

**Industrial steel stacks and concrete
chimneys - Design, construction, and material
specifications**

**دودکش های صنعتی فولادی و بتنی -
طراحی، ساخت و ویژگی های مصالح**

ویرایش اول

بهمن ۱۴۰۱

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آنها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آنها را تأمین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرار گرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استандاردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آنها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ با شماره (INSO 23287) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷

استانداردها و ضوابط فنی

کدپستی: ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱

تلفن: ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵

دورنگار: ۸۸۸۱۰۴۶۲

پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفه تعیین، تدوین، به روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل سازندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیردولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی 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 می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی 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

«دودکش‌های فولادی و بتنی – طراحی، ساخت و ویژگی‌های مصالح»

رئیس:

خلوتی، امیرحسین

(دکتری مهندسی عمران - زلزله)

دبیر:

افشاریان‌زاده، امید

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه)

اعضا:

(اسامی به ترتیب حروف الفبا)

اصغری فریاد، حسین

(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی)

باریبان فتیده، زهره

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله)

بهنام‌فر، فرهاد

(دکتری مهندسی عمران - زلزله)

رهنورد، علیرضا

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله)

سلامت، وحید

(کارشناسی ارشد مدیریت مهندسی)

سعیدی مطلق، حسن

(کارشناسی مهندسی مکانیک - جامدات)

شایانی، احسان

(کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت)

شکرزاده، امیررضا

(دکتری مهندسی عمران - سازه)

صافی، محمد

(دکتری مهندسی عمران - سازه)

علوی، عرفان

(دکتری مهندسی عمران - زلزله)

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

شرکت مهندسی و توسعه نفت

عضو مستقل

دانشگاه صنعتی اصفهان

پژوهشگاه نیرو

مهندسین مشاور آریا پیشرو قرن

مهندسین مشاور سازه

شرکت مهندسی و توسعه نفت

شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران

عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی

مهندسین مشاور سازه

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

سمت و/یا محل اشتغال:

فرزانه، امیر (دکتری مهندسی مواد- خوردگی)	عضو هیئت علمی دانشگاه مراغه
کریمی‌نیا، احمد (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی)	مهندسین مشاور مسینان
گل‌صورت پهلویانی، علی (دکتری مهندسی عمران- سازه)	واحد تهران مرکز دانشگاه آزاد اسلامی
مشایخی، محمد (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه)	شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران
مهری، آمنه (کارشناسی ارشد مهندسی عمران- خاک و پی)	شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران

ویراستار:

عباسی رزگله، محمدحسین
کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی و مدیریت
ساخت

سازمان ملی استاندارد ایران

مندرجات فهرست

صفحه	عنوان
ح	پیش‌گفتار
ط	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات و تعاریف
۷	۴ دودکش‌های فولادی
۷	۴-۱ طراحی مکانیکی
۱۶	۴-۲ مشخصات مصالح در دودکش فولادی
۲۲	۴-۳ روکش‌ها و پوشش‌ها
۳۷	۴-۴ طراحی سازه‌ای
۶۰	۴-۵ بارهای دینامیکی باد
۶۸	۴-۶ دسترسی و ایمنی
۸۱	۴-۷ طراحی و اجرای کارهای برقی
۸۳	۴-۸ ساخت و نصب
۸۹	۴-۹ بازرسی فنی و تعمیرات
۹۳	۵ دودکش‌های بتنی
۹۳	۵-۱ کلیات
۹۴	۵-۲ محدوده شمول
۹۴	۵-۳ نقشه‌ها
۹۴	۵-۴ الزامات قانونی
۱۰۱	۵-۵ مصالح مصرفی در احداث دودکش بتنی
۱۰۲	۵-۶ الزامات اجرایی
۱۰۶	۵-۷ بارها و معیارهای عمومی طراحی
۱۱۷	۵-۸ طراحی پوسته دودکش بتنی به روش مقاومت
۱۲۶	۵-۹ تنش‌های حرارتی
۱۳۱	پیوست الف (آگاهی دهنده) طراحی مکانیکی دودکش فولادی
۱۴۵	پیوست ب (آگاهی دهنده) مواد و مصالح برای بهره‌برداری در دمای محیط و ارتفاع دودکش فولادی
۱۶۱	پیوست پ (آگاهی دهنده) روکش‌ها و پوشش‌ها در دودکش‌های فولادی
۱۶۵	پیوست ت (الزامی) محاسبه ضریب اثر تندباد در دودکش فولادی

صفحه	عنوان
۱۷۴	پیوست ث (آگاهی دهنده) محاسبه تنش خزشی مجاز برای فولاد کربنی و زنگ‌نزن در دودکش فولادی
۱۷۶	پیوست ج (آگاهی دهنده) طراحی در برابر پدیده جداشدن گردباد در دودکش فولادی
۱۸۲	پیوست چ (آگاهی دهنده) استخراج روابط برای مقاومت اسمی مقاطع دودکش بتنی
۱۹۰	پیوست ح (آگاهی دهنده) استخراج روابط برای تنش‌های حرارتی در دودکش بتنی
۱۹۳	کتاب‌نامه

پیش‌گفتار

استاندارد «دودکش‌های فولادی و بتنی – طراحی، ساخت و ویژگی‌های مصالح» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در نهصد و نود و چهارمین اجلاس هیئت کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران - ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه 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- ASME STS-1: 2016, Steel Stacks
- 2- ACI 307: 2008, Code requirements for reinforced concrete chimneys and commentary

مقدمه

دودکش‌های فولادی و بتنی، سازه‌های نسبتاً مرتفع و باریکی هستند که به وفور در تأسیسات صنایع نفت و نیرو، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع سازه، برای تخلیه محصولات احتراق در ارتفاعی مناسب جهت انتشار حرارت و آلاینده‌ها مطابق با ضوابط زیست‌محیطی است. ویژگی‌های خاص همچون آثار دینامیکی باد، فرسایش و خوردگی مصالح و راه‌کارهای مؤثر کنترل آن‌ها، تفاوت‌هایی را در روند طراحی دودکش‌ها نسبت به سایر سازه‌های متعارف ایجاد می‌کند، که این موضوع، تدوین یک استاندارد ملی را که به ملاحظات خاص طراحی‌های مکانیکی و سازه‌ای، ویژگی‌های مصالح و اجرای دودکش‌های فولادی و بتنی بپردازد ضروری می‌نماید.

