر یخ متفاوت باشـد. سرعت باد می‌تواند به علت تغییرات جغـرافیایی (تغییر در وضعیت پوشـش زمین یا تراز قرارگیری دکل) از یک نقطه تا نقطهٔ دیگر خط انتقال تغییر کند و این موضـوع در اسپن‌های طویل یا در مناطق کوهستانی شایع‌تر است. تجـمع نامتـوازن یخ می‌تواند به همین دلایل به علت تجمع یخ ابری[2] شکل گیرد. خطـوط انتقال با قابلیت محدود انتـقال لقی نظیر خطـوط انتقال با مقرّه‌های آویز کوتاه‌تر، اسپن‌های با فلش کوچک و یراق‌آلات متصـل، می‌توانند قابلیت مقرّه‌های آویز برای نوسـان کافـی به منظور ایجاد تـوازن کشش درون سـامانهٔ کابل را محدود نمایند. دکل‌های پایانه و انتهایی[3] هنگامی به کار می‌رود که جلوی تغییر در کشـش به علت الزامات طـراحی خط انتـقال گرفتـه شـود. در این دکل‌ها، هادی‌ها روی زنجیره‌های مقرهٔ افقی به انتها می‌رسـند و کشـش را مسـتقیماً به دکل اعمال می‌کنند. دکل‌های پایانه و انتهایی را باید برای تحمل این عدم توازن کشش طراحی نمود. فرض بر آن است که کابل‌های محافظ به‌طور صلب به کلیه دکل‌ها متصل می‌شوند لذا یک کشش نامتوازن در این موقعیت باید برای کلیه دکل‌ها مدنظر باشد.

ح-۷-۳ بارهای طولی ناشی از سامانه‌های کابل آسیب‌دیده[4]

شکست یک جزء مانند یک کابـل یا مقرّه یا فروریزش یک دکل می‌تـواند عدم تـوازن شـدید بار را در سامانهٔ کابل ایجاد نماید که منجر به آسیب بخشی یا کامل دکل‌های مجاور خواهد شد.

ح-۷-۴ بارهای شکست خط و ایمنی[5]

شکسـت‌های ناشی از بارگـذاری نامتـوازن و گسـیختگی کابـل ممکن است در طـول کل خط تا فاصـلهٔ قابل توجهی گسترش پیدا کند و منجر به یک فروریزش فاجعه‌آمیز شود. این فروریزش‌های آبشاری خطوط انتقال موجب آسیب قابل توجه و خسارات مالی فراوان می‌شـود زیرا ممکن است به کلیهٔ بخش‌های خط آسیب وارد شود و خط انتقال نیازمند هفته‌ها یا ماه‌ها تعمیرات شود. یک روش برای جلوگیری از وقوع این فروریزش‌های پیش‌رونده، منظور کردن بارهـای ایمـنی خط در طـراحی دکل‌های انتـقال نیـرو است تا مقاومت طولی لازم فراهم شود. این کار با منظور کردن حالت بار یخ نامتوازن و یا حالت بار گسیختگی یک کابل[6] تکمیل می‌شود. عموماً گسیختگی یک مرحله کابل یا کابل محافظ برای هر مدار خط منظور می‌شود.

بسیاری از انواع دکل مانند برج‌های خرپایی مربعی صـلب، دکـل‌های مهاردار V، Y و Δ شکل، دکل‌های قابی شکل[7] و تیردکل‌ها را باید با مقاومت طولی افزایش‌یافته با یک افزایش کوچک در هزینـــه طراحی نمود. برای تعیین مدار این بار یا روند اعمال بار ایمنی خط، باید میزان اهمیت خط انتقال مدنظر قرار داده می‌شود.

1- Intact
2- In-cloud ice deposites
3- Dead-end or strain structure
4- Non-intact wire systems
5- Failure containment & line security loads
6- Broken Wire Load (BWL)
7- Portal

طراحان خط انتقال جدید باید از عواقب شکست دکل و قابلیت ایجاد فروریزش‌های پیش‌رونده آگاه باشند. علاوه بر اعمال بارهای ایمنی خط یا هنگامی که دکل‌ها دارای مقاومت طولی محدود هستند، ایجاد سخت‌شدگی موضعی با استفاده از دکل‌های نگهدارنده[1] یا جلوگیری‌کننده از فروریزش پیش‌رونده[2] می‌تواند برای کاهش تبعات فروریزش آبشاری مؤثر و اقتصادی باشد. فلسفه‌های جلوگیری از فروریزش پیش‌رونده در یک خط انتقال برحسب منطقه، خواسته‌های کارفرما و بهره‌بردار متغیر است. طول و اهمیت خط انتقال، مقاومت طولی دکل‌های آویز، وضعیت پوشش زمین، زمان مورد نیاز برای بازگشت به بهره‌برداری مجدد، ترازهای وضعیت اضطراری[3]، اقتصاد طرح، راه‌های دسترسی به خط انتقال و مجاورت با بزرگراه‌ها یا خطوط راه‌آهن روی طول بخش‌های محافظت‌شده خط در برابر فروریزش تأثیرگذار خواهد بود. فواصل بین دکل‌های جلوگیری‌کننده از فروریزش آبشاری بین ۳ km تا ۱۶ km پیشنهاد می‌شود. روش‌های تحلیلی پذیرفته‌شده را می‌توان برای تخمین بارهای طراحی طولی جلوگیری‌کننده از فروریزش آبشاری به کار برد. این روش‌ها شامل روش بار ایستای ماندگار (RSL)[4]، روش Bonneville (BPA)[5]، روش بار کابل گسیخته (BWL)[6] و روش EPRI است. برای اطلاعات بیشتر در مورد این روش‌ها به Appendix I منبع ASCE MOP 74 [15] مراجعه شود.

ح-۸ بارهای حین ساخت و بارهای مربوط به عملیات تعمیر و نگهداری

ح-۸-۱ ملاحظات کلی

بارهای حین ساخت و بارهای تعمیر و نگهداری (C&M)، برخلاف بارهای وابسته به شرایط آب و هوایی[7]، تا حد زیادی قابل واپایش بوده، مستقیماً تابع روش اجرا هستند. بارهای حین ساخت در طی فرایند مونتاژ و نصب، استقرار کابل‌های محافظ، مقرّه‌ها، هادی‌ها و یراق‌آلات خط تحمیل می‌شود. بارهای تعمیر و نگهداری بارهایی هستند که طی فرایند بازرسی برنامه‌ریزی‌شده یا اضطراری و جایگزینی کلی یا بخشی دکل، کابل محافظ، مقرّه، هادی یا یراق‌آلات اعمال می‌شود. دانستن روش‌های اجرایی و همچنین تعمیر و نگهداری در تعیین حالات بار وارده مورد نیاز است. فرانامه‌های بار تشریح‌شده در زیربندهای بعدی باید در طراحی مدنظر قرار داده شود.

ح-۸-۲ بارهای وارده حین نصب دکل

بلندکردن دکل یا اجزای آن ممکن است تنش‌هایی را فراتر از آنچه طی اعمال بارهای طراحی در دوران بهره‌برداری به سازه وارد می‌شود ایجاد نماید. همچنین مسیر بار در طی فرایند بلند کردن متفاوت است و

1- Stop structure
2- Anti-cascading structure
3- Emergency stocking levels
4- Residual Static Load (RSL)
5- Bonneville Power Administration (BPA)
6- Broken Wire Load (BWL)
7- Weather-related loads

باید بر اساس نقاط بلندشدگی دکل تعیین شود. باید طراح محدودیت‌های بلندکردن دکل را پیش‌بینی کند و موقعیت‌های اجزای الحاقی را در صورت کاربرد برای کنترل مسیر بار در طرح تعبیه نماید.

بارهای حین ساخت بارهایی هستند که حین اجرا و سرهم کردن دکل، نصب کابل‌ها، مقرّه‌ها، هادی‌ها و یراق‌آلات خط[1] به سازه وارد می‌شود.

ح-۸-۳ بارهای وارده حین نصب کابل‌ها

کابل‌های محافظ و هادی‌ها بر اساس منبع IEEE 524 [95] نصب می‌شوند.

بارهای نصب کابل‌های محافظ و هادی‌ها می‌تواند در راستاهای متفاوت، موقعیت‌های مختلف و مقادیر بزرگ‌تر از بارهایی که در شرایط بهره‌برداری به خط انتقال وارد می‌شود اثر کند.

کمینه بارها و ضرایب بار توصیه‌شده برای نصب کابل‌های محافظ و هادی‌ها به این قرار است:

الف- برای مؤلفه‌های عرضی و طولی کشش کابل، از یک کشش مبتنی بر وضعیت اولیهٔ کابل در پایین‌ترین دمای مورد انتظار طی عملیات ریسه‌کردن کابل‌ها[2] استفاده می‌شود. حداقل ضریب بار برابر با ۱٫۵ منظور می‌شود؛

ب- برای بارهای عرضی باد، از یک بار به شدّت ۰٫۱۵ kPa (با سرعت ۱۵ m/s) در کمینه دمای مورد انتظار و اسپن باد طراحی با یک حداقل ضریب بار ۱٫۵ استفاده می‌شود؛

پ- در وضعیت سازه انتهایی با ابزار کشش در تراز زمین، از مؤلفه قائم خط کشش، بزرگ‌ترین دهانه منفرد قائم و حداقل ضریب بار ۱٫۵ به‌کار می‌رود؛

ت- برای وضعیت سالم کابل (که اسپن‌های جلویی و پشتی به دکل متصل هستند)، از بزرگ‌ترین اسپن وزن و حداقل ضریب بار ۲٫۰ استفاده می‌شود.

ح-۸-۴ بارهای تعمیر و نگهداری

این بارها، نیروهایی هستند که در هنگام بازرسی فنی برنامه‌ریزی شده یا اضطراری و یا تعویض کامل یا بخشی از سازه و یا تعویض کامل یا بخشی از کابل زمینی، مقرّه، هادی‌ها و یراق‌آلات هادی به آن وارد می‌شوند. باید یک ضریب بار مناسب برای طراحی دکل برای بارهای تعمیر و نگهداری اعمال شود که مقدار آن برابر با ۲٫۰ توصیه می‌شود. این بارها شامل وزن کارگران و تجهیزات آن‌ها روی دکل و آثار بار روی دکل‌های مجاور ناشی از اصلاحات موقتی نظیر مهارکردن برای اجازه‌دادن به تعمیر یا تعویض سازهٔ مورد نظر است. معمول‌ترین عملیات تعمیر و نگهداری روی یک خط انتقال نیرو شامل تعویض کابل‌های محافظ، هادی‌ها، مقرّه‌ها و یراق‌آلات است. در زمان انجام عملیات تعمیر و نگهداری، باید کابل‌ها از روی

1- Line hardware
2- Stringing operations

تکیه‌گاه‌ها برداشته شده، روی زمین مستقر شوند یا آن‌که روی سازه موقتی قرار گیرند. بارهای ایجادشده در طی این عملیات می‌تواند از بارگذاری اولیهٔ طراحی دکل یا دکل‌های مجاور فراتر رود.

ح-۹ بارهای مربوط به دسترسی کارگران و جلوگیری از سقوط[1] افراد

طی مراحل نصب و همچنین عملیات تعمیر و نگهداری، به علت وزن کارگران، برخی اعضای سازه‌ای تحت خمش قرار می‌گیرند. باید بار دسترسی کارگران صرفاً به اعضایی اعمال شود که پیش‌بینی می‌شود کارگران از آن‌ها بالا می‌روند یا روی آن‌ها مستقر می‌شوند. این بار معمولاً به‌صورت یک بار قائم منفرد با مقدار ۱٫۱ kN در طراحی منظور می‌شود که شامل وزن کارگر و تجهیزات همراه وی می‌شود. ضریب پیشنهادی برای این بار ۱٫۵ است. تجهیزات مورد استفاده کارگران برای بالا رفتن و نگهداری افراد نظیر پیچ‌های نگهدارنده[2]، نردبان و مهارهای جلوگیری‌کننده از سقوط نیازمند دا شتن الزامات ا ضافی مقاومت ا ست که در استانداردهای OSHA، NESC/ANSI C2 [14] و مراجع ANSI/ASSE Z359.1 [96] و IEEE1307 [79] ذکر شده است.

بارهای جلوگیری از سقوط هنگامی ایجاد می‌شود که افراد متصل به یک مهار از یک موقعیت مرتفع سقوط کنند. مهار، نقطه‌ای ایمن است که افراد را از خطر سقوط حفظ می‌کند (مطابق با منبع NESC/ANSI C2 [14]). این سامانه باید کلیهٔ الزامات ایمنی مربوط به مراجع OSHA 1910.269 [7]، NESC/ANSI C2 [14] و سایر الزامات ایمنی (نظیر منبع [97]) را برآورده نماید. همچنین در منبع IEEE 1307 [79] راهنمایی‌هایی در مورد بارها و معیارهای مربوط به مهارها و پیچ نگهدارنده ارائه شده است. باید طراحی سامانهٔ حفاظت در برابر سقوط با هماهنگی کارکنان بهره‌برداری و تعمیرات انجام پذیرد.

باید تعداد و موقعیت مهارها، تعداد افراد متصل به هر مهار، بیشینه نیروهای نگهدارنده مورد انتظار، تجهیزات متصل به مهارها و نوع ابزار بالابرنده با کارکنان عملیات و نگهداری هماهنگ باشد.

ح-۱۰ پدیدهٔ رقصانی[3] در کابل

ح-۱۰-۱ ملاحظات کلی

پدیدهٔ رقصانی (نوسان کابل با بسامد کم و دامنهٔ زیاد) حاصل یک بار دینامیکی است که می‌تواند به هنگام وضعیت‌های آئرودینامیکی وزش باد کم تلاطم در عرض کابل به هنگام پوشیدگی کابل با یخ یا بدون آن ایجاد شود. زمان رخداد پدیدهٔ رقصانی قابل پیش‌بینی نیست و می‌تواند در بخش‌ها یا اسپن‌هایی از خط انتقال رخ دهد. عوامل مؤثر در ایجاد آستانه پدیدهٔ رقصانی شامل راستای قرارگیری کابل، قطر، شکل، وزن، بسامد، میرایی و طول اسپن است. این پدیده عمدتاً در زمین‌های تخت و به هنگام وزش باد با سرعت بین ۱۶ km/h تا ۳۲ km/h و وزش باد عمود بر کابل‌ها با یک پوشش نامساوی یخ شایع‌تر است. به همین علت، ایجاد پدیدهٔ رقصانی تصادفی، از رویدادهای بارگذاری یخ سنگین شایع‌تر است. بنابراین، هنگامی که شرایط

1- Fall protection loads
2- Step bolts
3- Galloping load

وقوع این پدیده مهیا است آثار این پدیده باید در طراحی خط انتقال در نظر گرفته شود. دامنهٔ قائم کابل به هنگام پدیده رقصانی می‌تواند از فلش کابل هم فراتر رود اما معمولاً اغلب دامنه‌های نوسان از m ۱ کوچک‌تر خواهد بود. این پدیده ممکن است موجب ایجاد مشکلات الکتریکی و سازه‌ای زیر شود:

- ایجاد پدیدهٔ تخلیه الکتریکی[1] یا برخورد[2] کابل‌ها که موجب انقطاع موقت یا دایم ناشی از کم شدن فواصل بین فاز کابل‌ها یا یک فاز و کابل محافظ می‌شود؛
- کش‌آمدگی هادی‌ها و کابل‌های محافظ ناشی از کشش‌های دینامیکی کابل در محدوده غیرارتجاعی (این موضوع موجب فلش اضافی می‌شود که ممکن است فاصلهٔ مجاز تا زمین را به هم بزند)؛
- سایش، ایجاد پدیدهٔ خستگی و گسیختگی کابل‌های محافظ، هادی‌ها، یراق‌آلات مربوطه و مقرّه های ادوات آویز و انتهایی؛
- فروریزش اجزا و سامانه‌های سازه‌ای.

ح-۱۰-۲ بارهای ناشی از پدیدهٔ رقصانی کابل

ایجاد پدیدهٔ رقصانی در کابل‌ها می‌تواند موجب ایجاد بارهای بزرگ قائم و طولی در نواحی تکیه‌گاهی شود. مطالعات نظری نشان می‌دهد کشش‌ها در نواحی انتهایی می‌تواند بسته به بسیاری عوامل تا ٪ ۶۰± و بارهای قائم در تکیه‌گاه‌ها تا ٪ ۳۰± تغییر نماید. سنجش‌ها در خطوطی واقعا دچار پدیدهٔ رقصانی شده‌اند نشان داده است که تغییرات کشش در نواحی انتهایی، بین ٪ ۸۰ تا ٪ ۱۴۰ کشش ایستا است. لازم به ذکر است در صورتی که نقطه تکیه‌گاهی صلب باشد، بازه تغییرات بارهای قائم در این نقاط که مورد سنجش واقع می‌شود همان مقدار تغییرات کشش است که ممکن است قابل مشاهده نباشد. این بارهای قائم و کششی ممکن است موجب ایجاد شکست در دکل یا یک جزء سازه‌ای مانند برق‌گیرهای کابل محافظ[3] شود. برای روش‌های علاج‌بخشی پدیده رقصانی کابل به زیربند 3.5.2 راهنمای ASCE MOP 74 [15] مراجعه شود.

ح-۱۱ بار زلزله

ح-۱۱-۱ ملاحظات کلی

دکل‌های انتقال نیرو عموماً نیازی به طراحی در برابر جنبش‌های سهمگین زمین به هنگام رخداد زلزله ندارند زیرا به لحاظ تاریخی ثابت شده است که دکل‌های انتقال برق دارای عملکرد مناسبی از دیدگاه لرزه‌ای هستند. دهه‌ها تجربه در خصوص اجرا و بهره‌برداری انواع دکل انتقال نیرو بیانگر این حقیقت است که آسیب‌های ناچیزی به دکل‌های انتقال نیرو پس از رخداد یک زلزله وارد آمده است. مدل‌سازی رایانه‌ای دو نوع دکل مشبک فولادی و دکل لوله‌ای فولادی نشان داده است که بارگذاری‌های سازه‌ای ناشی از باد حدی، یخ و بارهای کششی نامتوازن کابل، آثاری فراتر از بارهای ایجاد شده به هنگام زلزله ایجاد می‌کند. خطوط انتقال نیرو دارای سامانهٔ سازه‌ای پیچیده‌ای مرکب از دکل‌ها، خطوط بالاسری و مقرّه‌ها است. انواع

1- Flashover
2- Clashing
3- Ground Wire Mast

متنوع دکل و ارتفاع متفاوت آن‌ها، طـول اسپن‌های متفاوت و فلش‌های متغیر همـراه با مقرّه‌های انعطاف‌پذیر در طول خط، منـجر به ایجـاد اختلاف قابل توجه میان بسامدهای طبـیعی غالب نوسان بین دکل‌ها و کابل‌ها می‌شود. مزیت این سامانهٔ سازه‌ای، جـرم نسبتاً پایین دکل‌ها و قابلیت استهلاک انرژی دینامیکی نسبتاً بالای کابل‌ها است. شکست دکل‌ها به هنگام رخداد زلزله عمدتاً یا به هنگام نصب دکل (کامل نشـدن سازه) و یا به علت آثار ژئوتکنـیکی مانند زمیـن‌لغـزش، روانـگرایی و گسـترش جانبـی بوده است. بنـابراین منظـور کردن بارهای اینرسی ناشی از زلزله در طـراحی دکل‌های انتقـال نیرو معمولاً حاکم نیست. بارهای حـدی متـداول مطـرح شده در این پیوسـت، برای تعیین ظرفیت سـازه‌ای و علاج‌بخشی آثار بارهای اینرسـی لرزه‌ای کفایت می‌کند. در صورتی که به هر دلیل نیاز باشـد آثار لرزه‌ای در طراحی خط انتقال منظور شود، زیربنـدهای بعد باید مورد توجـه واقع می‌شود. به‌منظور تعیین وضعیت لـرزه‌خیـزی منطقه و برآورد شـتاب مبنای طرح و یا طیف پاسـخ طـرح، باید به منبع [2] مراجـعه کرد. در صـورت نیاز به انجـام مطالعات تحلیـل خطر لرزه‌ای ویژهٔ ساختگاه، می‌توان از منبع [73] استفاده کرد.

ح-۱۱-۲ مخاطرات لرزه‌ای

ح-۱۱-۲-۱ ملاحظات کلی

خطوط انتقال برق، سامانه‌های سازه‌ای پیوسـته طویـلی هسـتند که ممکن است در معرض مخاطرات لرزه‌ای متنوعی در مسیر آن قرار گیرند. با آنکه بارهـای لرزه‌ای در طـراحی دکل‌های انتقال نیرو عموماً تعیین‌کننده نیست، اما آسیب سـازه‌ای ناشی از زلزله عمدتاً در نتیجه تخریب زمین در نزدیکی دکل رخ می‌دهد. به هنگام طراحی یک خط انتقال در مناطق لرزه‌خیز، بایـد مخاطرات زیر برای به حـداقل رسـاندن آسیب‌های سازه‌ای مدنظر طراح قرار داده شود.

ح-۱۱-۲-۲ بارهای لرزه‌ای ایجاد شده در دکل‌ها ناشی از جنبش شدید زمین

سازهٔ سامانهٔ انتقال نیرو جزیی از سـامانه خط انتـقال است که شـامل دکل و کابـل‌های نگهدارنده متصل با مقرّه‌ها می‌شود. پیچیدگی این سـامانه می‌تواند با انـواع مخـتلف دکـل، ارتفـاع، پیـکربنـدی پایـه، طـول اسـپن‌ها، فلـش، پیـکربندی‌های کابـل، آرایش مقرّه‌ها و نـوع پوشـش زمیـن متغـیر باشـد. برای درک بار اینرسـی ناشـی از زلـزله روی یک دکـل انتـقال نیـرو، این پارامتـرها باید در مدل اجزای محدود سـازه‌ای سامانهٔ خط انتـقال به‌منظـور تعیین بار اینـرسـی معادل زلـزله منظور شود. این نوع تحلیـل تفصیلی عموماً انجـام نمی‌پذیـرد زیرا در گذشـته شکسـت‌های سـازه‌ای قابـل توجـه ناشی از زمیـن‌لرزه رخ نداده است. در پیکربندی‌های نامتعارف و یا مصالح اجزای سـازه‌ای دکـل‌ها، نیاز به بررسی بارهای اینرسی ناشی از زلزله باید مدنظر قرار داده شود.

ح-۱۱-۲-۳ گسیختگی خاک و جابه‌جایی زمین

سازه‌های سـاخته شده در امتداد یک گسـل فعـال لرزه‌زا، ممکن است در اثر جابه‌جایی دایمی زمین به علت گسلش آسیب ببینند. فلش و لقی کافـی هادی، نوع مقرّه و پیـکربندی باید برای تحمـل جابه‌جایی‌های افقی بزرگ در خطوط انتقال عبورکننده از ناحیهٔ گسلی (به ویژه با سازوکار امتدادلغز) مدنظر طراح قرار داده شود.

ح-۱۱-۲-۴ روانگرایی

جنبش لرزه‌ای می‌تواند موجب فرونشست زمین (نشست و گسترش جانبی) تحت وضعیت مشخص خاک و تراز آب زیرزمینی شود. برخی از انواع خاک دارای قابلیت روانگرایی هستند و می‌توانند موجب شوند به هنگام رخداد زلزله، نشست نامتقارن شالوده و یا جابه‌جایی افقی زیاد ایجاد شود که ممکن است موجب آسیب یا شکست سازه‌ای شود.

ح-۱۱-۲-۵ زمین‌لغزش

جنبش زمین می‌تواند موجب لغزیدن خاک زیر شالودهٔ سازه و یا لغزش سنگ‌ها و ریزش آن‌ها به سمت سازه و برخورد با دکل‌های خط انتقال شود. باید وضعیت پوشش زمین و زمین‌شناسی در مسیر خط انتقال برای تعیین قابلیت این مخاطرات مدنظر طراح قرار داده شود.

ح-۱۱-۳ مکان‌یابی و ارزیابی ژئوتکنیکی

طراحی لرزه‌ای یک خط انتقال معمولاً به ارزیابی مخاطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای ساختگاه در امتداد مسیر خط محدود می‌شود. مطالعات ژئوتکنیک برای یک پروژه مشخص باید شامل ارزیابی نواحی مستعد روانگرایی و زمین‌لغزش همراه با شناسایی نواحی دارای استعداد گسلش سطحی باشد. در صورتی که فعالیت لرزه‌ای در امتداد یک خط انتقال نیرو محتمل باشد، یک زمین‌شناس یا مهندس ژئوتکنیک واجد شرایط آشنا با وضعیت لرزه‌خیزی ساختگاه باید کل مسیر پروژه را مورد بازدید قرار دهد تا اطلاعات لازم برای مسیریابی خط فراهم شود.

ح-۱۲ ترکیب‌های بارگذاری و ضرایب بارها

در این پیوست، پیشنهاد می‌شود حداقل از ضرایب بار به این شرح استفاده شود:

- **کلیه بارهای مربوط به آثار آب و هوایی (بار باد، یخ و آثار دما):**
  ضریب برابر با ۱٫۰ (لازم به ذکر است، بسته به اهمیت خط انتقال نیرو، می‌توان از دورهٔ بازگشت متناسب و ضرایب تبدیل مربوطه استفاده کرد)
- **بارهای حین ساخت و بارهای عملیات تعمیر و نگهداری:**
  ضریب برابر با ۲٫۰
- **بارهای دایمی:**
  شامل وزن اجزای سازه‌ای دکل، وزن تجهیزات متکی بر سازه دکل): ضریب برابر با ۱٫۰
- **بارهای قانونی:**
  از ضرایب توصیه‌شده در مراجع معرفی شده ذی‌صلاح قانونی استفاده شود.

در جدول ح-۳ ضرایب پیشنهادی بارهای مطرح شده در این پیوست به‌صورت تفصیلی ارائه شده است.

جدول ح-۳- ضرایب بارها در حالات بارگذاری مختلف وارد بر دکل‌های انتقال نیرو [15]

حالت بار پیشنهادی	زیربندهای منبع [15]	شرایط آب و هوایی	ضرایب بار پیشنهادی		
			طولی	عرضی	قائم
بارهای ایمنی خط - روش RSL؛ - روش EPRI؛ - روش BPA؛ - روش BWL.	3.1.4		به Appendix I راهنمای ASCE MOP 74 [15] مراجعه شود		
بارهای نصب دکل	3.2.2	-	۱٫۵	۱٫۵	۱٫۵
بارهای نصب کابل - بارهای کشش کابل در دکل سنگین[1]؛ - بارهای کابل سالم در دکل مستقیم[2]؛ - بارهای بلوک مرزی[3].	3.2.3.1 3.2.3.2	پایین‌ترین دمای محیطی پیش‌بینی شده در هنگام نصب؛ فشار باد برابر با ۰٫۱۵ kPa	۱٫۵ ۱٫۵ ۲٫۰	۱٫۵ ۱٫۵ ۲٫۰	۱٫۵ ۲٫۰ ۲٫۰
بارهای تعمیر و نگهداری	3.2.4	پایین‌ترین دمای محیطی پیش‌بینی شده در هنگام نصب؛ فشار باد برابر با ۰٫۱۵ kPa	۲٫۰	۲٫۰	۲٫۰
بارهای دسترسی و جلوگیری از سقوط افراد	3.3	-	۱٫۵	۱٫۵	۱٫۵
ارتعاش دکل ناشی از باد	3.4	Appendix E راهنمای ASCE MOP 74 [15] ملاحظه شود			
پدیده رقصانی کابل ناشی از باد	3.5	-	-	-	-
بارهای ناشی از زلزله	3.6	-	-	-	-

1- Snub
2- Tangent
3- Bound block

پیوست خ

(الزامی)

دکل‌های مخابراتی و آنتن‌ها

خ-۱ کلیات

در این پیوست، حداقل بارهای وارد بر دکل‌های مخابراتی شامل سازه‌های خودایستا[1] (دکل‌های خرپایی[2])، دکل‌های مهارشده[3]، طره‌های گرد[4] (تک‌پایه)، آنتن‌ها و نگهدارنده آن‌ها[5] ارائه می‌شود. منبع پیشنهادی در این پیوست برای طراحی دکل‌های مخابراتی و آنتن‌ها، استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] است. برای طراحی سازه‌های نگهدارنده توربین‌های بادی کوچک نیز می‌توان به استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] مراجعه کرد.

معیارهای طراحی در این پیوست برای طراحی اجزای فولادی دکل‌های مخابراتی و آنتن‌ها طبق استاندارد AISC 360 و طراحی مبتنی بر حالات حدی استوار است. همچنین برای طراحی عناصر بتن‌آرمه باید به استاندارد ACI 318 مراجعه شود. ضوابط موجود در این پیوست مربوط به آنتن‌ها و سازه‌های نگهدارنده آنتن‌ها برای معیارهای بارگذاری مبتنی بر احتمالات سالانه است و مناطق با شرایط و یا ساختگاه‌های ویژه را شامل نمی‌شود.

در این پیوست، طراحی دکل‌های مخابراتی برای دو حالت حدی مقاومت و بهره‌برداری انجام می‌شود. انتخاب روش تحلیل، شامل مسائل مربوط به پایداری، انطباق هندسی و ویژگی‌های مصالح بر اساس Section 3 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] انجام می‌شود.

خ-۲ تعاریف

خ-۲-۱ سازهٔ نگهدارنده آنتن

antenna supporting structure

سازه‌ای شامل ادوات مهار و زیرسازه‌ای که آنتن‌ها یا آرایه‌هایی از آنتن‌ها را نگهداری می‌کند.

خ-۲-۲ مقاومت طراحی، ϕR_n

design strength

حاصل‌ضرب مقاومت اسمی در ضریب کاهش مقاومت است.

1- Self-support structures
2- Lattice tower
3- Guyed mast
4- Cantilevered tubular pole (mono pole)
5- Antenna mount

خ-۲-۳ بار ضریب‌دار

factored load

حاصل ضرب بار اسمی در ضریب افزایش‌دهنده بار است.

خ-۲-۴ حالت حدی

limit state

وضعیتی که فراتر از آن، یک سازه یا یک عنصر سازه‌ای از بهره‌برداری خارج می‌شود و به لحاظ ایمنی یا عملکردی قادر به انجام کارکرد مدنظر در طراحی نخواهد بود.

خ-۲-۵ آثار بار

load effect

پاسخ‌های نیرویی یا تغییرشکلی در سازه‌ها و اعضای آن‌ها تحت بارهای ضریب‌دار است.

خ-۲-۶ ضریب بار، α_i

load factor

ضریبی برای منظور کردن میزان انحراف از بار واقعی نسبت به بار اسمی و برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در تحلیل است که بار را به آثار بار تبدیل می‌کند و برای احتمال آنکه بیش از یک بار حدی به‌طور همزمان رخ دهد در نظر گرفته می‌شود.

خ-۲-۷ بارهای اسمی

nominal load

مقادیر بار مشخص‌شده در این پیوست که شامل بارهای مرده، باد، یخ، باد وارد بر یخ، زلزله و بار تجهیزات کار و صعود است.

خ-۲-۸ مقاومت اسمی، R_n

nominal strength

ظرفیت یک سازه یا یک عنصر سازه‌ای برای تحمل آثار بارها است.

خ-۲-۹ مقاومت مورد نیاز، $\sum \alpha_i Q_i$

required strength

مجموع آثار بارها ناشی از بارهای ضریب‌دار و ترکیبات بارگذاری است.

خ-۲-۱۰ ضریب مقاومت، ϕ

strength factor

ضریبی است برای منظور کردن حالت و عواقب شکست و برای در نظر گرفتن انحرافات غیر قابل اجتناب از یک مقاومت اسمی محاسباتی.

خ-۲-۱۱ طراحی به روش مقاومت

strength design

یک روش طراحی برای تناسب عناصر سازه‌ای است به گونه‌ای که نیروهای محاسباتی ایجادشده در اعضا تحت بارهای ضریب‌دار از مقادیر مقاومت طراحی عناصر فراتر نروند.

خ-۲-۱۲ آنتن سازه‌ای

structural antenna

سازه‌ای برای دریافت یا ارسال امواج رادیویی شامل بازتاب‌دهنده[۱]، جهت‌دهنده[۲] و صفحه نمایش[۳] است.

خ-۳ رده‌بندی خطرپذیری و ضرایب اهمیت

دکل‌ها از دیدگاه خطرپذیری به چهار رده طبقه‌بندی می‌شوند که این رده‌ها در جدول خ-۱ آمده است. متناظر با هر رده، ضرایب اهمیت برای بارهای باد، یخ و زلزله در آن جدول بیان شده است که این ضرایب بر اساس خطرپذیری برای جان افراد و آسیب به تأسیسات در صورت بروز حوادث و کاربری دکل‌ها تنظیم شده‌اند. در صورتی که تأسیسات اطراف دکل دارای رده خطرپذیری بالاتری نسبت به دکل باشند و احتمال آسیب‌دیدگی آن‌ها ناشی از رخداد حادثه برای دکل وجود داشته باشد، ردهٔ خطرپذیری دکل باید بر اساس خطرپذیری تأسیسات مجاور دکل تعیین شود. چنانچه تأسیسات مجاور دکل در معرض آسیب ناشی از دکل قرار نداشته باشد، ردهٔ خطرپذیری دکل نباید بر اساس خطرپذیری تأسیسات مجاور تعیین شود.

یادآوری- اگر دکل برای خدمات تجاری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد می‌توان ردهٔ خطرپذیری آن را ۲ انتخاب کرد به شرطی که برای نگهداری آنتن، تجهیزات رادیویی یا سایر متعلقات برای آتش‌نشانی، پلیس یا سایر خدمات ارتباط اضطراری به‌کار رود و موقعیت آن به‌گونه‌ای نباشد که از سوی کارفرما یا ارائه‌دهنده خدمات مورد اشاره، جزئی از یک شبکه امن[۴] تلقی شود.

خ-۴ آثار حرارت، T_i

کشش طراحی کابل‌های مهارکننده[۵] باید بر اساس دمای اولیهٔ $16\ ^{\circ}C$ صورت پذیرد. در نبود داده‌های ساختگاهی دقیق، یک کاهش $28\ ^{\circ}C$ دما باید برای ترکیب‌های بارگذاری شامل یخ مدنظر قرار گیرد.

1- Reflector
2- Director
3- Screen
4- Hardened network
5- Guys

جدول خ-۱- ردهٔ خطرپذیری و ضریب اهمیت دکل‌های مخابراتی به ترتیب برای بار باد، I_w، بار یخ، I_c و زلزله، I_e

ردهٔ خطرپذیری	کاربری دکل	I_w	I_c	I_e
۱	**دکل‌هایی که کاربری یا موقعیتشان موجب خطرپذیری یا آسیب اندک به افراد و تأسیسات اطراف به هنگام رخداد واژگونی یا شکست خواهد شد.** این دکل‌ها برای خدمات غیر اضطراری (دارای جایگزین) مورد استفاده قرار می‌گیرند و تأخیر قابل توجه در بازیابی آن‌ها قابل پذیرش است. از جمله این دکل‌ها می‌توان به آنتن‌های شبکه بی‌سیم دارای جایگزین، شبکه‌های رادیویی کم توان (کم سلول)، دکل‌های نگهدارندهٔ تک جزئی که تعمیر یا جایگزینی سریع آن امکان‌پذیر است، شبکه‌های کمکی که به هنگام تعمیر یا تعویض تجهیزات شبکهٔ اصلی در خدمت قرار می‌گیرند، شبکه‌های ارتباطی بی‌سیم محلی معمولی دو طرفه، گیرنده‌های رادیویی و تلویزیونی، کابل بی‌سیم، ارتباطات رادیویی شهروندی و آماتوری	۰٫۸۵	غیرقابل کاربرد	غیرقابل کاربرد
۲	**دکل‌هایی که کاربری یا موقعیت آن‌ها موجب خطرپذیری یا آسیب متوسط به افراد و تأسیسات اطراف به هنگام رخداد واژگونی یا شکست خواهد شد.** این رده اساساً به خدمات غیر اضطراری (دارای جایگزین) یعنی خدماتی که با سایر ابزارها قابل تأمین است مرتبط خواهد بود از جمله: ارتباطات بی‌سیم تجاری (شبکه‌های سلولی، سامانه‌های کنترل فرایندی ،3G، LTE، 4G، 5G و ...)؛ شبکه‌های رادیو و تلویزیون همگانی، تلویزیون‌های کابلی (CATV)؛ ارتباطات ریزموج، محوطه‌هایی که از امنیت بالا برخوردار نیستند و برای ارتباطات موازی با ارتباطات اصلی پلیس، آتش‌نشانی و امدادرسانی و ... در خلال رخداد حوادث به کار می‌روند. این رده مربوط به دکلی است که در سه رده دیگر واقع نمی‌شود.	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰
۳	**دکل‌هایی که کاربری یا موقعیتشان موجب خطرپذیری یا آسیب زیاد به افراد و تأسیسات اطراف به هنگام رخداد واژگونی یا شکست خواهد شد.** دکل‌هایی که آسیب به آن‌ها موجب اختلال وسیع در زندگی روزمره مردم (مانند قطع برق، حمل و نقل، آب و ...) در صورت وقوع حادثه می‌شود. دکل‌های قرار گرفته در این رده، برای ارتباطات بین شبکه‌های فاقد جایگزین و امنیت بالا مانند پدافند غیرعامل، امداد و نجات، تأسیسات نظامی و ناوبری به‌کار می‌روند.	۱٫۱۵	۱٫۱۵	۱٫۲۵
۴	**دکل‌هایی که کاربری یا موقعیتشان موجب خطرپذیری یا آسیب قابل توجه به جامعه به هنگام رخداد واژگونی یا شکست خواهد شد.** این دکل‌ها در موقع بحران موجب تهدید کاربری یا اختلال در یکپارچگی تأسیساتی می‌شوند که از دیدگاه اهمیت و خطرزایی در ردهٔ چهارم واقع هستند.	۱٫۲۵	۱٫۲۵	۱٫۵۰

[1] Redundant wireless antennas
[2] Low-power radio access nodes (Small cell)
[3] Single-appurtenance supporting structures
[4] Citizen Band (CB)
[5] Community access television
[6] Microwave communications
[7] Redundant & hardened networks

خ-۵ بارهای دایمی

خ-۵-۱ بار مرده، D

وزن سـازه و متعلقات به‌جز کابل‌های مهار (شامل، سکوی کار، آنتن‌ها، خطوط انتقال، نردبان و ...) شامل این ردیف از بارها می‌شود. برای طراحی شالوده، بار مرده شامل وزن شالوده و وزن زیرسازهٔ دکل است.

خ-۵-۲ بار مرده کابل مهار، D_g

این بار شامل وزن همه کابل مهار شامل مهارها، اتصالات انتهایی و عایق‌ها (مقرّه‌ها)[1] است.

خ-۵-۳ بار مرده یخ، D_i

این بار شـامل وزن یخ پوشـیده شده روی دکل، مهارها و متعلقات است. در تعیین این بار، وزن مخصوص یخ برابر با $8{,}8\ kN/m^3$ فرض می‌شود.

خ-۶ بارهای باد و یخ

خ-۶-۱ تعاریف

خ-۶-۱-۱ متعلقات

appurtenances

اجزای متصل به دکل مانند آنتن، نگهدارنده آنتن، خطـــوط انتـقال، تجهیزات روشنایی و میله برق‌گیر، مسیر انتقال[2]، مجراها، ابزار صعود، سکوها، علائم، ابزار ضد صعود و ... است.

خ-۶-۱-۲ سرعت مبنای باد، V

basic wind speed

مشابه تعاریف صورت گرفته در بند ۱۳، این سرعت مبتنی بر تندباد ۳ s است که در تراز ۱۰ m سـطح زمین و در ردهٔ مواجـــههٔ C و برای یک دورهٔ بازگشت متناسب با رده خطرپذیـری سازه منظور می‌شود. این سرعت طبق جدول ۱۷ این استاندارد قابل تعیین است.

خ-۶-۱-۳ سرعت مبنای باد همراه با یخ، V_i

basic wind speed with ice

سرعت تندباد ۳ s هم‌زمان با ضخامت یخ طراحی در فاصلهٔ ۱۰ m از سطح زمین برای ردهٔ مواجههٔ C است.

1- Insulators
2- Conduits

خ-۶-۱-۴ ضخامت یخ طراحی، t_i

design ice thickness

ضخامت یکنواخت شعاعی یخ در تراز m ۱۰ سطح زمین برای ردهٔ مواجههٔ C برای یک دورهٔ بازگشت طراحی ۵۰۰ سال است.

خ-۶-۱-۵ بار باد طراحی، F_w

design wind load

نیروی ایستای معادل برای تعیین آثار بار باد است.

خ-۶-۱-۶ متعلقات گسسته

discrete appurtenance

عنصر الحاقی که به‌صورت یک بار متمرکز مدل می‌شود.

خ-۶-۱-۷ سطح تصویرشدهٔ مؤثر

effective projected area (EPA)

مساحت تصویرشدهٔ یک جسم ضرب در ضریب نیرو (یا ضریب پسا[1]) برای تعیین بارهای باد، سطح تصویرشدهٔ مؤثر خوانده می‌شود.

خ-۶-۱-۸ سراشیبی

escarpment

یک شیب تند که عموماً دو تراز یا دو ناحیه شیب‌دار را از هم جدا می‌کند (شکل ۲۳).

خ-۶-۱-۹ تپهٔ تخت

flat topped hill

سطح مرتفع با رویهٔ تخت، تپه تخت نام دارد.

خ-۶-۱-۱۰ خط‌الرأس تخت

flat topped ridge

به محل برخورد دو دامنه در بالادست گفته می‌شود.

خ-۶-۱-۱۱ یخ شفاف

glaze ice

تجمع یخ که دارای وزن مخصوص $8/8\ kN/m^3$ باشد.

1- Drag coefficient

خ-۶-۱-۱۲ ارتفاع سازه، h

height of structure

ارتفـاع دکل شامل تیرهای مشبک یا لوله‌ای مستقر بر دکل به جز میـله‌های روشنایی و متعلقات مشابه است.

خ-۶-۱-۱۳ تپه

hill

یک سطح وسیع که در کلیه راستاهای افقی دارای شیب نسبتاً یکسان است.

خ-۶-۱-۱۴ متعلقات خطی

linear appurtenance

عنصر الحاقی که به‌صورت بار گسترده مدل می‌شود.

خ-۶-۱-۱۵ خط‌الرأس

ridge

یک ناحیهٔ مرتفع امتدادیافته با شیب زیاد در دو راستای افقی است.

خ-۶-۱-۱۶ جزء الحاقی متقارن

symmetrical appurtenance

یک عنصر الحاقی است که در آن سطح تصویرشـدهٔ مؤثر (EPA) در تمامی راستاهای وزش باد به‌صورت ثابت فرض می‌شود.

خ-۶-۱-۱۷ فشار تابع سرعت باد، q_z

velocity pressure

یک فشار ایستای معادل برای تعیین بارهای باد (فشار مبنای باد) است.

خ-۶-۲ تعیین بار باد

خ-۶-۲-۱ ملاحظات کلی

دکل‌های مورد اشاره در این پیوست اغلب دارای شکل‌ها و همچنین پاسخ نامتعارف در برابر بار باد هستند. در این پیوست، ضوابطی برای تعیین آثار بزرگ‌نمایی بار باد ناشی از تندبادها در تشدید با ارتعاشات طولی باد در دکل‌های خودایستا و مهاردار بیان شده است. تعیین بار باد وارد بر دکل مخابراتی مطابق با گام‌های زیر است:

- تعیین سرعت مبنای باد بدون یخ، V و همراه با یخ، V_i و همچنین ضخامت یخ طراحی، t_i؛
- تعیین ضریب احتمال راستای باد، K_d طبق جدول خ-۷ این پیوست؛
- تشخیص رده مواجهه باد و ضریب فشار ناشی از سرعت باد، K_z طبق زیربند خ-۶-۲-۳؛
- تعیین ضریب عارضه‌نگاری، K_{zt} طبق زیربند خ-۶-۲-۴؛
- محاسبه ضریب افزایش سرعت باد برای دکل مستقر بر بام، K_s طبق زیربند خ-۶-۲-۵؛

- تعیین ضریب ارتفاع زمین، K_e طبق زیربند خ-۶-۲-۶؛
- تعیین ضریب اثر تندباد، G_h طبق زیربند خ-۶-۲-۷؛
- تعیین وزن یخ طراحی، t_d، متناسب با ضخامت مورد نظر طبق زیربند خ-۶-۲-۸؛
- تعیین نیروی باد طراحی طبق زیربند خ-۶-۲-۹.

خ-۶-۲-۲ تعیین سرعت مبنای باد و ضخامت یخ طراحی

مشابه آنچه در بند ۱۳ این استاندارد ذکر شد، سرعت مبنای باد برای طراحی دکل‌های مخابراتی نیز مبتنی بر تندباد s ۳ است که از جدول ۱۷ قابل تعیین خواهد بود. ضخامت یخ طراحی نیز با توجه به بند ۱۲ این استاندارد قابل استخراج است. چنانچه ضخامت یخ طراحی از mm ۱۳ کوچک‌تر باشد می‌توان از اثر آن در محاسبات دکل‌های مخابراتی صرف‌نظر کرد.

خ-۶-۲-۳ ردهٔ مواجهه و ضریب فشار باد، K_z

برای انتخاب ردهٔ مواجههٔ سازه با باد از زیربند ۱۳-۶-۴ این استاندارد استفاده می‌شود. ضریب فشار باد، K_z، طبق جدول ۲۰ قابل تعیین است.

خ-۶-۲-۴ ضریب عارضه‌نگاری، K_{zt}

برای تعیین ضریب عارضه‌نگاری، K_{zt}، از زیربند ۱۳-۷-۲ این استاندارد استفاده می‌شود.

یادآوری- برای تعیین ضریب عارضه‌نگاری، می‌توان از روش‌های مندرج در Section 2 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] نیز استفاده کرد.

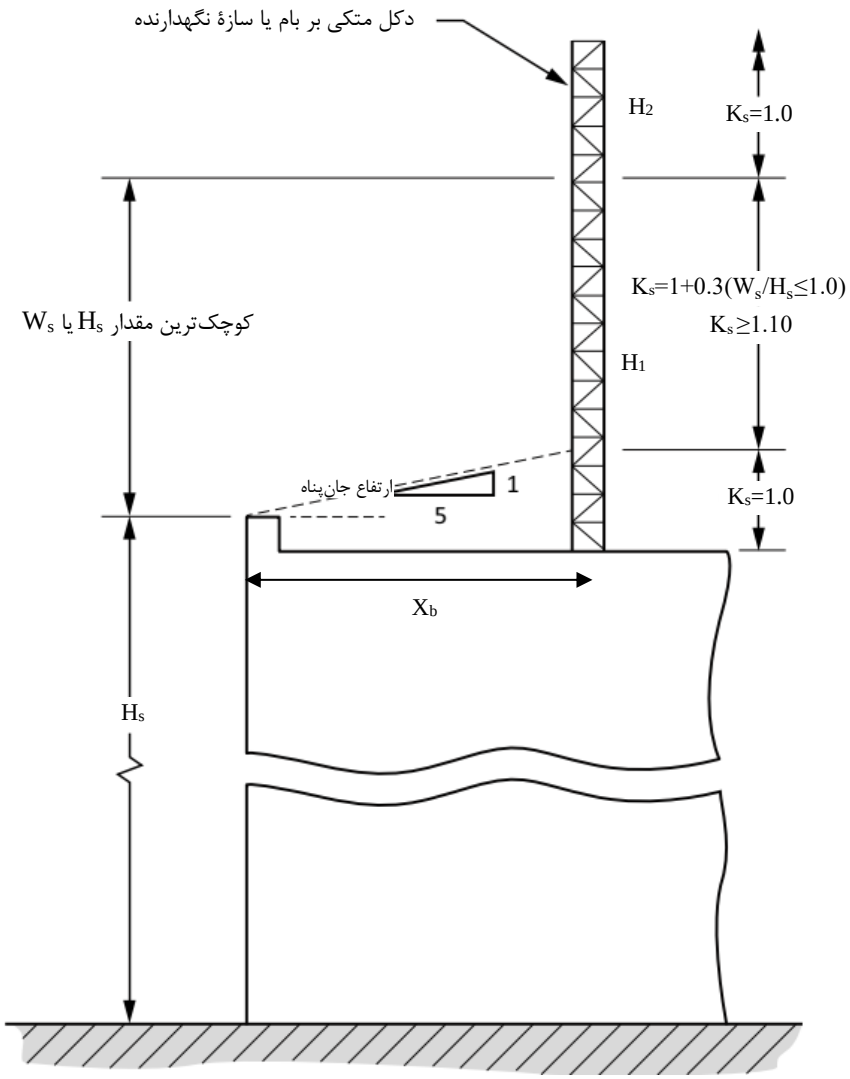
خ-۶-۲-۵ ضریب افزایش سرعت باد در دکل مستقر بر بام ساختمان، K_s

آثار افزایش سرعت باد برای نواحی فوقانی دکل، K_s، باید برای دکل‌ها یا متعلقات آن‌ها متکی بر ساختمان‌ها تحت شرایط زیر منظور شود:

- برای ساختمان با ارتفاع بزرگ‌تر از m ۱۵ که اطراف آن به‌صورت پیوسته در یک زاویهٔ $^\circ$ ۹۰ در پلان، باز است و توسط سایر ساختمان‌ها احاطه نشده باشد؛
- ساختمان، نسبت به میانگین ساختمان‌های اطراف در یک زاویهٔ $^\circ$ ۹۰ در پلان، m ۱۵ بلندتر باشد.

به جز مواردی که آثار افزایش سرعت باد با استفاده از آزمون‌های تونل باد یا سایر اطلاعات ویژه ساختگاه مورد بررسی قرار داده می‌شود، ضریب افزایش سرعت باد، K_s، باید به شرح زیر تعیین شود (به شکل خ-۱ مراجعه شود.):

$$\begin{cases} K_s=1.0 & \text{برای} \quad z_r < H_1 \\ K_s=1.0 + 0.3\,(W_s/H_s \le 1.0) \ge 1.10 & \text{برای} \quad H_1 \le z_r \le H_2 \\ K_s=1.0 & \text{برای} \quad z_r > H_2 \end{cases} \qquad \text{(خ-۱)}$$



شکل خ-۱- راهنما برای تعیین ضریب K_s

که در آن:

z_r ارتفاع بالاترین بخش سازه؛

H_1 ارتفاع جان‌پناه + $X_b/5$؛

H_s ارتفاع وجه رو به باد ساختمان؛

H_2 ارتفاع بالاترین بخش سازه + کوچک‌ترین دو مقدار H_s یا W_s؛

X_b فاصلهٔ افقی از وجه رو به باد تا مرکز دکل؛

W_s پهنای وجه رو به باد ساختمان است.

یادآوری ۱- برای اطلاعات بیشتر در خصوص آزمون تونل باد به زیربند ۱۳-۱۵ این استاندارد مراجعه شود.

یادآوری ۲- می‌توان مقدار K_s را بر اساس بزرگ‌ترین مقدار W_s ساختمان برای کلیه راستاهای وزش باد تعیین کرد و بزرگ‌ترین مقدار K_s را برای کل سازه به‌کار گرفت.

یادآوری ۳- ارتفاع بالای تراز زمین برای محاسبه K_z باید به عنوان مبنای تراز زمین ساختمان منظور شود.

خ-۶-۲-۶ ضریب تراز زمین، K_e

ضریب تراز زمین، K_e، طبق زیربند ۱۳-۸ و جدول ۱۹ این استاندارد تعیین می‌شود.

خ-۶-۲-۷ ضریب اثر تندباد، G_h

برای دکل‌های مخابراتی خرپایی فلزی با ارتفاع بزرگ‌تر از ۱۸۰ m، این ضریب را باید برابر با ۱٫۰ منظور نمود. برای دکل‌های با ارتفاع کوچک‌تر از ۱۳۵ m، مقدار این ضریب باید برابر ۰٫۸۵ فرض شود. در مقادیر بینابینی، باید درون‌یابی خطی انجام داد.

$$0.85 \le G_h = 0.85 + 0.15\left(\frac{h}{45.7} - 3.0\right) \le 1.00 \qquad (خ-۲)$$

که در آن:

h ارتفاع دکل است.

یادآوری ۱- برای دکل‌های متکی بر ساختمان‌ها، در تعیین ارتفاع سازه، h، نباید ارتفاع سازهٔ نگهدارنده منظور شود.

یادآوری ۲- ضریب اثر تندباد برای دکل‌های مهارشده باید برابر با ۰٫۸۵ فرض شود.

یادآوری ۳- در دکل‌های تک‌پایه[1]، ضریب اثر تندباد، G_h، را باید برابر با ۱٫۱۰ فرض نمود.

یادآوری ۴- برای طراحی مقاومتی و اتصالات دکل‌های لوله‌ای طره‌ای یا مشبک، دکل‌های تک‌پایه یا سازه‌های مشابه[2]، (با بسامد طبیعی کوچک‌تر از ۱٫۱ Hz) مستقر بر دکل‌های مهارشده، دکل‌های خودایستای خرپایی یا ساختمان‌های انعطاف‌پذیر (با نسبت ارتفاع به پهنای بزرگ‌تر از ۵)، ضریب اثر تندباد، G_h، باید برای دکل‌های مشبک برابر با ۱٫۱۰ و برای دکل‌های لوله‌ای برابر با ۱٫۳۵ منظور شود.

خ-۶-۲-۸ ضخامت یخ طراحی

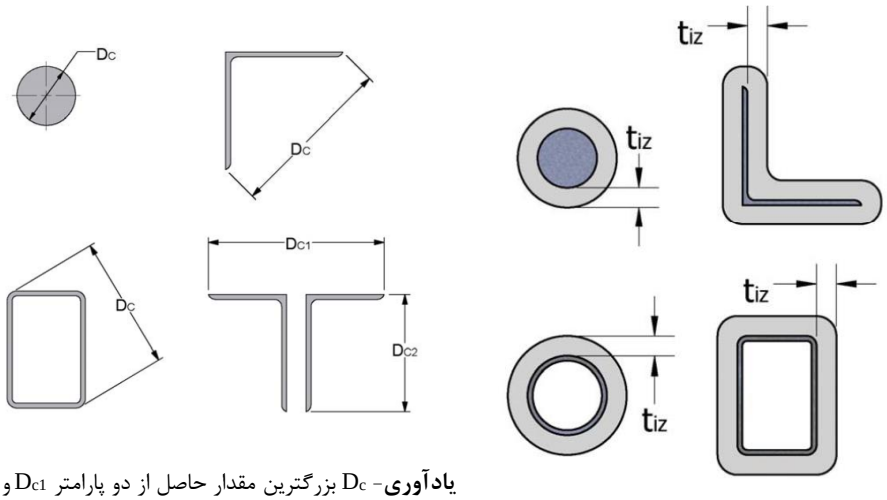
این ضخامت، t_{iz} طبق زیربند ۱۲-۲-۶ قابل تعیین است. برای محاسبه سطح تصویرشدهٔ اضافی به خاطر تشکیل یخ روی عناصر، ضخامت یخ باید به‌گونه‌ای لحاظ شود که یک ضخامت یکنواخت اطراف عناصر سازه، مهارها و متعلقات مدنظر قرار داده شود (به شکل خ-۲ مراجعه شود).

سطح تصویرشدهٔ یخ را در لبهٔ عناصر تخت می‌توان مشابه آنچه در شکل خ-۲ نشان داده شده است گرد در نظر گرفت. سطح مقطع یخ را می‌توان مطابق با زیربند ۱۲-۲-۱ و رابطهٔ (۱۸) این استاندارد به‌دست آورد.

یادآوری- در محاسبهٔ ضخامت یخ طراحی، نباید ضریب افزایش سرعت باد دکل‌های مستقر بر بام، K_s را اعمال نمود.

1- Pole structures

2- Cantilevered tubular or latticed spines, poles or similar structures



یادآوری- D_c بزرگترین مقدار حاصل از دو پارامتر D_{c1} و D_{c2} است.

شکل خ-۲- سطح تصویرشدهٔ یخ اطراف مقاطع عناصر (راست)، ابعاد بیرون به بیرون در محاسبهٔ وزن یخ (چپ)

خ-۶-۲-۹ بار باد طراحی

خ-۶-۲-۹-۱ مؤلفه‌های بار باد

بار باد طراحی باید شامل مجموع نیروهای طراحی افقی باد اعمالی به سازه در راستای وزش باد و نیروهای باد طراحی وارد بر مهارها و متعلقات باشد. کلیهٔ متعلقات شامل آنتن‌ها، نگهدارنده‌ها[1] و خطوط باید همواره سالم باشند و متصل به سازه باقی بمانند. طراحی مقاومتی باید بر اساس راستاهایی از وزش باد صورت پذیرد که بیشترین آثار را ایجاد می‌کند. در مورد دکل‌های خرپایی، هر راستای باد نشان داده شده در جدول خ-۲ باید در هر وجه مدنظر باشد. نیروی افقی باد برای طراحی به روش مقاومت در مورد متعلقات و اتصالات آن‌ها به سازه‌های نگهدارنده باید با استفاده از ضریب اثر تندباد، G_h، برابر با واحد و یک ضریب احتمال راستای وزش باد، K_d، طبق جدول خ-۷ تعیین شود. هیچ‌گونه آثار سایه‌اندازی[2] ناشی از سازه نباید منظور شود. نیروی طراحی افقی باد برای طراحی به روش مقاومت در مورد سازهٔ طرهٔ لوله‌ای یا ستون فقراتی خرپایی یا سازهٔ مشابه مستقر بر یک دکل مهارشده، دکل خودایستای مشبک یا ساختمان انعطاف‌پذیر باید با استفاده از ضریب اثر تندباد، G_h، طبق زیربند خ-۶-۲-۷ و ضریب احتمال راستای وزش باد، K_d، طبق جدول خ-۷ برای سازهٔ طره‌ای تعیین شود.

یادآوری- ضریب احتمال راستای وزش باد، K_d، برای تعیین بار باد طراحی برای کل سازه، شامل بخش طره‌ای باید بر اساس نوع سازه نگهدارنده از جدول خ-۷ تعیین شود.

1- Mounts
2- Shielding

جدول خ-۲- ضرایب راستای باد

مقطع عرضی دکل	مربعی		مثلثی		
راستای باد	عمود	۴۵°	عمود	۶۰°	± ۹۰°
D_f	۱٫۰	1+0.75ε(1.2 max)	۱٫۰۰	۰٫۸۰	۰٫۸۵
D_r	۱٫۰	1+0.75ε(1.2 max)	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰

یادآوری ۱- راستای باد نسبت به خط عمود بر وجه سازه اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری ۲- پارامتر ε نسبت پوشیده بودن است.

نیروی باد طراحی کل، F_w طبق رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$F_W=F_{ST}+F_A+F_G \qquad (خ-۳)$$

که در آن:

F_{ST} بار باد طراحی وارد بر سازه مطابق با زیربند خ-۶-۲-۹-۲ این پیوست؛

F_A بار باد طراحی وارد بر متعلقات مطابق با زیربند خ-۶-۲-۹-۳ این پیوست؛

F_G بار باد طراحی وارد بر مهارها مطابق با زیربند خ-۶-۲-۹-۴ این پیوست است.

نیروهای باد طراحی، $F_{ST} + F_A$ برای یک دکل مشبک، لازم نیست از نیروی باد محاسباتی یک سازه با ضریب پوشش[1] برابر با ۱ (سطح پوشش کامل) به علاوه نیروی باد وارد بر متعلقات نصب‌شده در بیرون از مساحت تصویرشدهٔ سازه در راستای باد، بزرگ‌تر در نظر گرفته شود. برای دکل با پوشش بخشی و یا کلی وجه در تمام ارتفاع، کل بار باد طراحی، F_w، برای بخش پوشیده‌شده باید بر اساس شکل و نسبت ابعادی[2] پوشش و با استفاده از ضریب نیروی باد متعلقات، C_a، طبق جدول خ-۳ محاسبه شود.

خ-۶-۲-۹-۲ نیروی باد طراحی وارد بر دکل

بار باد طراحی وارد بر هر بخش دکل، F_{ST} از رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$F_{ST} = q_z\, G_h\, (EPA)_s \qquad (خ-۴)$$

که در آن:

F_{ST} نیروی باد افقی طراحی وارد بر سازهٔ دکل در راستای باد؛

q_z فشار ناشی از سرعت باد طبق زیربند ۱۳-۹ این استاندارد؛

G_h ضریب اثر تندباد طبق زیربند خ-۶-۲-۷ این پیوست؛

1- Solidity ratio
2- Aspect ratio

$(EPA)_s$ سطح تصویر شده مؤثر[1] سازهٔ دکل طبق زیربندهای خ-۶-۲-۹-۲-۱ تا خ-۶-۲-۹-۲-۳.

جدول خ-۳- ضرایب نیروی باد متعلقات، C_a

نوع عضو		نسبت ابعادی کوچک‌تر از ۲٫۵	نسبت ابعادی برابر با ۷	نسبت ابعادی بزرگ‌تر از ۲۵
		C_a	C_a	C_a
تخت		۱٫۲	۱٫۴	۲٫۰
جدارنازک مربعی یا مستطیلی		$1.2–2.8(r_s) \geq 0.85$	$1.4–4.0(r_s) \geq 0.9$	$2.0–6.0(r_s) \geq 1.25$
دایره‌ای	$C < 5.3$	۰٫۷	۰٫۸	۱٫۲
	$5.3 \leq C \leq 10.6$	$1.57/C^{0.485}$	$1.60/C^{0.415}$	$6.36/C^{1.0}$
	$C > 10.6$	۰٫۵	۰٫۶	۰٫۶

راهنما:

r_s نسبت شعاع گوشهٔ بیرونی به پهنای بیرونی عمود بر راستای باد؛

C پارامتری که برابر است با $(K_{zt}K_zK_e)^{0.5}(V)(D)$؛

V سرعت مبنای باد برای وضعیت بارگذاری مورد بررسی برحسب m/s؛

D قطر بیرونی تیردکل برای دکل‌های گرد و پهنای بیرونی گوشه تا گوشه برای چند ضلعی‌ها بر حسب m است.

در صورتی که شعاع گوشه بیرونی مشخص نباشد، r_s باید بر اساس شعاع گوشهٔ بیرونی مساوی ۲٫۲۵ برابر ضخامت اسمی جدارهٔ عنصر جدارنازک (HSS) تعیین شود.

نسبت ابعادی برابر است با نسبت کلی طول به پهنا در صفحهٔ عمود بر راستای باد (نسبت ابعادی مستقل از فاصلهٔ بین نقاط تکیه‌گاهی یک عنصر الحاقی خطی و همچنین طول بخش مورد نظر برای داشتن بار باد یکنواخت است).

یادآوری ۱- برای متعلقات استوانه‌ای، در صورتی که نامنظمی‌هایی مثل بال‌ها، آویزها و ... وجود داشته باشد، مساحت‌های تصویرشدهٔ مؤثر باید به این ترتیب محاسبه شود:

الف- در صورتی که $R_a \leq 0.1$ باشد، منظور نکردن سطوح تصویرشدهٔ نامنظمی‌ها مجاز است.

ب- اگر $0.1 < R_a \leq 0.2$ باشد، مقدار C_a، باید در ضریب $1.0+3(R_a–1.0)$ ضرب شود و منظور نکردن سطوح تصویرشدهٔ نامنظمی‌ها مجاز است.

پ- چنانچه $R_a > 0.2$ باشد یا به روشی دیگر برای هر مقدار R_a، مقدار C_a، باید جریان زیر بحرانی به کار رود. سطوح تصویرشدهٔ نامنظمی‌ها را باید جداگانه علاوه بر متعلقات با استفاده از ضرایب نیرویی مناسب منظور نمود.

R_a نسبتی از مجموع سطوح تصویرشدهٔ نامنظمی‌های هر دو سمت عنصر الحاقی (عمود بر راستای باد) به سطح تصویرشدهٔ عنصر الحاقی بدون نامنظمی‌ها برای بخش مورد بررسی است. در وضعیت یخزده، نیازی به‌منظور کردن ضخامت یخ در تعیین R_a نیست.

یادآوری ۲- برای متعلقات تخت، چنانچه نامنظمی‌هایی مثل بال‌ها، آویزها و ... وجود داشته باشد، سطوح تصویرشدهٔ نامنظمی‌ها باید به صورت جداگانه علاوه عنصر الحاقی با ضرایب نیروی مناسب مد نظر قرار داده شود با این استثنا که اگر R_a کوچک‌تر یا مساوی ۰٫۱ باشد، می‌توان از سطوح تصویرشدهٔ نامنظمی‌ها صرف‌نظر کرد.

یادآوری ۳- برای وضعیت یخزده، C_a باید بر اساس جریان زیربحرانی برای کلیهٔ مقادیر C تعیین شود.

یادآوری ۴- می‌توان از درون‌یابی خطی برای نسبت‌های ابعادی بینابینی استفاده کرد.

یادآوری ۵- ضرایب نیروی زیربحرانی را می‌توان به‌صورت محافظه‌کارانه برای هر مقدار C به‌کار برد.

1- Effective Projected Area (EPA)

خ-۶-۲-۹-۲-۱ سطح تصویر شدهٔ مؤثر دکل خرپایی

سطح تصویرشدهٔ اجزای سازه‌ای برای یک بخش[1] $(EPA)_s$ طبق رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$(EPA)_s=C_f[D_f\sum A_f+D_r\sum(A_rR_r)] \quad (خ-۵)$$

(خ-۶) برای دکل‌های با پلان مربع $C_f=4.0\varepsilon^2-5.9\,\varepsilon+4.0$

(خ-۷) برای دکل‌های با پلان مثلث $C_f=3.4\varepsilon^2-4.7\,\varepsilon+3.4$

(خ-۸) ضریب پوشیده بودن $\varepsilon=\frac{A_f+A_r}{A_g}$

A_f سطح تصویرشدهٔ اجزای تخت در یک وجه از بخش سازهٔ دکل؛

A_r سطح تصویرشدهٔ اجزای سازه‌ای گرد در یک سمت از بخش سازهٔ دکل شامل مساحت تصویرشدهٔ یخ؛ روی اجزای سازه‌ای تخت و دایره‌ای در یک وجه برای ترکیب‌های بار شامل بار یخ؛

A_g سطح ناخالص یک وجه در صورتی که کل وجه پوشیده باشد؛

D_f ضریب جهت باد برای اجزای سازه‌ای تخت طبق جدول خ-۲؛

D_r ضریب جهت باد برای اجزای سازه‌ای گرد طبق جدول خ-۲؛

R_r ضریب کاهش برای یک عنصر گِرد که برابر است با:

(خ-۹) برای همه شرایط یخبندان و $C < 5.3$ (جریان زیربحرانی)[2] $R_r=0.57-0.14\varepsilon+0.86\varepsilon^2-0.24\varepsilon^3\leq 1.0$

(خ-۱۰) برای همه شرایط یخبندان و $C > 10.6$ (جریان فوق بحرانی)[3] $R_r=0.36+0.26\varepsilon+0.97\varepsilon^2-0.63\varepsilon^3$

$$C=[K_zK_{zt}K_e]^{0.5}\,V\,D \quad (خ-۱۱)$$

K_z ضریب فشار ناشی از سرعت باد طبق جدول ۲۰؛

K_{zt} ضریب عارضه‌نگاری طبق زیربند ۱۳-۷-۲؛

K_e ضریب تراز زمین طبق زیربند ۱۳-۸ و جدول ۱۹؛

V سرعت مبنای باد برای وضعیت بارگذاری مورد بررسی برحسب m/s؛

D قطر بیرونی جزء سازه‌ای بدون یخ برحسب m است.

یادآوری ۱- مساحت تصویرشدهٔ اجزای سازه‌ای باید شامل مساحت تصویرشدهٔ ورق‌های اتصال در وجه یک بخش باشند.

1- Section
2- Subcritical flow
3- Supercritical flow

یادآوری ۲- هنگامی جزیی از سازه، به‌صورت گرد منظور می‌شود که از نیمرخ‌های گرد و لوله‌ای در جهت رو به باد و پشت به باد ساخته شده باشد (مقطع ناودانی و ورق خم شده به شکل U باید به عنوان اجزای تخت لحاظ شوند).

یادآوری ۳- نیازی به منظور کردن عناصر مهاربند در وجوه مجاور، داخل پلان و هیپ[1] در محاسبه مساحت تصویرشدهٔ اجزای سازه‌ای نیست.

یادآوری ۴- در وضعیت عدم وجود یخ، اگر $5.3 \leq C \leq 10.6$ باشد، می‌توان از درون‌یابی خطی برای تعیین R_r استفاده کرد. در وضعیتی که یخ وجود دارد، R_r باید بر اساس جریان زیر بحرانی در تمام مقادیر C تعیین شود.

یادآوری ۵- اگر ملحقات[2] اضافی مانند پیچ‌های گام[3] یا نامنظمی‌های قرار گرفته به فواصل منظم یا متعلقات خطی (مانند موج‌برها[4] یا خطوط تغذیه[5]) به عنصر گرد سازه‌ای متصل شوند، ضریب کاهش عناصر گرد، R_r باید به این صورت محاسبه شود:

الف- در صورتی که $R_a \leq 0.1$ باشد، می‌توان از مساحت تصویرشدهٔ ملحقات صرف‌نظر کرد.

ب- اگر $0.1 < R_a \leq 0.2$ باشد، R_r باید در $1.0+3(R_a - 0.1)$ ضرب شود و مساحت تصویرشدهٔ ملحقات قابل صرف‌نظر است.

پ- اگر $R_a > 0.2$ باشد یا به‌طور جایگزین برای هر مقداری از R_a، مقدار R_r برای جریان زیربحرانی باید به کار رود. سطوح تصویرشدهٔ ملحقات باید علاوه بر عضو سازه‌ای به‌طور جداگانه با استفاده از ضرایب نیروی متعلقات به‌طور مناسب منظور شود.

در جملات فوق، R_a برابر است با نسبت مجموع سطوح تصویرشدهٔ ملحقات روی هر دو وجه عضو سازه‌ای (عمود بر راستای باد) به سطح تصویرشدهٔ اعضای سازه‌ای ملحقات بخش مورد بررسی. در شرایط حضور یخ، نیازی به منظور کردن ضخامت یخ در تعیین مقدار R_a نیست.

یادآوری ۶- در حالتی که ملحقات مانند پیچ‌های گام، یا نامنظمی‌های قرار گرفته با فواصل یکسان یا متعلقات خطی (نظیر موج‌برها یا خطوط تغذیه) به یک عنصر تخت سازه‌ای متصل می‌شوند، سطوح تصویرشدهٔ ملحقات باید به‌صورت جداگانه با ضرایب مناسب نیروی عنصر سازه‌ای در نظر گرفته شود به‌جز مواقعی که $R_a \leq 0.1$ باشد که در آن صورت می‌توان از سطوح تصویرشدهٔ ملحقات صرف‌نظر کرد.

در تعیین مساحت تصویرشدهٔ مؤثر $(EPA)_s$ دکل‌های دارای پایه‌های خرپایی، این پایه‌ها باید به عنوان عناصر گرد معادل در نظر گرفته شوند. سطح تصویرشدهٔ مؤثر یک پایهٔ خرپایی[6] باید با R_r بر اساس جریان زیر بحرانی و ضرایب راستای باد، D_f و D_r (بیان‌شده در جدول خ-۲) برابر با ۱٫۰ تعیین شود. قطر عضو گِرد معادل باید با تقسیم کردن $(EPA)_s$ پایهٔ خرپایی بر مقدار ۱٫۲ برابر طول پایهٔ خرپایی تعیین شود. مساحت ناخالص، A_g، دکل باید بر اساس عرض کل دکل شامل عرض پایهٔ خرپایی و ضخامت یخ (در صورت وجود) درنظر گرفته شود. ضریب کاهش، R_r، برای عضو گرد معادل باید بر اساس جریان زیر بحرانی باشد.

1- Hip bracing
2- Attachments
3- Step bolts
4- Waveguide
5- Feed lines
6- Latticed leg structure

در شرایط بارگذاری شامل یخ، ضـــخامت یخ طراحی، t_{iz}، باید به‌طور یکنواخت پیرامون هر یک از اعضای پایهٔ خرپایی برای تعیین سطح تصـویرشـدهٔ مؤثر در نظر گرفته شـود (لازم نیست ضخامت یخ به عضو گرد معادل اضافه شود). وزن یخ باید با در نظر گرفتن هر یک از اعضای پایهٔ خرپایی طبق زیربند خ-۶-۲-۸ تعیین شود.

خ-۶-۲-۹-۲-۲ سطح تصویر شدهٔ دکل‌های گرد

سطح تصویرشدهٔ مؤثر مقاطع گرد $(EPA)_s$ بر اساس رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$(EPA)_s=C_f A_P \qquad (خ-۱۲)$$

که در آن:

C_f ضریب نیرو برای یک دکل گرد طبق جدول خ-۴ تا جدول خ-۶؛

A_p سطح تصویرشدهٔ واقعی مبتنی بر قطر بیرونی (برای اجزای دایره‌ای) و عرض بیرونی کنج تا کنج (برای چند وجهی) شامل ضخامت یخ برای ترکیب‌های بار شامل بار یخ است.

یادآوری- در نبود یک چیـدمان تفصیلی خط تغـذیه شامل شعاع خم هر خـــط، کمیـنه قطر یک دکل گرد نباید کوچک‌تر از قطری منظور شود که منجر به استفاده از ٪ ۴۵ سطح مقطع عرضی برای استقرار خطوط تغذیه داخلی شود.

خ-۶-۲-۹-۲-۳ نیروی باد و یخ یکنواخت وارد بر دکل

نیروی باد طراحی و ضخامت یخ وارد بر یک بخش از دکل باید بر اساس فشار ناشی از سرعت باد (فشار مبنا) و ضخامت یخ در میانهٔ ارتفاع هر بخش محاسـبه شود. طـول بخش در نظر گرفته‌شده برای فشار مبنای باد و ضخامت یخ یکنواخت نباید از مقادیر زیر فراتر رود:

الف- برای دکل‌های خرپایی تا حداکثر ۱۸ m؛

ب- برای دکل‌های تک‌پایه تا حداکثر ۶ m.

جدول خ-۴- ضرایب نیرو، C_f برای دکل‌های گرد با ملحقات خطی

C_f m/s.m	دایره‌ای	۱۸ وجهی	۱۶ وجهی	۱۲ وجهی	۸ وجهی
(زیر بحرانی) ۵٫۳ >	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲
(بینابینی) ۵٫۳ تا ۱۰٫۶	$6.36/(C)^{1.0}$	$3.97/(C)^{0.717}$	$3.72/(C)^{0.678}$	$2.10/(C)^{0.337}$	1.2
(فوق بحرانی) ۱۰٫۶ <	۰٫۶	۰٫۷۳	۰٫۷۵	۰٫۹۵	۱٫۲

$C=(K_{zt}K_zK_e)^{0.5}(V)(D)$

که در آن:

V سرعت مبنای باد برای وضعیت بارگذاری مورد بررسی برحسب m/s؛

D قطر بیرونی دکل تک پایه برای مقاطع گرد یا گوشه تا گوشه بیرونی در مقاطع چند ضلعی برحسب m.

ضرایب نیروی مندرج در جدول شامل آثار پیچ‌های گام می‌شود. هنگامی که متعلقات خطی نظیر پلکان‌ها، موج‌برها، coax، براکت‌ها یا سایر برآمدگی‌های متصل به شفت دکل تک پایه متصل است، سطوح تصویرشدهٔ آن‌ها باید به شرح زیر منظور شود (به شکل خ-۳ مراجعه شود):

یادآوری ۱- نیازی به منظور کردن ملحقات قرار گرفته به‌طور کامل در نواحی رو به باد یا پشت به باد نیست مگر آنکه این موضوع صراحتاً ذکر شده باشد. ملحقات یا بخشی از آن‌ها که بیرون از ناحیه رو به باد، پشت به باد یا نواحی جانبی قرار می‌گیرند باید به‌طور جداگانه با ضرایب نیروی متناسب با متعلقات منظور گردند و ضریب نیرو برای دکل تک‌پایه باید طبق یادآوری ۳ این جدول تعیین شود.

یادآوری ۲- برای ملحقات واقع در نواحی جانبی:

الف- در صورتی که $R_L \leq 0.2$ باشد، می‌توان از سطوح تصویرشدهٔ ملحقات صرف‌نظر کرد.

ب- چنانچه $R_L > 0.2$ باشد، سطوح تصویرشدهٔ ملحقات باید به طور جداگانه علاوه بر دکل با استفاده از ضرایب نیروی متعلقات منظور شود.

یادآوری ۳- ضرایب C_f ارائه شده در این جدول باید به این شرح مورد اصلاح قرار گیرد:

الف- در صورتی که $R_W \leq 0.2$ بوده و

۱- $R_L \leq 0.1$ باشد، نیازی به اصلاح C_f نیست؛

۲- $0.1 < R_L \leq 0.2$ باشد، C_f باید در ضریب $[1.0+3(R_L-0.1)]$ ضرب شود؛

۳- $R_L > 0.2$ باشد، یا به روش دیگر به ازای هر مقدار R_L، C_f برای جریان زیربحرانی باید به‌کار رود.

ب- در صورتی که $R_W > 0.2$ باشد، C_f برای جریان زیربحرانی باید به کار رود. علاوه بر آن، C_f باید در $[1.0+0.3125(R_W-0.2)]$ ضرب شود.

یادآوری ۴- برای وضعیت یخ‌زده، C_f باید بر مبنای جریان زیربحرانی برای کلیه مقادیر C به‌کار رود.

یادآوری ۵- در سایر مقاطع عرضی باید بر مبنای زاویهٔ محاطی هر ضلع، از درون‌یابی خطی بین مقادیر مندرج در جدول استفاده کرد. زاویهٔ محاطی برای یک مقطع دایره‌ای باید برابر با صفر منظور شود.

یادآوری ۶- ضرایب نیروی زیربحرانی باید بر اساس الزامات مقاومت خستگی در سازه‌های نگهدارندهٔ توربین‌ها طبق Section 17 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] مورد استفاده قرار گیرد.

R_W، نسبت مجموع سطوح تصویرشدهٔ هر یک از ملحقات تخت در ناحیه رو به باد به سطح تصویرشدهٔ دکل بدون ملحقات برای بخش مورد بررسی است. R_L نیز نسبت مجموع سطوح تصویرشدهٔ ملحقات گرد و تخت در هر دو ناحیه جانبی به سطح تصویرشدهٔ دکل بدون ملحقات برای بخش مورد بررسی است. سطوح تصویرشدهٔ دکل باید بر اساس میانگین قطر بیرونی دکل تک پایهٔ گرد و پهنای گوشه تا گوشه بیرونی در دکل‌های چند ضلعی برای بخش مورد بررسی تعیین شود. در وضعیت یخ‌زده، نیازی به منظور کردن ضخامت یخ در تعیین دو پارامتر R_W و R_L نیست.

جدول خ-۵- ضرایب نیرو، C_f برای دکل‌های لوله‌ای بدون ملحقات خطی

C_f m/s.m	دایره‌ای	۱۸ وجهی	۱۶ وجهی	۱۲ وجهی	۸ وجهی
(زیر بحرانی) ۵٫۳ >	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۲	۱٫۲
(بینابینی) ۵٫۳ تا ۱۰٫۶	$9.45/(C)^{1.29}$	$4.20/(C)^{0.804}$	$3.90/(C)^{0.759}$	$2.75/(C)^{0.498}$	۱٫۲
(فوق بحرانی) ۱۰٫۶ <	۰٫۴۵	۰٫۶۳	۰٫۶۵	۰٫۸۵	۱٫۲

$C=(K_{zt}K_zK_e)^{0.5}(V)(D)$

که در آن:

V سرعت مبنای باد برای وضعیت بارگذاری مورد بررسی برحسب m/s؛

D قطر بیرونی دکل تک پایه برای مقاطع گرد یا گوشه تا گوشه بیرونی در مقاطع چند ضلعی برحسب m.

یادآوری ۱- در وضعیت یخزده، C_f باید بر اساس جریان زیربحرانی برای کلیه مقادیر C تعیین شود.