این استاندارد، در دو بخش اصلی دودکش‌های فولادی و دودکش‌های بتنی تدوین شده است:

- در بخش دودکش‌های فولادی، ضوابطی برای طراحی مکانیکی، انتخاب مواد و مصالح، انتخاب پوشش‌های داخلی و بیرونی، طراحی سازه‌ای، ملاحظات خاص مربوط به آثار دینامیکی باد، دسترسی و ایمنی، الزامات برقی و همچنین برخی ملاحظات اجرایی این نوع دودکش ارائه می‌شود.
- در بخش دودکش‌های بتنی، الزامات و ملاحظات خاص مربوط به مصالح، طراحی، و اجرای دودکش بتنی درجاریز و پیش‌ساخته بیان می‌شود. همچنین در این بخش مسایلی مانند روش تحلیل پوسته‌های دایره‌ای شکل دودکش بتنی به همراه یک رویه کلی برای تحلیل اشکال غیر مدور این نوع دودکش، روابط تعیین گرادیان حرارتی پوسته‌های بتنی ناشی از اختلاف دمای گازهای درون دودکش و محیط بیرونی، و روش‌های ترکیب آثار بارهای مرده و باد (یا زلزله) با دما در راستاهای قائم و افقی، ارائه خواهد شد. حداقل الزامات میلگردگذاری و مشخصات فنی بتن در این نوع دودکش مشمول ضوابط این استاندارد است.

دودکش‌های صنعتی فولادی و بتنی – طراحی، ساخت و ویژگی‌های مصالح

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، بیان ضوابط خاص مربوط به انتخاب مصالح، تعیین شکل هندسی و طراحی مکانیکی، بارگذاری و طراحی سازه‌ای، و اجرای انواع دودکش‌های صنعتی فولادی و بتنی خودایستا یا دارای مهار است.

این استاندارد برای مشعل‌ها^۱ و دودکش کوره‌های پالایشگاهی کاربرد ندارد.

یادآوری ۱- برای طراحی مشعل می‌توان به استاندارد API537 [1] و برای کوره‌ها به استاندارد API 560 [2] مراجعه نمود.

یادآوری ۲- این استاندارد برای دودکش‌های ساختمانی قابل کاربرد نیست.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، 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:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲، سنگدانه‌های بتن – ویژگی‌ها

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹، سیمان پرتلند – ویژگی‌ها

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۰۰، طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله – آیین کار

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۳۱۳۲، میلگردهای فولادی گرم نوردیده برای تسلیح بتن – ویژگی‌ها و روش‌های آزمون

۵-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۹۷، تجهیزات حفاظت فردی در برابر سقوط از ارتفاع – کمربندهای استقرار در محل کار و لنیارد های محل کار

۶-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۵۵۸، میلگردهای سردنوردیده مورد مصرف جهت تسلیح بتن و ساخت شبکه‌های جوش شده – ویژگی‌ها

1- Flare

- ۷-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۵۴۴۳، تجهیزات کار موقت - قسمت ۱: داربست - الزامات عملکردی و طراحی عمومی
- ۸-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۱۷۶، ایمنی ماشین‌آلات - ابزارهای ثابت دسترسی به ماشین‌آلات - قسمت ۴: نردبان‌های ثابت
- ۹-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۶۲۳، صنعت نفت - بارگذاری سازه‌های غیرساختمانی - آیین کار طراحی
- ۱۰-۲ آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت، نشریه شماره ۰۳۸، سال ۱۳۹۵، معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری وزارت نفت
- ۱۱-۲ آیین‌نامه ایمنی کار در ارتفاع، سال ۱۳۹۱، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، اداره کل بازرسی کار
- ۱۲-۲ آیین‌نامه حفاظتی کارگاه‌های ساختمانی، سال ۱۳۸۱، وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، اداره کل بازرسی کار
- ۱۳-۲ دستورالعمل‌های هواپیمایی کشوری، دستورالعمل شماره ۴۳۱۴: سال ۱۳۹۲، دستورالعمل ممیزی هلی‌پورت‌ها

- 2-14 ACI 301, Specifications for structural concrete, American Concrete Institute
- 2-15 ACI 318, Building code requirements for structural concrete, American Concrete Institute
- 2-16 AISC 360, Specification for structural steel buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA
- 2-17 ANSI A10.8, Scaffolding safety requirements, American National Standards Institute
- 2-18 ANSI A10.14, Construction & demolition operations - Requirements for safety belts, harnesses, lanyards & lifelines for construction & demolition use, American National Standards Institute
- 2-19 ANSI A14.3, Ladders-fixed-safety requirements, American National Standards Institute
- 2-20 API RP 936, Refractory installation quality control-Inspection and testing monolithic refractory linings and materials, American Petroleum Institute
- 2-21 ASME BVPC, Boiler & pressure vessel code (BVPC): 2021, American Society of Mechanical Engineers
- 2-22 ASCE7, Minimum loads on building & other structures, American Society of Civil Engineers
- 2-23 CAA, UK Civil aviation authority, Part ADR, Alternative dispute resolution
- 2-24 FAA AC70/7460, Obstruction marking and lighting, Washington D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration.
- 2-25 NACE RP 0292, Standard recommended practice for installation of thin metallic wallpaper lining in air pollution control and other process equipment

2-26 NFPA 780, Standard for the installation of lightning protection systems

2-27 OSHA 29 CFR, Part 1910, Occupational Safety and Health Administration, USA

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳

دودکش فولادی

steel stack

دودکشی که اجزای آن از فولاد سازه‌ای ساخته شده است.