یادآوری ۲- در سایر مقاطع عرضی باید بر مبنای زاویهٔ محاطی هر ضلع، از درون‌یابی خطی بین مقادیر مندرج در جدول استفاده کرد. زاویهٔ محاطی برای یک مقطع دایره‌ای باید برابر با صفر منظور شود.

یادآوری ۳- ضرایب نیروی زیربحرانی باید برای بررسی مقاومت خستگی به‌کار رود.

یادآوری ۴- ضرایب نیروی مندرج در این جدول را می‌توان برای دکل‌های تک‌پایه با پیچ‌های گام و یک کابل ایمنی در وضعیتی که هیچ ملحقات خطی دیگری وجود نداشته باشد به‌کار برد. پیچ‌های گام و کابل ایمنی را باید به‌صورت جداگانه علاوه بر دکل با استفاده از ضرایب نیروی مناسب برای متعلقات منظور نمود.

جدول خ-۶- کاهش ضرایب نیرو بر مبنای شعاع گوشه

زمانی که شعاع گوشهٔ بیرونی یک شکل چندضلعی مشخص باشد، ضریب نیرو، C_f، را می‌توان به کمک روابط زیر تعیین کرد:

$r_c \le r_m$, $C_f = C_{fm}$

$r_m < r_c < r_r$, $C_f = C_{fr}+(C_{fm}-C_{fr})(r_r-r_c)/(r_r-r_m)$

$r_c \ge r_r$, $C_f = C_{fr}$

که در آن:

r_c نسبت شعاع بیرونی به نصف پهنا بیرونی شکل چند ضلعی؛

r_m مقدار r_c پایینی به‌صورتی که هیچ کاهشی در C_f ناشی از شعاع گوشه اعمال نشده باشد (از جدول زیر)؛

r_r مقدار r_c بالایی که شکل به‌صورت گرد منظور می‌شود؛

C_{fm} ضریب نیرو برای چند ضلعی مطابق با جدول خ-۴ و جدول خ-۵ این پیوست؛

C_{fr} ضریب نیرو برای دایره با قطر بیرونی برابر با پهنای بیرونی شکل چند ضلعی طبق جدول خ-۴ و جدول خ-۵.

نسبت‌های شعاع گوشه برای ضرایب پسای کاهش‌یافته

شکل	r_m	r_r
۱۸ ضلعی	۰٫۲۱۷	۰٫۵۷۰
۱۶ ضلعی	۰٫۲۶۰	۰٫۶۲۵
۱۲ ضلعی	۰٫۵۰۰	۰٫۷۵۰
۸ ضلعی	۰٫۷۵۰	۱٫۰۰۰

یادآوری- زمانی که شعاع گوشه مشخص نیست، کاهش در C_f مجاز نخواهد بود.

خ-۶-۲-۹-۳ نیروی باد طراحی وارد بر متعلقات

خ-۶-۲-۹-۳-۱ ملاحظات کلی

نیروی باد طراحی وارد بر متعلقات (چه گسسته چه خطی به‌جز آنتن‌های موج کوتاه)، F_A باید بر اساس رابطهٔ زیر محاسبه شود:

$$F_A=q_z G_h (EPA)_A \qquad (خ-۱۳)$$

که در آن:

q_z فشار مبنای باد در ارتفاع مرکزی متعلقات طبق زیربند ۱۳-۹ این استاندارد؛

G_h ضریب اثر تندباد طبق زیربند خ-۶-۲-۷ این پیوست.

یادآوری- برای تعیین G_h در طراحی مقاومتی متعلقات به زیربند خ-۶-۲-۹-۱ مراجعه شود.

$(EPA)_A$ سطح تصویرشدهٔ مؤثر متعلقات همراه با یخ برای ترکیب‌های بار شامل بار یخ است.

نیروی طراحی باد، F_A باید به مرکز سطح تصویرشدهٔ مؤثر متعلقات در راستای باد وارد شود. برای متعلقات خطی، فشار مبنای باد و ضخامت یخ باید در طول، یکنواخت در نظر گرفته شود و نباید از طول تعیین‌شده در زیربند خ-۶-۲-۹-۲-۳ این پیوست فراتر رود.

در نبود داده‌های دقیق‌تر از مشخصات آنتن‌ها، نیروی باد طراحی وارد بر آنتن‌های موج کوتاه[1] باید بر اساس Annex C استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] تعیین شود.

در نبود داده‌های دقیق در مورد مقادیر سطح تصویرشدهٔ مؤثر برای هر جهت بحرانی باد، سطح تصویرشدهٔ مؤثر $(EPA)_A$ متعلقات باید از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$(EPA)_A=K_a\,[(EPA)_N \cos^2\theta + (EPA)_T \sin^2\theta\,] \qquad (خ-۱۴)$$

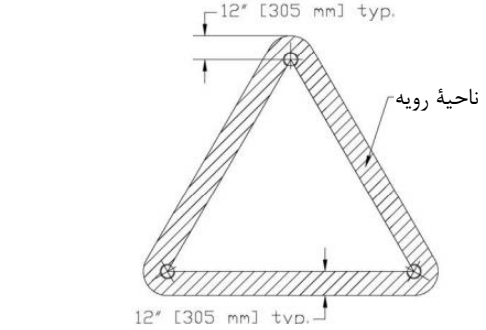
که در آن K_a:

- برابر با ۱٫۰ برای متعلقات گرد، فارغ از محل استقرار، زمانی که ضرایب نیروی انتقالی یا فوق بحرانی در نظر گرفته می‌شود.
- برابر با $1-\varepsilon$ برای متعلقات، زمانی که ضرایب نیروی زیر بحرانی منظور می‌شود و در حالتی که کل متعلقات در داخل مقطع عرضی دکل خرپایی قرار می‌گیرند یا آنکه کل متعلقات بیرون از مقطع و درون ناحیه وجه[2] تعریف‌شده در شکل خ-۳ در نظر گرفته شود. کمینه ضریب پوشش، ε با در نظر گرفتن هر وجه دکل برای بخشی است که شامل متعلقات است. نیازی به بزرگ‌تر منظور کردن K_a از ۰٫۶ نیست.
- برابر با ۰٫۸ برای آنتن‌ها و نگهدارنده آنتن‌ها که در بالای سازه قرار نگرفته باشند (فقط زمانی که ضرایب نیروی زیربحرانی درنظرگرفته شده باشد). مانند بازوی کناری، بازوی T شکل و غیره زمانی‌که بیش از ۳

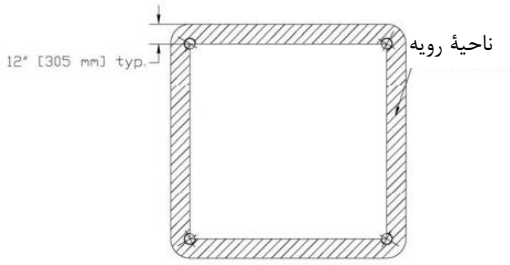
1- Microwave antennas
2- Face zone

نگهـدارندهٔ آنتن در یک تراز نسـبی قرار گرفته باشد. ســایه‌اندازی آنتن‌ها روی اعضـــای نگهدارندهٔ آنتن و سایه‌اندازی ناشی از استقرار نگهدارنده‌ها به‌جز موارد زیربند خ-۶-۲-۹-۳-۲ منظور نمی‌شود.

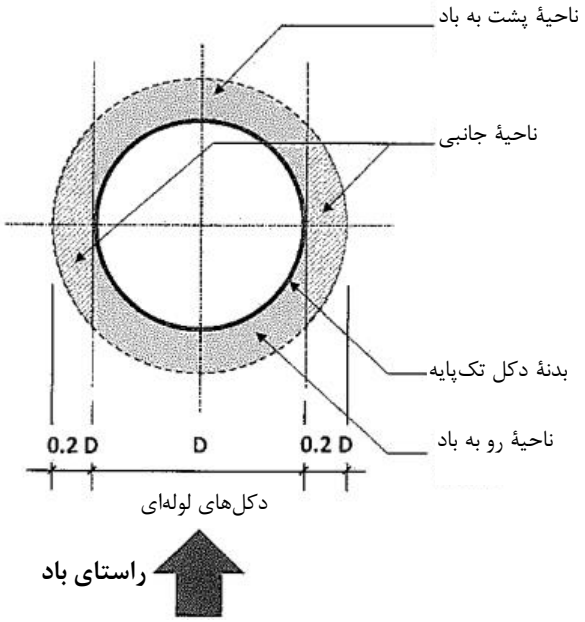
- و برابر با ۱٫۰ برای سایر متعلقات مگر اینکه مقدار دیگری در این زیربند مشخص شود.



مقطع عرضی مثلثی



مقطع عرضی مربعی



راهنما:

D قطر بیرونی برای دایره یا پهنای گوشه تا گوشه برای چند ضلعی‌ها

یادآوری- موقعیت رو به باد، جانبی و پشت به باد بستگی به راستای باد مورد بررسی دارد.

شکل خ-۳- نواحی پوششی برای متعلقات

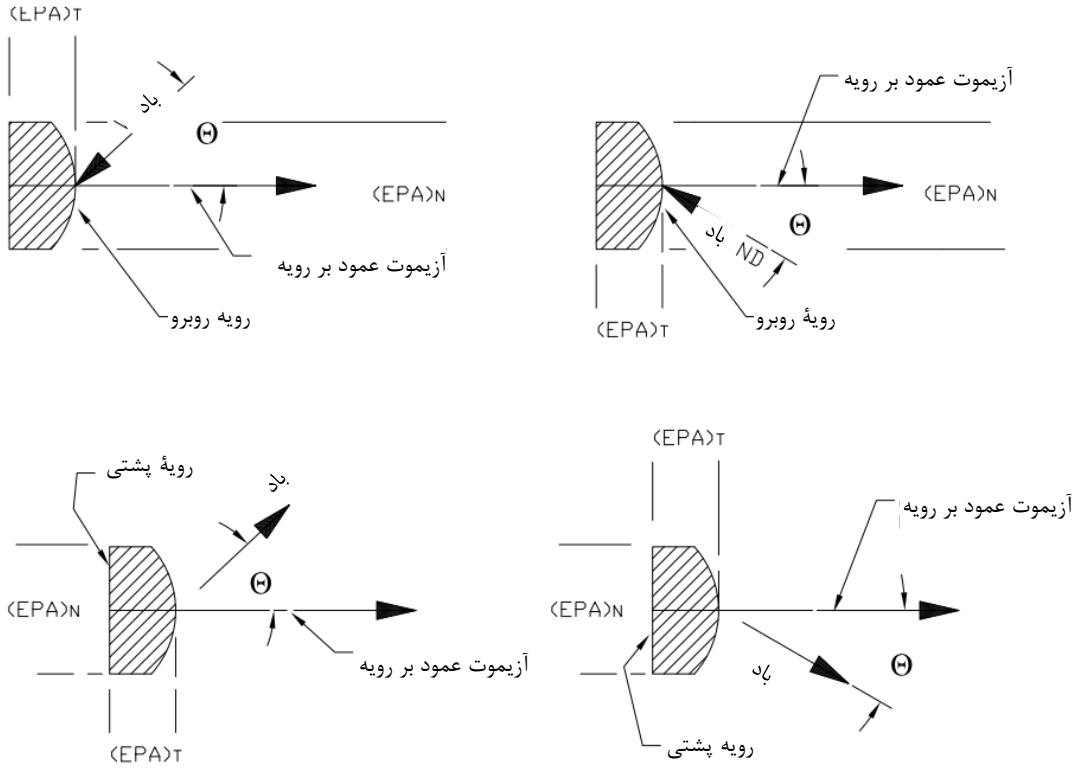
یادآوری ۱- K_a=1.0 را می‌توان برای هر کدام از متعلقات به صورت محافظه‌کارانه به کار برد.

یادآوری ۲- مقدار K_a برای تمامی راستاهای باد ثابت است.

یادآوری ۳- مقادیر K_a برای تعیین سطوح تصویرشدهٔ مؤثر برای تحلیل سازه‌های نگهدارنده در قاب‌های نگهدارنده[1]، سکوهای قابی/خرپایی[2]، تکیه‌گاه‌های کم ارتفاع[3] و سکوهای حلقوی گرد[4] طبق زیربندهای خ-۶-۲-۹-۳-۳ تا خ-۶-۲-۹-۳-۷ به‌دست می‌آید (مقادیر K_a برای تعیین سطوح تصویرشدهٔ مؤثر برای تحلیل و طراحی سامانه‌های تکیه‌گاهی متعلقات طبق فصل شانزدهم استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] تعیین می‌شود).

یادآوری ۴- ضرایب نیروی زیربحرانی برای هر مقدار C (طبق یادآوری ۵ جدول خ-۳) در ترکیب با مقادیر K_a<1.0 را می‌توان به‌صورت محافظه‌کارانه و مطابق با معیارهای تعریف‌شده فوق، به کار برد.

θ زاویهٔ نسبی میان آزیموت مربوط به وجه عمود بر متعلقات و راستای باد (به شکل خ-۴ مراجعه شود).



یادآوری- $(EPA)_N$ و $(EPA)_T$ بیانگر سطوح تصویرشدهٔ مؤثر متعلقات برای رویه‌های عمود بر باد و موازی با باد هستند

شکل خ-۴- نیروی باد وارد بر متعلقات

$(EPA)_N$ سطح تصویرشدهٔ مؤثر مربوط به وجه رو به باد عمود بر آزیموت متعلقات؛

$(EPA)_T$ سطح تصویرشدهٔ مؤثر مربوط به وجه جانبی متعلقات.

بزرگ‌ترین مقادیر $(EPA)_N$ یا $(EPA)_T$ را می‌توان به جای $(EPA)_A$ برای همه جهات باد به‌کار برد.

1- Mounting frames
2- Frame or truss platforms
3- Low profile mounts
4- Circular ring platforms

در نبود داده‌های دقیق، سطوح تصویرشدهٔ مؤثر متعلقات را می‌توان به‌صورت اجزای تخت و گرد به این صورت منظور کرد:

$$(EPA)_N=\sum(C_aA_a)_N \qquad (خ-۱۵)$$

$$(EPA)_T=\sum(C_aA_a)_T \qquad (خ-۱۶)$$

که در آن‌ها:

C_a ضریب نیرو طبق جدول خ-۳؛

A_a سطح تصویرشدهٔ مؤثر متعلقات. سطح تصویرشدهٔ اضافی ناشی از یخ باید به‌صورت یک جزء گرد برای ترکیب‌های بار شامل بار یخ لحاظ شود.

سطح ورق تخت معادل طبق ویرایش C استاندارد ANSI/TIA-222 [16] باید در یک ضریب نیرو، C_a، برابر با ۲٫۰ ضرب شود، مگر در مواردی که متعلقات فقط از اعضای گِرد تشکیل شده باشند، که در آن صورت می‌توان ضریب نیرو را برابر با ۱٫۸ منظور نمود.

خ-۶-۲-۹-۳-۲ لوله‌های نصب آنتن

سطح تصویرشدهٔ مؤثر یک لولهٔ نگهدارنده بالایی و پایینی بخش سایه‌افتادهٔ[1] لولهٔ نگهدارنده طبق زیربند خ-۶-۲-۹-۵ باید در عبارت $\sum(C_a\ A_a)_N$ با فرض $C_a=1.0$ لحاظ شود. سطح تصویرشدهٔ مؤثر کل لولهٔ نصب باید در عبارت $\sum(C_a\ A_a)_T$ با C_a به‌دست آمده از جدول خ-۳ این پیوست منظور شود.

خ-۶-۲-۹-۳-۳ سطح تصویرشدهٔ مؤثر برای قاب‌های تکیه‌گاهی

سطوح تصویرشدهٔ مؤثر مربوط به وجه رو به باد عمود بر آزیموت یک قاب نگهدارنده، $(EPA)_N$ باید از رابطهٔ زیر به‌دست آید:

$$(EPA)_N=(EPA)_{MN}+(EPA)_{FN} \qquad (خ-۱۷)$$

که در آن:

$$(EPA)_{MN}=\text{سطح تصویر شدهٔ قاب}=C_{as}(A_f+R_{rf}A_r) \qquad (خ-۱۸)$$

$$C_{as}=1.58+1.05(0.6-\varepsilon)^{1.8} \quad \text{برای} \quad \varepsilon\le 0.6 \qquad (خ-۱۹)$$

$$C_{as}=1.58+2.63(\varepsilon-0.6)^{2.0} \quad \text{برای} \quad \varepsilon>0.6 \qquad (خ-۲۰)$$

A_f سطح تصویرشدهٔ اجزای تخت قاب نگهدارنده است.

$$R_{rf}=0.6+0.4\varepsilon^2 \qquad (خ-۲۱)$$

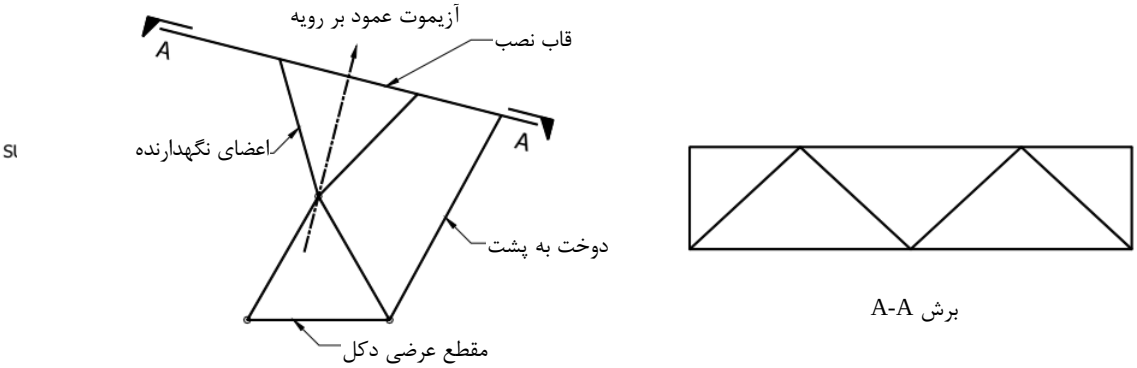
1- Shielded portion

ε نسبت پوشیده بودن قاب نگهدارنده بدون آنتن و لوله‌های نگهدارنده و برابر با $\varepsilon = (A_f + A_r)/A_g$؛

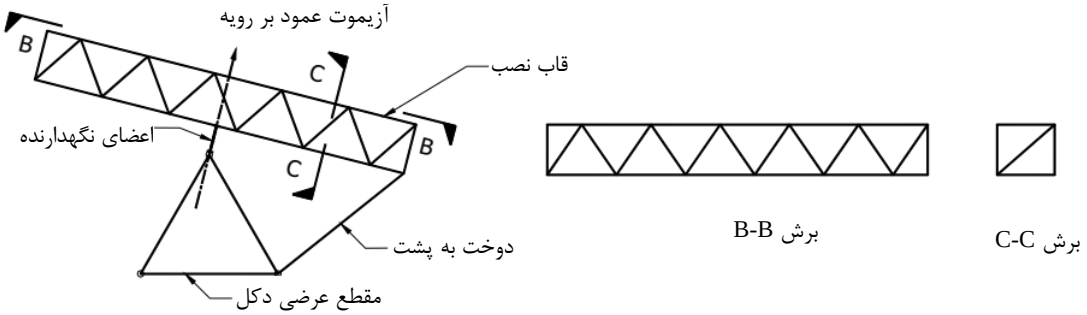
A_r سطح تصویرشدهٔ اجزای گرد قاب نگهدارنده؛

A_g مساحت ناخالص قاب که در صورت پوشیده بودن، با بزرگ‌ترین ابعاد بیرونی عناصر واقع در A_f و A_r تعریف می‌شود.

یادآوری- برای قاب‌های نگهدارنده خرپایی مربع یا مثلثی (طبق شکل خ-۵)، C_{as}، باید برابر با C_f طبق زیربند خ-۶-۲-۹-۲-۱ به‌دست آید.



قاب‌های نصب از نوع صفحه‌ای



قاب‌های نگهدارنده از نوع خرپایی

شکل خ-۵- قاب‌های نگهدارنده

$(EPA)_{FN}$ سطح تصویرشدهٔ مؤثر در صفحه‌ای به موازات وجه قاب تکیه‌گاهی همهٔ اعضای نگهدارندهٔ قاب تکیه‌گاهی و برابر با $0.5[2.0(\sum A_{fs})+1.2(\sum A_{rs})]$؛

A_{fs} سطح تصویرشدهٔ اجزای تخت قاب نگهدارنده بدون توجه به سایه‌اندازی یا اعضای هم‌پوشانی‌کننده[1]؛

A_{rs} سطح تصویرشدهٔ اجزای گرد قاب نگهدارنده بدون توجه به سایه‌اندازی یا اعضای هم‌پوشانی‌کننده است.

سطح تصویرشدهٔ مربوط به وجه رو به باد یک قاب نگهدارنده، $(EPA)_T$ باید از رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$(EPA)_T = (EPA)_{FT} + 0.5\sum(EPA)_{FTi} + 0.5\sum(EPA)_{MT} \quad (خ-۲۲)$$

که در آن:

$(EPA)_{FT}$ سطح تصویرشدهٔ مؤثر در صفحه‌ای عمود بر وجه قاب نگهدارنده از یک قاب یا خرپای نگهدارنده (اگر بیش از یکی وجود داشته باشد قاب/خرپای بزرگ‌تر مدنظر قرار می‌گیرد)؛

$(EPA)_{FTi}$ سطح تصویرشدهٔ مؤثر در صفحه‌ای عمود بر وجه قاب نگهدارنده از هر قاب یا خرپای اضافی قاب نگهدارنده؛

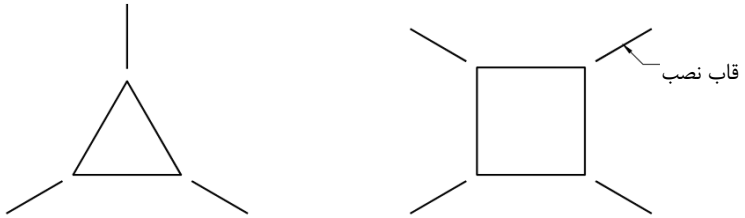
یادآوری- سطح تصویرشدهٔ مؤثر اعضای نگهدارنده قاب یا خرپا باید مطابق با رابطهٔ تعیین $(EPA)_{MN}$ به‌دست آید. به روش دیگر، یک ضریب پسا برابر با ۲٫۰ را می‌توان به اعضای تخت و یک ضریب پسا برابر با ۱٫۲ به اعضای گرد بدون توجه به اعضای سایه‌انداز یا هم‌پوشانی‌کننده اعمال نمود.

$(EPA)_{MT}$ سطح تصویرشدهٔ مؤثر، در صفحه‌ای عمود بر وجه قاب نگهدارنده از کلیهٔ اعضای قاب نگهدارنده و سایر اعضای نگهدارندهٔ متفرقه (نظیر عناصر دوخت به پشت[2]) بدون توجه به اعضای سایه‌اندازی یا هم‌پوشانی‌کننده با استفاده از یک ضریب پسا برابر با ۲٫۰ برای اعضای تخت و یک ضریب پسا برابر با ۱٫۲ برای اعضای گرد به‌دست می‌آید.

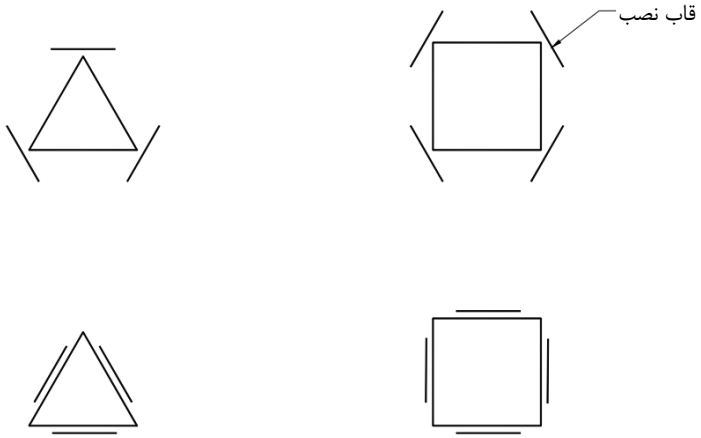
ضریب سایه‌اندازی، K_a، باید برابر با ۱٫۰ منظور شود، مگر در حالتی که سه یا بیشتر قاب نگهدارنده در یک تراز نسبتاً یکسان قرار گیرند که در آن صورت یک ضریب سایه‌اندازی ۰٫۸ را می‌توان به $(EPA)_N$ و $(EPA)_T$ قاب نگهدارنده اعمال نمود. چنانچه سه یا بیشتر قاب نگهدارنده در آرایشی مستقر شوند که منجر به ایجاد سایه روی دکل و سایر قاب‌های نگهدارنده شود (با توجه به شکل خ-۶)، ضریب سایه‌اندازی، K_a را می‌توان به ۰٫۷۵ کاهش داد. برای دکل نگهدارنده نباید سایه‌اندازی منظور شود.

آنتن‌ها و لوله‌های نصب متکی بر قاب‌های نگهدارنده را باید به‌صورت متعلقات کلی با استفاده از K_a برابر با ۰٫۹ منظور کرد مگر آنکه سه یا بیشتر قاب تکیه‌گاهی در ترازی نسبتاً یکسان مستقر شوند که در این صورت K_a برابر با ۰٫۸ فرض می‌شود.

1- Overlapping
2- Tieback



ضریب سایه‌اندازی، K_a، برابر با ۰٫۸ اعمال می‌شود (حداقل ۳ قاب تکیه‌گاهی مورد نیاز است)

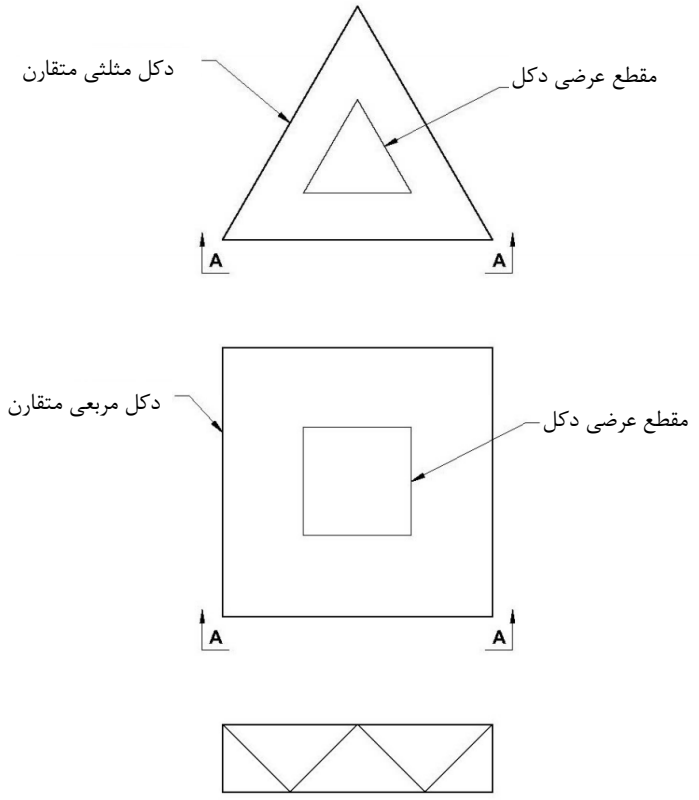


ضریب سایه‌اندازی، K_a، برابر با ۰٫۷۵ اعمال می‌شود (حداقل ۳ قاب تکیه‌گاهی مورد نیاز است)

شکل خ-۶- قاب‌های تکیه‌گاهی چندگانه

خ-۶-۲-۹-۳-۴ سطح تصویرشدهٔ مؤثر برای سکوهای قابی/خرپایی متقارن

سطح تصویرشدهٔ مؤثر $(EPA)_A$، سکوهای مثلثی یا مربعی قابی/خرپایی متقارن (شکل خ-۷)، که به طور پیوسته در پیرامون یک دکل قرار می‌گیرند (و یا اینکه با درزی افقی بین گوشه‌های وجوه مجاور به پهنای کوچک‌تر یا مساوی ٪ ۱۰ پهنای سکو قرار دارند)، باید بر اساس زیربند خ-۶-۲-۹-۲-۱ با ضرایب D_f و D_r برابر با ۱٫۰ تعیین شود. سطح تصویرشدهٔ اعضای نگهدارنده برای کل سکو باید روی یک صفحهٔ موازی با یک وجه بدون در نظر گرفتن اعضای سایه‌انداز یا هم‌پوشاننده سکو یا سازهٔ نگهدارنده به‌دست آید. ضریب پسا برای عناصر تخت برابر با ۲٫۰، برای اعضای گرد برابر با ۱٫۲ و برابر با $2.0–6.0(r_s) \geq 1.25$ برای عناصر جدارنازک مربعی و مستطیلی باید به سطوح تصویرشدهٔ اعضای نگهدارنده اعمال شود که r_s نسبت شعاع گوشه بیرونی به پهنای تصویرشدهٔ مقطع جدارنازک است. در صورتی که شعاع گوشهٔ بیرونی مقطع جدارنازک معلوم نباشد،r_s باید بر اساس یک شعاع گوشهٔ بیرونی معادل ۲٫۲۵ برابر ضخامت اسمی جداره منظور شود. ٪ ۵۰ کل سطح تصویرشدهٔ مؤثر کل اعضای نگهدارنده باید به سطح تصویرشدهٔ سکو اضافه شود. سطح تصویرشدهٔ مؤثر کل حاصل باید برای همه راستاهای باد با یک ضریب سایه‌اندازی، K_a، برابر با ۱٫۰ به‌کار رود. هیچ سایه‌اندازی برای سازهٔ نگهدارنده منظور نمی‌شود. آنتن‌ها و لوله‌های نصب متکی بر سکو را باید به‌صورت متعلقات عمومی و با مقدار K_a برابر با ۰٫۷۵ منظور نمود.

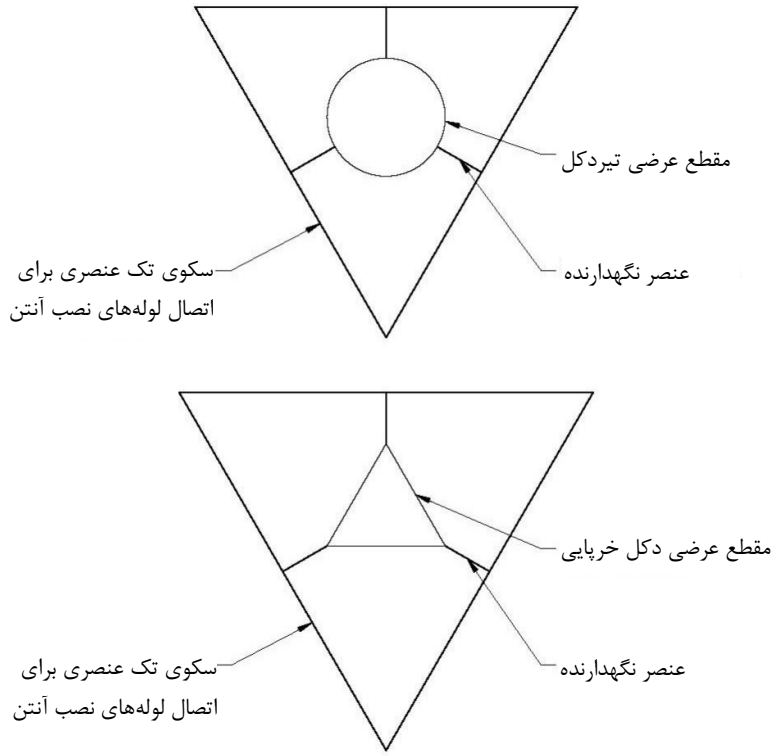


شکل خ-۷- سکوهای قابی یا خرپایی متقارن

خ-۶-۲-۹-۳-۵ سطح تصویرشدهٔ مؤثر برای سکوهای کم ارتفاع[1]

سطح تصویرشدهٔ مؤثر $(EPA)_A$، سکوهای کم ارتفاع متقارن (شکل خ-۸)، که به‌طور پیوسته در پیرامون یک دکل قرار می‌گیرند (و یا اینکه با درزی افقی بین گوشه‌های وجوه مجاور به پهنای کوچک‌تر یا مساوی ٪ ۱۰ پهنای سکو قرار دارند)، باید با جمع‌کردن سطوح تصویرشدهٔ کلیه اعضای سکو در یک صفحهٔ موازی وجه سکو بدون در نظر گرفتن اعضای سایه‌انداز یا هم‌پوشانندهٔ سکو یا سازهٔ نگهدارنده به‌دست آید. ضریب پسا برای عناصر تخت برابر با ۲٫۰، برای اعضای گرد برابر با ۱٫۲ و برابر با $2.0–6.0(r_s) \geq 1.25$ برای عناصر جدارنازک مربعی و مستطیلی باید به سطوح تصویرشدهٔ اعضای نگهدارنده اعمال شود که r_s نسبت شعاع گوشه بیرونی به پهنای تصویرشدهٔ مقطع جدارنازک است. اگر شعاع گوشهٔ بیرونی مقطع جدارنازک معلوم نباشد، r_s باید بر اساس یک شعاع گوشهٔ بیرونی معادل ۲٫۲۵ برابر ضخامت اسمی جداره منظور شود. سطح تصویرشدهٔ مؤثر کل باید در یک ضریب سایه‌اندازی، K_a، برابر با ۰٫۷۵ برای سکوهای مربعی و ۰٫۶۷ برای سکوهای مثلثی ضرب شود. سطح تصویرشدهٔ مؤثر حاصل باید برای همه راستاهای باد به کار رود. هیچ سایه‌اندازی برای سازهٔ نگهدارنده منظور نمی‌شود. آنتن‌ها و لوله‌های نصب متکی بر سکو را باید به‌صورت متعلقات عمومی و با مقدار K_a برابر با ۰٫۸ منظور نمود.

1- Low profile platforms

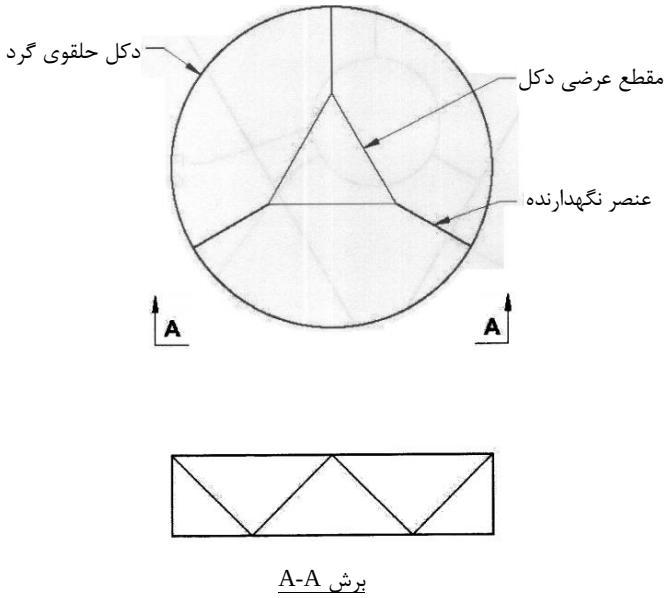


شکل خ-۸- سکوهای کم ارتفاع

خ-۶-۲-۹-۳-۶ سطح تصویرشدهٔ مؤثر برای سکوهای حلقه‌ای گرد متقارن[1]

سطح تصویرشدهٔ مؤثر $(EPA)_A$، سکوهای حلقوی گِرد متقارن (شکل خ-۹)، که به‌طور پیوسته در پیرامون یک دکل قرار می‌گیرند باید با منظور کردن اعضای نگهدارنده سکو و اعضای حلقوی به عنوان عناصر منفرد تعیین شود. سطح تصویرشدهٔ هر عنصر حلقوی باید برابر حاصل‌ضرب قطر حلقه و بعد قائم تصویرشدهٔ عنصر حلقوی در معرض باد به‌دست آید. سطح تصویرشدهٔ عناصر نگهدارندهٔ کل سکو باید با تصویر کردن کلیه عناصر نگهدارندهٔ روی یک صفحهٔ قائم بدون در نظر گرفتن اعضای سایه‌انداز یا هم‌پوشانندهٔ سکو یا سازهٔ نگهدارنده به‌دست آید. ضریب پسا برای عناصر تخت برابر با ۲٫۰، برای اعضای گرد برابر با ۱٫۲ و برابر با $2.0-6.0(r_s) \geq 1.25$ برای عناصر جدارنازک مربعی و مستطیلی باید به سطوح تصویرشدهٔ اعضای نگهدارنده اعمال شود که r_s نسبت شعاع گوشهٔ بیرونی به پهنای تصویرشدهٔ مقطع جدارنازک است. اگر شعاع گوشهٔ بیرونی مقطع جدارنازک معلوم نباشد، r_s باید بر اساس یک شعاع گوشهٔ بیرونی معادل ۲٫۲۵ برابر ضخامت اسمی جداره منظور شود. یک ضریب ۰٫۵ باید به کل سطح تصویرشدهٔ مؤثر عناصر نگهدارنده و ضریب ۱٫۷۵ باید به کل سطح تصویرشدهٔ اعضای حلقوی اعمال شود. سطح تصویرشدهٔ مؤثر کل حاصل باید برای همه راستاهای باد با یک ضریب سایه‌اندازی، K_a، برابر با ۱٫۰ به‌کار رود. هیچ سایه‌اندازی برای سازهٔ نگهدارنده منظور نمی‌شود. آنتن‌ها و لوله‌های نصب متکی بر سکو را باید به‌صورت متعلقات عمومی و با مقدار K_a برابر با ۰٫۸ منظور نمود.

1- Symmetrical circular ring platforms



شکل خ-۹- سکوهای حلقوی گرد

در مورد کلیه سکو یا قاب‌های نصب ذکرشده در بندهای فوق، باید دو یادآوری زیر مدنظر باشد.

یادآوری ۱- K_a باید برای آنتن‌ها و کلیه لوله‌های نصب آنتن تحت وضعیت جریان انتقالی یا فوق بحرانی برابر با ۱ منظور کرد.

یادآوری ۲- نیازی به منظور کردن سطوح افقی کار و کف‌های مشبک[1] در سطح تصویرشده نیست.

خ-۶-۲-۹-۴ نیروی باد وارد بر مهارها

طبق شکل خ-۱۰، نیروی بار طراحی وارد بر کابل مهارها، F_G، بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$F_G=C_d\, d\, L_G\, G_h\, q_z \sin^2(\theta_g) \qquad \text{(خ-۲۳)}$$

که در آن:

F_G نیروی عمود وارده بر وتر مهار در صفحهٔ شامل وتر کابل مهار و باد؛

C_d ضریب نیروی مهار و برابر با ۱٫۲؛

d قطر کابل مهار همراه با ضخامت یخ برای ترکیب‌های بار شامل بار یخ؛

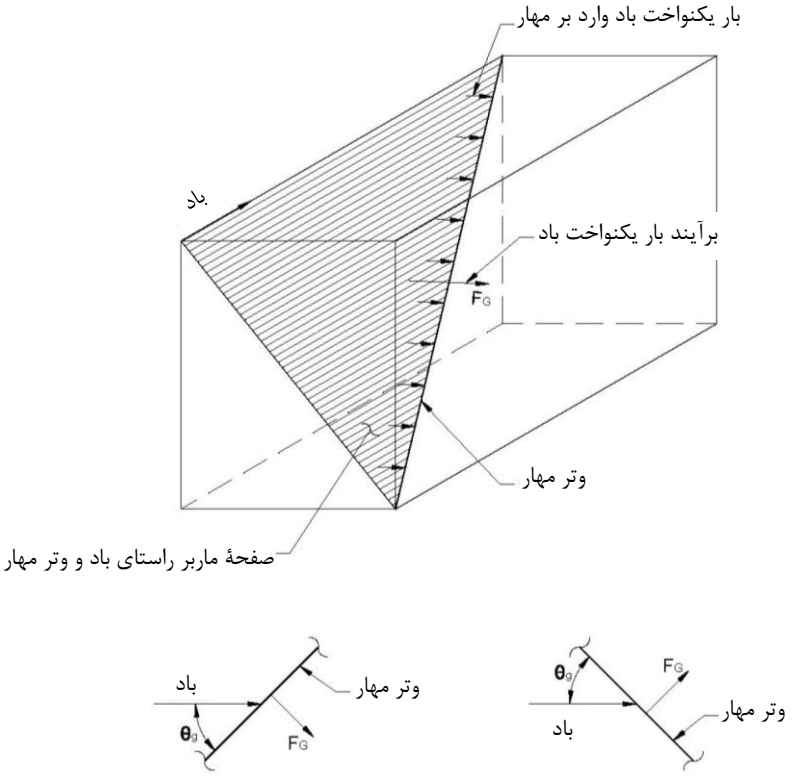
L_G طول مهار؛

G_h ضریب اثر تندباد طبق زیربند خ-۶-۲-۷ این پیوست؛

q_z فشار مبنای باد در میانهٔ ارتفاع مهار طبق زیربند ۱۳-۹ این استاندارد؛

θ_g زاویهٔ واقعی برخورد باد به وتر کابل مهار.