۲-۳

دودکش بتنی

concrete chimney

نوعی دودکش که با استفاده از مصالح بتنی مسلح یا پیش‌تنیده به صورت پیش‌ساخته یا درجاریز^۱، طراحی و اجرا می‌شود.

۳-۳

دودرو

metal flue

به مسیر عبور گازها از دودکش گفته می‌شود.

۴-۳

کوران (مکش)

draft

فشار ایستای^۲ منفی است که نسبت به فشار جو اندازه‌گیری می‌شود.

۵-۳

سازه نگهدارنده

framework

یک قاب که بیرون دودکش نصب می‌شود و دودکش در راستای جانبی به آن متکی است.

1- In-situ

2- Static pressure

۳-۶

انشعاب فرعی دودکش

breeching

به مجرا یا کانال حد فاصل بین تجهیز و دودکش گفته می‌شود.

۳-۷

عایق کاری

insulation

به پوشش سطح با مواد دارای مقاومت بالا در برابر انتقال حرارت گفته می‌شود.

۳-۸

پوشش محافظ خارجی

lining

لایه‌ای محافظ که به منظور حفاظت در برابر رطوبت، مواد خورنده و مانند آن، روی سطوح داخلی دودکش اعمال می‌شود.

۳-۹

پوشش محافظ داخلی

coating

لایه یا لایه‌های محافظ که برای حفاظت در برابر رطوبت، مواد خورنده و مانند آن، روی سطوح بیرونی دودکش اعمال می‌شود.

۳-۱۰

اجزای پوششی نما

cladding

ورقی فلزی که برای حفاظت در برابر رطوبت و آسیب مکانیکی روی عایق کشیده می‌شود.

۳-۱۱

اتلاف حرارت

heat loss

اتلافی است که از طریق بدنه دودکش ایجاد می‌شود.

۱۲-۳

افت حرارت

heat drop

به کاهش ناخواسته حرارت به دلیل اتلاف در اجزا یا سطوح گفته می‌شود.

۱۳-۳

متعلقات دودکش

appurtenances

اجزای الحاقی به دودکش، متعلقات نامیده می‌شود.

۱۴-۳

ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی

film coefficient

این ضریب بیان‌کننده نسبت نرخ شار حرارت (انتقال حرارت بر واحد سطح) بین یک سطح جامد و سیال اطراف به‌ازای واحد اختلاف دما و به روش همرفت است.

۱۵-۳

صفحات نشت‌بند

counter flashing

صفحاتی که در محل عبور دودکش از سقف یا دیواره به‌منظور نشت‌بندی بین دیواره دودکش و دیواره محل عبور دودکش تعبیه می‌شود.

۱۶-۳

کف‌پوش مشبک

grating

نوعی کف‌پوش مشبک فولادی که برای پوشش سطوح پلکان صنعتی، سکوی کار و مانند آن به کار می‌رود.

۱۷-۳

رده مواجهه

exposure category

یک نوع رده‌بندی وابسته به الگوی پوشش و عوارض سطح زمین در منطقه محل احداث سازه، با هدف لحاظ نمودن اثر این الگو بر تغییرات نیم‌رخ سرعت جریان باد، است که باید تا حد امکان انعکاس‌دهنده وضعیت ناهمواری‌ها و پراکندگی عوارض موجود در منطقه طرح باشد.

۱۸-۳

خوردگی بین دانه‌های

intergranular corrosion

نوعی خوردگی که مرز بلورینگی‌ها یا دانه‌های مواد بیشتر از قسمت‌های داخلی آن‌ها مستعد خوردگی است.

۱۹-۳

دمای محیط

ambient temperature

منظور از این دما، درجه حرارت محیط پیرامونی دودکش است (منظور، درجه حرارت گازهای عبوری از درون دودکش نیست)

۲۰-۳

سامانه پایش برخط آلاینده‌ها

continuous emission monitoring system

سامان‌های که برای تعیین میزان غلظت گاز یا ذرات مشخص یا نرخ انتشار آلاینده، که از سنجش‌گرهای تحلیل‌گر آلاینده استفاده می‌کند و با استفاده از روابط، نمودارها یا برنامه رایان‌های، نتایج را ارائه می‌نماید.

۲۱-۳

غلظت گازهای دارای گوگرد

so_x concentration

منظور، غلظت اکسیدهای گوگرد در گاز (یا سیال) مورد نظر است.

۲۲-۳

محاسبات پراکندگی گاز

dispersion calculation

محاسباتی که برای تخمین میزان پراکنده شدن گاز پس از خروج از دودکش به کار می‌رود.

۲۳-۳

فروشار

downwash

حرکت رو به پایین توده گاز خارج شده از دودکش، ناشی از مکیده شدن توده گاز خروجی توسط ناحیه برخواستگی ایجاد شده در پشت دودکش، عوارض طبیعی یا ساختمان‌های مجاور دودکش است. این پدیده

به دلیل کمتر بودن سرعت گاز خروجی از دودکش نسبت سرعت جریان باد در تراز خروجی دودکش روی می‌دهد.