1- Gratings



شکل خ-۱۰- نیروی باد وارد بر مهارها

یادآوری- زمانی که ملحقـاتی مانند افشاگر[1] و عایق‌ها (مقرّه)[2]، نشانگرها[3] و غیره به مهار متصل باشند، ممکن است لازم باشد ضریب نیرو، C_d، و یا قطر مؤثر مهار افزایش یابد.

نیروی باد و ضـخامت یخ طـراحی را می‌تـوان مبتنی بر فشـار مبنای باد و ضـخامت یخ در میـانهٔ ارتفاع مهار به‌صورت یکنواخت فرض کرد. طول هر مهار یا هر قطعهٔ مـهار را می‌توان معادل طول وتر فرض نمود (می‌توان از افتادگی کابل صرف‌نظر کرد). نیـروی باد طـــراحی باید به‌طور یکنواخت و عمود به راستای وتر مهار توزیع شود. برای دکل‌های متکی بر زمین، ارتفاع میانی مهـار نسـبت به تراز زمین باید مبنای محاسـبه لحاظ شود. برای دکل‌های مستقر بر سـاختمان‌ها یا سـازه‌های نگهـدارنده، میانهٔ ارتفـاع مهار باید برابر با تراز میانهٔ ارتفاع مهار نسـبت به تراز زمینی در نظر گرفته شـــود که پایهٔ ساختمان یا ســـازهٔ نگهدارنده روی آن مسـتقر است. ارتفاع بالای زمین، z برای هر قطعهٔ مهار نباید کوچک‌تر از صفر منظور شود.

خ-۶-۲-۹-۵ اثر سایه‌اندازی

اثر ســـایه‌اندازی را به‌جز در مواردی که در این زیـربنـد بیان شـده است می‌توان برای عناصـر دارای تلاقی یا موازی در نظر گرفت. عنصر فاقـــد سـایه‌اندازی را باید تخت منظور کرد مگر اینـکه هر دو عنصـر، گرد باشند. چنانچه فاصلهٔ آزاد بین عناصر در راستای مورد بررسی برای تعیین مساحت تصویرشدهٔ مؤثر (EPA) کوچک‌تر از ۲ برابر کوچک‌ترین بعد تصویرشدهٔ عضـو باشد، می‌توان سـایه‌اندازی کامـل را در نظر گرفت. در صورتی که

1- Spoilers
2- Insulators
3- Markers

فاصلهٔ آزاد بین اجزا بیش از ۴ برابر کوچک‌ترین بعد تصـویرشدهٔ عضو باشد، سایه‌اندازی وجود نخواهد داشت. برای نسبت‌های بین ۲ و ۴ می‌توان از درون‌یابی خطی استفاده نمود (به شکل خ-۱۱ مراجعه شود).

سایه‌اندازی اعضای سازهٔ نگهدارنده از متعلقات در حالتی که طبق زیربند خ-۶-۲-۹-۳ (تعیین نیروی باد وارد بر متعلقات) $K_a<1.0$ است، نباید در نظر گرفتـه شود. برای اثر سـایه‌اندازی لوله‌های نصب آنتن به زیربند خ-۶-۲-۹-۳-۲ مراجعه شود.

یادآوری- ملاحظات سایه‌اندازی متناسب با راستای باد تغییر می‌کند.

خ-۶-۲-۹-۶ خطوط انتقال گرد یا بیضوی نصب‌شده روی کلاسترها یا بلوک‌ها

سطح تصویرشـدهٔ هر خط در یک کلاستر یا بلوک، مستقل از فواصل آن‌ها یا موقعیتشان در گروه (یعنی هیچ سایه‌اندازی از خطـوط و هیچ کاهشـی در ضـخامت یخ وجود نداشـته باشـد) باید در محاسـبهٔ بارهـای باد با استفاده از یک ضریب نیرو، C_a، برابر با ۱٫۲ (برای خطوط گرد) لحاظ شود؛ مگر آنکه لازم نباشد گروه خطـوط بزرگ‌تر متعلقات معـادل پهنایی برابر با بزرگ‌ترین بعـد بیرون به بیرون گروه برای هر دو وجـه قائم و عرضی با ضریب نیروی ۱٫۵ برای کلاسترهای مربع یا مستطیل و ۱٫۲ برای کلاسترهای گرد لحاظ شود (به شکل خ-۱۲ مراجعه شود). برای شرایط بارگذاری شامل یخ، یک ضریب نیرو، C_a، باید برابر با ۱٫۵ باید برای هر کلاستر دایره، مربع و مستطیل اعمال شود.

یادآوری- پهنای متعلقات معادل را می‌توان برای تعیین اثر سایه‌اندازی طبق زیربند خ-۶-۲-۹-۵ به‌کار برد.

در صورتی که فاصـــلهٔ مرکز به مرکز بیـن متعلقات مجـاور از ۳ برابر پهنـای بزرگ‌تر آن‌ها یا متعلقات مجاور درون کلاستر یا بلوک فراتر نرود، متعلقات را می‌توان به عنوان جزئی از کلاستر یا بلوک در نظر گرفت.

به‌منظور محاسـبهٔ وزن یخ، ضخامت شعاعی یخ را بایـد روی هر خط منـفرد منظور کرد مگر آنکه لازم نباشد مقطع عرضی یخ از مساحت کلاستر نشان داده شده در شکل خ-۱۲ فراتر رود.

خ-۶-۲-۱۰ فشار مبنای باد

فشار مبنای باد تعیین شده در ارتفاع z باید طبق رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_e K_d K_s I_w V^2 \qquad (خ-۲۴)$$

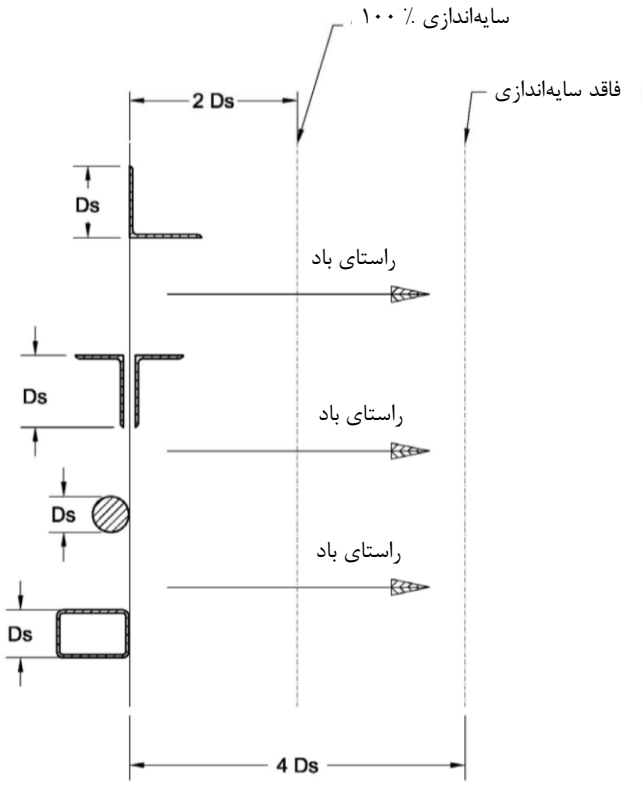
که در آن:

K_z، K_{zt}، K_e و V طبق بند ۱۳ تعیین می‌شود.

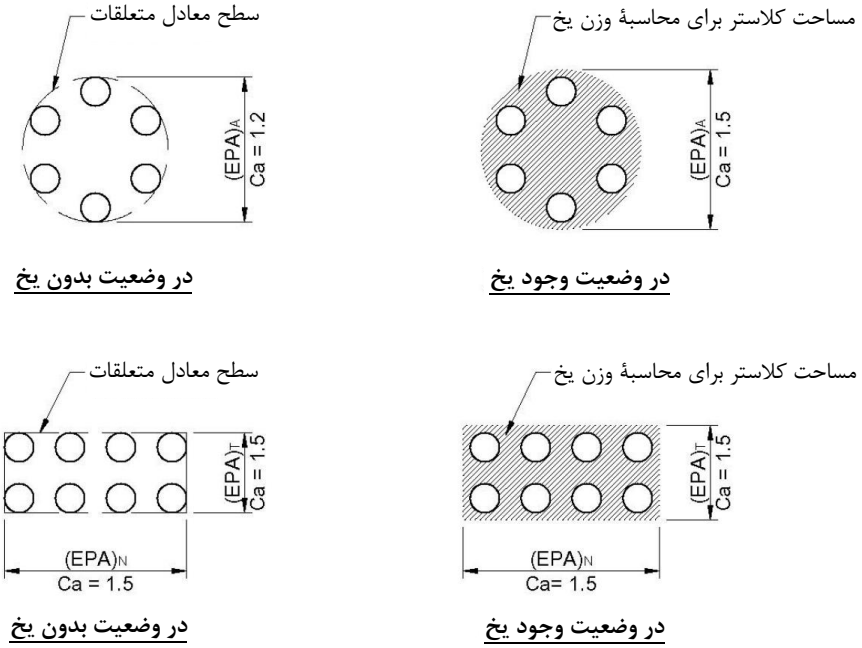
K_s طبق زیربند خ-۶-۲-۵ به دست می‌آید.

I_w ضریب اهمیت دکل مخابراتی است که از جدول خ-۱ به دست می‌آید.

K_d مقادیر ضریب احتمال جهت باد برای انواع دکل مخابراتی که در جدول خ-۷ آمده است.



شکل خ-۱۱- محدودیت‌های سایه‌اندازی



در وضعیت بدون یخ **در وضعیت وجود یخ**

در وضعیت بدون یخ **در وضعیت وجود یخ**

یادآوری- $(EPA)_A$، $(EPA)_N$ و $(EPA)_T$ بیانگر سطوح تصویرشدهٔ مؤثر متعلقات معادل بر مبنای بعد بیرون به بیرون متناسب کلاستر (شامل یخ برای ترکیبات بارگذاری که بار یخ در آن حضور دارد) است.

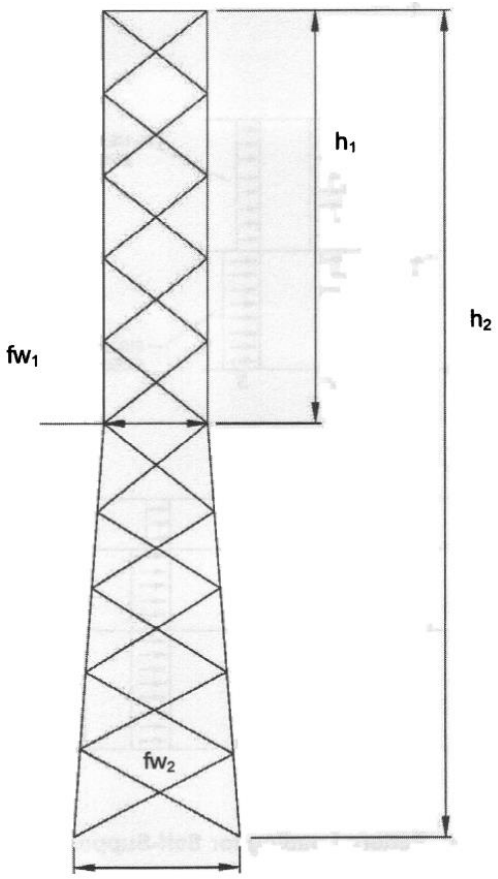
شکل خ-۱۲- EPA معادل برای کلاسترهای خطوط انتقال

جدول خ-۷- ضریب احتمال جهت باد، K_d

نوع دکل	K_d
دکل‌های خرپایی با مقاطع مثلثی، مربعی یا مستطیلی	۰٫۸۵
سایر دکل‌های خرپایی به‌جز مقاطع مثلثی، مربعی یا مستطیلی	۰٫۹۵
دکل‌های تک‌پایه لوله‌ای نگهدارندهٔ متعلقات نمایان و به‌منظور طراحی مقاومتی متعلقات	۰٫۹۵
دکل‌های تک‌پایه نگهدارندهٔ آنتن احاطه‌شده با یک پوسته استوانه‌ای با پرچم یا بدون آن یا دکل‌های لوله‌ای که نگهدارندهٔ متعلقات نباشند	۱٫۰۰

خ-۶-۲-۱۱ آثار پی دلتا

طبق زیربند 3.5 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] نیازی به اعمـال آثار ثانویه P-Δ در دکـل‌های خرپایی خودایستا با ارتفاع کوچکتر از ۱۳۷ متر و با نسبت‌های ارتفاع به پهنای کوچکتر از ۱۰ نیست. نسبت ارتفاع به پهنا در شکل خ-۱۳ تشریح شده است.

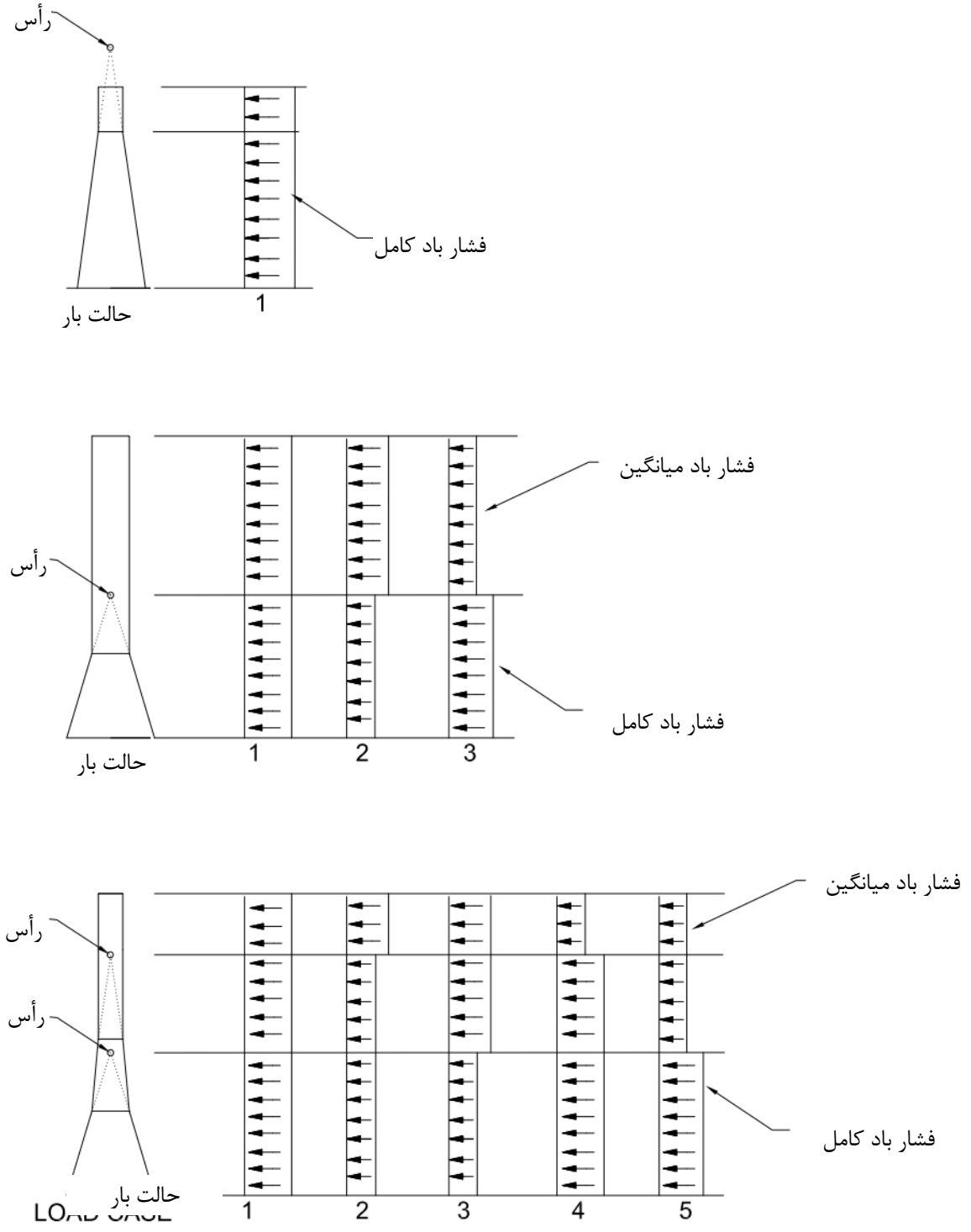


یادآوری: بیشینه نسبت ارتفاع به پهنا برابر است با $\max \text{of } \frac{h_1}{fw_1} \text{ or } \frac{h_2}{fw_2}$

شکل خ-۱۳- نسبت ارتفاع به پهنای دکل

خ-۶-۲-۱۲ توزیع بار باد در دکل‌های خرپایی خود ایستا

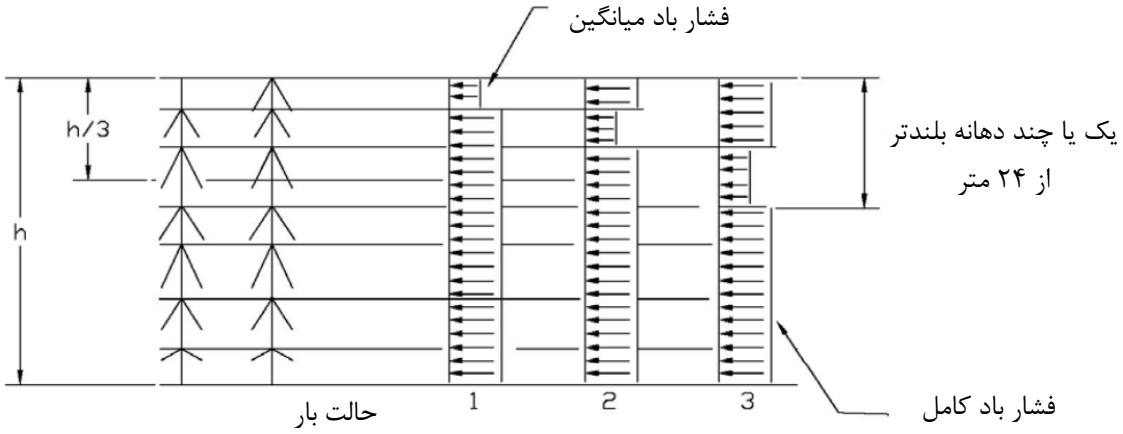
طبق زیربند 3.6.1 استاندارد ANSI/TIA-222 [16]، در دکل‌های خرپایی خودایستا، توزیع بار باد بر اساس شکل خ-۱۴ صورت می‌گیرد.



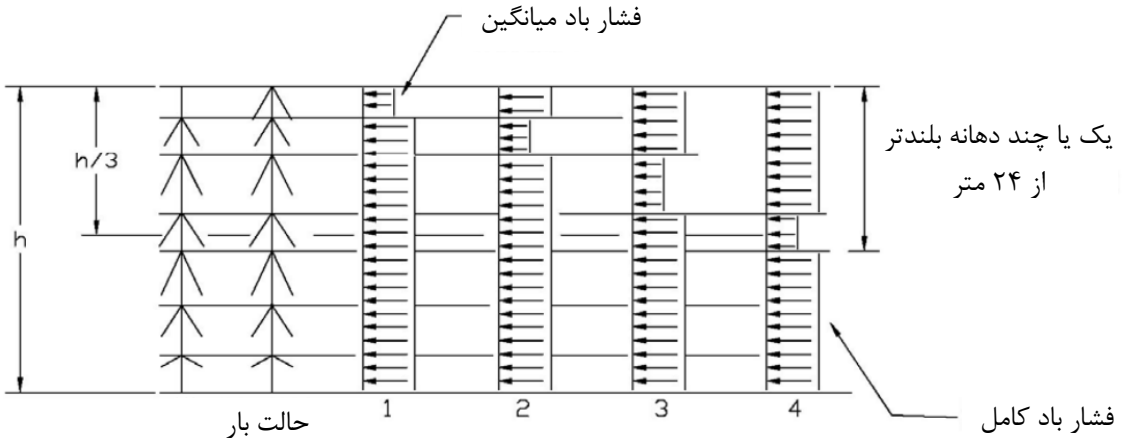
شکل خ-۱۴- الگوی بارگذاری دکل‌های خود ایستا

خ-۶-۲-۱۳ توزیع بار باد در دکل‌های مهارشده

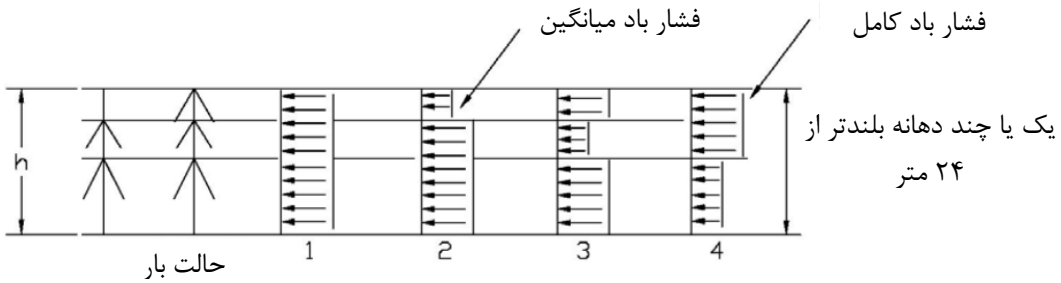
طبق زیربند 3.6.2 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16]، توزیع بار باد بر اساس شکل خ-۱۵ صورت می‌گیرد.



ارتفاع دکل بلندتر از ۱۳۷ متر
مجموع طول سه دهانه بالایی بزرگتر از h/3



ارتفاع دکل بلندتر از ۱۳۷ متر
مجموع طول سه دهانه بالایی کوچکتر از h/3



ارتفاع دکل کوچکتر یا مساوی با ۱۳۷ متر

شکل خ-۱۵- الگوی بارگذاری دکل‌های مهارشده

خ-۷ آثار ناشی از زلزله

خ-۷-۱ ملاحظات کلی

از آنجا که روند تعیین آثار ناشی از زلزله در دکل‌های مخابراتی در مراجع [1] و [2] بیان نشده است، در این زیربند، ضوابط تعیین آثار ناشی از زلزله ارائه می‌شود. هدف از طراحی لرزه‌ای دکل مخابراتی، تأمین مقاومت، شکل‌پذیری، پایداری و استهلاک انرژی فراارتجاعی برای تحمل آثار ناشی از جنبش شدید زمین است. طبق مقادیر ضرایب اصلاح پاسخ مطرح شده در این پیوست، نیازی به رعایت الزامات ویژهٔ شکل‌پذیری در دکل مخابراتی نیست. الزامات مربوط به طراحی پی در Section 9 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] و الزامات مربوط به مهارها به منظور تأمین شکل‌پذیری و استهلاک انرژی ارتجاعی سازه در طراحی لرزه‌ای در زیربند خ-۷-۷ آمده است.

یادآوری ۱- دکل‌ها با ردهٔ خطرپذیری ۴ (تعریف شده در جدول خ-۱) نباید در نزدیکی گسل فعال لرزه‌زا احداث شوند.

یادآوری ۲- در این پیوست، نیازی به منظورکردن محدودیت‌های جابه‌جایی نسبی ناشی از زلزله در دکل‌های مخابراتی نیست.

یادآوری ۳- در طراحی لرزه‌ای شالوده، باید رفتار غیر ارتجاعی مدنظر قرار گیرد. کاهش واکنش‌های شالوده ناشی از آثار بار زلزله مجاز نیست.

خ-۷-۲ تعاریف

خ-۷-۲-۱ زلزلهٔ طرح

design earthquake

زلزله‌ای است که مقادیر شتاب‌های طراحی آن معادل دوسوم زلزله با دورهٔ بازگشت ۲۴۷۵ سال باشد. این زلزله معادل زلزلهٔ سطح خطر دوم منبع [1] است.

خ-۷-۲-۲ ضریب اضافه‌مقاومت، Ω_0

overstrength factor

ضریبی است که به آثار زلزله برای تعیین مقاومت‌های طراحی مهارها به‌منظور تأمین مقاومت ذخیره کافی برای ارتجاعی ماندن آن‌ها به هنگام رفتار غیرارتجاعی دکل اعمال می‌شود.

خ-۷-۲-۳ ضریب افزونگی، ρ

redundancy factor

ضریبی مبتنی بر میزان درجه نامعینی سازه‌ای که به آثار بار افقی زلزله اعمال می‌شود و برای تعیین آثار بار زلزله به‌کار می‌رود.

خ-۷-۲-۴ ردهٔ ساختگاهی

site category

یک رده‌بندی برای تعیین نوع خاک ساختگاه است.

خ-۷-۳ مراحل بارگذاری لرزه‌ای

این مراحل به قرار زیر است:

- تعیین ضریب اهمیت دکل برای بار زلزله، I_e، طبق جدول خ-۱ بر حسب ردهٔ خطرپذیری؛
- شتاب طیفی در زمان تناوب کوتاه (۰٫۲ s)، S_s، زمان تناوب ۱ s، S_1 و همچنین زمان تناوب بلند، T_L طبق تعاریف مطرح شده در منبع [1]؛
- تعیین ردهٔ ساختگاهی (نوع خاک) بر اساس تعاریف منبع [1]؛
- ضرایب ساختگاهی F_a و F_v مطابق با تعاریف مطرح‌شده در منبع [1]؛
- شتاب طیفی طراحی در زمان تناوب کوتاه (۰٫۲ ثانیه)، S_{DS} و یک ثانیه، S_{D1} طبق منبع [1].

یادآوری- در صورت الزام کارفرما به انجام مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای ویژهٔ ساختگاه، می‌توان از منبع [73] برای انجام آن مطالعات استفاده کرد.

خ-۷-۴ تعیین مؤلفه قائم زلزله

آثار بار قائم زلزله را باید از رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$E_v = 0.2S_{DS}(D+D_g) \qquad (خ-۲۵)$$

که در آن:

D بار مردهٔ دکل و متعلقات بدون مجموعه مهار؛

D_g بار مردهٔ مجموعه مهار.

خ-۷-۵ تعیین مؤلفه افقی زلزله

خ-۷-۵-۱ ملاحظات کلی

آثار بار افقی زلزله، E_h، طبق رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$E_h = \rho Q_E \qquad (خ-۲۶)$$

که در آن:

ρ ضریب افزونگی برابر با ۱٫۰؛

Q_E آثار نیروهای افقی زلزله به‌دست‌آمده از روش نیروی جانبی معادل (طبق زیربند خ-۷-۵-۲) یا روش تحلیل مودی (طبق زیربند خ-۷-۵-۳) برای دکل‌های خود مهار.

یادآوری ۱- لنگرهای پیچشی باید برای متعلقات سنگین بیرون از مقطع عرضی دکل باید در تحلیل لرزه‌ای منظور شود.

یادآوری ۲- اثر بار افقی زلزله برای متعلقات و دکل‌های مخابراتی مستقر روی ساختمان‌ها یا سازه‌های نگهدارنده دیگر باید طبق زیربند خ-۷-۶ تعیین شود.

خ-۷-۵-۲ روش نیروی جانبی معادل

مراحل این روش عبارت است از:

- تعیین وزن کل دکل و متعلقات آن روی زمین، W. برای دکل‌های مهار شده[1]، W باید شـــامل وزن نیمهٔ بالایی مجموعه مهار متصل به سازه نیز باشد؛
- محاسبه ضریب پاسخ لرزه‌ای، C_s مطابق با منبع [1]؛
- محاسبه برش پایه کل، V_s مطابق با منبع [1]؛
- توزیع برش پایه در ارتفاع دکل مطابق با منبع [1]؛
- تحلیل سازه‌ای دکل طبق Section 3 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] با استفاده از نیروهای معادل زلزله به صورت نیروی خارجی در همان راستای منظورشده برای بار باد بدون آثار اندرکنشی چندجهته.

یادآوری ۱- ضریب اصـلاح پاسخ، R، برای دکل‌های خرپایی خـودایستا، دکل‌های بازودار[2] و دکل‌های مهار شده برابر با ۳٫۰ و برای دکل‌های تک‌پایه خود ایستا[3] برابر با ۱٫۵ منظور می‌شود.

یادآوری ۲- در دکل‌های مهارشده، نصف وزن مهارها باید به نقاط اتصال مهار به دکل اختصاص یابد.

یادآوری ۳- زمان تناوب اصلی نوسان، T، سازهٔ دکل در راسـتای مورد بررسی باید با اسـتفاده از مشـخصات سازه‌ای و خواص تغییرشـــکلی عناصـــر مقـاوم تعیین شـــود. روابـط تجـربی برای تعیین این زمان تنـاوب برای انواع دکـل مخـابراتی در زیربند 2.7.11 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] آمده است.

خ-۷-۵-۳ روش تحلیل مودی

روش تحلیـل مودی به تیردکـل‌ها و دکـل‌های با مقـطع مربع مشکل خـودایستا و یا دکل‌های بازودار محدود می‌شود. دکل‌های خرپایی به دکل‌هایی با عناصر مشابه متقارن در هر پانل سازه محدود می‌شود (به آن معنی که یک الگوی مهاربندی اصلی با عناصـر مهاربنـد هم‌اندازه و اعضـای ساق هم اندازه در هر پانل وجود داشته باشد). مراحل انجام این روش به قرار زیر است:

- یک مدل ریاضی از دکل که معرف توزیع مکانی جرم و سختی سازه باشد تهیه می‌شود؛
- تحلیل در دو راستای افقی متناظر با هر محور اصلی مقـطع عرضـی (یعنی دو محور X و Y) انجام شده، در هر راسـتا مودهای طبیعی ارتعاش سازه همـراه با زمان تناوب هر مود، بردارهای شـکل مودی و جرم مودی مؤثر تعیین می‌شود. در هر راستای افقی؛ تحلیل باید شامل تعداد کافی مـود باشد تا جـرم مودی مؤثر تجمعی حداقل برابر با ٪ ۹۰ کل جرم سـازه در دکل‌های تک‌پایه و ٪ ۸۵ در دکل‌های خود ایستا یا خرپایی بازودار باشد؛
- تعیین طیف پاسخ طراحی بر اساس زلزلهٔ سطح خطر دوم منبع [1]؛
- تعیین جرم مؤثر مودی در هر راستای افقی و برش پایه در هر مود؛

1- Guyed masts
2- Bracketed structures
3- Self-supporting pole structures

- مقیاس‌سازی برش‌های پایه مـودی به دست آمده از تحلیل طیفی با مقادیر برش‌های پایه به دست آمده از روش نیـروی جانبی معادل برای هر راستای افقـی به صـورتی که برش پایـهٔ حاصـل از تحلیـل طیفی حداقـل معـادل ٪ ۸۵ برش پایه به دسـت آمـده از روش نیروی جانبـی معادل باشد. برای ترکیب مودها می‌توان از روش ترکیب جذر مجموع مربعات (SRSS) استفاده کرد؛
- در هر راستای افقی، نیـروهای زلزله برای هر تراز سـازه و هر مود با اسـتفاده از مقدار مقیاس‌سازی شده برش پایه، به دست می‌آید؛
- در هر راستای افقی، سـازه به صـورت ایستا با نیـروهای زلـزله به صـورت بارهای خارجـی در هر مود، بدون بارهای مرده تحلیل می‌شود؛
- در هر راستای افقی، آثار بار هر مود با محاسبه جذر مجموع مربعات آثار بارها در هر مود ترکیب می‌شود. برای یک دکـل خرپایی با مقطع عرضی مربـع، آثار با وارد بر هر سـاق بایـد برای منـظورکردن راسـتای قطری، در ضریب ۱٫۴۱ ضرب شود؛
- بزرگ‌ترین آثـار بار ترکیب‌شـده با منـظور کردن هر دو راسـتای افـقی بایـد به عنـوان اثر بـار ترکیبی زلزله، Q_E منظور شود. اثر بار زلزله برای هر عضـو باید به سـایر آثار بار بیان‌شده در ترکیب‌های بارگذاری ارائه شده در زیربند خ-۹ اضافه و کم شود.

یادآوری- برای نحوهٔ تعیین طیف پاسـخ زلزلهٔ طرح (طیف طرح اسـتاندارد یا طیف طرح ویژهٔ ساختگاه) به منبع [1] مراجعه شود. در مورد دکل‌های مخابراتی، طیف پاسخ طراحی در سطح خطر دوم آن منبع محاسبه می‌شود.

خ-۷-۶ دکل‌های متکی بر ساختمان‌ها یا سایر سازه‌های نگهدارنده

خ-۷-۶-۱ ملاحظات کلی

آثار بار زلزله برای متعلقات و دکـل‌های دارای ارتفـاع کوچک‌تر از m ۳۰ را می‌توان طبق زیربندهای خ-۷-۴ و خ-۷-۵ به‌دست آورد. برای دکل با ارتفاع بزرگ‌تر از m ۳۰، بایـد آثار اندرکنش بین دکل و سازهٔ نگهدارنده در نظر گرفته شـود. روش‌های منطقی برای منـظور کردن خصوصـیات دینامیـکی باید در مورد این سـازه‌ها و دکـل‌های متـکی بر آن‌ها برای تعیین آثـار بـار زلزله مورد استفاده قرار گیـرد. در هر حـال، آثار بار زلزله به‌دسـت آمده نباید از ٪ ۸۰ آثار بار زلزله به‌دسـت آمده از بنـدهای خ-۷-۴ و خ-۷-۵ کوچک‌تر منظور شـود. به‌عنوان روش جایگزین، می‌توان از ضریب تشـدید بیان‌شده در زیربند خ-۷-۶-۲ اعمال شده به آثار بار زلزله به‌دست آمده از زیربندهای خ-۷-۴ و خ-۷-۵ نیز استفاده کرد.

خ-۷-۶-۲ ضریب تشدید

آثار بار زلزله را می‌توان با یک ضریب تشدید، A_s، به شرح زیر مورد اصلاح قرار داد:

- برای دکل‌های خودایستا یا مهارشده، ضریب تشدید باید برابر با ۳٫۰ منظور شود؛
- در دکل‌های متصل شده با بازو به سازهٔ نگهـدارنده در میـانهٔ ارتفـاع سـازه یا بالاتر از آن، ضـریب تشدید باید برابر واحد فرض شود؛

- در دکل‌های متصل شده با بازو به سازهٔ نگهدارنده پایین‌تر از نیمهٔ ارتفاع سازه، ضریب تشدید باید برابر با ۳٫۰ فرض شود یا آنکه می‌توان از درون‌یابی خطی بین ۳٫۰ و ۱٫۰ بسته به تراز بازو نسبت به میانهٔ ارتفاع سازه استفاده کرد.

خ-۷-۷ مقاومت طراحی مهارها

ضریب اضافه مقاومت، Ω_0، برابر با ۱٫۵ باید به آثار بار زلزله به‌منظور تعیین مقاومت طراحی لازم میل‌مهارها اعمال شود و طراحی طبق Section 4 استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] انجام پذیرد. در رده‌های خطرپذیری ۲، ۳ و ۴ (تعریف شده در جدول خ-۱ این پیوست)، اگر مشخصات واقعی مصالح به‌کار رفته در ساخت دکل مشخص باشد، نیازی نیست مقاومت طراحی مهار از مقاومت قابل انتظار بزرگ‌تر منظور شود.

یادآوری- منظور از مقاومت قابل انتظار، مقاومت خمشی اسمی سازهٔ دکل (یعنی بدون اعمال ضریب مقاومت) به‌دست آمده از فصل چهارم استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] ضرب شده در نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به تنش تسلیم مشخصه حداقل است. این نسبت به R_y معروف است که برای مصالح فولادی در جدول خ-۸ بیان شده است.

جدول خ-۸- مقادیر R_y برای مصالح فولادی [16]

مقاومت تسلیم حداقل طراحی MPa	نیم‌رخ	ورق/رول ورق[1]
$F_y < 248$	۱٫۵	۱٫۳
$248 \leq F_y \leq 290$	۱٫۴	۱٫۳
$F_y > 290$	۱٫۳	۱٫۱
[1] Plates/coils		

خ-۸ الزامات بهره‌برداری

خ-۸-۱ تعاریف

خ-۸-۱-۱ جابه‌جایی

displacement

تغییرمکان افقی تحت بارهای خدمت‌رسانی در یک نقطه ناشی از بار بدون ضریب در شرایط بدون باد است.

خ-۸-۱-۲ بارهای خدمت‌رسانی

service loads

ترکیب بار مورد استفاده برای محاسبهٔ تغییرشکل‌های حالت حدی بهره‌برداری است.

خ-۸-۱-۳ جابه‌جایی نوسانی

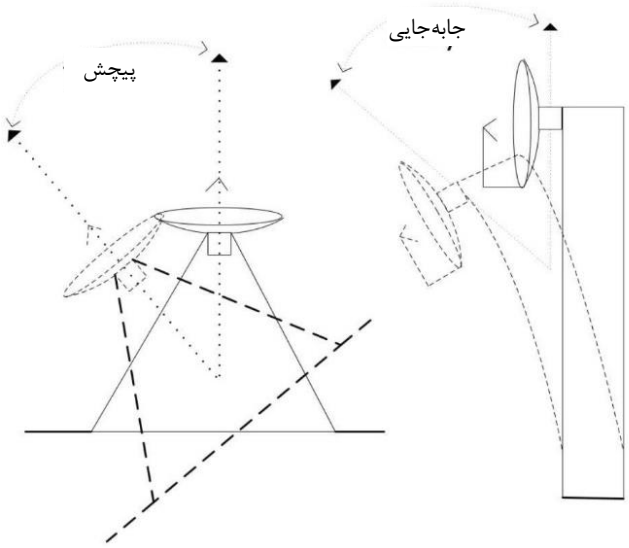
sway

زاویهٔ چرخش تحت بار بهره‌برداری یک آنتن در صفحه قایم محلی آنتن نسبت به شرایط بدون بار باد طبق شکل خ-۱۶ است.

خ-۸-۱-۴ پیچش

twist

زاویـهٔ چرخش تحت بار بهره‌برداری یک آنتن در صفحه افقی محلی آنتن نسبت به شرایط بدون بار باد طبق شکل خ-۱۶ است.



شکل خ-۱۶- مفاهیم جابه‌جایی نوسانی و پیچش

خ-۸-۲ تغییرشکل‌های حالت حدی

تغییرشکل‌های ناشی از بارهای بهره‌بـرداری در هر نقـطه روی دکل نبـاید از مقـادیر زیر فراتر رود مگر اینکه مقدار دیگری توسط کارفرما لازم دانسته شود:

- دوران $^{\circ}$ ۴ در راستای محور عمودی (پیچش) یا هر محور افقی (جابه‌جایی نوسانی) سازه؛
- جابه‌جایی افقی معادل ٪ ۳ ارتفاع سازه از تراز پایه؛
- در طره‌های لـــوله‌ای، دکل‌های خرپـایی، تیردکـل‌ها یا ســـازه‌های مشـــابه نصب‌شده روی دکـل خرپایی، جابه‌جایی افقی نسبی ٪ ۱٫۵ از ارتفاع طره که از نوک تا قاعدهٔ طره اندازه‌گیری می‌شود.

یادآوری- در نبود داده‌های دقیق‌تر، دوران (پیچشی و نوسانی) را می‌توان برای آنتن‌های موج کوتاه طبق Annex D استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] بر اساس یک افت سطح نشانک[1] بسامد رادیویی مجاز برابر با db ۱۰ محاسبه کرد.

خ-۸-۳ ترکیبات بارگذاری بهره‌برداری

بارهای بهره‌برداری باید بر اساس ترکیبات بارگذاری زیر بر اساس سرعت مبنای باد m/s ۲۷ (مگر اینکه مقدار دیگری توسط کارفرما لازم دانسته شود) تعریف شود:

1- Signal

$$1.0D+1.0D_g+1.0W_o \quad (خ-۲۷)$$

که در آن:

D وزن دکل و متعلقات بدون ادوات مهار؛

D_g وزن ادوات مهار؛

W_o بار باد بدون یخ.

یادآوری- نیروهای افقی باد برای تعیین بارهـای بهـره‌برداری باید بر اساس ضریب احتـمال راسـتای باد، K_d، برابر با ۰٫۸۵ در کلیـه دکل‌ها محاسـبه شود. در حالت حدی بهره‌برداری، فشار مبنای باد، q_z، باید طبق زیربند خ-۶-۲-۱۰ برای سـرعت مبنای باد، V، برابر با ۲۷ m/s تعیین شود.

خ-۹ ترکیبات بارگذاری طراحی

برای طراحی دکل‌های مخابراتی به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)، ترکیبات بارگذاری طراحی در حالت حدی مقاومت به این شرح است:

$$1.2D + 1.0D_g + 1.0W_o \quad (خ-۲۸)$$

$$0.9D + 1.0D_g + 1.0W_o \quad (خ-۲۹)$$

$$1.2D + 1.0D_g + 1.0Di + 1.0Wi + 1.0Ti \quad (خ-۳۰)$$

$$1.2D + 1.0D_g + 1.0E_v + 1.0E_h \quad (خ-۳۱)$$

$$0.9D + 1.0D_g + 1.0E_v + 1.0E_h \quad (خ-۳۲)$$

که در آن‌ها:

D_i وزن یخ؛

T_i آثار بار ناشی از اختلاف دما؛

E_h نیروی افقی زلزله؛

E_v نیروی قائم زلزله؛

W_i بار باد همراه با یخ.

یادآوری ۱- نیازی به منظور کردن آثار حرارتی در دکل‌های خود ایستا نیست.

یادآوری ۲- انجام بارگذاری یخ و زلزله برای دکل‌های با ردهٔ خطرپذیری ۱ الزامی نیست.

یادآوری ۳- برای کشش اولیه کابل مهار، نیازی به اعمال ضریب بار نیست.

یادآوری ۴- ترکیبات بارگذاری ردیف ۲ و ۵ صرفاً برای دکل‌های خودایستا اعمال می‌شوند.

یادآوری ۵- برای تعیین آثار بار زلزله در ترکیبات بارگذاری ردیف ۴ و ۵، بارهای مرده بدون ضریب منظور می‌شوند.

یادآوری ۶- در طراحی شـــالوده، وزن خاک قرار گرفته روی پی و وزن جسم شالوده باید به عنـوان بار مرده در کلیه ترکیبات بارگذاری منظور شود. در شالوده‌های مهار، وزن خاک قرار گرفته روی پی و وزن شالوده باید به عنوان بار مرده با ضریب ۰٫۹ در نظر گرفته شـود. در همه انـواع شالوده، برای تعیین مقـاومت اســمی خاک که تابـعی از وزن خاک است (مانند ظرفیت باربری ناخالص، اصطکاک جداره، مقاومت جانبی و ...)، ضریب ۱٫۰ باید به وزن خاک اعمال شود و مقاومت اسمی حاصل باید در ضریب مقاومت مناسب تعریف شده در فصل نهم استاندارد ANSI/TIA-222(H) [16] ضرب شود.

یادآوری ۷- برای بارگذاری و طراحی میله‌های پرچم می‌توان به راهنمای ANSI/NAAMM [98] مراجعه کرد.

پیوست د

(الزامی)

دودکش‌های فولادی و بتنی

به‌منظور تعیین بارهـــای وارد بر دودکش‌های فولادی[1] و دودکش‌های بتنی[2] به اســـتاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۳۲۸۷ با عنوان دودکش‌های صنعتی فولادی و بتنی- طراحی، ساخت و ویژگی‌های مصالح مراجعه شود.

1- Steel Stack
2- Concrete Chimney

پیوست ذ

(آگاهی‌دهنده)

سیلوها

ذ-۱ کلیات

در این پیوست، ضوابط مربوط به بارهای وارد بر سیلوهای بتنی به عنوان انباره‌های ایستاده برای ذخیرهٔ مواد دانه‌های مانند گندم ارائه می‌شود. این ضوابط برای بونکرها (سیلو با ارتفاع کم) نیز قابل استفاده است. انواع سیلوهای مدنظر در این پیوست در شکل ذ-۱ نشان داده شده است.

به‌منظور طراحی سازه‌ای سیلوی بتنی می‌توان به استاندارد ACI 313 [99] مراجعه کرد.

یادآوری- الزامات طراحی و اجرایی شامل انتخاب مقاومت مشخصهٔ بتن، میلگردهای مصرفی، انواع قالب‌بندی، نحوه بتن‌ریزی و عمل‌آوری بتن در اجرای سیلوهای بتنی در استاندارد ACI 313 [99] تشریح شده است.

ذ-۲ بارهای دائمی

بارهای دائمی شامل وزن اجزای سازه‌ای سیلو همراه با عناصر متصل به آن شامل بار مرده تجهیزات متکی بر سازه است. برای تعیین وزن اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای سیلو می‌توان به پیوست **الف** مراجعه کرد.

ذ-۳ بارهای زنده

ذ-۳-۱ ملاحظات کلی

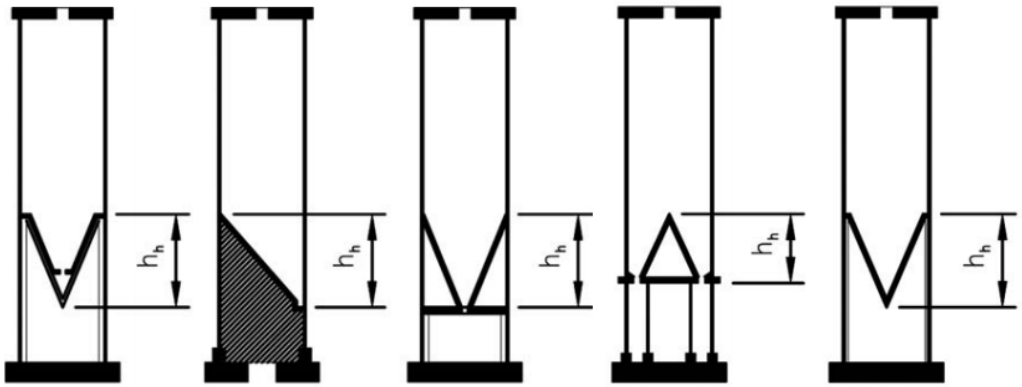
بارهای مربوط به وزن مواد دانه‌ای انبار شده در سیلو، در شمول بارهای زنده رده‌بندی می‌شوند. این بارها شامل بارهای جریان مواد ذخیره‌شده[1]، بارهای وارد بر کف و سقف سیلو، بارهای مربوط به تجهیزات، فشار هوای مثبت و منفی و نیروهای وارد از طرف خاک یا مصالح انبار شده بیرون سیلو هستند.

ذ-۳-۲ فشارها و بارهای ناشی از مواد انبار شده

فشار مواد انبار شده پشت دیواره‌ها و قیف سیلو باید طبق زیربندهای ذ-۳-۳ تا ذ-۳-۶ تعیین شود. بار ناشی از این فشارها شامل فشار پر کردن و خالی کردن، هوادهی و افزایش یا کاهش فشار ناشی از بیرون رفتن مواد به‌صورت هم‌محور یا برون‌محور است. استفاده از هر روش محاسبهٔ فشار افقی و قائم و نیروهای اصطکاک طراحی مجاز است به شرطی که روش‌های مورد اشاره به‌صورت تجربی یا آزمون مورد تصدیق قرار گیرند.

برای تعیین مشخصات مواد انبار شده در سیلو شامل وزن مخصوص، زاویهٔ اصطکاک داخلی، ϕ، زاویه اصطکاک داخلی مؤثر، δ و ضریب اصطکاک مواد با فولاد و بتن، μ' می‌توان به جدول ذ-۱ مراجعه کرد.

1- Flow live loads



شکل ذ-۱- نمونه‌های از مقاطع عرضی قائم سیلوها به‌منظور تعیین ارتفاع قیف

جدول ذ-۱- مشخصات فیزیکی مواد دانه‌ای انبارشده در سیلو

ماده	چگالی kg/m^3	زاویهٔ اصطکاک داخلی، ϕ (°)	زاویهٔ اصطکاک داخلی مؤثر، δ، (°)	ضریب اصطکاک در برابر بتن، μ'	ضریب اصطکاک در برابر فولاد
سیمان- کلینکر	۱۴۱۰	۳۳	۴۲ تا ۵۲	۰٫۶	۰٫۳
سیمان پرتلند	۱۳۴۵ تا ۱۶۰۰	۲۴ تا ۳۰	۴۰ تا ۵۰	۰٫۴ تا ۰٫۸	۰٫۳
رس	۱۷۰۰ تا ۲۲۰۰	۱۵ تا ۴۰	۵۰ تا ۹۰	۰٫۲ تا ۰٫۵	۰٫۳۶ تا ۰٫۷
ذغال‌سنگ	۸۰۰ تا ۱۰۴۰	۳۲ تا ۴۴	۳۳ تا ۶۸	۰٫۵۵ تا ۰٫۸۵	۰٫۳
ذغال‌سنگ- انتراسیت	۹۶۰ تا ۱۱۲۰	۲۴ تا ۳۰	۴۰ تا ۴۵	۰٫۴۵ تا ۰٫۵	۰٫۳
کک	۵۱۵ تا ۹۷۵	۳۵ تا ۴۵	۵۰ تا ۶۰	۰٫۵ تا ۰٫۸	۰٫۵ تا ۰٫۶۵
آرد	۳۸	۴۰	۲۳ تا ۳۰	۰٫۳	۰٫۳
خاکستر بادی	۸۶۵ تا ۱۸۰۰	۳۵ تا ۴۰	۳۷ تا ۴۲	۰٫۶ تا ۰٫۸	۰٫۴۷ تا ۰٫۷۰
شن	۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰	۲۵ تا ۳۵	۳۶ تا ۴۰	۰٫۴ تا ۰٫۴۵	۰٫۲۹ تا ۰٫۴۲
غلات ریز شامل ذرت، جو، باقلا، برنج	۷۳۵ تا ۹۹۰	۲۰ تا ۳۷	۲۸ تا ۳۵	۰٫۲۹ تا ۰٫۴۷	۰٫۲۶ تا ۰٫۴۲
گچ غیر پودری، سنگ آهک	۱۶۰۰	۳۸ تا ۴۰	۴۵ تا ۶۲	۰٫۵ تا ۰٫۸	۰٫۳۸ تا ۰٫۴۸
سنگ آهن	۲۶۴۰	۴۰ تا ۴۵	۵۰ تا ۷۰	۰٫۵ تا ۰٫۸	۰٫۴ تا ۰٫۷
آهک ریزدانه	۱۱۲۰ تا ۱۲۸۰	۳۰ تا ۳۵	۳۵ تا ۴۵	۰٫۵ تا ۰٫۷	۰٫۵ تا ۰٫۶
آهک درشت‌دانه	۹۳۰ تا ۱۲۰۰	۴۰	۴۰ تا ۴۵	۰٫۵ تا ۰٫۸	۰٫۳ تا ۰٫۵
سنگ آهک	۱۳۴۰ تا ۲۷۳۰	۳۹ تا ۴۳	۴۵ تا ۸۰	۰٫۳ تا ۰٫۸	۰٫۵۵ تا ۰٫۷۰
سنگ منگنز	۲۰۰۰	۴۰	–	–	–
ماسه	۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰	۲۵ تا ۴۰	۳۰ تا ۵۰	۰٫۳ تا ۰٫۵	۰٫۳۵ تا ۰٫۵۰
دانه لوبیا، نخود	۸۰۰ تا ۹۶۰	۲۳	–	۰٫۲۵	۰٫۲
شکر	۱۰۰۰	۳۵	۳۳ تا ۴۰	۰٫۴۳	–

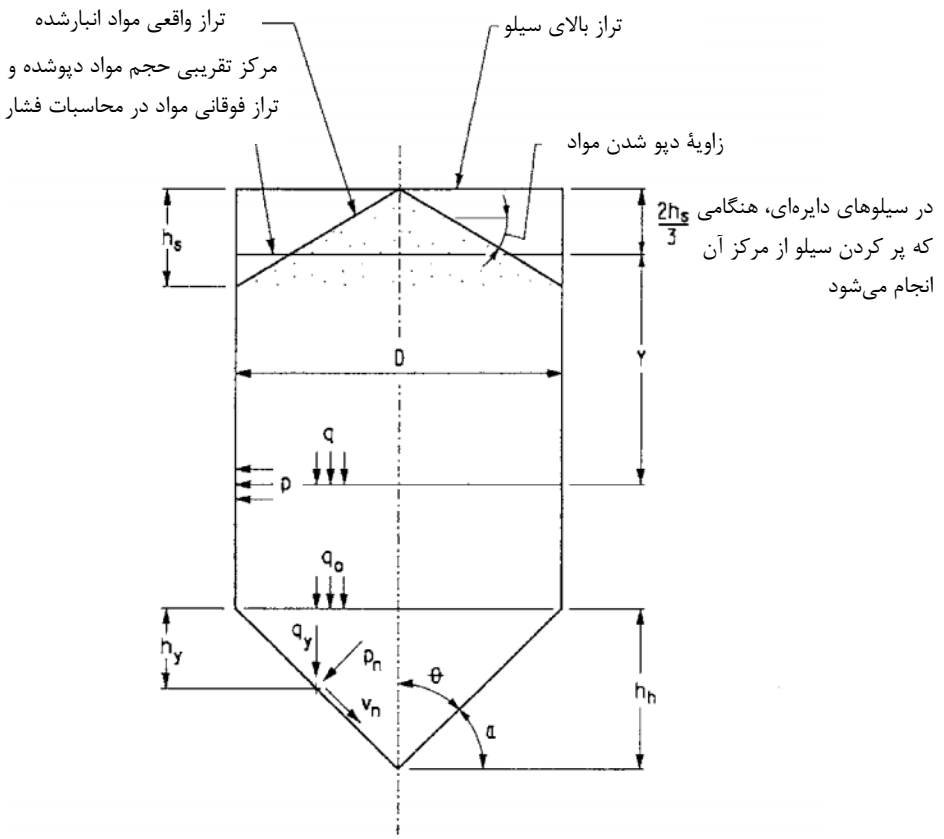
ذ-۳-۳ فشارها و بارهای وارد بر جداره‌ها

ذ-۳-۳-۱ فشارهای ناشی از پر کردن اولیه سیلو

این فشارها باید به این شرح تعیین شود:

الف- طبق شکل ذ-۱، فشار قائم پرکردن سیلو در عمق Y برحسب m، باید به این نحو محاسبه شود:

$$q = \frac{\gamma R_H}{\mu' k}\left(1-e^{-\mu' k Y/R_H}\right) \qquad (ذ-۱)$$



شکل ذ-۲- ابعاد مورد نیاز برای محاسبه فشارها و بارهای وارد بر جداره‌ها و قیف‌های سیلو [99]

که در آن:

γ وزن مخصوص مصالح انبارشده در سیلو برحسب kg/m^3 (طبق جدول ذ-۱)؛

R_H نسبت مساحت به محیط مقطع عرضی افقی فضای ذخیره‌سازی مواد؛

μ' ضریب اصطکاک بین مواد ذخیره‌شده و جدارهٔ سیلو (طبق جدول ذ-۱)؛

k نسبت p به q؛

p فشار افقی اولیه پرکردن سیلو ناشی از مواد ذخیره‌شده برحسب Pa؛

q فشار قائم اولیه پرکردن سیلو ناشی از مواد ذخیره‌شده برحسب Pa است.

ب- فشار افقی اولیه پرکردن سیلو در ارتفاع Y بر حسب m، به این صورت قابل تعیین است:

$$p = k\,q \qquad (ذ-۲)$$

پ- نسبت فشار جانبی، k، باید به این صورت تعیین شود:

$$k = 1 - \sin\phi \qquad (ذ-۳)$$

که در آن:

ϕ زاویهٔ اصطکاک داخلی مواد برحسب $^\circ$ است که طبق جدول ذ-۱ قابل تعیین است.

ت- بار اصطکاک قائم در واحد طول محیط جداره در عمق Y برحسب m به این صورت تعیین می‌شود:

$$V=(\gamma Y - q)R_H \qquad (ذ-۴)$$

ث- در صورتی که γ، μ' و k متغیر باشند، ترکیبات زیر باید با بیشینه مقدار γ مدنظر قرار داده شود:

ث-۱ کمینه مقدار μ' و کمینه مقدار k برای بیشینه مقدار فشار قائم، q

ث-۲ کمینه مقدار μ' و بیشینه مقدار k برای بیشینه مقدار فشار جانبی، p

ث-۳ بیشینه مقدار μ' و بیشینه مقدار k برای بیشینه مقدار نیروی اصطکاک قائم، V

ج- در تعیین فشارها و نیروهای درون یک سیلو، به جای محاسبهٔ Y (نشان داده شده در شکل ذ-۱)، می‌توان مواد را به صورت شیب‌دار و فشار را به‌صورت یک سربار قائم در نظر گرفت.

ذ-۳-۳-۲ جریان هم‌محور[1]

فشار طراحی افقی وارد بر جداره بالای قیف برای الگوهای جریان هم‌محور باید با ضرب کردن فشار اولیه پر کردن سیلو تعیین شده طبق رابطهٔ (ذ-۲) در یک ضریب اضافه‌فشار، C_d، برابر با ۱٫۶ به‌دست آید.

یادآوری- در طی پر کردن و تخلیه کردن سیلو، حتی زمانی که هر دو جریان هم‌محور باشند، اضافه‌فشارهایی به علت نقص هندسی (ناکاملی) در شکل استوانه‌ای سیلو، یکنواخت نبودن توزیع اندازه ذرات و هم‌گرایی بالای قیف‌ها یا کانال‌های جریان ایجاد خواهد شد که این موضوع در ضریب اضافه‌فشار، C_d، لحاظ می‌شود.

1- Concentric flow

ذ-۳-۳-۳ جریان نامتقارن[1]

فشارهای جریان غیر متقارن ناشی از بازشوهای تخلیه هم‌محور یا برون‌محور باید در طراحی جداره‌های سیلو منظور شود.

یادآوری- برای اطلاعات بیشتر به زیربند 6.4.4.2 تا 6.4.4.7 استاندارد ACI 313 [99] مراجعه شود.

اثر جریان غیر متقارن روی فشارهای طراحی و روش مورد استفاده برای طراحی جدارهٔ سیلو باید توسط طراح صلاحیت‌دار بر اساس هندسهٔ سیلو، ویژگی‌های جریان، خصوصیات مواد، جنس و رویهٔ قیف و همچنین موقعیت، نوع و پیکربندی تخلیهٔ سیلو تعیین شود.

ذ-۳-۴ فشارها و بارهای وارد بر قیف‌ها

ذ-۳-۴-۱ فشارهای اولیه پر کردن

این فشارها پایین وجه بالایی قیف ایجاد می‌شوند:

الف- فشار اولیهٔ قائم در عمق h_y پایین وجه بالایی قیف باید به این صورت محاسبه شود:

$$q_y = q_o + \gamma\, h_y \qquad (ذ-۵)$$

که در آن:

q_o فشار قائم اولیهٔ بالای قیف برحسب Pa که از رابطهٔ (ذ-۱) به‌دست می‌آید.

ب- فشار اولیهٔ عمود بر رویهٔ قیف در عمق h_y پایین وجه بالایی قیف باید بزرگ‌ترین مقدار حاصل از دو رابطهٔ (ذ-۶) و (ذ-۷) منظور شود:

$$p_n = \frac{q_y \tan\theta}{\tan\theta + \tan\phi'} \qquad (ذ-۶)$$

$$p_n = q_y\left(\sin^2\theta + k\cos^2\theta\right) \qquad (ذ-۷)$$

پ- نیروی اصطکاک اولیه برحسب N در واحد سطح جدارهٔ قیف باید به این صورت تعیین شود:

$$v_n = p_n \tan\phi' \qquad (ذ-۸)$$

رابطهٔ (ذ-۸) زمانی معتبر است که از رابطهٔ (ذ-۶) برای تعیین p_n استفاده شود و

ϕ' زاویهٔ اصطکاک بین ماده و جداره و رویهٔ قیف بر حسب ° است.

در صورتی که از رابطهٔ (ذ-۷) برای تعیین p_n استفاده شود، v_n به این صورت برحسب N قابل محاسبه است:

$$v_n = q_n(1-k)\sin\theta\cos\theta \qquad (ذ-۹)$$

1- Asymmetric flow

ذ-۳-۴-۲ قیف‌های جریان قیفی[1]

فشارهای طراحی در وجه پایینی بالای یک قیف با جریان قیفی‌شکل باید با استفاده از رابطهٔ (ذ-۵) تا (ذ-۹) با q_o ضرب شده در یک ضریب اضافه‌فشار، C_d، برابر با ۱٫۴۵ برای قیف‌های بتنی و ۱٫۶۰ برای قیف‌های فولادی محاسبه شود. فشار قائم طراحی در وجه بالایی قیف نباید از γY فراتر رود که در آن Y عمق مؤثر مادهٔ انبارشده نسبت به وجه بالایی قیف است.

یادآوری- جریان قیفی هنگامی ایجاد می‌شود که خروجی سیلو برای جریان یافتن مواد بدون تشکیل قوس پایدار یا تنگ‌شدگی[2]، به اندازه کافی بزرگ بوده، جدارهای قیف به اندازه کافی زبر نباشد و همچنین به میزان کافی شیب‌دار باشد تا یک الگوی جریان توده‌ای شکل گیرد. به‌منظور دست‌یابی به یک وضعیت خود پاک‌کننده[3]، شیب قیف باید به اندازه‌ای باشد که مواد، به هنگام تخلیه کامل قیف، روی آن بلغزند.

ذ-۳-۴-۳ قیف‌های جریان توده[4]

فشارهای طراحی زیر وجه بالایی قیف‌های جریان توده برحسب Pa از روابط (ذ-۱۰) تا (ذ-۱۳) به‌دست آید.

- فشار قائم در عمق h_y زیر وجه بالایی قیف باید به این صورت محاسبه شود:

$$q_y = \frac{\gamma}{n-1}\left(h_h - h_y\right)\left[1-\left(\frac{h_h - h_y}{h_h}\right)^{n-1}\right] + q_o\left[\frac{h_h - h_y}{h_h}\right] \qquad (ذ-۱۰)$$

که در آن:

q_o فشار قائم اولیه در بالای قیف با استفاده از رابطهٔ (ذ-۱) به‌دست می‌آید برحسب Pa؛

n پارامتری که برای مخروط دایره‌ای‌شکل از رابطهٔ (ذ-۱۱) و برای قیف‌های جریان صفحه‌ای[5] از رابطهٔ (ذ-۱۲) به‌دست می‌آید:

$$n = \frac{2B}{\tan\theta} > 1.0 \qquad (ذ-۱۱)$$

که در آن:

$$B = \frac{\sin\delta \sin 2(\theta+\beta)}{1-\sin\delta\cos 2(\theta+\beta)} \qquad (ذ-۱۲)$$

و

$$\beta = 1/2\left[\phi' + \sin^{-1}\frac{\sin\phi'}{\sin\delta}\right] \qquad (ذ-۱۳)$$

1- Funnel flow hoppers
2- Rathole
3- Self-cleaning condition
4- Mass flow hoppers
5- Plane flow hoppers

- فشار عمود بر رویه قیف در عمق h_y پایین بخش بالایی قیف برحسب Pa به این صورت محاسبه می‌شود:

$$p_n = \frac{1+\sin\delta\cos(2\beta)}{1-\sin\delta\cos 2(\theta+\beta)} q_y \qquad (ذ-۱۴)$$

- نیروی اصطکاک واحد بین مواد انبارشده و رویه قیف با استفاده از رابطهٔ (ذ-۸) توسط p_n محاسبه شده از رابطهٔ (ذ-۱۴) به‌دست می‌آید.
- در هیچ حالتی، فشار طراحی در قیف جریان تودهٔ کوچک‌تر از فشار طراحی محاسبه‌شده در زیربند ذ-۳-۴-۲ منظور نمی‌شود.

ذ-۳-۴-۴ قیف‌های دارای چند خروجی[1]

در قیف‌های با چند خروجی، وضعیتی که فشارهای اولیه بالای چند خروجی و فشارهای طراحی بالای سایر خروجی‌ها وجود داشته باشد باید در طراحی قیف‌ها و سازه‌های نگهدارنده آن‌ها لحاظ شود.

ذ-۳-۵ فشار در کف‌های تخت

ذ-۳-۵-۱ فشارهای پر کردن اولیه

در مورد کف‌های تخت، فشارهای پر کردن اولیه باید طبق زیربند ذ-۳-۳-۱ با مقدار Y معادل عمق مؤثر مواد انبارشده نسبت به وجه بالایی کف تخت محاسبه شود.

ذ-۳-۵-۲ فشارهای قائم طراحی روی کف‌های تخت

فشارهای قائم طراحی روی کف‌های تخت باید با ضرب کردن فشارهای پر کردن اولیهٔ به دست آمده از زیربند ذ-۳-۵-۱ در یک ضریب اضافه‌فشار، C_d، برابر با ۱٫۴۵ برای کف‌های بتنی و ۱٫۶۰ برای کف‌های فولادی محاسبه شود. فشار قائم طراحی نباید از γY فراتر رود.

ذ-۳-۶ فشارهای طراحی در سیلوهای همگن‌کننده[2]

مقدار فشارهای طراحی در سیلوهای همگن‌کننده بزرگ‌ترین مقدار حاصل از دو زیربند زیر منظور می‌شود:

الف- چنانچه فشار هوا وجود نداشته باشد، فشارها طبق زیربندهای ذ-۳-۳ و ذ-۳-۴ به‌دست می‌آید.

ب- در صورتی که فشار و حجم هوا برای ایجاد سیلان کل عمق مواد انبارشده کافی باشد، فشارها از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$p = q = 0.6\gamma Y \qquad (ذ-۱۵)$$

که در آن:

γ وزن واحد حجم هوادهی نشده مواد انبارشده برحسب kg/m^3 است.

1- Multiple outlet hoppers
2- Homogenizing silos

ذ-۳-۷ سایر بارها

فشارها و نیروهای محاسبه شده طی زیربندهای ذ-۳-۲ تا ذ-۳-۶ صرفاً مربوط به بارهای ناشی از حضور مواد انبارشده هستند. آثار بارهای زنده کف و سقف، بار برف، یخ، آثار حرارت، باد، زلزله، فشار هوای داخلی و نیروهای مربوط به فشار خاک یا مواد انبارشده بیرون سیلو را نیز باید در ترکیب بار بارهای ناشی از انبار کردن مواد مدنظر قرار داد.

ذ-۴ نیروی باد، بار برف و یخ

در تعیین نیروهای باد وارد بر سیلو، فشار مثبت و منفی وارده به‌صورت هم‌زمان را باید مدنظر قرار داد. فشار باد طراحی باید طبق بند ۱۳ تعیین شود. روند تعیین نیروی باد وارد بر سیلوها در زیربند ۱۳-۱۳-۲ بیان شده است. در توزیع بار باد باید اثر وجود سیلوهای مجاور منظور شود. خمش محیطی ناشی از اثر باد روی سیلوی خالی باید مدنظر قرار گیرد. به‌منظور تعیین آثار بار برف و یخ به ترتیب می‌توان به بندهای ۱۰ و ۱۲ مراجعه کرد.

ذ-۵ نیروهای زلزله

برای طراحی سیلوها در برابر زلزله می‌توان به منبع [1] مراجعه کرد. طراحی لرزه‌ای سیلو باید شامل بازهٔ کاملی از بارگذاری مواد از وضعیت خالی تا پر را شامل شود. می‌توان اندرکنش بین سیلو و مواد انبارشده را با استفاده از یک روش مناسب تحلیل سازه منظور کرد. وزن مخصوص مؤثر مواد به‌کار رفته در تعیین نیروهای زلزله را می‌توان مقادیر مندرج در جدول ذ-۱ فرض کرد. الزامات استاندارد ACI 318 برای طراحی لرزه‌ای سیلوهای بتنی باید برآورده شود.

ذ-۶ آثار حرارت

آثار حرارت برای مواد داغ یا سرد و همچنین هوای گرم و سرد باید منظور شود. در جداره‌های دایره‌ای شکل یا سطوحی از جداره که در برابر تابیدگی مقید هستند (نظیر گوشه‌های سیلوهای مستطیلی شکل)، لنگر خمشی ناشی از حرارت در واحد ارتفاع دیوار یا واحد عرض آن باید به این صورت محاسبه شود:

$$M_t=E_c h^2 \alpha_c \Delta T/12(1-\nu) \qquad (ذ-۱۶)$$

که در آن:

α_c ضریب انبساط حرارتی بتن برحسب $°C/$؛

E_c مدول الاستیسیتهٔ بتن برحسب MPa؛

ν ضریب پواسون بتن که می‌توان آن را ۰٫۲ فرض کرد؛

h ضخامت جداره برحسب mm؛

ΔT اختلاف دمای بین وجه درونی و بیرونی جداره برحسب °C است.

کاهش دادن مقدار E_c یا h برای بازتاب منظور کردن ممان اینرسی ترک‌خورده مجاز است به شرطی که این فرضیات با عمکرد برنامه‌ریزی شده جدارهٔ سیلو تحت بارهای بهره‌برداری سازگار باشد.

ذ-۷ ترکیب‌های بارگذاری و ضرایب کاهش مقاومت

برای طراحی سیلوهای بتنی، ترکیب‌های بارگذاری و ضرایب کاهش مقاومت، ϕ، باید با استاندارد ACI 318 در تطابق باشد. ضریب بار مربوط به مواد دانه‌ای باید به این صورت لحاظ شود:

- ۱٫۶ برای ترکیب‌های بارگذاری شامل بارهای مرده و زنده بدون آثار باد یا زلزله؛
- ۱٫۲ برای ترکیب‌های بارگذاری شامل باد یا زلزله که در آن‌ها بارهای باد یا زلزله به بارهای ثقلی اضافه می‌شوند؛
- ۰٫۹ برای ترکیب‌های بارگذاری شامل زلزله که در آن‌ها بارهای زلزله با بارهای ثقلی مقابله می‌کند.

پیوست ر

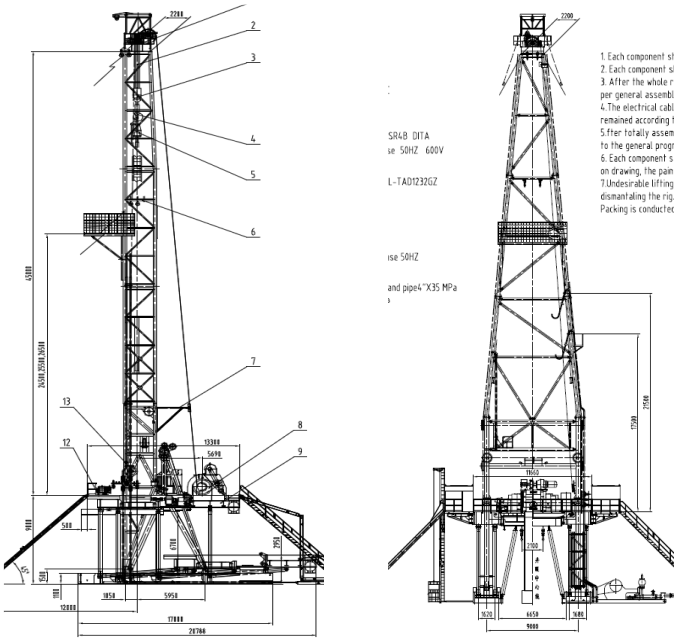
(الزامی)

تأسیسات سرچاهی نفت (سلرها) در خشکی

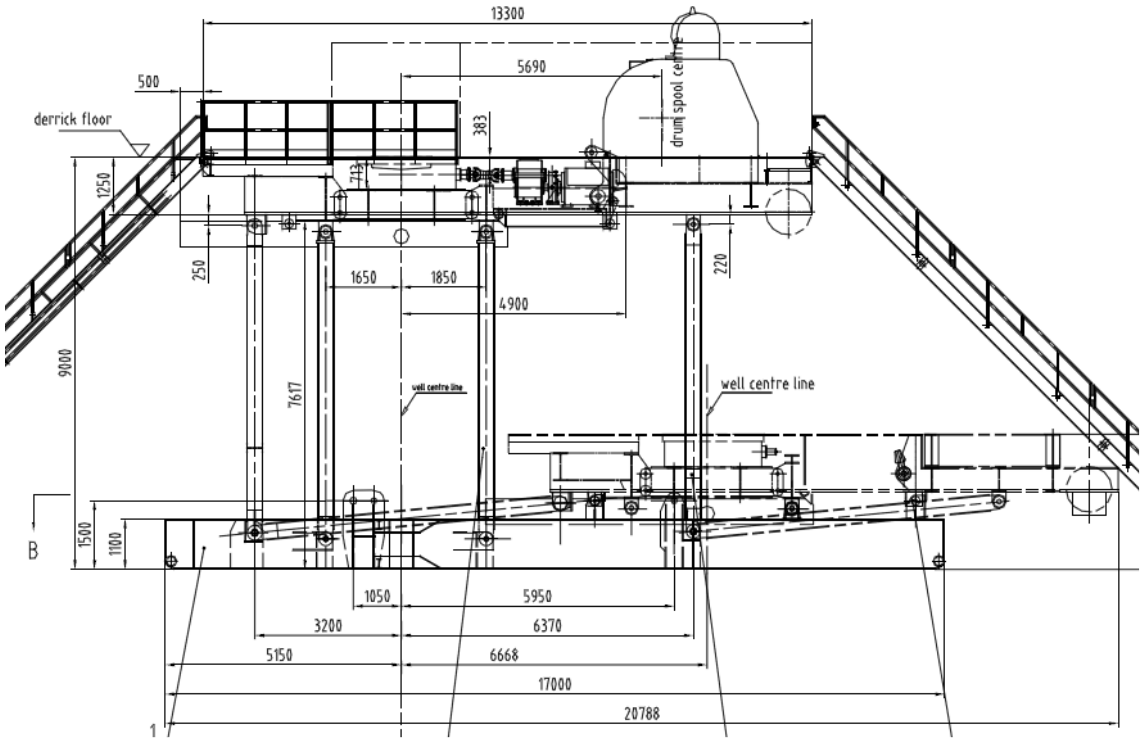
ر-۱ کلیات

پس از مشخص شدن محـــل حفر چاه توسـط مهندسان مخـزن هیـدروکربوری و اعلام مختصات جغرافیایی محل مورد نظر به مهندسان حفـار، آماده‌ســازی محوطهٔ چاه برای انتقال دکل و تجهیزات مورد نیاز حفاری مورد نیاز است. منطقه‌ای که در آن عملیات حفاری انجـام می‌گیـــرد، محـــوطه‌ای به ابعاد حدود ۱۰۰ m در ۱۰۰ m است که عملیات تسطیح در آن انجام می‌شود. به علت وزن نسبتاً زیاد دکل حفـاری، محل اســـتقرار آن باید از دیدگاه ســـازه‌ای و ژئوتکنیکی دارای پایـداری، مقاومت و سختی مناسب باشد. این محل بر اساس ابعاد دکل حفاری، به شکل یک گودال ایجاد شده که به آن سلر گفتـه می‌شود که به عنـوان سازهٔ تکیه‌گاهی دکل‌های حفـاری محسوب می‌شود (ابعـاد داخـــلی چاهک سلر متعارف برای استقرار دکل حفاری تیپ فتح متعـلق به شرکت ملی حفاری ایران برابر است با ۷٫۳۰ m × ۳٫۴۰ m به عمـــق ۲٫۷۵ m). بارهای وارد بر این نوع ســـازه، مربـوط به بارهای دائمی و بارهـای اعمالی از سـوی دکل به هنـــگام انجام عملیات حفاری است. جزئیات هندسی یک نمونه دکل حفاری خشکی مورد اســـتفاده در ایـــران در شکل ر-۱ تا شکل ر-۳ نشـان داده شده و اجزای دکل حفاری نیز در شکل ر-۴ تشریح شده است.

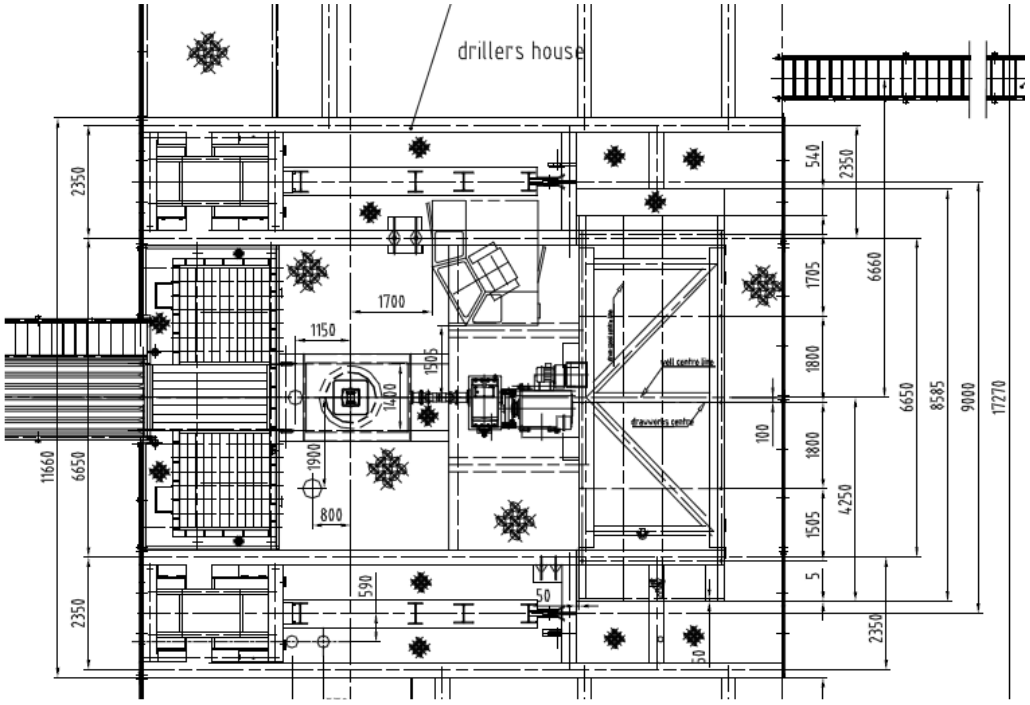
یادآوری- برای طراحی سازه دکل، به استاندارد API 4F [100] مراجعه شود.