۴ دودکش‌های فولادی

۴-۱ طراحی مکانیکی

۴-۱-۱ دامنه کاربرد

طراحی مکانیکی دودکش، شامل تعیین قطر و ارتفاع مجرای عبور گاز، و نیز افت دما به واسطه انتقال حرارت از دیواره دودکش است. در این بند، روش‌های محاسبه کوران جریان گاز، افت کوران، تلفات حرارتی، اختلاف انبساط در اجزای مختلف دودکش، و ملاحظات طراحی متعلقات جانبی دودکش نیز بیان خواهد شد.

۴-۱-۲ ملاحظات کلی

یک دودکش وظیفه تخلیه گازهای ناشی از فرایند احتراق، به هوا (اتمسفر) را به عهده دارد. طراحی مکانیکی دودکش‌های فولادی در حال حاضر تا حدی با ضوابط میزان انتشار آلاینده‌های هوا کنترل می‌شود. ارتفاع و قطر دودکش با برقراری توازن بین پایداری سازه‌ای و کارکرد فرایندی آن، مشخص می‌شود و در این حالت به‌طور هم‌زمان ضوابط و الزامات مربوط به کنترل انتشار آلاینده‌های هوا و الزامات طراحی سازه‌ای مورد لحاظ قرار خواهند گرفت. سیر ارتقای سطوح کیفی تعریف شده در استانداردها و ضوابط زیست‌محیطی و کنترل مصرف و بازیابی حداکثری انرژی، باعث افزایش ارتفاع دودکش‌های فولادی و همچنین کاهش دمای گازهای ورودی به دودکش شده، بر این اساس توجه به تلفات حرارتی دودکش اهمیت ویژه‌ای یافته است. باید تا حد امکان، حداقل دمای فلز دودکش، بالاتر از نقطه شبنم اسید حاصل از گازهای تخلیه شده باشد. برای پایش گازهای خروجی و نیز بازدیدهای فنی، طراحی دودکش‌ها با متعلقات جانبی فراوانی انجام شود.

۴-۱-۳ انتخاب اندازه (ارتفاع، قطر و شکل) دودکش

۴-۱-۳-۱ ارتفاع

یک یا چند عامل زیر در ارتفاع دودکش تأثیرگذار است:

الف - ضوابط مرجع ذی‌صلاح قانونی در حوزه محیط زیست و همچنین ضوابط مدیریت‌های بهداشت، ایمنی و محیط زیست در خصوص حداقل ارتفاع مورد نیاز دودکش بر مبنای پدیده فروشار ناشی از عوارض طبیعی یا سازه‌های مجاور دودکش، و همچنین انتشار آلاینده‌ها در حداقل ارتفاع ممکن از سطح ساختمان، باید در نظر گرفته شود.

ب - به‌طور معمول، ضوابط نهادهای خدمات ایمنی جهت حفظ ایمنی افراد و حفاظت در برابر حریق، برای دودکش‌های دارای دمای بالا، کمینه ارتفاع را از تراز بام و سازه‌های نصب‌شده روی بام

ساختمان‌های مجاور دودکش در نظر می‌گیرند. در این مورد چنانچه مقررات محلی دارای ضوابط سخت‌گیرانه‌تری باشد، باید ملاک عمل قرار گیرد. به‌عنوان یک الزام حداقلی، دودکش با دمای گازهای متصاعد بیشتر از 93°C ، باید از سطح بام و یا سازه‌های نصب شده روی بام ساختمان‌هایی که در فاصله‌ای کوچکتر از ۷/۵ m از دودکش قرار دارند، ۲/۵ m بالاتر باشد.

پ- کوران الزامی و مورد نیاز برای خروج گاز حاصل از احتراق، ممکن است در انتخاب ارتفاع دودکش موثر باشد.

ت- با نصب یک نازل یا مخروط ناقص در بالای دودکش، برای افزایش سرعت خروجی گازها، می‌توان ارتفاع موثر یک دودکش را با منظور کردن ارتفاع صعود توده گاز خروجی افزایش داد. چندین رابطه برای محاسبه ارتفاع صعود توده گاز خروجی وجود دارد، ولی در عمل، این افزایش ارتفاع صعود می‌تواند در اثر عواملی چون سرعت زیاد باد، دماهای کم و شرایط ساخت‌گاه بی‌اثر شود.

ث- از نظر ضوابط عملیات هوانوردی:

۱- با توجه به اینکه دودکش‌ها از لحاظ نفوذ در سطوح بی‌خطری پرواز و ایجاد تلاطم در جریان هوا می‌توانند موجب اخلال در عملیات هوانوردی شوند، سطوح بی‌خطری پرواز بسته به نوع فرودگاه تا شعاع ۱۵ کیلومتری از حریم باند، متأثر از موانع است و تعیین ارتفاع دودکش باید با در نظر گرفتن محدودیت‌های ارتفاعی ضوابط فرودگاهی (CAA-approved ADR)^۱ صورت پذیرد.

۲- در مورد دودکش‌ها در تاسیسات صنعت نفت و به‌ویژه مشعل‌های سکوها‌های نفتی فراساحلی، باید محدوده مجاز قرارگیری موانع در بالگردنشین‌ها مطابق بخش دوم دستورالعمل شماره ۴۳۱۴ مرجع ذی‌صلاح هوانوردی باشد.

۳- برای دودکش‌های مورد استفاده در محدوده بالگردنشین‌های ساحلی، محدوده مجاز سطوح بی‌خطری پرواز باید بر اساس بخش اول دستورالعمل شماره ۴۳۱۴ مرجع ذی‌صلاح هوانوردی منظور شود.

۴- با توجه به اینکه خروجی جریان‌های هوای گرم از دودکش‌ها به نسبت درجه حرارت و سرعت خروج جریان پتانسیل ایجاد تلاطم می‌کند، این موضوع می‌تواند بر عملکرد وسایل پرنده به خصوص ارتفاع، سرعت پرواز و همچنین دید خلبان تأثیرگذار باشد و ضروری است در مجاورت فرودگاه‌ها و شعاع ۶ کیلومتری حریم باند، نسبت به استعلام از فرودگاه اقدام شود.