شکل ر-۱- تصویری از دو نمای یک نمونه دکل حفاری در خشکی در ایران

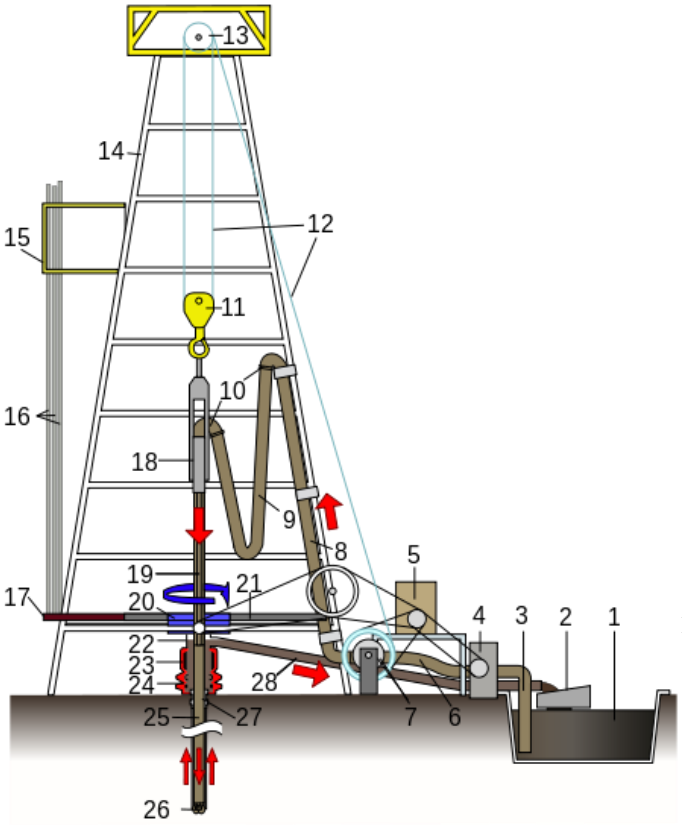


شکل ر-۲- اندازه‌گذاری کف دکل[1] برای یک نمونه دکل حفاری مورد استفاده در ایران (برحسب mm)



شکل ر-۳- ابعاد اتاقک حفار[2] در پلان (برحسب mm)

1- Derrick floor
2- Driller house



راهنما:

۱. مخزن گِل (Mud Tank)
۲. الک‌های لرزان (Shale Shakers)
۳. خط مکش (Suction Line)
۴. پمپ گِل (Mud Pump)
۵. موتور یا منبع نیرو (Motor or Power Source)
۶. شلنگ لرزان (Vibrating Hose)
۷. دستگاه کِشنده (Draw-Works)
۸. استند پایپ (Standpipe)
۹. شلنگ کلی (Kelly Hose)
۱۰. زانویِ استند پایپ (Goose-Neck)
۱۱. جعبه قرقرهٔ متحرک (Traveling Block)
۱۲. کابل حفاری (Drill Line)
۱۳. قرقرهٔ تاج (Crown Block)
۱۴. بدنه دکل (Derrick)
۱۵. رَکینگ بُرد (Racking Board)؛ یا Monkey Board
۱۶. استند (Stand)
۱۷. سِت‌بَک (Setback)
۱۸. هرزگرد (Swivel) (سامانه تاپ درایو هرزگرد ندارد)
۱۹. کِلی (Kelly) (سامانه تاپ درایو کلی ندارد)
۲۰. میز دوّار (Rotary Table)
۲۱. کف حفاری (Drill Floor)
۲۲. Bell Nipple
۲۳. فوران‌گیر حلقوی (Annular Blowout Preventer) (BOP)
۲۴. مجموعهٔ فوران‌گیرها (شامل فوران گیر لوله‌ای، فورانگیر کوبه‌ای، فوران‌گیر برشی BOP Stack (Pipe Ram, Blind Ram, Shear Ram)
۲۵. رشتهٔ حفاری (Drill String)
۲۶. متهٔ حفاری (Drill Bit)
۲۷. دریچهٔ چاه (دریچه لوله جداری) (Casing Head or Wellhead)

شکل ر-۴- اجزای دکل حفاری خشکی

ر-۲ بارهای دائمی سلر

این بارها شـــامل وزن اجزای بتنی سلر است که همـواره در دوران بهره‌برداری (پس از انجام عملیات حفاری) وجود خواهد داشت. همچنین فشار جانبی خاک وارد بر دیوارهای سلر از جمله بارهای دائمی منظور می‌شود.

ر-۳ بارهای عملیات حفاری

ر-۳-۱ کلیات

این بارها شامل بارهایی است که از طرف رشته‌های حفاری و دکل به سلر اعمال می‌شود. این بارگذاری به دو حالت زیر قابل اعمال است:

حالت اول (Operating 1): بارهای دکل + بارهای زنده

حالت دوم (Operating 2): بارهای دکل + بارهای زنده + نیروی برکنش

بارهای وارد از دکل به سلر در وضعیت عملیات حفاری معمولاً شامل موارد زیر است:

وزن سازه دکل[۱]، وزن زیرسازه[۲]، بار ایستای قلاب[۳]، وزن اتاقک حفار[۴]، وزن محرک رشتهٔ حفاری[۵]، وزن گردونهٔ حفاری[۶]، وزن جعبه قرقرهٔ متحرک[۷] و بار عقب‌زنی[۸]

یادآوری- منظور از بار زنده، بارهای متحرک یا بارهای بهره‌برداری از تجهیزات مربوط به عملیات حفاری است.

ر-۳-۲ وزن سازهٔ دکل

این بار شامل وزن اجزای تشکیل‌دهنده دکل است (به عنوان نمونه برای دکل فتح: ۷۸۵ kN).

ر-۳-۳ وزن زیرسازهٔ دکل حفاری

این بار مربوط به وزن سازهٔ نگهدارندهٔ دکل حفاری است که بار آن به‌صورت مستقیم روی دیوارهٔ سلر اعمال می‌شود (به عنوان نمونه برای دکل فتح: ۲۳۲۵ kN).

ر-۳-۴ وزن منجنیق یا گردونه حفاری

گردونهٔ حفاری، موتوری نسبتاً سنگین است که سیم‌های نگهدارنده را دور قرقره که در داخل خود قرار دارد، جمع یا باز می‌کند. وزن این گردونه برای دکل‌های تیپ فتح حدود ۴۹۰ kN است.

ر-۳-۵ وزن اتاقک حفار[۹]

اتاقک حفار یک سازهٔ کوچک واقع در کف دکل بوده، که دفتر کار حفار و محل ذخیره ابزارآلات کوچک است. وزن این اتاقک برای دکل‌های تیپ فتح یک زوج بار ۱۲۵ kN قابل تخمین است.

ر-۳-۶ وزن مجموعهٔ محرک و چرخانندهٔ رشته حفاری

این مجموعه، محرّک و چرخانندهٔ رشتهٔ حفاری[۱۰] است که روی دکل حفاری و در ارتفاع مناسب نصب می‌شود. این مجموعه، یک پیش‌رانهٔ هیدرولیکی یا الکتریکی است که از دکل آویزان می‌شود و رشتهٔ حفاری و مته را می‌چرخاند. برای دکل‌های تیپ فتح، می‌توان وزن آن را حدود ۲۲۵ kN تخمین زد.

ر-۳-۷ وزن جعبه قرقرهٔ متحرک

یک قرقره است که در شکل ر-۴ نشان داده شده و وزن تخمینی آن برای دکل‌های تیپ فتح ۱۱۵ kN است.

1- Mast
2- Substructure
3- Static hook load
4- Dog house
5- Top drive
6- Drawworks
7- Travelling block
8 - Setback
9- Dog house
10- Drillstring

ر-۳-۸ بار ایستای قلاب[1]

این بار شامل وزن رشته یا لوله‌های حفاری در طی عملیات حفاری است. تعیین این بار در شدیدترین وضعیت حفاری (برای عمق‌های هدف) باید در محاسبات سازه‌ای مربوط به سلر مدنظر قرار داده شود. وزن رشته‌های حفاری باید برای اندازه‌های مختلف لوله‌ها صورت پذیرد. طول رشته‌های حفاری (بسته به عمق چاه) باید در محاسبات این وزن منظور شود.

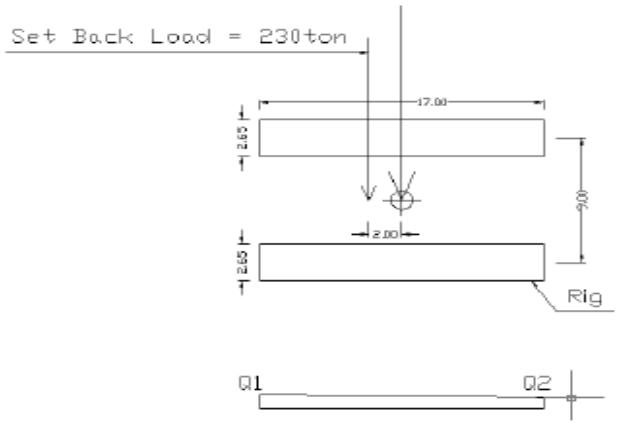
یادآوری- به عنوان مثال، برای رشته حفاری به قطر نه و پنج هشتم اینچ (با وزن واحد طول ۷۸۱ kN/m) در حفاری به عمق ۳۷۳۰ m، می‌توان این بار را در شدیدترین وضعیت به این صورت تخمین زد:

$$3730 \times 781 \times 1.25 \times 10^{-3} = 3641\text{kN}$$

ضریب ۱٫۲۵ مربوط به اثر هم‌پوشانی رشته‌های حفاری قرار گرفته در محل اتصال آن‌ها است.

ر-۳-۹ بار عقب‌زنی[2]

این بار شامل بیشینه وزن لوله‌های حفاری است که توسط زیرسازه در محوطهٔ عقب‌زنی تحمل می‌شود. این بار وابسته به قدرت دکل حفاری است و توسط مهندسان حفاری تعیین می‌شود و در اختیار مهندس محاسب سازهٔ سلر قرار می‌گیرد. این بار با یک خروج از مرکزیت نسبت به مرکز هندسی سلر اعمال می‌شود. به عنوان نمونه، برای دکل‌های حفاری با توان ۲۰۰۰ hp، مقدار بیشینه این بار حدود ۲۲۵۰ kN قابل تخمین است. برای دکل تیپ فتح، این خروج از مرکزیت برابر با ۲ m است (به شکل ر-۵ مراجعه شود).



شکل ر-۵- نحوه استقرار بار عقب‌زنی (پلان)

1- Static hook load
2- Set back

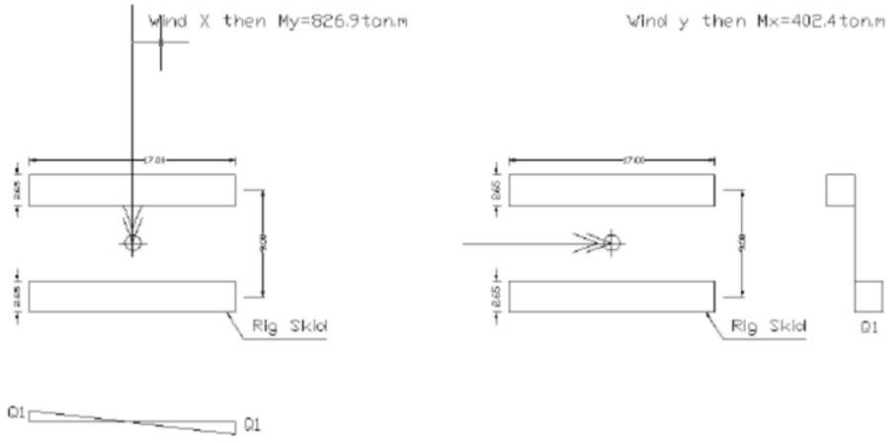
ر-۳-۱۰ بار ناشی از وزن سایر تجهیزات مکانیکی[1] روی محوطه چاه

بسته به جانمایی دکل، ممکن است بارهای دیگری مربوط به تجهیزات مستقر شده روی محوطه چاه اطراف سلر[2] به این شرح وجود داشته باشد که باید به تعداد مورد نیاز در محاسبات سازه‌ای مدنظر قرار داده شود:

- وزن پمپ‌های گل حفاری[3]: به عنوان نمونه برای پمپ نوع F-1600 برابر با ۲۴۳ kN؛
- وزن ژنراتور: به عنوان نمونه برای مدل CAT 3516 برابر با ۱۵۷ kN؛
- محرک‌های اولیه[4]: به عنوان نمونه برای مدل CAT 3512 برابر با ۷۶ kN؛
- مخزن لرزان[5]: حدود ۱۵۷۰ kN؛
- مخازن فعال و ذخیره[6]: حدود ۱۵۲۰ kN.

ر-۴ بارهای باد

بار باد وارد بر دکل در دو راستای متعامد افقی بر اساس بند ۱۳ محاسبه می‌شود و در ترکیب بارهای شامل بار باد لحاظ می شود. این بار در سطح بارگیر دکل اعمال می شود (به عنوان نمونه در دکل‌های حفاری تیپ فتح، می‌توان ٪ ۲۰ سطح ناخالص دکل در هر سمت رو به باد را به عنوان سطح بادگیر مؤثر در نظر گرفت). نیروی باد و لنگر خمشی ناشی از آن روی سلر در دو راستای افقی عمود بر هم در هر اسکید[7] لحاظ می‌شود (به شکل ر-۶ مراجعه شود).



شکل ر-۶- اعمال بار باد از طرف دکل به سلر

1- Paving load
2- Pavement
3- Mud pumps
4- Prime mover
5- Shaker tank
6- Reserve & active tanks
7- Skid

ر-۵ بارهای ناشی از زلزله

نیروهای زلزله وارد از طرف دکل به سلر در دو راستای عمـــود بر هم محاســبه می‌شوند. برای تعیین بارهـای ناشی از زلزله می‌توان به منبع [1] مراجعه نمود. با توجه به اینکه تنها در زمان حفاری، دکل روی سلر مستقر می‌شـود، لزوم در نظر گرفتن آثار زمین‌لرزه و دورهٔ بازگشت زلزله طرح توسط کارفرما مشخص خواهد شد.

ر-۶ ضرایب اطمینان در برابر واژگونی و لغزش

بر اسـاس منبع API 4F [100]، بیشینه ضریب ایســـتای اصطکاک مجـاز مورد اسـتفاده در واپایش واژگونی یا محاسبهٔ واپایش لغزش، برای سـلرهای بتنی باید برابر با ۰٫۱۵ فرض شود. در واپایش‌های مربوط به پایداری دکل‌ها، بارهای دائمی منظور شـده باید به ٪ ۹۰ بیشینه وزن مورد انتظار دکل و تجهیزات محدود شود (کلیهٔ مخازن سیالات باید خالی منظور شود). ضریب اطمینان در برابر واژگونی (نسبت حداقل لنگر ناشی از بارهای دائمی حـول یک نقـطهٔ دوران، تقســـیم بر لنـگر واژگـونی مجمـوع بارهای بهـره‌برداری قائم به علاوه بارهای محیطی شامل باد یا زلـزله حول همان نقطه) باید حداقـل برابر با ۱٫۲۵ منظور شود. ضریب اطمینان در برابر لغزش که برابر است با نسـبت کمینه مقاومت لغـزشی به‌دست آمده توسط بیشینه ضـریب اصطکاک ایستای مجاز تقسیم بر کل بارهای برشی وارده ناشی از بارهای محیطی باید حداقل ۱٫۲۵ باشد.

یادآوری- لازم به ذکر است بیشینه نشست قابل پذیـرش سـلر در طـی اعمال بارهـای عملیـات حفاری را می‌توان با توجه به ظرفیت باربـری مجـاز پی سطحی به ۲۵ mm یا ۵۰ mm محـــدود کرد، اما هیچ‌گونه دوران یا نشست نامتقارن تکیـه‌گاه بتنی (سلر) به علت ایجاد محدودیت برای عملیات حفاری قابل پذیرش نیست.

ر-۷ ترکیب‌های بارگذاری

ر-۷-۱ واپایش ژئوتکنیکی و ارزیابی پایداری

به‌منظور بررسی تنش‌های وارد بر کف سـلر در تماس با خاک و همچنین ارزیابی وضـعیت واژگونی و لغزش، (روش تنش مجاز) ترکیب‌های بارگذاری به این شـرح جدول ر-۱ اسـت. حالات بار مطرح در طراحی عبارتند از:

D بارهای دایمی؛

OP1 بارهای بهره‌برداری ۱ توصیف شده در زیربند ر-۳-۱؛

OP2 بارهای بهره‌برداری ۲ توصیف شده در زیربند ر-۳-۱؛

H فشار جانبی خاک؛

EQ آثار ناشی از زلزله؛

W آثار ناشی از باد.

جدول ر-۱- ترکیب‌های بارگذاری مربوط به واپایش‌های تنش مجاز (WSD)

حالت بار	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
D	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵
OP1	–	۱٫۰	–	۰٫۷۵	–	۰٫۷۵	–
OP2	–	–	۱٫۰	–	۰٫۷۵	–	۰٫۷۵
H	–	۱٫۰	۱٫۰	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵	۰٫۷۵
EQ	–	–	–	۰٫۷۵	۰٫۷۵	–	–
W	–	–	–	–	–	۰٫۷۵	۰٫۷۵

یادآوری ۱- برای واپایش پایداری دکل در واژگونی و لغزش، ٪ ۹۰ بارهای دائمی و بهره‌برداری (OP1 یا OP2) در محاسبات منظور می‌شوند.
یادآوری ۲- بارهای باد در دو راستای عمود بر هم، در دو جهت متضاد و ترکیب بارهای متفاوت منظور می‌شوند.
یادآوری ۳- بارهای ناشی از زلزله در دو راستای عمود بر هم در دو جهت متضاد و ترکیب بارهای متفاوت منظور می‌شوند.

ر-۷-۲ طراحی سازه‌ای سلر

برای طراحی تکیه‌گاهی بتنی دکل حفاری (سلر)، از روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) استفاده می‌شود که ترکیب‌های بارگذاری آن طبق جدول ر-۲ است. استاندارد ACI 318 برای طراحی سازه‌ای، پیشنهاد می‌شود.

جدول ر-۲- ترکیب‌های بارگذاری مربوط به طراحی سازه‌ای سلر به روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

حالت بار	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7
D	۱٫۴	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۲
OP1	–	۱٫۶	–	۱٫۰	–	۱٫۰	–
OP2	–	–	۱٫۶	–	۱٫۰	–	۱٫۰
H	–	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۶
EQ	–	–	–	۱٫۰	۱٫۰	–	–
W	–	–	–	–	–	۱٫۰	۱٫۰

یادآوری ۱- بارهای باد در دو راستای متعامد، در دو جهت متضاد و ترکیب بارهای متفاوت منظور می‌شوند.
یادآوری ۲- بارهای ناشی از زلزله در دو راستای متعامد در دو جهت متضاد و ترکیب بارهای متفاوت منظور می‌شوند.
یادآوری ۳- برای طراحی سازه‌ای سلر، از استاندارد ACI 318 استفاده می‌شود.

پیوست ز

(آگاهی‌دهنده)

انفجار در تأسیسات صنعت نفت

ز-۱ آسیب‌ها و مقادیر اضافه‌فشار وارد بر سازه‌های غیرساختمانی در یک مجتمع صنعت نفت ناشی از انفجار

اضافه‌فشارهای وارد بر انواع سازه‌های غیرساختمانی و تجهیزات در یک مجتمع صنعت نفت به عنوان نمونه در جدول ز-۱ آمده است. همچنین آسیب‌های وارد بر این سازه‌ها و تجهیزات در برابر اضافه‌فشارهای وارده در جدول ز-۲ ارائه گردیده است. با آن‌که انجام تحلیل‌های سازه‌ای تفصیلی و ارزیابی آسیب‌ها در سازه‌های غیرساختمانی امکان‌پذیر است، احتمال دارد در چنین تحلیل‌هایی به دلیل وجود پیچیدگی‌های شدید، نتوان به میزان کافی، بسیاری از متغیرها را لحاظ کرد. با استفاده از داده‌های غربال‌گری شده مطرح گردیده در این بخش، با میزان مناسب قضاوت مهندسی و دقت کافی، می‌توان اطلاعات کلی در خصوص عملکرد موردانتظار سازه تحت شرایط بارگذاری انفجاری را به‌دست آورد. اما دو عامل در این حوزه نیازمند برخی ملاحظات ویژه است. عامل اول اثر مدت تداوم اعمال بار انفجار است. بیشترین داده‌های آسیب‌دیدگی سازه‌های غیرساختمانی و تجهیزات صنعت نفت در رخداد انفجار ناشی از آزمایش‌های هسته‌ای بوده است که به میزان قابل ملاحظه‌ای مدت تداوم بیشتری نسبت به انفجارهای اتفاقی دیگر در مجتمع‌های صنعت نفت دارند. بنابراین، می‌توان انتظار داشت تجهیزات حساس به ضربه در این موارد بهتر از آن وضعیتی که داده‌های موجود نشان می‌دهند عمل کنند. عامل دوم فرایند ساخت (مصالح و جزئیات نصب) است که ممکن است به میزان قابل ملاحظه‌ای با آنچه آزمایش می‌شود متفاوت باشد.

یادآوری- مطالب ارائه شده در این پیوست، مربوط به وقوع رخداد انفجارهای تصادفی (غیر نظامی) است. به‌منظور تعیین آثار انفجار ناشی از حملات نظامی یا انتحاری، باید از مطالعات پدافند غیرعامل استفاده شود.

جدول ز-۱- آثار اضافه فشار انفجار وارد بر تأسیسات آسیب‌پذیر یک مجتمع صنعت نفت[101]

تجهیز	اضافه فشار psi (kPa)																								
	0.5 (3.4)	1.0 (6.9)	1.5 (10)	2.0 (14)	2.5 (17)	3.0 (21)	3.5 (24)	4.0 (28)	4.5 (31)	5.0 (34)	5.5 (38)	6.0 (41)	6.5 (45)	7.0 (48)	7.5 (52)	8.0 (55)	8.5 (59)	9.0 (62)	9.5 (66)	10 (69)	12 (83)	14 (97)	16 (110)	18 (124)	20 (138)	>20.0 (>124)
برج خنک‌کننده	b		d				l																			
مخزن با سقف مخروطی شکل		c				l							r													
محفظه ابزاردقیق			a			j, k						q														
کوره				e	g					q																
راکتور شیمیایی				a				g					m					q								
صافی				f					q										s		q					
ژنراتور						h				g, m					q											
مخزن سقف شناور						i							r												c	
راکتور تجزیه							h							g							q					
تکیه‌گاه لوله							m					p, l														
دستگاه اندازه‌گیری گاز									n																	
مبدل برقی									f						j					q						
موتور الکتریکی										f								j								s
دمنده (Blower)										n										q						
برج تقطیر											o			q												
ظرف افقی تحت فشار												g, m						q								
رگولاتور گاز												g								k, n						
برج استخراج													g							s	q					
توربین بخار															g						k	p				s
مبدل حرارتی															g			q								
مخزن کروی																h						g	q			
ظرف قائم تحت فشار																					g	q				
پمپ																					g		s			

نشانه‌گذاری:

a. شکست گیج (Gauge)
b. سقوط پره‌ها (Louvers) (در برج‌های خنک‌کن)
c. فروریزش سقف
d. آسیب به قطعات داخلی
e. ترک‌های آجری
f. ایجاد آسیب‌ها ناشی از اصابت ترکش
g. جابه‌جایی دستگاه و شکست لوله‌های متصل به آن
h. شکست مهاربندها
i. ایجاد بلندشدگی دستگاه (در وضعیت نیمه‌پر)
j. آسیب به خطوط برق
k. آسیب به سیستم کنترل
l. فروریزش قاب
m. تغییرشکل قاب
n. آسیب به محفظه
o. ترک‌خوردگی در قاب
p. شکست لوله‌ها
q. واژگونی دستگاه یا خرابی آن
r. ایجاد بلندشدگی دستگاه (٪ ۹۰ پر شده)
s. جابه‌جایی دستگاه روی شالوده

جدول ز-۲- آسیب وارد بر سازه‌های غیرساختمانی یک مجتمع نفتی در اثر انفجار و اضافه‌فشار مربوطه [25]

توصیف آسیب‌دیدگی	مقدار اضافه‌فشار یا بازه آن kPa
آسیب جدی سقف در یک مخزن ذخیرهٔ فولادی	۷
شکست سازه نگهدارندهٔ یک مخزن ذخیرهٔ دایره‌ای شکل	۱۰۰
ترک‌خوردگی در مخازن ذخیرهٔ خالی سیالات هیدروکربوری	۲۰ تا ۳۰
جابه‌جایی یک مخزن ذخیرهٔ استوانه‌ای، شکست لوله اتصال به مخزن	۵۰ تا ۱۰۰
آسیب وارد بر برج تقطیر	۳۵ تا ۸۰
تغییرشکل‌های کوچک سازهٔ نگهدارنده خط لوله	۲۰ تا ۳۰
جابه‌جایی یک سازهٔ نگهدارنده خط لوله، شکستن لوله	۳۵ تا ۴۰
فروریزش یک سازه نگهدارندهٔ خط لوله	۴۰ تا ۵۵
فرورفتگی بدنه خودروها و کامیون‌ها به سمت داخل	۳۵
شکستن پایه‌های چوبی خطوط ارتباطی	۳۵
واژگون شدن واگن‌های قطار باری	۵۰

ز-۲ انواع انفجار

ز-۲-۱ انفجارهای ناشی از ابر بخار و گاز[1]

چهار شرط اساسی برای ایجاد اضافه‌فشارهای زیان‌آور در انفجارهای ایجادکنندهٔ ابر بخار و گاز وجود دارد.

- در محل آزادسازی مواد اشتعال‌زا باید موقعیت مناسب فشار و دما وجود داشته باشد. این موارد شامل تبدیل گازها به حالت مایع تحت فشار، مایعات متداول اشتعال‌زا (به ویژه در دماها و یا فشارهای بالا) و گازهای اشتعال‌زا است. وقتی یک مایع اشتعال‌زا روی سطحی ریخته می‌شود، بخشی یا همهٔ آن بخار و به‌صورت گاز در هوا پخش می‌شود. این پدیده، انتشار ابر بخار و گاز نامیده می‌شود.
- اشتعال و احتراق موجود باید به اندازه کافی طولانی باشد تا ابر بخار و گاز به بزرگی کافی برسد. بزرگ‌ترین اندازه ابر بخار و گاز قابل اشتعال معمولاً طی ۳۰ s تا ۶۰ s تشکیل می‌شود. بنابراین فاصلهٔ زمانی برای ایجاد اشتعال طولانی نیست. در صورتی که این اشتعال تقریباً بسیار سریع اتفاق افتد، حالتی مانند پرتاب آتش صورت می‌گیرد ولی انفجار ابر بخاری اتفاق نمی‌افتد.
- نسبت مورد نیاز هوا به سوخت (ماده اشتعال‌زا) برای یک ابر بخار و گاز باید در بازهٔ قابلیت اشتعال باشد. مخلوط یکنواخت هوا و سوخت، هرچه دارای نسبت اوزان اتمی نزدیکتر باشد انفجار حاصل قوی‌تر است.
- باید یک سازوکار شتاب شعله در داخل بخش قابل اشتعال ابر بخار و گاز مانند سطوح درهم‌فشرده وجود داشته باشد. اضافه‌فشارهای تولید شده به وسیلهٔ انفجار ابر بخار و گاز، بر اساس سرعت انتشار شعلهٔ درون ابر محاسبه می‌شود. اشیایی که در مسیر شعله قرار دارند (مانند نواحی متراکم لوله‌ها، تجهیزات فرایندی و غیره) تلاطم ابر بخار و گاز و آتش را افزایش می‌دهند. این تلاطم منجر به سرعت بیشتر انتشار شعله می‌شود که به نوبهٔ خود می‌تواند اضافه‌فشارهای بزرگی را ایجاد کند. محصورکننده‌هایی مانند دال‌های صلب در سازه‌های فرایندی چند طبقه که گسترش اشتعال را محدود کنند، موجب افزایش سرعت شعله می‌شوند. بدون شتاب و توسعه شعله‌ها، حجم بزرگ آتش و پرتابه آن حاصل می‌شود ولی انفجار رخ نمی‌دهد.

بنابراین می‌توان از این چهار شرط نتیجه گرفت که مرکز انفجار ناشی از ابر بخار و گاز لزوماً جایی نیست که مادهٔ قابل اشتعال رها می‌شود، یا اینکه مرکز مذکور در میان خود ابر بخار و گاز نیست؛ بلکه مرکز انفجار ناشی از ابر بخار و گاز، معمولاً یک ناحیه متراکم داخل ابر بخار و گاز است. اگر چند ناحیه متراکم یا محصور در داخل بخش قابل اشتعال یک ابر بخار و گاز وجود داشته باشد، چندین انفجار می‌تواند رخ دهد، به‌گونه‌ای که شعله در ابتدای هر ناحیهٔ متراکم یا محصور گسترش می‌یابد.

ز-۲-۲ انفجارها در مخازن (ظروف) تحت فشار[2]

در مجتمع‌های صنعت نفت، انفجار در مخزن تحت فشار ممکن است به یکی از صورت‌های زیر به وقوع بپیوندد:

1- Vapor Clouds Explosion (VCE)
2- Pressure vessel explosions

الف- اشتعال و انفجار گازهای خالص بدون اختلاط با اکسید آن‌ها

استیلن (C_2H_2) نمـــونه‌ای از یک گاز است که انرژی آزاد شـــده در فرایند تجزیه را به تنهایی تحـمل می‌کند. استیلن می‌تواند با اکسیژن موجود در هوا بسوزد که این عمل به‌صورت اشتعال یا انفجار رخ می‌دهد. اما استیلن به تنهایی، بدون هیچ گونه اکسیژنی نیز می‌تواند شعله‌ور یا منفجر شود.

ب- احتراق در اتاقک‌ها و محفظه‌ها

این مورد می‌تواند در مورد سوخت‌های گاز، مایع و یا ذرات معـلق صورت پذیرد. اگر یک اتاقـــک و محفظه در برابر فشارهای ناشی از احتراق ضعیف باشد، مکان مذکور منفجر خواهد شد.

پ- واکنش‌های شیمیایی گرماده واپایش‌نشده

بسـیاری از واکنش‌های شیمیایی موجود در صنایع گرمـــاده هستند یعنی انرژی تولید می‌کنند. اگر انرژی آزاد شده در واکنش‌های شیمیایی بزرگ به سرعت واپایش نشود، گرمـای حاصله به شکل واپایش‌نشده آزاد می‌شـود و انفـــجار رخ می‌دهد. اگر یک مخـــزن حاوی مواد شـــیمیایی و امثال آن دارای سـامانهٔ تهویه مناسب نباشد، فشـــارهای قابل ملاحظه‌ای به وجود خواهد آمد. در صورتی که این فشـارها، از فشـــارهای مجاز مخزن (ظرف) تجاوز کنند، مخزن منفجر خواهد شد.

ت- اضافه‌فشار تجهیزات با گازهای واکنش‌ناپذیر موجود

این مورد انفـــجارهای مکانیکی نیز نامیده می‌شود. گسیختگی مخزن (ظرف) تحت فشـــار به علت اضافه‌فشارها در حالتی اتفـــاق می‌افتد که خطای انســـانی و یا نقص در تجهـیزات جانبی وجود داشته باشد و مخازن نتوانند فشارهای داخلی را تحمل نمایند.

ث- انفجارهای ابر بخار و گاز به شکل فیزیکی

انفـــجارهای ابر بخـــار و گاز به حالت فیزیکی زمـانی رخ می‌دهد که دو جریـان و توده بزرگ با دماهای متفاوت به‌طور ناگهانی با یکدیگر ترکیب شوند، مانند حالتی که جریان سردتر به سرعت به بخار تبدیل می‌شود و تولید فشار بســـیار بیشـــتری از فشار مجاز قابل تحمل توسط محفظه می‌کند و در نتیجه محفظه منفـــجر می شود. به‌طور مثال در صنعت ریخته‌گری و کارخانه‌های ذوب فلـــزات چنین حالتی قابل وقوع است. اگر فلز ذوب شده ناگهان در داخل قالب سرد ریخته شود چنین واکنشی رخ می‌دهـــد. مثال دیگر این حالت ریختن آب در داخل روغن (یا نفت) بسیار داغ است.

ج- انفجارهای ناشی از بخار حاصله از انبساط مایع در حال جوشیدن

این حالت زمانی به وقـوع می‌پیوندد که در نتیـــجه پارگی مخزن (ظرف)، مقـدار زیادی مایع تحت فشار به طور ناگهانی به فضای بیرون و هوای آزاد تخلیه شـــود. این گسیختگی ممکن است به دلایل متعددی به وجود آمده باشد، اما اغلب، این گسیختگی به علت دمای بسـیار زیاد ناشی از آتش بیرونی رخ می‌دهد که جداره‌های فوقانی مخزن (ظرف) را با تراز مایع در تماس قرار می‌دهـــد. در این حالت مخـــزن (ظرف) تحت فشارهایی بیشتر از فشارهای مجاز خود قرار نمی‌گیرد، اما به خاطر گرمای حاصـــله تضعیف خواهد شـد. در این حالت

بیشتر مایع تبخیر می‌شود و بیشتر مواد باقیمانده به قطره‌ها و ذرات بسیار کوچک معلق در هوا تجزیه می شوند. وقتی ماده به‌طور ناگهانی وارد فضـــای باز می‌شود، مخلـوط ذرات معلق عموماً به‌صورت بخار مشتعل می‌شود. نرخ و میزان احتراق به میزان هوایی که می‌تواند با مواد سـوختنی ترکیب شود محدود می‌شـود. به عبارتی با در نظر گرفتن سرعت شعله‌ها، نرخ اختلاط با هوا (اکسیژن) نسـبتاً پایین است. یک پرتابهٔ بزرگ آتش به‌صورتی پرنور به وجود می‌آید و همچنین ممکن است یک موج فشاری نیز ایجاد شود.

ز-۲-۳ انفجارهای فاز میعان[1]

مواد فاز میعان، موادی هستند که به شکل مایع یا جامد و در خلاف فاز گازی قرار دارند. مثال نظری مواد فاز میـعان، موادی اســـت که قابلیت انفجـــار بالایی دارند. برخی از مواد که در مجتـمع‌های صنعت نفت به‌کار می‌روند خصوصیاتی دارند که ممکن است باعث انفجار آن‌ها در شرایط ناگوار فرایندی شود.

ز-۲-۴ انفجارهای غبار (ذرات معلق)[2]

ذرات معلق بسیار ریز قابل اشتعال (گرد و غبارهای اشتعال‌زا) می‌توانند به همـــان اندازه گازهای قابل اشـــتعال، آتش‌زا باشـــند. نکته قابل توجه و مهم آن است که در ذرات معلـق موجـــود در هوا، کوچک‌ترین تراکم گازهای اشتعال‌زا، حتـــی اگر پایین‌تر از محدودهٔ قابلیت اشتعال گاز مذکور باشـد، می‌تواند باعث ایجـــاد انفجار بسیار شدیدتری نسـبت به حالتی که صـــرفاً ذرات گرد و غبار وجـــود دارند شود. چنین ترکیب‌هایی از گـازها و ذرات معلق در هوا مخلوط‌های چندگانه[3] نامیده می‌شوند.

ز-۳ انواع موج و پارامترهای موج انفجاری

ز-۳-۱ ملاحظات کلی

در روند طـــراحی سازه‌های غیرساختمانی و همچـنین ســـازه‌های ساختمانی واقع در یک مجتمع صنعت نفت در برابر انفجار، مهم‌ترین مشخصهٔ انفـجار، رهاسـازی ناگهـانی انرژی در فضـای آزاد است به‌گونه‌ای که به صورت فشاری زودگذر یا موج انفجار رخ می‌دهد. موج انفـــجار به سمت خارج، در تمام جهات از منبع انفـجار با سرعت ماورای صوت یا سرعت صوت منتشر می‌شـود. شدت و شکل موج انفجـار به نوع انفجـار و انرژی آزاد شده و فاصله از مرکز انفجار بستگی دارد.

ز-۳-۲ طبقه‌بندی امواج

مشخصات بار ناشی از موج ضربه‌ای و موج فشـــاری در شکل ز-۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل ز-۱ مشاهده می‌شود، دو نوع موج انفجار به این صورت قابل توصیف هستند:

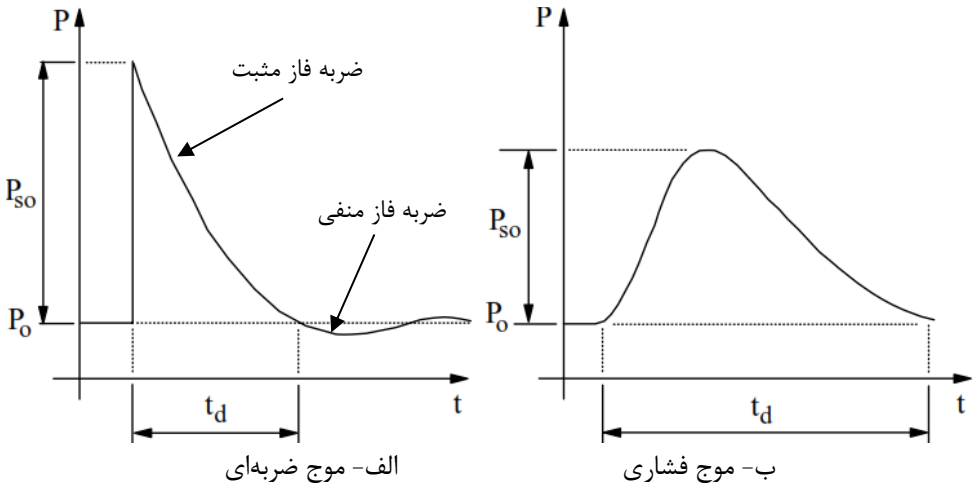
1- Condensated Phase Explosions
2- Dust explosions
3- Hybrid mixtures

الف- موج ضربه‌ای[1]: این موج به‌صورت افزایش ناگهانی و آنی در فشار پیرامونی در محیط اتفاق می‌افتد و تا نقطهٔ نهایی (حداکثر فشار ناشی از انفجار) پیش می‌رود. فشار ناگهانی بسیار زیاد با افت تقریباً شدید پایین آمده، در انتها نوسان دارد. این نوسان، ابتدا به‌صورت فاز منفی آغاز شده، سپس با فاز مثبت ادامه می‌یابد.

ب- موج فشاری[2]: این نوع موج به‌صورت تدریجی به نقطهٔ اوج خود می‌رسد. در نقطهٔ اوج تقریباً چند لحظه کوتاه باقی مانده، سپس به‌صورت تدریجی افت می‌کند و یک فاز منفی مشابه با حالت قبلی آن رخ می‌دهد.

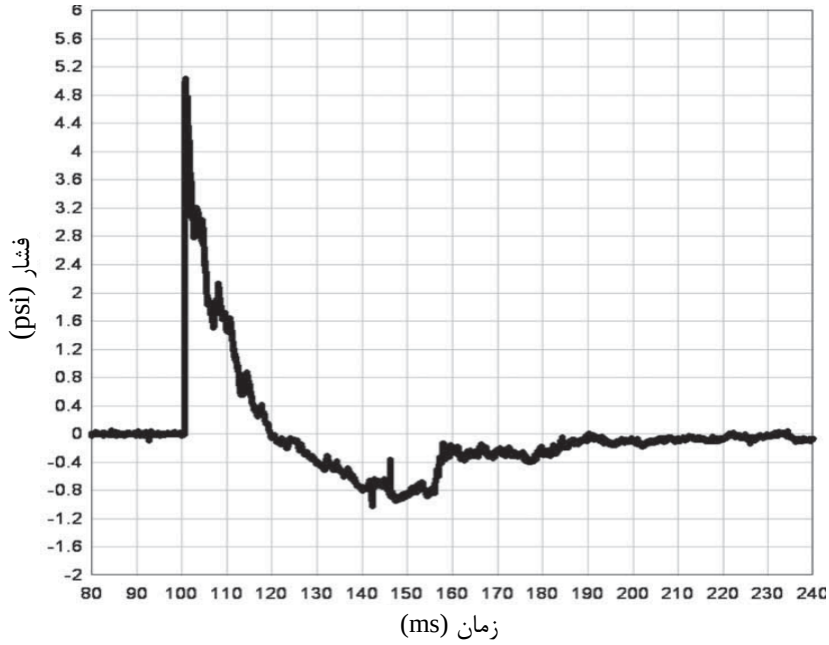
یادآوری- امواج ضربه‌ای در محوطه دور و نزدیک به منبع انفجار معمولاً به دلیل انفجارهای ناگهانی در فاز میعان یا به دلیل انفجار ابر بخار و گاز که دارای انرژی فوق‌العاده هستند ایجاد می‌شود. عمدهٔ آتش‌سوزی‌های ناشی از ابر بخار و گاز در میدان‌های نزدیک به مرکز انفجار، دارای موج انفجار به‌صورت فشاری هستند و در میدان‌های دورتر از مرکز انفجار این موج به‌صورت ضربه‌ای منتشر می‌شود.

فاز منفی یک موج فشاری یا ضربه‌ای معمولاً بسیار ضعیف‌تر و تدریجی‌تر از فاز مثبت موج است و در نتیجه معمولاً در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار در نظر گرفته نمی‌شود (مانند شکل ز-۲) در شرایطی که فاز منفی بارگذاری انفجار ممکن است مهم باشد، برای مشخصات و رفتار این نوع بارگذاری می‌توان به منبع UFC 3-340-02 [24] مراجعه کرد.