۴-۱-۳-۲ قطر

قطر دودکش بر اساس یک یا چند عامل زیر تعیین می‌شود:

1- Alternative Dispute Resolution, Civil Aviation Authority

الف- قطر مجرای عبور گاز معمولاً بر اساس حجم گاز فرایندی عبوری و کوران موجود (کوران طبیعی منهای افت‌های کوران) تعیین می‌شود. سرعت جریان عبوری در یک دودکش مدور معمولاً بین 12 m/s تا 18 m/s است. در دودکش‌هایی که گازهای اشباع را تخلیه می‌کنند، معمولاً به منظور کاهش تشکیل قطرات مایع ناشی از میعان گازهای اشباع در موقعیت خروجی دودکش، سرعت بیشینه در بازه 9 m/s تا 12 m/s محدود می‌شود.

ب- قطر پوسته دودکش می‌تواند تابع محدودیت‌های حمل و نقل باشد. در این خصوص باید دقت لازم برای اطمینان از عملکرد مکانیکی و پایداری سازه‌ای دودکش به عمل آید.

پ- پایداری سازه‌ای می‌تواند روی انتخاب قطر پوسته یک دودکش تأثیرگذار باشد و بنابراین، انتخاب ابعاد بر اساس معیارهای مکانیکی، تا زمانی که یک تحلیل سازه‌ای بتواند آن را تایید نماید، به صورت غیرقطعی تلقی می‌شود.

ت- توصیه می‌شود افزایش آتی در حجم گاز عبوری از دودکش همراه با تغییرات آتی در دمای گاز فرایندی و کیفیت گاز در تعیین قطر دودکش مد نظر قرار گیرد.

ث- ضوابط مرجع ذی‌صلاح قانونی در حوزه محیط زیست در خصوص ملاحظات مربوط به ارتفاع صعود توده گاز خروجی، که می‌تواند روی قطر خروجی دودکش تأثیرگذار باشد، باید مورد نظر قرار داده شود.

۳-۳-۱-۴ شکل هندسی

شکل هندسی دودکش بر اساس ترجیح طراحان مختلف، متفاوت است.

الف- عموماً دودکش‌ها به جهت بهینه شدن مسائل پایداری سازه‌ای و همچنین اقتصاد ساخت، به شکل استوان‌های هستند. شکل استوان‌های دودکش ممکن است در ارتفاع دارای قطر متغیر باشد، اما تغییرات قطر باید در زاویه‌ای کوچکتر از 30° درجه نسبت به راستای قائم رخ دهد.

ب- سایر شکل‌های هندسی مانند هشت‌ضلعی، مثلثی و غیره باید به‌طور ویژه بررسی شوند و توجه خاصی به پایداری دینامیکی آن‌ها همراه با طراحی مکانیکی صورت پذیرد. باید شکل‌های غیرمعمول که برای زیبایی ظاهری مدنظر قرار می‌گیرند از دیدگاه سازه‌ای و مکانیکی نیز غیرمعمول تلقی شوند و استانداردهای طراحی مهندسی پایه در مورد آن‌ها برآورده شود.

۴-۱-۴ کوران موجود

کوران موجود بدون استفاده از پنکه برابر است با کوران طبیعی منهای افت‌های کوران

۱-۴-۱-۴ کوران طبیعی

کوران طبیعی تقریبی یک دودکش از رابطه ۱ قابل محاسبه است:

$$DR_N = 0.0342 B H_E \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_G} \right) \quad (۱)$$

که در آن:

B فشار مطلق اتمسفر، برحسب Pa؛

DR_N کوران طبیعی دودکش، برحسب Pa؛

H_E ارتفاع دودکش بالای خط مرکزی ورودی دودکش، برحسب m؛

T_A دمای مطلق محیط، برحسب K؛

T_G دمای مطلق میانگین گاز عبوری از دودکش، برحسب K.

از اختلاف بین چگالی گاز ناشی از ترکیبات و رطوبت صرف نظر شده است.

۲-۴-۱-۴ افت‌های کوران

افت‌های کوران در دودکش شامل افت ورودی، افت اصطکاکی و افت خروجی است. افت‌های مذکور از روابط زیر به دست می‌آید:

الف - افت ورودی:

$$FL_{en} = 0.5 K_d V^2 \quad (۲)$$

ب - افت اصطکاک:

$$FL_f = \left(\frac{228}{B} \right) (F) (T_g) \left(\frac{H_E}{D_i^5} \right) (W)^2 \quad (۳)$$

پ - افت خروجی:

$$FL_{ex} = \left(\frac{228}{B} \right) \left(\frac{T_g}{D_t^4} \right) (W)^2 \quad (۴)$$

که در روابط فوق:

B فشار مطلق محیط، برحسب Pa؛

d چگالی گاز، برحسب kg/m^3 ؛

D_i قطر یا قطرهای داخلی مقطع دودکش، برحسب m؛

D_t قطر داخلی مقطع دودکش در ورودی، برحسب m؛

F ضریب اصطکاک مبتنی بر عدد رینولدز (به شکل الف-۱ پیوست الف مراجعه شود)؛

FL_{en} افت ورودی دودکش، برحسب Pa؛

FL_{ex} افت خروجی دودکش، برحسب Pa؛

FL_f افت اصطکاکی دودکش، برحسب Pa؛

H_E ارتفاع دودکش بالای خط مرکزی ورودی دودکش، برحسب m؛

K ضریب زاویه ورودی مجرای دودکش (به جدول الف-۱ پیوست الف مراجعه شود)؛

T_g دمای مطلق میانگین گاز، برحسب K؛

V سرعت گاز در ورودی دودکش، برحسب m/s؛

W نرخ جریان جرم عبوری گاز، برحسب kg/s؛

کل افت‌های محاسباتی شامل مجموع افت‌های مکش دودکش است.

ت- افت کل، برحسب Pa:

$$FL_{total} = FL_{an} + FL_f + FL_{ex} \quad (5)$$

در ورودی‌های بزرگ یا با شکل غیر متعارف توصیه می‌شود به افت کوران ناشی از انبساط یا انقباض گاز توجه شود. همچنین باید به افت‌های کوران دودکش ناشی از صداگیرهای نصب شده در دودکش، دریچه‌های دودکش و یا مسدود کننده‌های دودکش توجه لازم صورت پذیرد.

۳-۴-۱-۴ ارتباط افت‌های کوران تقریبی و اندازه دودکش

به شکل‌های الف-۱۰ تا الف-۱۳ پیوست الف مراجعه شود.

۵-۱-۴ تلفات حرارتی

به شکل‌های الف-۲ تا الف-۹ پیوست الف مراجعه شود.

۱-۵-۱-۴ شرایط محیطی

از آنجا که تلفات حرارتی در دیواره‌های دودکش مطابق با شرایط محیطی، متغیر است، برای هر پروژه باید معیارهای طراحی مطلوب شرایط تعریف شود. در این خصوص باید دمای پایین محیطی مورد انتظار و همچنین سرعت میانگین باد (در راستای عمود بر دیواره دودکش) مشخص شود.

۲-۵-۱-۴ عایق‌کاری^۱ و پوشش‌ها^۲

عایق‌کاری و پوشش‌ها تلفات حرارتی کل را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

1- Insulation

2- Lining

الف- عایق روی سطح بیرونی دودکش و یا بین دو پوسته در دودکش‌های دو جداره اعمال می‌شود. ضخامت عایق به گونه‌ای انتخاب می‌شود که تلفات حرارتی به حد مورد نظر برسد، یا بیشینه دمای مجاز سطح بیرونی دودکش تأمین شود. توصیه می‌شود تا عایق برای بیشینه دمایی انتخاب شود که در معرض آن قرار خواهد گرفت. باید عایق مطابق با توصیه‌های سازنده آن، که بر اساس شرایط کاری دودکش ارائه می‌شود، روی پوسته دودکش نصب شود. در صورتی که از عایق با ضخامت‌های بزرگتر از ۳۸ mm استفاده شود، باید دو لایه عایق به کار رود، به گونه‌ای که چینش درزهای هر لایه نسبت به لایه دیگر به صورت یک در میان باشد و درزهای دو لایه مقابل هم قرار نگیرند. باید برای عایق‌های سطوح بیرونی پوسته یک لایه حفاظتی در مقابل عوامل جوی در نظر گرفته شود. توصیه می‌شود لایه‌های حفاظتی فلزی با تسمه‌های فلزی با فاصله حداکثر ۰/۶ m از یکدیگر بسته شود.

ب- روکش‌ها در دودکش برای کاهش تلفات حرارتی یا به عنوان پوشش محافظ خوردگی و یا هر دو، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضخامت این روکش بر اساس شرایط کاری دودکش معین می‌شود. باید دامنه دمای کاری روکش نیز مشخص باشد. باید اجزای مسلح‌کننده روکش و اتصال آن به دودکش مطابق با توصیه‌های سازنده باشد.

پ- اجزای پوشش سطحی دودکش^۱، چه درونی و چه بیرونی، روی تلفات حرارتی مؤثر بوده، باید در محاسبات تلفات حرارت مدنظر قرار گیرد.

۳-۵-۱-۴ ضرایب انتقال حرارت

ضرایب انتقال حرارت در سطوح داخلی و خارجی روی تلفات حرارتی تأثیر خواهد داشت.

الف- ضریب انتقال حرارت در سطوح داخلی دودکش وابسته به سرعت گاز، دمای گاز، قطر دودکش و زبری سطح است. باید در محاسبات افت گرمایی، اثر بیشینه و کمینه سرعت جریان گاز روی ضرایب انتقال حرارت مورد مطالعه قرار گیرد. بنابراین، باید بازه مورد انتظار سرعت جریان گاز مشخص شود.

ب- ضریب انتقال حرارت در سطوح بیرونی دودکش با سرعت باد محیطی و قطر دودکش متغیر است. سرعت بادی معادل ۶/۶ m/s برای تعیین یک افت حرارت بیشینه پیشنهاد می‌شود مگر آن که داده‌های میدانی بتوانند سرعت‌های میانگین کوچک‌تری را اثبات نمایند.

۴-۵-۱-۴ محاسبات افت حرارت

تلفات حرارت از دیواره‌های یک دودکش را می‌توان با استفاده از روابط زیر محاسبه کرد:

انتقال حرارت از دیواره دودکش برابر است با:

$$Q = U \times A \times t_s \quad (۶)$$

تلفات حرارت از جریان گاز در حد فاصل ورود و خروج برابر است با:

$$Q = W \times C_p \times t_g \quad (۷)$$

با ترکیب دو رابطه فوق:

$$U \times A \times t_s = W \times C_p \times t_g \quad (۸)$$

$$t_s = \left(\frac{t_{in} + t_{out}}{2} \right) - t_{amb} \quad (۹)$$

$$t_g = t_{in} - t_{out} \quad (۱۰)$$

$$U \times A \times \left[\left(\frac{t_{in} + t_{out}}{2} \right) - t_{amb} \right] = W \times C_p \times (t_{in} - t_{out}) \quad (۱۱)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_a} + \frac{1}{h_{ins}} + \frac{1}{h_l} + \frac{1}{h_o} \quad (۱۲)$$