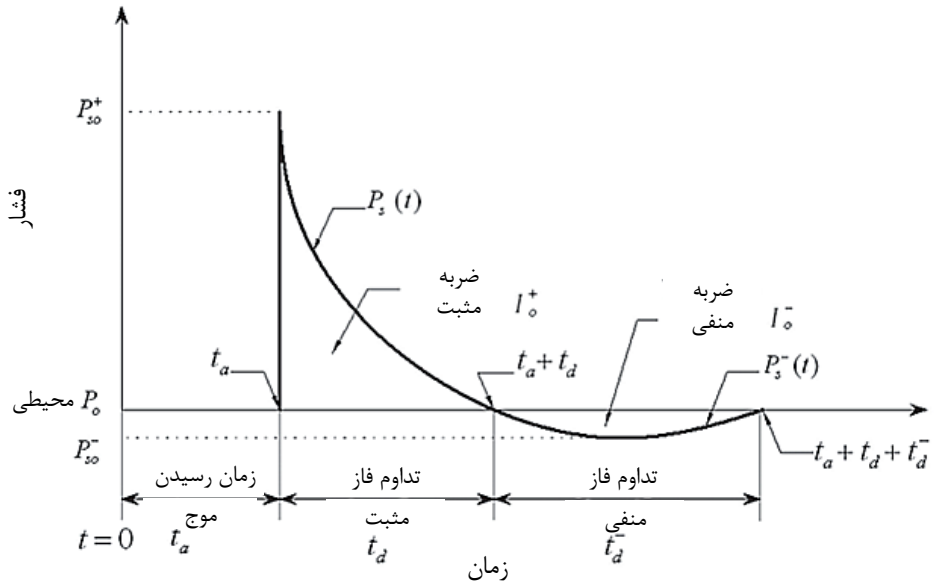


شکل ز-۱- الگوهای بارگذاری مربوط به ویژگی‌های موج‌های انفجاری [23]

1- Impulse wave
2- Pressure wave



شکل ز-۲- یک نمونه نمودار فشار- زمان برای موج ضربه



شکل ز-۳- پارامترها در نمودار فشار- زمان برای موج ضربه

با توجه به شکل ز-۳، پایان زمان انتشار موج انفجاری ناشی از فشار ناگهانی، زمان انتـهای دورهٔ فاز مثبت است. سطح زیر منحنی فشار- زمان، بیانگر ضربه یا تکانهٔ ناشی از موج انفجار است. لذا ضـربهٔ ناشی از فاز مثبت، I_o، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_o = \int_0^{t_d} P(t)dt \qquad (ز-۱)$$

مقدار I_o به ترتیب:

- برای موج مثلثی (ضربه) برابر است با: $0.5P_{so}t_d$؛
- برای موج نیم‌سینوسی (فشار) برابر است با: $0.64P_{so}t_d$؛
- برای موج ضربه‌ای نمایی میرا برابر است با: $cP_{so}t_d$.

که در آن:

$P(t)$ تابع اضافه‌فشار نسبت به زمان برحسب kPa؛

P_{so} بیشینه اضافه‌فشار انفجار برحسب kPa؛

t_d مدت زمان فاز مثبت برحسب s؛

c یک عدد ثابت بین ۰٫۲ و ۰٫۵ بسته به میزان P_{so} است.

یادآوری- به عنوان یک نمونه، تاریخچه فشار- زمان را می‌توان به‌صورت نمایی توسط رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$P(t) = P_{so}\left(1.0-\frac{t}{t_d}\right)e^{-bt/t_d} \qquad (ز-۲)$$

که در آن:

b مقدار مشخصهٔ شکل موج انفجار است که چگونگی کاهش نمودار را نشان می‌دهد و از جدول ز-۳ قابل تعیین است.

جدول ز-۳- مقدار مشخصهٔ شکل انفجار، ضریب b برحسب فاصلهٔ مقیاس، Z

b	Z $m/kg^{1/3}$
۸٫۵۰	۰٫۴
۸٫۶۰	۰٫۶
۱۰٫۰۰	۰٫۸
۹٫۰۰	۱٫۰
۳٫۵۰	۱٫۵
۱٫۹۰	۲٫۰
۰٫۶۵	۵٫۰
۰٫۲۰	۱۰٫۰
۰٫۱۲	۲۰٫۰
۰٫۲۴	۵۰٫۰
۰٫۵۰	۱۰۰٫۰

ز-۳-۳ پارامترهای موج انفجار برای بارگذاری انفجاری

برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، پارامترهای اصلی موج که برای تعریف بارگذاری انفجار اجزای سازه موردنیاز است، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

- نقطهٔ اوج اضافه‌فشار مثبت، P_{so}^{+}، مدت تداوم فاز مثبت، t_d و ضربه مثبت متناظر، I_o؛
- نقطهٔ اوج فشار انفجاری در فاز منفی (مکش)، P_{so}^{-}، مدت تداوم فاز منفی، t_d^{-} و ضربه منفی متناظر، I_o^{-}.

یادآوری ۱- معمولاً نقطهٔ اوج اضافه‌فشار منفی، P_{so}^{-}، از نقطهٔ اوج اضافه‌فشار مثبت کوچک‌تر است و مقدار P_{so}^{-} حدود یک ششم تا یک چهارم P_{so}^{+} است.

یادآوری ۲- در لحظهٔ انفجار هرچه فاصله از مرکز انفجار بیشتر می‌شود، موج انفجار ضعیف‌تر می‌شود. بنابراین مقدار حداکثر فشار موج و ضربهٔ حاصلهٔ از آن با افزایش فاصله در حالی که زمان نیز در حال افزایش است، کاهش پیدا می‌کند. به عنوان نمونه، می‌توان از رابطهٔ زیر برای فاصله مقیاس‌شده استفاده نمود:

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \qquad (ز-۳)$$

که در آن:

R فاصله از منبع انفجاری برحسب m؛

W جرم مادهٔ منفجره معادل TNT برحسب kg.

تغییرات پارامترهای انفجاری برحسب فاصلهٔ مقیاس‌شده، Z ارائه شده است.

مقادیری برای پارامترهای موج انفجار از داده‌های منتشرشده به‌صورت مدرج (فشار ناشی از انفجار، ضربه یا طول دوره زمانی) را می‌توان به عنوان تابعی از فواصل معین محاسبه کرد. UFC 3-340-02 [24] داده‌هایی را برای انرژی زیاد ناشی از انفجارهای فاز میعان ارائه کرده، در حالی که مراجع بین‌المللی دیگر مقادیری را برای انفجارهای ناشی از ابر بخار و گاز با توجه به مدل‌های مخصوص به خود منتشر کرده‌اند. این منابع، اطلاعاتی را درباره فاز منفی موج انفجار ناشی از انفجارهای ابر بخار و گاز ارائه نمی‌دهند چرا که فشارهای موجود در فاز منفی نسبتاً کوچک هستند و در جهت مخالف نیروی جانبی اصلی اثر می‌کنند؛ لذا معمولاً به صورت محافظه‌کارانه در طراحی در نظر گرفته نمی‌شوند. روش‌های تعیین مقادیر اضافه‌فشار انفجار و مدت تداوم متناسب برای طراحی تأسیسات صنعت نفت در زیربند ۱۴-۱۰ ارائه شده است. در زیربند ز-۱ پیوست **ز** نیز جداولی به‌صورت پیشنهادی برای تعیین بیشینه اضافه‌فشار وارد بر تأسیسات و تجهیزات مورد استفاده در صنعت نفت بیان گردیده است.

علاوه بر نقطه اوج فشار موج انفجار، طول دورهٔ موج، ضربهٔ ناشی از آن و پارامترهای ثانویهٔ موج انفجار که می‌توان برای بارهای ناشی از انفجار در سازه‌ها لحاظ نمود به شرح زیر است:

- بیشینه فشار انعکاس‌یافته، P_r؛
- بیشینه فشار دینامیکی، q_o؛
- سرعت موج پیش‌رونده، U؛
- طول موج انفجار، L_w.

این پارامترهای ثانویه را می‌توان با توجه به پارامترهای اصلی موج انفجار در ادامه تعیین نمود.

یادآوری- روابط ارایه شده در این بند بیشتر برای انجام محاسبات دستی فشارهای ناشی از انفجار برای سازه‌های ساده (مثلاً سازه با هندسهٔ مکعب مستطیلی یا دیوار ساده) کاربرد دارد و در مورد سازه‌های پیچیده‌تر (به ویژه در مورد مجتمع‌های صنعتی که دیوارهای پوشاننده اطراف سازه وجود ندارد) با عبور موج انفجار از میان تجهیزات و اجزای مختلف سازه‌ای، توزیع فشار انفجار بسیار پیچیده است و باید در این موارد از مدل‌سازی و تحلیل دقیق استفاده شود.

ز-۳-۳-۱ بیشینه فشار انعکاس‌یافته (بازگشتی)، P_r

هنگامی که یک موج انفجار در فضای آزاد منتشر و به سطحی برخورد می‌کند، منعکس می‌شود. اثر این انعکاس موج آن است که سطح مورد نظر، فشاری بسیار بزرگ‌تر از آنچه که به‌صورت ناگهانی در حین انفجار اتفاق می‌افتد را متحمل می‌شود. مقدار فشار انعکاس‌یافته (بازگشتی) معمولاً با ضرب کردن در یک نسبت فشار ناگهانی انفجار محاسبه می‌شود:

$$P_r = C_r P_{so} \qquad (ز-۴)$$

که در آن:

C_r ضریب بازتاب است.

ضریب بازتاب بستگی به حداکثر اضافه‌فشار انفجار، زاویهٔ برخورد موج پیش‌رونده با سطح منعکس‌کننده و نوع موج انفجار دارد. نمودارهای موجود در شکل ز-۴ و شکل ز-۵، به ترتیب ضرایب بازتاب امواج ضربه‌ای و فشاری، برای زوایای برخورد از صفر درجه تا $^{\circ}$ ۹۰ را نشان می‌دهد. نمودار تغییرات پارامترهای فاز مثبت موج کروی ضربهٔ ناشی از انفجار در هوای آزاد و نمودار تغییرات پارامترهای فاز مثبت موج کروی ضربه ناشی از انفجارهای سطحی در شکل ز-۶ و شکل ز-۷ آمده است.

یادآوری- در مورد شکل ز-۴ و شکل ز-۵ زاویهٔ صفر درجه هنگامی وجود دارد که موج با سطح موازی است و زاویهٔ $^{\circ}$ ۹۰ مربوط به زمانی است که موج بر سطح به صورت عمودی وارد می‌شود و در این شرایط اضافه‌فشار ناشی از انفجار تا حدود ۵ برابر فشار هوا، P_o، بالا می‌رود.

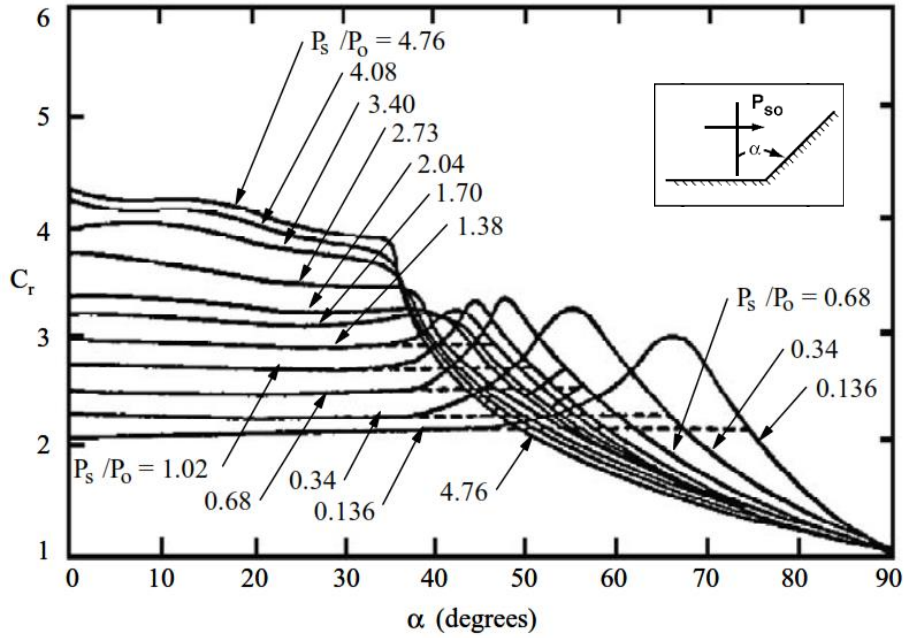
برای اضافه‌فشارهای ایجاد شده تا مقدار ۱۳۸ kPa (که مقداری است که در بیشتر انفجارهای ابر بخار و گاز مورد انتظار است) رابطهٔ ساده‌ای برای ضریب انعکاس موج انفجار در وضعیت عمود (صفر درجه) به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$C_r = \frac{P_r}{P_{so}} = 2 + 0.0073 P_{so} \qquad (ز-۵)$$

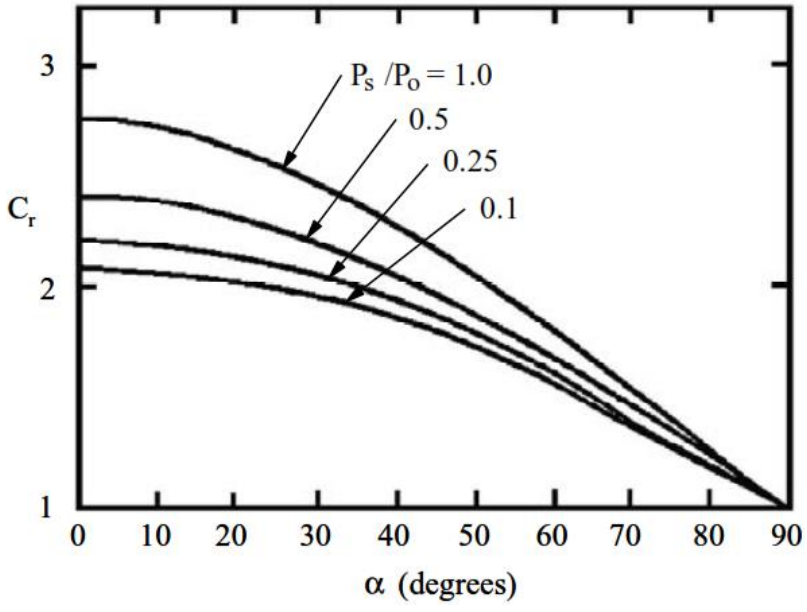
مدت تداوم فشار منعکس‌شده بستگی به ابعاد سطح منعکس‌کننده دارد که حداکثر این مقدار مساوی با مدت زمان فاز مثبت موج انفجار تصادفی است. این کران بالا متناظر با انعکاس کلی در سرتاسر موج انفجار بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه اتلاف انرژی در لبه‌های سطح منعکس‌کننده است.

برای دیوار قائم (زاویهٔ $^{\circ}$ ۹۰) فشار انعکاسی از رابطهٔ ز-۶ قابل محاسبه است:

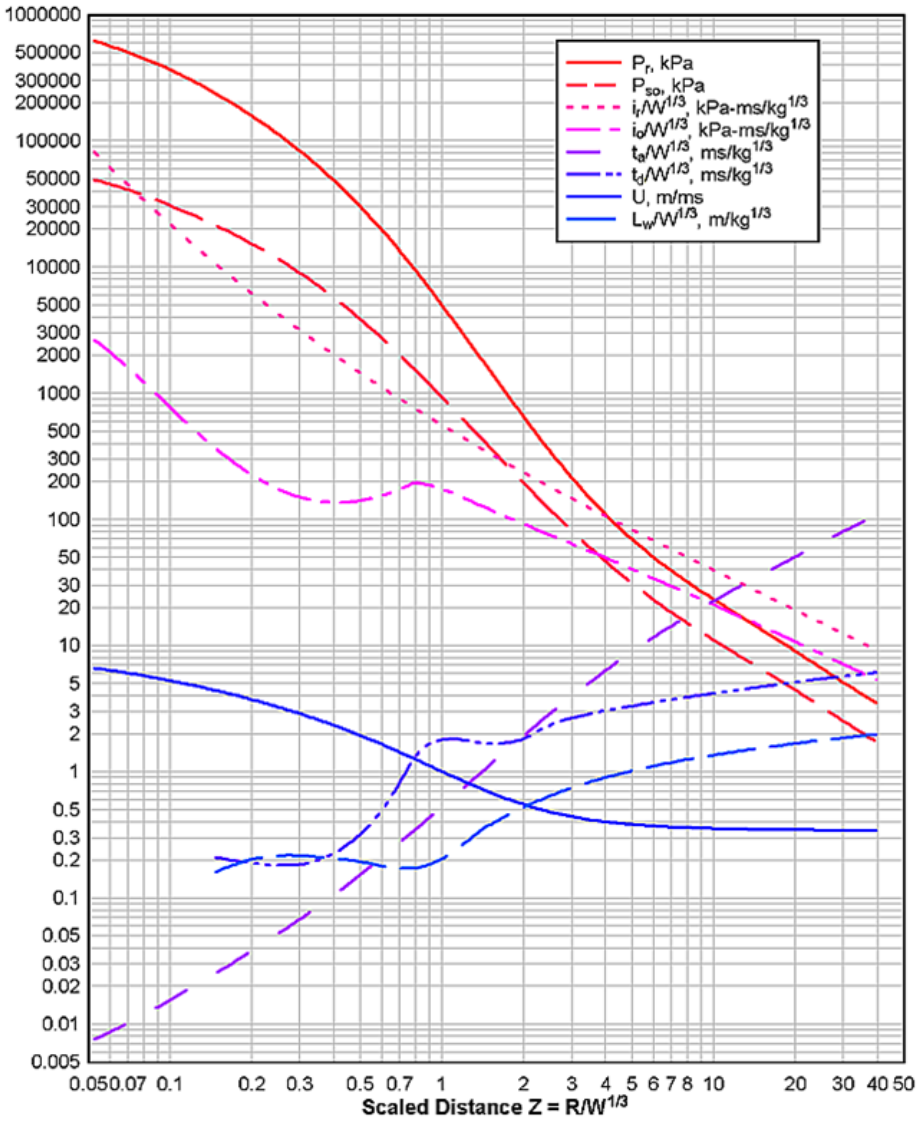
$$P_r=2P_{so}\frac{4P_{so}+7P_o}{P_{so}+7P_o} \qquad (ز-۶)$$



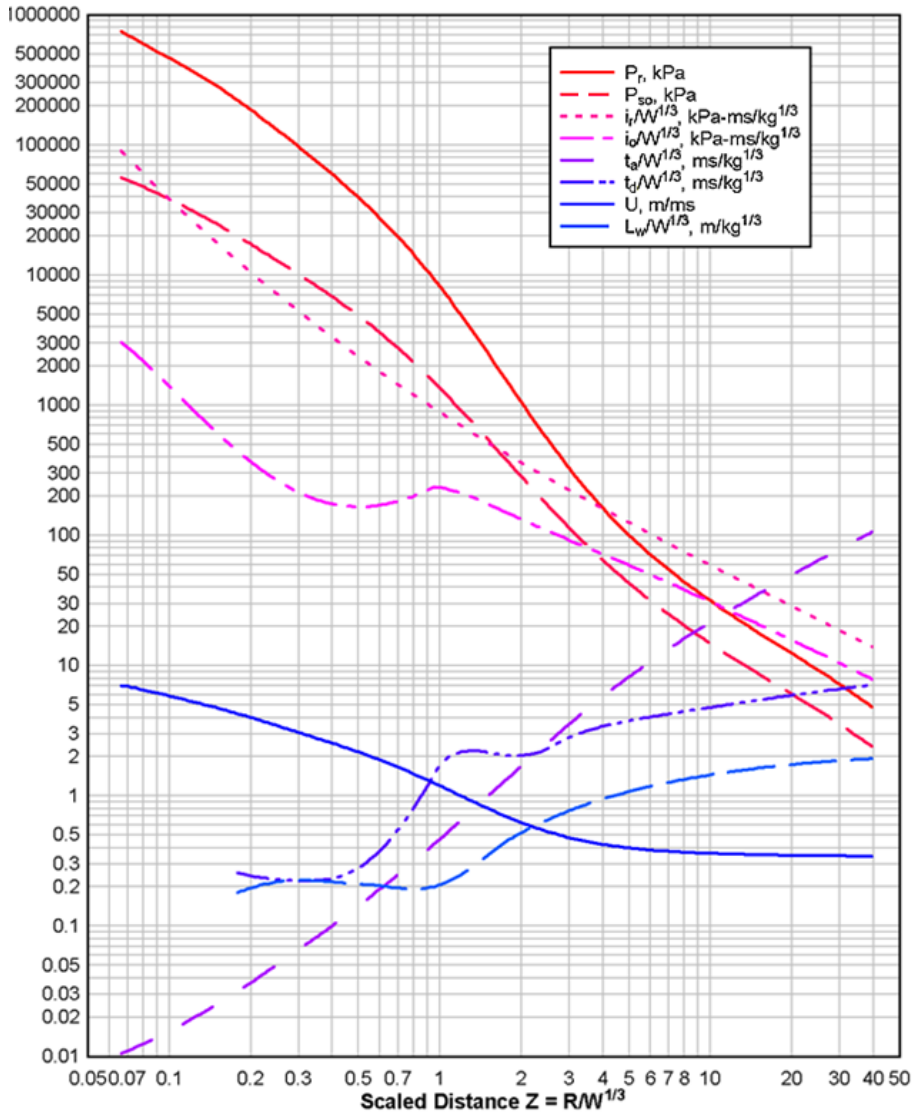
شکل ز-۴- ضرایب بازتاب موج در برابر زاویهٔ برخورد موج ضربه‌ای



شکل ز-۵- ضرایب بازتاب موج در برابر زاویهٔ برخورد موج فشاری



شکل ز-۶- نمودار تغییرات پارامترهای فاز مثبت موج کروی ضربه ناشی از انفجار در هوای آزاد



شکل ز-۷- نمودار تغییرات پارامترهای فاز مثبت موج کروی ضربه ناشی از انفجارهای سطحی

یادآوری- در صورت استفاده از دیوارهای محافظ (فدا شونده) در کنار تأسیسات یا وجود موانعی طبیعی یا مصنوعی بر سر راه رسیدن امواج حاصل از انفجار به سازه‌ها یا تأسیسات هدف طراحی، می‌توان میزان بار انفجار در پشت دیواره‌ها یا سایر موانع را کاهش داد. محاسبه میزان این کاهش در فشار انفجار باید براساس یک روش علمی اثبات‌شده یا با استفاده از شبیه‌سازی به روش CFD به‌دست آورده شود. در زیربند ز-۶، توصیه‌هایی در این زمینه بیان شده است.

ز-۳-۳-۲ فشار دینامیکی (باد ناشی از انفجار)، q_0

این اثر انفجار به علت جابه‌جایی هوا ناشی از انتشار موج انفجار درون جو ایجاد می‌شود. سرعت ذرات هوا و در نتیجه فشار هوا (جریان ایجادشده) به حداکثر اضافه‌فشار ایجادشده توسط موج انفجار بستگی دارد. در منبع UFC 3-340-02 [24] داده‌هایی برای محاسبه این اثر انفجار برای موج‌های ضربه‌ای ارائه شده است. در بازه اضافه‌فشار انفجاری پایین و در شرایط فشار هوای عادی، بیشینه فشار دینامیکی را می‌توان با استفاده از رابطهٔ تجربی زیر محاسبه نمود:

$$q_o = \frac{2.5P_{so}^2}{(7P_o + P_{so})} \approx 0.0032P_{so}^2 \qquad (ز-۷)$$

که در آن:

P_o فشار هوای محیطی برحسب kPa.

فشار دینامیکی خالص روی یک سازه، حاصل‌ضرب فشار دینامیکی و ضریب پسا، C_d است. ضریب پسا به شکل و راستای سطح برخوردکننده با موج بستگی دارد.

یادآوری- به عنوان نمونه، برای یک سازهٔ مستطیلی، ضریب پسا، C_d برای دیوارهای جلویی ۱٫۰+ و برای دیوارهای پشتی، کناری و سقف ۰٫۴- است. فشار دینامیکی، اثر غالب دینامیکی انفجار روی سازه‌های قابی شکل باز، سازه‌های قابی دارای پوشش‌های شکننده و همچنین سازه‌ها یا اجزای کوچک مانند تیرک‌ها، دودکش‌ها و غیره را وارد می‌کند. فشار دینامیکی همچنین روی بارهای خالص انفجار وارد بر دیوارها و سقف یک سازهٔ محصور نیز با میزان تأثیر کمتری وارد می‌آید (زیربند ۱۴-۱۱). برای مشاهده ضریب پسا برای سایر شکل‌های هندسی (به‌جز مکعب مستطیل) به زیربند ز-۵ این پیوست مراجعه شود.

ز-۳-۳-۳ سرعت انتشار ضربهٔ پیش‌رونده[1]

در یک محیط آزاد، موج حاصل از یک انفجار با سرعت صوت یا بالاتر از آن در محیط منتشر می‌شود. منبع UFC 3-340-02 [24] نمودارهایی از سرعت انتشار ضربه پیش‌رونده را در برابر فواصل مقیاس‌بندی شده تحت انفجارهای شدید TNT ارائه کرده است. البته هنوز هیچ‌گونه نمودار مشابهی برای چگونگی انتشار موج فشاری وجود ندارد؛ اما به منظور طراحی، می‌توان به‌صورت محافظه‌کارانه فرض کرد که موج فشاری با همان اندازه سرعت موج ضربه‌ای در فضا منتشر می‌شود. در بازهٔ فشارهای انفجاری پایین و در شرایط فشار هوای عادی، رابطهٔ زیر برای اندازه‌گیری سرعت ضربه یا فشار پیش‌رونده برحسب m/s پیشنهاد می‌شود:

$$U = 345(1+0.0083P_{so})^{0.5} \qquad (ز-۸)$$

که در آن:

P_{so} بیشینه اضافه‌فشار انفجار برحسب kPa.

ز-۳-۳-۴ طول موج انفجار

موج انفجار در هر لحظه از زمان روی یک فاصلهٔ شعاعی محدود، به صورت فشاری یا ضربه‌ای از منبع انفجار در محیط اطراف گسترده می‌شود. فشار در سمت روبروی انفجار دارای بزرگ‌ترین مقدار است و این مقدار در محیط اطراف تا محدوده‌ای ادامه پیدا می‌کند که این فاصلهٔ امتداد موج، طول موج انفجار، L_w است. مقادیر L_w در انفجارهای شدید را می‌توان از منبع UFC 3-340-02 [24] به دست آورد. در بازه‌های فشار انفجاری کوچک، طول موج انفجار به صورت زیر به دست می‌آید:

$$L_w \approx U\, t_d \qquad (ز-۹)$$

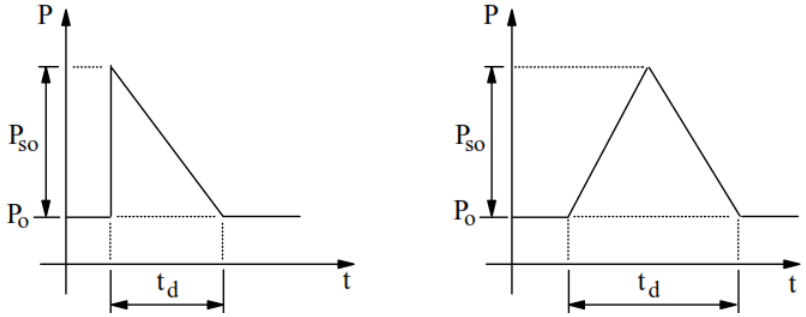
1- Shock front velocity

که در آن:

t_d زمان تداوم فاز مثبت برحسب s.

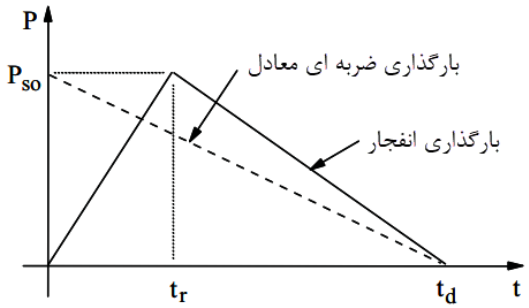
ز-۳-۳-۵ پارامترهای ایده‌آل‌سازی شده موج انفجار

برای ساده‌سازی روند طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، نیمرخ‌های تعمیم‌یافته موج انفجار که در شکل ز-۸ نشان داده شده، معمولاً به‌صورت خطی، ایده‌آل‌سازی می‌شوند. علاوه بر آن، برای استفاده از نمودارها و روابط مناسب و مطمئن طراحی در منبع UFC 3-340-02 [24]، یک موج فشاری با استفاده از یک بارگذاری ضربه‌ای معادل که دارای مقادیر یکسان اضافه‌فشار انفجار و ضربه (سطح زیر نمودار) است، ساده‌سازی می‌شود. این نحوه ساده‌سازی در شکل ز-۹ نمایش داده شده است.



الف- بار ضربه‌ای **ب- بار فشاری**

شکل ز-۸- بارهای ضربه‌ای و فشاری ایده‌آل‌سازی شده [23]



شکل ز-۹- بار فشاری معادل ایده‌آل‌سازی شده [23]

ز-۴ معیارهای تعیین اضافه‌فشارهای طراحی ابر بخار و گاز

ز-۴-۱ روش مطالعات ویژه ساختگاه

انجام مطالعات ویژهٔ ساختگاه، جامع‌ترین رویکرد ممکن برای تعیین اضافه‌فشارهای طراحی ابر بخار و گاز است. مطالعات ویژهٔ ساختگاه برای شناسایی و کمّی‌سازی مخاطرات انفجاری محتمل معمولاً توسط متخصصین ایمنی فرایندی کارفرما یا توسط مهندسین مشاور صلاحیت‌دار انجام می‌پذیرد. برای این منظور چندین گام باید طی شود. این گام‌ها در ادامه برای برخی روش‌های موجود ارائه گردیده است. اطلاعات بیشتر در این زمینه در مراجع CCPS [27] و API RP 752 [28] در دسترس قرار دارد.

الف- تعیین انرژی آزاد شده از انفجار: این انرژی را می‌توان بر اساس بدترین فرانامه محتمل تخمین زد که در آن حداکثر مقدار موادی که در حلقهٔ فرایندی به‌کار می‌رود یا بدترین شرایط ممکن که از مطالعات مربوط به مخاطرات موجود برآورده می‌شود انتخاب می‌شود.

ب- تشکیل تودهٔ انفجاری: این گام اغلب با استفاده از دو مدل رایانه‌ای انجام می‌پذیرد. مدل اول مربوط به انتشار از منشأ انفجار است که پیش‌بینی می‌کند چه اتفاقی در حد فاصل بین مادهٔ ذخیره‌شده و جو که ماده در آن تخلیه می‌شود می‌افتد. مدل دوم یک مدل پراکندگی است که پیش‌بینی می‌کند چگونه مادهٔ آزاد شده پراکنده می‌شود و با هوا ترکیب می‌شود.

پ- مقدار انرژی مشارکت‌کننده در انفجار: این مقدار انرژی مبتنی بر بخشی از کل مقدار مادهٔ موجود یا برحسب جرم توده‌ای که درون محدوده قابل اشتعال است تعیین می‌شود. این مقدار را می‌توان بر اساس میزان محصورشدگی درون محوطه توده اصلاح کرد.

ت- محاسبه پارامترهای اضافه‌فشار انفجاری: امروزه سه روش بنیادین در این خصوص وجود دارد. اولین روش، روش TNT معادل است که برای انفجار ابر بخار و گاز نتایج دقیقی را برآورد نمی‌کند. دو روش دیگر مربوط به نمودارهای Strehlow ارائه شده توسط Baker و روش انرژی چندگانه توصیه‌شده توسط TNO [25] است. هر دو روش، دسته‌ای از منحنی‌ها مبتنی بر سرعت شعله یا مقاومت انفجار ارائه می‌کنند. این نمودارها برای انتخاب پارامترهای بدون بعد به‌کار می‌روند و با توجه به بی‌بعد بودن، مقادیری بدون مقیاس برای تعیین اضافه‌فشارهای واقعی به‌دست می‌دهند. در بسیاری از مراجع، می‌توان ضرایب تبدیل مواد منفجره را برای معادل‌سازی آن با TNT پیدا کرد. یک نمونهٔ آن در جدول ز-۴ ارائه شده است. برای این معادل‌سازی از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود:

$$W_E = \frac{H^d_{exp}}{H^d_{TNT}} W_{exp} \qquad (ز-۱۰)$$

که در آن:

H^d_{TNT} گرمای انفجار حاصل از انفجار مادهٔ منفجرهٔ TNT؛

H^d_{exp} گرمای انفجار حاصل از انفجار مادهٔ منفجرهٔ اصلی؛

W_{exp} وزن مادهٔ منفجرهٔ اصلی.

نمودارهای تغییرات پارامترهای بار انفجار با فواصل مقیاس‌شده به ترتیب برای انفجار در هوای آزاد و انفجار سطحی در شکل ز-۶ و شکل ز-۷ این پیوست نشان داده شده است.

اضافه‌فشارها را می‌توان در نقطه‌ای از سازه که دارای نزدیک‌ترین فاصله تا منشأ انفجار است تعیین نمود و سپس همین مقادیر را در کل سازه به‌کار برد. در صورتی که سازه بزرگ باشد، میانگین اضافه‌فشار روی سطح یا اضافه‌فشار در مرکز سطح را می‌توان به‌کار گرفت. در حالت عادی یک سازه باید با توجه به موج انفجار بالقوه در هر جهت افقی طراحی شود البته ذکر این نکته بسیار ضروری است که لازم نیست بار انفجار در تمام راستاها با هم و در یک زمان اعمال شود.

جدول ز-۴- ضریب TNT معادل برای برخی مواد منفجره

مادهٔ منفجره	انرژی در واحد جرم kJ/kg	ضریب TNT معادل
Compound B (60% RDX, 40% TNT)	۵۱۹۰	۱٫۱۴۸
RDX (Ciklonit)	۵۳۶۰	۱٫۱۸۵
HMX	۵۶۸۰	۱٫۲۵۶
Nitroglyecrin (Liquid)	۶۷۰۰	۱٫۴۸۱
TNT	۴۵۲۰	۱٫۰۰۰
Explosive Gelatin (91% Nitroglycerin, 7.9% Antracid, 0.2% Water)	۴۵۲۰	۱٫۰۰۰
60% Nitroglyecrin Dynamite	۲۷۱۰	۰٫۶۰۰
Semtex	۵۶۶۰	۱٫۲۵۰
C4	۶۰۵۷	۱٫۳۴۰

ز-۴-۲ روش نظریه‌های رایج[1]

این روش شامل استفاده از نظریه‌های مورد استفاده رایج شامل SG-22 [102] و CIA 1992 [103] می‌شود. در هر دو منبع، حداقل دو اضافه‌فشار ناشی از انفجار برای ساختمان‌هایی که با فاصلهٔ ۳۰ m از منبع انفجار ناشی از ابر بخار و گاز قرار گرفته‌اند به‌صورت زیر بیان می‌شود:

الف- فشار بالا، دورهٔ زمانی کوتاه، بارگذاری ضربه‌ای مثلثی: بیشینه اضافه‌فشار ۷۰ kPa در زمان ۲۰ ms؛

ب- فشار پایین دورهٔ زمانی طولانی، بارگذاری مثلثی: بیشینه اضافه‌فشار ۲۰ kPa در مدت زمان ۱۰۰ ms.

این مقادیر بارگذاری انفجاری در گذشته به‌طور گسترده برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار در صنعت به‌کار گرفته شده است. ولی امروزه بسیاری از کارفرمایان با توجه به مقتضیات پروژه خود معیارهای بارگذاری انفجاری مختص به پروژه خود تعریف می‌کنند. با توجه به پیشرفت‌هایی که در مدل‌سازی انفجارهای ابر بخار و گاز انجام شده است (مانند مراجع Baker و CCPS [27])، تمایل مهندسین طراح برای استفاده از بارهای انفجاری مبتنی بر ابر بخار و گاز افزایش پیدا کرده است.

اضافه‌فشارهای ناشی از انفجار مختص هر شرکت، هر فرایند و ساختگاه پروژه است و بنابراین، کمّی‌سازی یک اضافه‌فشار یکنواخت کمینه و بیشینه مقدور نیست. مروری بر روش‌های طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار در برخی شرکت‌های بهره‌بردار و پیمانکار صنعتی نشان می‌دهد که طراحی در برابر انفجار برای سازه‌های در فاصلهٔ ۱۵ m تا ۳۶۵ m از منشأ انفجار ابر بخار و گاز انجام می‌پذیرد در حالی که اغلب استانداردهای طراحی سازه‌های صنعتی، فاصلهٔ ۳۰ m تا ۱۲۰ m را پوشش می‌دهند. الگوی بارگذاری مشخصهٔ انفجار به طور قابل توجهی بر اساس نوع مجتمع صنعتی، فاصله از مکان خطر و مدل مورد استفاده برای کمّی‌سازی انفجار تغییر می‌کند. به‌طور کلی بارهای انفجار مشخصه برای تعیین اضافه‌فشارهای طراحی

1- Commonly used criteria

با بازهٔ ۱۰ kPa تا ۱۰۳ kPa با دورهٔ زمانی در فاز مثبت از ۲۰ ms تا ۲۰۰ ms هستند. این بارها برای سازه‌هایی با فاصلهٔ ۳۰ m تا ۶۰ m از منبع انفجار هستند. به‌طور کلی با افزایش فاصله، مقدار اضافه‌فشار و ضربه ناشی از آن کاهش می‌یابد اما دوره بارگذاری انفجار افزایش پیدا می‌کند.

ز-۴-۳ روش استفاده از تاریخچه داده‌ها

امروزه داده‌های قبلی به‌دست آمده از انفجارهای رخ داده در صنعت را به سختی می‌توان با دقت کمّی‌سازی کرد، چرا که این داده‌ها صرفاً بر اساس تغییر شکل‌های مشاهده شده در سازه‌ها تقریب زده شده‌اند. تقریب زدن اضافه‌فشارهای ناشی از انفجار ابر بخار و گاز از نظر کمّی کار دشواری است زیرا که این نوع انفجار تمایل دارد تا در راستاهای مختلف، از چند منشأ متفاوت خارج شود، و با تغییر شرایط ساختگاه نیز تغییر می‌کند. علاوه بر آن، به نسبت، اطلاعات موجود کمتری در انفجارهای بزرگ وجود دارد. در گزارش یک شرکت که پنج انفجار تصادفی ناشی از ابر بخار و گاز را بازبینی کرده است، در سازه‌هایی که در بازهٔ ۶۰ m تا ۳۰۰m از منشأ انفجار قرار داشتند، بیشینه فشارهای بازتاب‌یافته در بازهٔ ۱۴ kPa با مدت زمان ۳۵ ms تا ۸۳ kPa با دورهٔ زمانی ۳۳ ms اتفاق افتاده است. این فشارها متناظر با بیشینه اضافه‌فشار در بازهٔ ۷ kPa تا ۳۸ kPa است. یک فهرست گسترده از این نوع داده‌های انفجاری در منبع Lenoir [104] موجود است.

یادآوری- به عنوان یک نمونه از تجارب داخلی در کشور، در جدول ز-۵، برخی پارامترهای طراحی انفجاری مورد استفاده در طراحی ساختمان‌های واقع در یک تلمبه‌خانهٔ نفت ارائه شده است.

جدول ز-۵- نمونه داده‌های مربوط به پارامترهای طراحی انفجاری برای یک مجتمع صنعت نفت

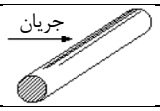
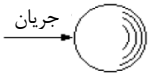
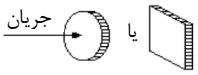
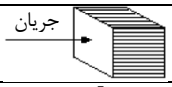
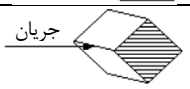
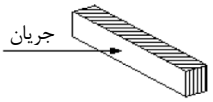
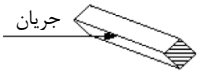
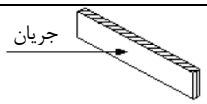
ردیف	فاصله تا منشأ انفجار m	P_{so} kPa	P_r kPa	t_d ms	Acc. H g	Acc. V g
۱	۵	۳۵۸۰	۷۵۰۰	۳٫۳	۶۴۴	۳۲۲
۲	۱۰	۹۰۰	۳۶۰۰	۱۸٫۱	۱۶۰	۸۰
۳	۱۵	۳۶۰	۱۱۰۰	۱۷٫۱	۷۲	۳۶
۴	۲۰	۱۹۰	۵۴۰	۱۸٫۷	۴۰	۲۰
۵	۲۵	۱۱۵	۲۹۰	۲۳٫۹	۲۶	۱۳
۶	۳۰	۷۵	۱۹۰	۲۷٫۰	۱۸	۹
۷	۴۰	۴۷	۱۱۰	۳۱٫۲	۱۰	۵
۸	۵۰	۳۱	۷۰	۳۴٫۱	۶	۳
۹	۶۰	۲۵	۵۳	۳۶٫۰	۵	۲٫۵
۱۰	۷۵	۱۸	۳۷	۳۸٫۷	۳	۱٫۵
۱۱	۸۵	۱۵	۳۱	۴۰٫۲	۲	۱
۱۲	۱۰۰	۱۲	۲۵	۴۲٫۳	۱٫۶	۰٫۹
۱۳	۱۵۰	۷	۱۵	۴۸٫۴	۰٫۷	۰٫۶
۱۴	۲۰۰	۵	۱۱	۵۲٫۳	۰٫۴	۰٫۴
۱۵	۲۵۰	۴	۸	۵۵٫۵	۰٫۳	۰٫۳
۱۶	۳۰۰	۳	۶	۵۸٫۳	۰٫۲	۰٫۲

یادآوری- پارامترهای Acc. H و Acc. V به ترتیب شتاب‌های افقی و قائم حاصل از انفجار هستند.

ز-۵ ضرایب پسا برای محاسبهٔ بار انفجار

در خصوص اشکال غیر مکعب مستطیل، می‌توان از جدول ز-۶ برای تعیین ضریب پسا، C_d استفاده نمود.

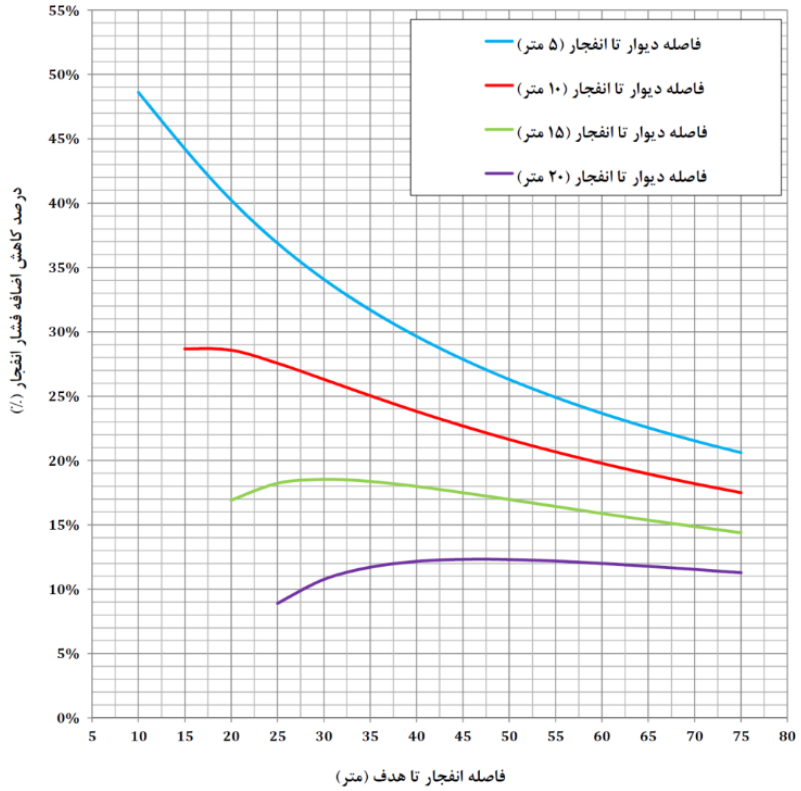
جدول ز-۶- مقادیر ضریب پسا برای اشکال غیر مکعب مستطیل

شکل	تصویر	C_d
استوانه از جانب		۱٫۲۰
کُره		۰٫۴۷
میله، از انتها		۰٫۸۲
دیسک، عمود بر صفحه		۱٫۱۷
مکعب از جانب		۱٫۰۵
مکعب از لبه		۰٫۸۰
عضو مستطیلی طویل از جانب		۲٫۰۵
عضو مستطیلی طویل از لبه		۱٫۵۵
نوار باریک از جانب		۱٫۹۸

ز-۶ میزان کاهش بار انفجار در پشت دیوار

در مورد برخی تأسیسات و سازه‌های مقاوم در برابر انفجار، بر اساس مطالعات ایمنی فرایندی یا پدافند غیرعامل از دیوار محافظ استفاده می‌شود.

یادآوری- در شکل ز-۴، نموداری برای درصد کاهش میزان بار انفجار پشت دیوارهای محافظ به عنوان یک نمونه مطرح شده برای یک تلمبه‌خانه نفت به‌صورت راهنما ارائه شده است.



شکل ز-۱۰- نمودار درصد کاهش میزان بار انفجار پشت دیوارهای محافظ

ز-۷ ضریب افزایش مقاومت[1]

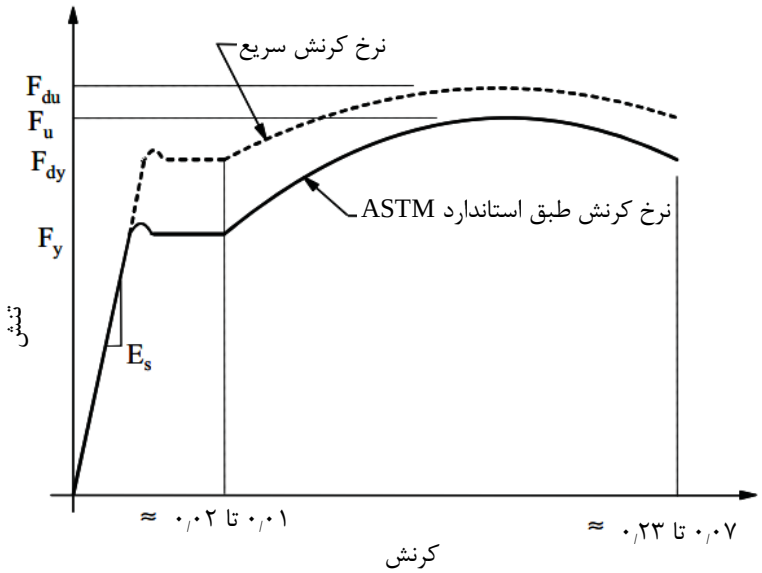
در حال حاضر مشخصات مکانیکی اکثر مصالح و مواد، در آیین‌نامه‌ها و استانداردها فراهم و در دسترس است. مشخصاتی که در آیین‌نامه‌ها بیان شده‌اند، خصوصیات مکانیکی حداقل را برای انواع مختلف مصالح تعریف می‌کنند. در عمل، مقاومت میانگین جاری‌شدن مصالح فولادی از مقادیر حداقل گفته شده در آیین‌نامه‌های طراحی ٪ ۲۵ بزرگ‌تر است. یک ضریب افزایش مقاومت (SIF) برای محاسبهٔ شرایط وقوع انفجار مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقداری مستقل از مشخصات نرخ کرنش مصالح است. UFC 3-340-02 [24] یک ضریب افزایش مقاومت ۱٫۱ را برای کمینه مقاومت تسلیم فولاد نرمه (شامل فولاد سازه‌ای با مقاومت تسلیم کوچک‌تر از ۳۴۵ MPa و میلگرد با مقاومت تسلیم کوچک‌تر از ۴۱۵ MPa) اعمال می‌کند. در بسیاری از مراجع (به ویژه در مراجع طراحی تأسیسات هسته‌ای)، پیشنهاد می‌شود که از این ضرایب افزایش مقاومت صرف‌نظر شود و حاشیهٔ ایمنی بزرگ‌تری در طراحی مدنظر قرارداده شود. اعمال ضریب افزایش مقاومت ۱٫۱ صرفاً در تأسیسات صنعت نفت توصیه می‌شود که در طراحی آن‌ها میزان محافظه‌کاری نسبتاً کمتری از تأسیسات هسته‌ای مدنظر است و برای طرح اقتصادی، از تمام ظرفیت اجزا در برابر انفجار استفاده می‌شود. در خصوص فولاد سردنورد، مطابق با منبع UFC 3-340-02 [24]، ضریب افزایش مقاومت ۱٫۲۱ توصیه می‌شود. مقاومت مشخصهٔ بتن، حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ نمونهٔ استوانه‌ای است که در طراحی مورد

1- Strength Increase Factor (SIF)

استفاده قرار می‌گیرد؛ اما به‌طور معمول، این مقدار با توجه به عمر بتن در طول زمان افزایش پیدا می‌کند. به‌منظور ارزیابی یک سازهٔ موجود، می‌توان از مقاومت فعلی بتن در تحلیل استفاده نمود. این موضوع باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در ظرفیت خمشی نمی‌شود اما در سنجش مقاومت برشی، می‌تواند تأثیرگذار باشد. ضریب افزایش مقاومت پیشنهادی برای بتن ۱٫۰ است مگر آنکه نتایج آزمون‌های فشاری بتن در بلندمدت دردسترس باشد و نشان دهد مقاومت موردانتظار، از مقاومت مشخصه بزرگ‌تر است.

ز-۸ افزایش مقاومت دینامیکی[1]

بتن و فولاد تحت بارگذاری‌های سریع، مقداری افزایش مقاومت پیدا می‌کنند. این گونه مصالح نمی‌توانند به همان سرعتی که تحت بار قرار می‌گیرند، به بارگذاری واکنش نشان دهند. بنابراین مقاومت تسلیم آن‌ها تحت این نوع بارگذاری افزایش می‌یابد و تغییرشکل‌های خمیری کوچک‌تری در آن‌ها ایجاد خواهد شد. در یک نرخ کرنش سریع، نیاز به بار بزرگ‌تری برای ایجاد همان تغییرشکل با نرخ کرنش کوچک‌تر مورد نیاز است. این افزایش در مقاومت تسلیم تقریباً برای مصالحی که مقاومت کوچک‌تر دارند قابل توجه است و با افزایش مقاومت تسلیم ایستایی کاهش می‌یابد. مدول کشسانی و تنش تسلیم فولاد، همان مقادیر منظور شده در ناحیهٔ ارتجاعی در پاسخ دینامیکی و ایستایی است. در ناحیهٔ سخت‌شدگی کرنشی، شیب منحنی تنش- کرنش برای پاسخ‌های دینامیکی و ایستا متفاوت است، با آنکه این تفاوت برای بیشتر کاربردهای طراحی سازه‌ای اهمیتی ندارد. یک مقدار افزایش مقاومت نیز در مقاومت نهایی، F_u، برای فولاد ایجاد می‌شود ولی نسبت مقاومت دینامیکی به مقاومت ایستا در مقایسه با تسلیم کوچک‌تر است. یک منحنی کلی تنش- کرنش که پاسخ دینامیکی و ایستایی فولاد را توصیف می‌کند در شکل ز-۱۱ نشان داده شده است. کشامد تا حد گسیختگی توسط پاسخ دینامیکی مصالح، زیاد تحت تأثیر قرار داده نمی‌شود.

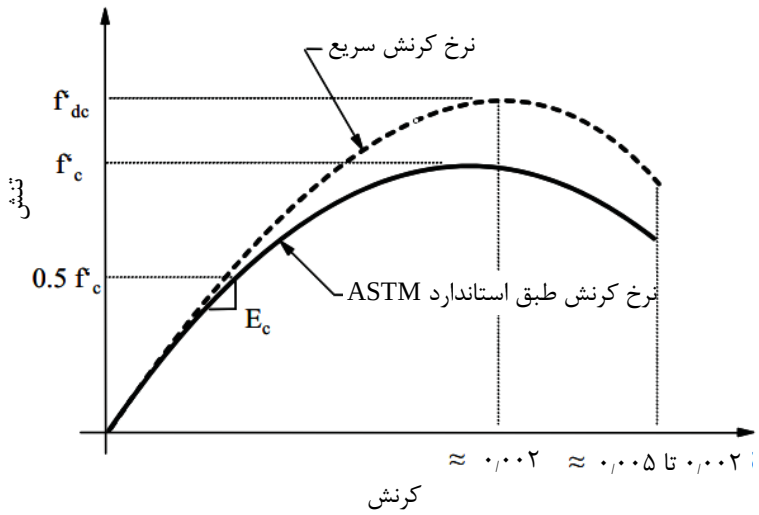


شکل ز-۱۱- اثر نرخ کرنش روی نمودار تنش – کرنش برای فولاد (برگرفته از منبع UFC 3-340-02 [24])

1- Dynamic Strength Increase

آلومینیوم افزایش متعادلی از نرخ کرنش را نشـان می‌دهد که معـمولاً از آن صرف‌نـــظر می‌شود. Lindholm [105]، داده‌های آزمایشگاهی در خصوص مشخصات دینامیکی برخی از انواع مصـالح را گرداوری نموده است. آن منبع در خصوص مشخصات برخی از مصالح که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند قابل توصیه است.

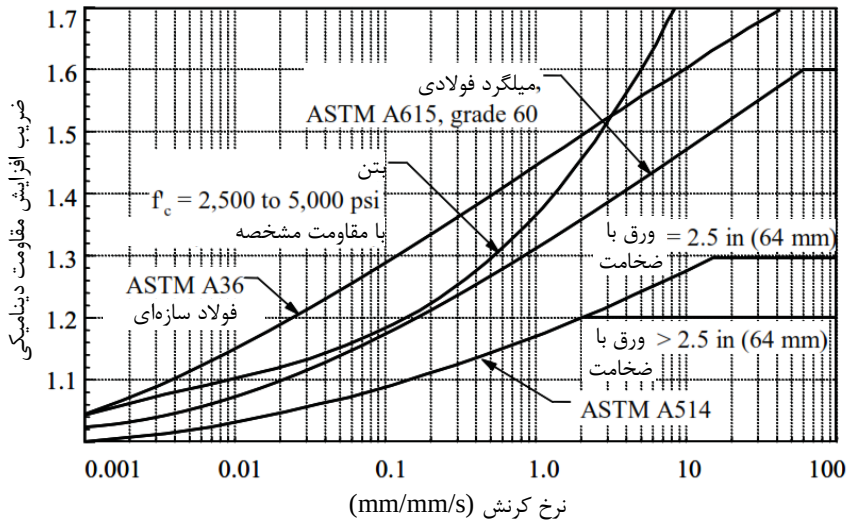
مقاومت نهـایی بتن تحت بارهای دینامیکی بزرگ‌تر از مقـاومت آن تحت بار ایستا است. اگرچه مدول کشسانی آن نیز بزرگ‌تر است، اما این تفاوت کوچک است و معمولاً در نظر گرفته نمی‌شود. شکل ز-۱۲ رابطهٔ بین پاسخ دینامیکی و ایستا را در مصالح بتن (در وضعیت محصورنشده) نشان می‌دهد.



شکل ز-۱۲- اثر نرخ سرعت کرنش روی منحنی تنش – کرنش برای بتن [24]

مقدار افزایش مقاومت دینامیـــکی به وجود چند عامل وابســـته است که شامل مقاومت ایســتای مصالح و نرخ کرنش است. عموماً مصالحی که دارای مقاومت ایستای بزرگ‌تری باشد، افزایش مقاومت دینامیکی کوچک‌تری دارد. هرچه یک ماده سریع‌تر تحت کرنش قرار داده شود، میزان افزایـش در مقاومت دینامیکی تسـلیم و نهایی آن بیشتر خواهد بود. شکل ز-۱۳ رابطـهٔ میان نرخ کرنش و نسبت مقاومت دینامیـکی به ایســتا را برای فولاد سازه‌ای، بتن و میلگرد فولادی ارائه کرده است.

گزارش آزمایش‌های ژئوتکنیک، خصـــوصـیات کلی ایستای خاک مانند مقاومت برشی و ظرفیت باربری را ارائه می‌دهد اما ممکن است مشخصات دینامیکی را بیان نکند مگر آن که این خصوصیات به‌طور ویژه توسط کارفرما درخواست شده باشد. در این موارد، اســتفاده از خصوصیات ایســتا اجتناب‌ناپذیر است. مشـخصات دینامیـــکی خاک ارائه شده ممکن است بر اســـاس آزمایش‌های کرنشی با دامنهٔ کرنش کوچـــک باشـــد که این آزمایش ها ممکن است برای شرایط مورد نظر کارا نباشد. گزارش‌های مکانیک خاک عموماً مقادیر سختی جانبی و قائم را برای انواع مختلف شـــالوده پیشنهاد می‌دهند. این مقادیر را می‌تـــوان همراه با ظرفیت‌های باربری نهایی برای محاسبه پاسخ دینامیکی شالوده برای بار انفجار وارده به‌کار برد.



شکل ز-۱۳- اثر نرخ کرنش روی مقاومت دینامیکی مصالح [24]

ز-۹ ضریب افزایش دینامیکی[1]

برای ترکیب اثر افزایش مقاومت ماده با نرخ کرنش، یک ضریب افزایش دینامیکی (DIF) به مقادیر مقاومت ایستا اعمال می‌شود. این ضرایب، نسبت‌های ساده‌ای از مقاومت دینامیکی مصالح به مقاومت ایستای آن بوده، تابعی از نوع مصالح هستند که برای نرخ کرنش مصالح، قبلاً تشریح گردید. همچنین این ضرایب وابسته به نوع تنش هستند (مثلاً تنش ناشی از خمش، تنش برشی مستقیم و ...) زیرا مقادیر بیشینه این تنش‌ها در زمان‌های مختلفی رخ می‌دهد. تنش‌های ناشی از خمش بسیار سریع اتفاق می‌افتد در حالی که مقادیر بیشینه برش ممکن است به خاطر نرخ کرنش کوچک‌تر برش، دیرتر ایجاد شوند.

تعیین نرخ واقعی کرنش مصالح در خلال محاسبه پاسخ دینامیکی با استفاده از روش دیگری نیز امکان‌پذیر است. یک نرخ فرض می‌شود و ضریب افزایش دینامیکی بر اساس آن انتخاب می‌شود. مقاومت دینامیکی با ضرب کردن مقاومت ایستا محاسبه می‌شود. زمان مورد نیاز برای نیل به بیشینه پاسخ را می‌توان برای تعیین نرخ کرنش اصلاح شده و یک ضریب DIF اصلاح شده به کار برد. این فرآیند تا جایی تکرار می‌شود که نرخ کرنش محاسباتی به مقدار فرض شده نزدیک شود.

در بسیاری از متغیرهای به‌کار رفته در محاسبهٔ این پاسخ عدم قطعیت وجود دارد و تعیین نرخ‌های کرنش با دقت بالا تضمین‌شده نیست. منبع UFC 3-340-02 [24] و سایر مراجع توصیه می‌کنند انتخاب مقادیر DIF بر اساس بازهٔ فشار یا فاصله مقیاس‌شده تا منشأ انفجار صورت پذیرد. در این روش، بارهای انفجار با مقدار چند صد psi (هر psi معادل ۶۹۰ kPa است) در یک ردهٔ فشار کوچک با یک ضریب DIF در هر نوع تنش، گروه‌بندی می‌شود. در تأسیسات صنعت نفت، اکثر سازه‌ها در این ردهٔ فشار کوچک دچار فروریزش خواهند شد. مقادیر DIF برای انواع مختلف تنش به چندین دلیل در فولاد و بتن متفاوت هستند. پاسخ خمشی به صورت شکل‌پذیر است و مقادیری از ضرایب DIF برای آن مجاز دانسته می‌شود که بیانگر نرخ واقعی کرنش

1- Dynamic Increase Factor (DIF)

باشد. تنش‌های برشی در بتن، موجب شکست ترد می‌شوند و بنابراین نیازمنـــد مقداری محافظه‌کاری هستند که باید در انتخاب ضریب DIF اعمال شود. به علاوه، داده‌های آزمایشگاهی برای پاسخ برش دینامیکی مصالح بتنی به اندازه مقاومت فشاری وجـــود ندارد. نرخ‌های کرنش برای کشـــش و فشار در اعضـای فولادی و بتنی نسبت به مقادیر مشابه آن در خم ـش کوچک‌تر اس ـت و بنابراین مقادیر DIF لزوماً کوچک‌تر هستند. مقادیر ضرایب افزایش دینامیکی در مراجع متعددی وجـود دارد اما اغلب آن‌ها بر مبنای یک منبع اطلاعاتی به‌دست آمده‌اند. داده‌های تکمیلی در برنامه‌های آزمایشـــگاهی متعددی ارائه شـــده اســـت اما در یک مرجع یکپارچه تجمع پیدا نکرده‌اند. بیشتر داده‌هایی که منتشر شده مبتنی بر آزمایش‌های با نرخ کرنش زیاد استوار است و بسیاری از مقادیر پیشـنهادی به‌صورت اختـیاری انتخاب شـده‌اند. جدول ز-۷ مقادیر پیشنهادی برای ضرایب DIF در بتن مسلح، ســـازهٔ بنایی مسلح را ارائه می‌دهند و جدول ز-۸ این مقادیر را برای فولاد سازه‌ای، فولاد سرد نورد و آلومینیوم مشخص کرده است.

جدول ز-۷- ضرایب افزایش دینامیکی برای میلگردهای فولادی، بتن و مصالح بنایی برحسب نوع تنش

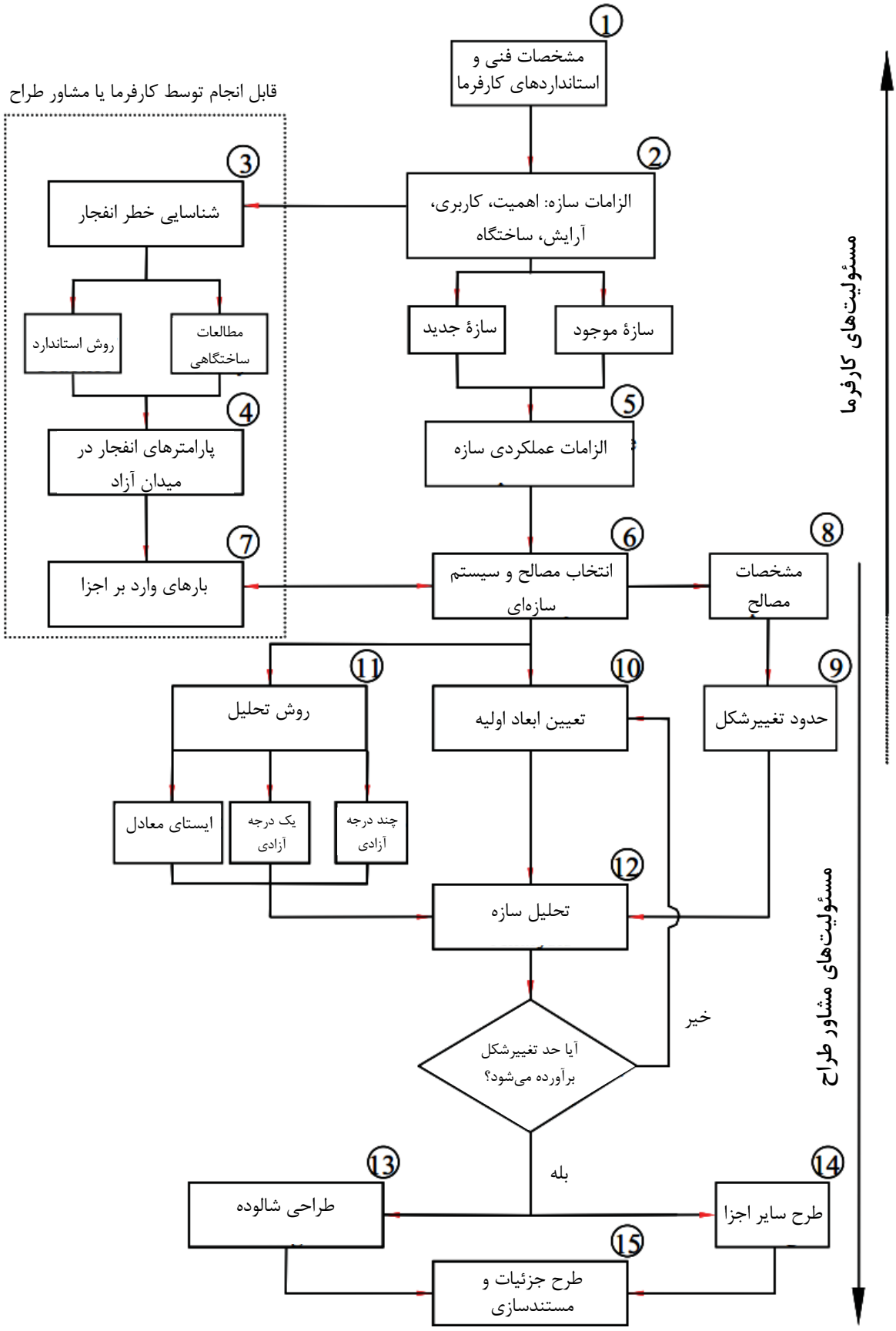
نوع تنش	DIF			
	میلگردهای فولادی		بتن	مصالح بنایی
	F_{dy}/F_y	F_{du}/F_u	f'_{dc}/f'_c	f'_{dm}/f'_m
خمشی	۱٫۱۷	۱٫۰۵	۱٫۱۹	۱٫۱۹
فشاری	۱٫۱۰	۱٫۰۰	۱٫۱۲	۱٫۱۲
کشش قطری	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰
برش مستقیم	۱٫۱۰	۱٫۰۰	۱٫۱۰	۱٫۰۰
چسبندگی	۱٫۱۷	۱٫۰۵	۱٫۰۰	۱٫۰۰

جدول ز-۸ ضرایب افزایش دینامیکی برای فولاد سازه‌ای، فولاد سرد نورد و آلومینیوم

مصالح	DIF		
	تنش تسلیم		تنش نهایی
	خمش/ برش	کشش/ فشار	
	F_{dy}/F_y	F_{dy}/F_y	F_{du}/F_y
ASTM A36	۱٫۲۹	۱٫۱۹	۱٫۱۰
ASTM A588	۱٫۱۹	۱٫۱۲	۱٫۰۵
ASTM A514	۱٫۰۹	۱٫۰۵	۱٫۰۰
ASTM A653	۱٫۱۰	۱٫۱۰	۱٫۰۰
SAE AMS5501 (فولاد ضد زنگ)	۱٫۱۸	۱٫۱۵	۱٫۰۰
SAE AMS5501 (آلومینیم)	۱٫۰۲	۱٫۰۰	۱٫۰۰

ز-۱۰ فرآیند کلی طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار

بر اساس مفاهیم ذکر شـــده در بند ۱۴ این استاندارد، نمودار جریان کلی برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر بار انفجار در شکل ز-۱۴ آمده است.



شکل ز-۱۴- فرایند طراحی سازه‌های مقاوم در برابر انفجار در یک مجتمع صنعتی در صنعت نفت [23]

کتاب‌نامه

[۱] نشریهٔ شمارهٔ ۰۳۸ وزارت نفت: سال ۱۴۰۲، آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت، معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری

[۲] استاندارد شمارهٔ ۲۸۰۰، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

[۳] استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۲۰۸۶۱: سال ۱۳۹۴، حداقل بارهای طراحی سازه‌ای برای سازه‌های خدماتی بتنی پیش‌ساخته زیر زمینی- آئین‌کار

[۴] مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارهای وارد بر ساختمان، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان.

[۵] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان.

[۶] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان.

[7] OSHA: 2005, Standards for general industry, 29 CFR (Code of federal regulations), Part 1910. 1200 Appendix A, Washington D.C., Occupational safety & health administration

[8] ASME A17.1: 2016, Safety code for safety code for escalators, American Society of Mechanical Engineers

[9] ACI 351.3R: 2018, Report on foundations for dynamic equipment, American concrete institute, 2018

[10] AIST TR-13: 2003, Guide for the design and construction of mill buildings, Association for iron & steel technology

[11] AISC Design Guide 7: 2019, Industrial Building, 3rd ed., American institute of steel construction

[12] ASCE/SEI24: 2014, Flood resistant design & construction, American society of civil engineers

[۱۳] مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، بهینه‌سازی مصرف انرژی، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان

[14] ANSI/NESC: 2017, National electrical safety code, C2, Institute of electrical and electronics engineers, Inc

[15] ASCE MOP 74: 2020, Guidelines for electrical transmission line structural loading, 4th ed., American society of civil engineers

[16] ANSI/TIA-222-H: 2017, Structural standard for antenna supporting structures & antenna & small wind turbine support structures, Telecommunications industry association, Technology & standards department

[17] ASCE: 2020, Wind loads for petrochemical & other industrial facilities, 2nd ed., Reston, VA: American society of civil engineers

[18] VGB Powertech: 2018, Structural Design of Cooling Towers (VGB R-610), Essen, Germany, VGB Powertech

[19] ASCE/SEI49: 2012, Wind tunnel testing for buildings and other structures, American society of civil engineers

[20] ASCE/SEI59: 2022, Blast protection of buildings, 2nd ed., American society of civil engineers

[21] AISC Design guide 26: 2016, Blast-resistant design of steel buildings, American institute of steel construction

[22] ACI 370R: 2014, Report for the design of concrete structures for blast effects, American concrete institute

[23] ASCE: 2011, Design of blast-resistant buildings in petrochemical facilities, 2nd ed., Reston, VA: American society of civil engineers

[24] UFC3-340-02: 2008, Structures to resist the effects of accidental explosions, Unified Facilities Criteria, Washington D.C., U.S. department of defense

[25] TNO Green Book: 1992, Method for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials (CPR 16E), Committee for the prevention of disasters due to dangerous substances

[26] ASCE Manual 42: 1985, Design of structures to resist nuclear weapons effects, American society of civil engineers

[27] CCPS: 2012, Guidelines for evaluating process plant buildings for external explosions, fires & toxic releases, 2nd ed., Center for chemical process safety of the american institute of chemical engineers

[28] API RP 752: 2020, Managament of hazards associated with location of process plant permanent buildings, 3rd ed., American petroleum institute

[29] API RP 2FB: 2006, Recommended practice for the design of offshore facilities against fire & blast Loading, American petroleum institute

[۳۰] وزارت نفت، سال ۱۴۰۲، راهنمای فرآیند انجام مطالعات پدافند غیرعامل و مدیریت بحران (طرح‌های توسعه‌ای و تأسیسات در حال بهره‌برداری) در صنعت نفت- (۱) MOP-PDCM-GL-7، اداره کل پدافند غیرعامل و مدیریت بحران، معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری

[31] SCI-P-112: 1993, Interim guidance notes for the design & protection of topsides of structures against explosions & fire, document No. 443, UK: Fire & blast information group

[32] DOE/TIC-11268: 1992, Blast & fragment loadings on structures, US department of energy

[33] ASCE Manual 58: 1980, Structural analysis & design of nuclear plant facilities, American society of civil engineers

[34] PIP STC01018: 2006, Blast resistant building design criteria, Process industry practices

[35] P. Kennedy: 1976, A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missle impact effects, North Holland publishing company

[۳۶] مبحث بیستیت و یکم مقررات ملی ساختمان، پدافند غیرعامل، دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان.

[37] PDC-TR 06-08: 2006, Single degree of freedom structural response limits for antiterrorism design, U.S. army corps of engineers

[38] TM5-856: 1960, Design of structures to resist the effects of atomic weapons, Technical manuals 5-856-1 through 9 (9 volumes), Department of army

[39] IPS-C-CE-200: 2008, Engineering standard for concrete structures, Iranian petroleum standards

[40] AASHTO: 2020, LRFD Bridge design specifications, 9th ed., American association of state highways & transportation officials

[۴۱] نشریهٔ شمارهٔ ۱۳۹، سال: ۱۳۷۹، آیین‌نامه بارگذاری پل‌ها، تجدید نظر دوم، امور نظام فنی و اجرایی، سازمان برنامه و بودجه کشور

[42] ACI 209R: 2008, Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures, American concrete institute

[43] AASHTO: 2009, LRFD Guide specifications for the design of pedestrian bridges, 2nd ed., American association of state highways & transportation officials

[44] CERC: 1984, Shore protection manual, 4th ed., Coastal engineering research center

[45] CD 363: 2020, Design rules for aerodynamic effects on bridges, Highways England team

[46] NCHRP Report 645: 2009, Blast-resistant highway bridges: design & detailing guidelines, Washington D.C.: National cooperative highway research program

[۴۷] استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۴۶۸۴: سال ۱۳۹۱، طراحی پل‌های راه و راه‌آهن در برابر زلزله- آیین‌نامه

[48] EN 1990: 2010, Eurocode 0: Basis of structural design, European committee for standardization

[49] EN 1991.1.1: 2002, Eurocode 1: Action on structures, Part 1-1: General actions-densities, self-weight, imposed loads for buildings, European committee for standardization

[50] EN 1991.2: 2003, Eurocode 1: Action on structures, Part 2: Traffic load on bridges, European committee for standardization

[51] EN 1991.1.3: 2003, Eurocode 1: Action on structures, Part 1-3: General actions - snow loads, European committee for standardization

[52] EN 1991.1.4: 2010, Eurocode 1: Action on structures, Part 1-4: General action- wind actions, European committee for standardization

[53] EN 1991.1.5: 2003, Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-5: General actions - thermal actions, European committee for standardization

[54] EN 1991.1.6: 2003, Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-6: General actions - actions during execution, European committee for standardization

[55] EN 1991.1.7, Eurocode 1: 2010, Actions on structures - Part 1-7: General actions - accidental actions, European committee for standardization

[56] EN 1998.2, Eurocode 8: 2005, Design of structures for earthquake resistance, Part 2: Bridges, European committee for standardization

[۵۷] نشریهٔ شمارهٔ ۲۸۸: سال ۱۳۸۳، آیین‌نامه طرح هندسی راه‌آهن، سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

[۵۸] نشریهٔ شمارهٔ ۸۴۵: سال ۱۴۰۰، راهنمای طراحی پل‌های دارای جداساز لرزه‌ای، سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

[59] EN 1992.2: 2005, Eurocode 2: Design of concrete structures - concrete bridges - design and detailing rules, European committee for standardization

[60] EN 1993.2: 2006, Eurocode 3: Design of steel structures - Part 2: Steel bridges, European committee for standardization

[61] EN 1994.2: 2005, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 2: General rules and rules for bridges, European committee for standardization

[62] ANSI/AWWA D100: 2021, Welded carbon steel tanks for water storage, American water works association

[۶۳] نشریهٔ شمارهٔ ۱۲۳: سال ۱۳۹۵، ضوابط و معیارهای طرح و محاسبهٔ مخازن آب زمینی، سازمان برنامه و بودجه کشور، تجدیدنظر اول، امور نظام فنی و اجرایی

[64] API 620: 2013, Design and construction of large, welded, low-pressure storage tanks, American petroleum institute

[65] UFC4-150-06: 2010, Military harbors and coastal facilities, Unified facilities criteria, 2010.

[۶۶] ضابطهٔ شمارهٔ ۶۳۱: سال ۱۳۹۲، دستورالعمل طراحی سازه‌های ساحلی، بخش دوم: شرایط طراحی، سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

[67] ASCE/COPRI61: 2014, Seismic design of piers & wharves, American society of civil engineers

[68] ISO 668: 2020, Series 1 Freight containers-Classification, dimensions and ratings, International Organization for Standardization

[69] API 2MET & ISO 19901-1: 2021, Petroleum and natural gas industries-specific requirements for offshore structures Part 1: Metocean design and operating considerations, American petroleum institute

[70] API RP2A: 2014, Planning, designing, and constructing, planning, designing, and constructing, Working stress design, American petroleum industries

[71] API RP2A: 2019, Planning, designing, and constructing fixed offshore platforms—Load and resistance factor design, American petroleum industries

[72] UFC3-220-01: 2012, Geotechnical engineering, Unified facilities criteria

[۷۳] نشریهٔ شمارهٔ ۶۲۶: سال ۱۳۹۲، راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله، سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

[74] ASCE MOP 113: 2011, Substation structure design guide, American society of civil engineers

[۷۵] نشریهٔ شمارهٔ ۴۵۷: سال ۱۳۸۷، مشخصات فنی عمومی و اجرایی پست‌ها، خطوط فوق توزیع و انتقال، ترکیب بارگذاری نیروها بر سازه‌های پست‌های فشار قوی، سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

[76] IEEE 693: 2018, Recommended practice for seismic design of substations, IEEE power & energy society, The institute of electrical and electronics engineers

[۷۷] نشریهٔ شمارهٔ ۶۰۲: سال ۱۳۹۱، راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانهٔ برق‌رسانی، سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

[78] IEEE 605: 2008, Guide for bus design in air insulated substations, IEEE power & energy society, New York: The Institute of electrical and electronics engineers

[79] IEEE 1307: 2018, Standard for fall protection for utility work, The institute of electrical and electronics engineers

[۸۰] شرکت توانیر: سال ۱۳۹۷, دستورالعمل جامع بارگذاری خطوط انتقال و فوق توزیع نیروی برق ایران، ویرایش دوم، شرکت سهامی تولید و انتقال نیروی برق ایران

[۸۱] پژوهشگاه نیرو: سال ۱۳۹۶، طرح پهنه‌بنـــدی اقلیمی و بارگذاری خطوط انتقال نیـروی کشور، گروه سازه‌های صنعت برق

[۸۲] نشریهٔ شـــمارهٔ ۴۵۶: سال ۱۳۸۷، مشـخصـــات فنی عمـومی و اجرایی پسـت‌ها، خطـوط فوق توزیع و انتقال، طبقه‌بندی شرایط اقلیمی و محیطی، امور نظام فنی و اجرایی

[83] ASCE/SEI10: 2015, Design of latticed steel transmission structures, American society of civil engineers

[84] ASCE/SEI48: 2019, Design of steel transmission pole structures, American society of civil engineers

[85] ASCE/SEI104: 2019, Recommended practice for fiber-reinforced polymer products for overhead utility line structures, American society of civil engineers

[86] ASCE MOP 123: 2012, Prestressed concrete transmission pole structures, Recommended practice for design & installation, American society of civil engineers

[87] ASCE MOP 91: 1997, Design of guyed electrical transmission structures, American society of civil engineers

[88] ASCE MOP 141: 2019, Wood pole structures for electrical transmission lines, American society of civil engineers

[89] ANSI O5.1: 2017, Wood poles - specifications & dimensions, American national standard institute

[90] ANSI O5.2: 2020, Structural glued laminated timber for utility structures, American national standard institute

[91] ANSI O5.3: 2021, Solid sawn wood crossarms, braces, & ground wire moulding: specifications & dimensions, American national standard institute

[92] ANSI C29: 2018, Standards for both ceramic & nonceramic insulators, American national standard institute

[93] ANSI C119: 2016, Standards for conductor connectors including dead-end connections, American national standard institute

[94] IEEE C135.90: 2014, Specifications for various pole line hardware for overhead line, The institute of electrical and electronics engineers

[95] IEEE 524: 2016, Installation of overhead transmission line conductors, The institute of electrical and electronics engineers

[96] ANSI/ASSE Z539.1: 2016, Fall protection code, American national standard institute

[۹۷] آیین‌نامه حفاظتی کارگاه‌های سـاختمانی، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، اداره کل بازرسـی کار.

[98] ANSI/NAAMM: 2007, Guide specifications for design of metal flagpoles, National association of architectural metal manufacturers

[99] ACI 313: 2016, Design specification for concrete silos and stacking tubes for storing granular materials and commentary, American concrete institute

[100] API 4F: 2020, Specification for drilling & well servicing structures, American petroleum institute

[101] M. M. Stephens: 1970, Minimizing damage to refineries from nuclear attack, natural and other disasters, US department of the interior, office of oil and gas

[102] SG-22: 1978, Siting and construction of new control houses for chemical manufacturing plants, Manufacturing chemists association

[103] CIA: 1992, An approach to the categorisation of process plant hazard and control building design, safety committee of the chemical industry safety & health council, Chemical industries association

[104] E. Lenoir and J. Davenport: 1993, A survey of vapor cloud explosions: second update, Process safety progress, Vols. 12, No. 1, Industrial Risk Insurers,, pp. 12-33

[105] Lindholm: 1969, A survey of rate dependent strength properties of metals, Southwest research institute