تلفات حرارتی از مقاطع دیواره دودکش:

$$Q/A = U \times t_s \quad (۱۳)$$

تلفات حرارتی از مقاطع دیواره هر کدام از اجزای دودکش:

$$Q/A = h \times t_h \quad (۱۴)$$

که در آن:

A مساحت میانگین سطح دودکش، بر حسب m^2 ؛

C_p گرمای ویژه گاز عبوری از دودکش، بر حسب kJ/kgK ؛

h_a ضریب انتقال حرارت در محیط هوا، بر حسب W/m^2K ؛

h_i ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی داخلی، بر حسب W/m^2K ؛

h_{ins} ضریب انتقال حرارت عایق، بر حسب W/m^2K ؛

h_l ضریب انتقال حرارت رویه، بر حسب W/m^2K ؛

h_o ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی سطح خارجی، بر حسب W/m^2K ؛

t_g	اختلاف دمای گاز ورودی و خروجی، برحسب K؛
t_h	افت دما در قطعه h ام دیواره دودکش، برحسب K؛
t_s	دمای میانگین گاز منهای دمای محیط، برحسب K؛
U	ضریب انتقال حرارت کلی
W	دبی جرمی گاز عبوری، برحسب kg/s است.

۴-۵-۵ سایر ملاحظات تلفات حرارتی مؤثر بر کمینه دمای فلز

الف- هنگامی که محل ورودی گازها بالاتر از تراز پای دودکش باشد، باید ملاحظات در خصوص استفاده از یک کف کاذب (محفظه کف)^۱ برای جلوگیری از رسیدن دمای گاز به پایین تر از نقطه شبنم در بخش غیرفعال تحتانی منظور شود. باید این کف سازی به خوبی زه کشی شود و به شکلی باشد که از تشکیل اجسام جامد جلوگیری شود.

ب- از آنجا که جریان هوای پیرامونی، به ویژه در سرعت های پایین جریان خروجی، وارد قسمت فوقانی دودکش می شود و این امر باعث پایین آمدن دمای فلز در قسمت مزبور می شود، باید برای کاهش مشکلات خوردگی در قسمت بالای دودکش تمهیداتی در نظر گرفته شود. بدین منظور قسمت بالای دودکش را می توان از آلیاژهای مقاوم در برابر خوردگی ساخت یا آن که از یک مخروط ناقص در این قسمت استفاده کرد تا باعث افزایش سرعت خروجی در این قسمت از دودکش شود.

۴-۱-۶ انبساط حرارتی

توصیه می شود انبساط نامتقارن بین اجزای یک دودکش به دقت در نواحی زیر مورد بررسی قرار گیرد:

- بین پوسته های بیرونی و داخلی در دودکش های دو جداره یا چند منظوره (چند گازه)

- محل بازشوهای انشعاب فرعی^۲ (لوله رابط دودکش)

- محل های تعبیه شده برای نصب تجهیزات ابزار دقیق و تست

- سکوی آزمون، آدمرو و لچکی های اتصال نردبان

- مهاربندی های ساختمان و گیره های مهار^۳

- درزپوش های بام و ورق های آب چکان^۴ محافظ درزپوش های کف^۵

1- False bottom
2- Breeching openings
3- Guide lugs
4- Roof flashing
5- Counter flashing

- بالای دودکش و مخروط ناقص نصب شده روی آن

- بین پوسته‌های دودکش و عایق بیرونی

- درزهای جوش بین فلزهای ناهمسان

۷-۱-۴ متعلقات دودکش

متعلقات نصب شده روی دودکش می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

الف- دریچه‌های دسترسی با ابعادی مناسب، که باید برای دسترسی به منظور بازدید از کف داخلی دودکش و همچنین در سایر موقعیت‌ها برای بازرسی و تعمیر و نگهداری، تعبیه شود.

ب- محفظه‌های کف (کف کاذب)^۱ که موقعیت آن در مجاورت تراز زیر ورودی دودکش توصیه می‌شود.

پ- زه‌کش‌هایی که باید در محفظه‌های کف و یا شالوده‌ها نصب شوند تا آب از پای دودکش و میل‌مهارها دور شود.

ت- محل‌های نصب تجهیزات آزمون و ابزار دقیق که باید برای هر کاربرد خاص و با ابعاد مشخص تعبیه شود.

ث- ورودی‌های بازرسی که ممکن است به فواصل مناسب در ارتفاع دودکش مدنظر باشد.

ج- نردبان دسترسی و سکوهای آزمون که باید بر مبنای اندازه مورد نیاز برای سکوهای آزمون، و با تعریف یک پهنای مشخص، تعبیه شود.

چ- تجهیزات مربوط به روشنایی مطابق با توصیه‌های مرجع ذی‌صلاح قانونی مرتبط با عملیات هوانوردی مدنظر قرار گیرد. سکوهای دسترسی به روشنایی‌های بهره‌برداری برای اجرای مقاوم در برابر خوردگی توصیه می‌شود. به زیربند ۴-۶ و زیربند ۴-۷ مراجعه شود.

ح- کلاهک‌های باران‌گیر^۲ عموماً برای دودکش‌هایی که دائماً فعال هستند مورد نیاز نیست. در صورتی که این درپوش‌ها ضروری تشخیص داده شوند، قطر آن به میزان دو برابر قطر دودکش و همچنین ارتفاع آزاد بالای دودکش تا لبه پایینی کلاهک برابر قطر دودکش، توصیه می‌شود.

خ- جرقه‌گیرهای^۳ با مواد فولاد ضدزنگ و حداقل به ارتفاع دو برابر قطر دودکش، در صورت نیاز استفاده می‌شود.

د- دودکش‌های فلزی به حفاظت در برابر صاعقه نیاز ندارند، به جز آن که اتصال مناسب آن‌ها به زمین باید طبق الزامات NFPA 780 تامین شود. به زیربند ۴-۷ مراجعه شود.

1- False bottoms

2- Rain caps

3- Stack spark-arresting

ذ- در صورت استفاده از دریچه‌های مسدودکننده داخلی^۱ و دریچه‌های انحراف جریان گاز دودکش^۲، نیاز به ملاحظات ویژه وجود خواهد داشت.

ر- در صورت به‌کارگیری پره‌های هادی (جهت‌دهنده)^۳ برای توزیع جریان گاز به‌منظور انجام آزمون مؤثر، باید مشخصات مورد نیاز آن‌ها تعریف شود.

ز- صفحات جداکننده^۴ که برخی مواقع (هنگامی که دو ورودی و در خلاف جهت هم وارد دودکش می‌شوند و دریچه‌های مسدودکننده نیز وجود ندارد) جهت کاهش پس فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

س- دکل جرثقیل یا بالابر که گاهی برای بالا بردن ابزار به سکوی آزمون مورد نیاز است.

ش- توصیه می‌شود سقف‌های بالای دودکش در دودکش‌های دارای چند دودرو و همچنین دودکش‌های دو جداره تعبیه شوند تا به‌طور مناسب از هوازگی سطوح داخلی جلوگیری نمایند و به‌طور هم‌زمان، انبساط نامتقارن بین دودروها و پوسته بیرونی دودکش تامین شود. ملاحظات در خصوص اثر ایجاد خاکستر روی سطوح تخت باید مدنظر قرار گیرد.

ص- برای کنترل آلودگی صوتی می‌توان از صداگیرها^۵ در داخل دودکش استفاده نمود.

۲-۴ مشخصات مصالح در دودکش فولادی

۱-۲-۴ دامنه کاربرد

مشخصات مصالح مورد نیاز برای پوشش دادن دودکش‌های فولادی تک جداره و دو جداره که خودایستا و خوداتکا بوده، متکی بر مهار یا کابل یا متکی بر مهارهای فولادی سازه‌ای یا اسکلت فولادی هستند در این زیربند ارایه می‌شود [3].

۲-۲-۴ مواد و مصالح

فهرست مواد و مصالح بیان شده در زیربندهای ۱-۲-۲-۴ تا ۸-۲-۲-۴ برای کاربرد آن‌ها به‌منظور برآورده ساختن الزامات فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی پیشنهاد می‌شود. پذیرش هر مصالح برای یک کاربرد خاص باید بر اساس تجربه بهره‌برداری یا تصدیق مستقل کفایت آن صورت پذیرد.

۱-۲-۲-۴ ملاحظات کلی

الف- مصالح باید مطابق با الزامات قابل کاربرد که جزییات آن‌ها در زیربندهای ۲-۲-۲-۴ تا ۸-۲-۲-۴ ارائه خواهد شد باشند.

-
- 1- Stack internal shutoff dampers
 - 2- Stack cap dampers
 - 3- Straightening vanes
 - 4- Splitter baffles
 - 5- Acoustical suppressing sound attenuators

ب- پیمان کار سازنده دودکش باید یک نسخه از ترکیبات شیمیایی و گزارش مشخصات مکانیکی آزمون محصول برای کلیه فولادهای مصرفی را قبل از اجرا به تایید کارفرما برساند، مگر آن که مشخصاً، کارفرما رویه دیگری را مشخص کند.

پ- در صورت نیاز به منظور آزمایش، پیمانکار نمونه‌های ورق‌های پوسته را در اختیار کارفرما قرار می‌دهد.

ت- این زیربند شامل پوشش‌های دودکش نمی‌شود. در این مورد به زیربند ۴-۳ مراجعه شود.

ث- در صورت استفاده از فولاد کربنی، پر مقاومت، کم آلیاژ و آلیاژدار، باید مقادیر اضافه ضخامت مجاز برای خوردگی (عموماً ۱/۶ mm تا ۳/۲ mm) لحاظ شود. در صورت انتخاب یک مقدار اضافه ضخامت مجاز، توصیه می‌شود نتایج آزمایش‌ها یا تجارب گذشته مدنظر قرار گیرد.

۴-۲-۲ ورق پوسته و ورق کف

برای اطلاعات بیشتر در این خصوص، به جدول‌های ب-۱ تا ب-۱۱ پیوست ب مراجعه شود.

الف- جنس ورق‌های پوسته و کف معمولاً یکی از مصالح سازه‌ای زیر است:

- ۱- فولادهای کربنی مطابق با استانداردهای ASTM A36، ASTM A283 یا ASTM A529؛
- ۲- فولادهای پر مقاومت کم آلیاژ طبق استاندارد ASTM A242، ASTM A572 یا ASTM A588؛
- ۳- فولادهای ضد زنگ مطابق با استاندارد ASTM A666؛
- ۴- ورق فولاد روکش شده با نیکل - کروم ضد زنگ مطابق با استاندارد ASTM A264 و پوشش آلیاژ پایه نیکل هم طبق استاندارد ASTM A265 را می‌توان برای ورق پوسته به کار برد؛
- ۵- فهرست فلزهای بیان شده در جدول ب-۹ پیوست ب، را نه تنها می‌توان برای ورق‌های پوشش به کار برد بلکه می‌توان از آن‌ها به صورت یک ورق توپر برای پوسته دودکش نیز استفاده کرد.

ب- فولادهای کربنی مورد مصرف برای ساخت مخازن (ظروف) تحت فشار نظیر استانداردهای ASTM A285، ASTM A515 و ASTM A516، فولادهای آلیاژی نظیر استاندارد ASTM A387 و فولادهای ضد زنگ نظیر استاندارد ASTM A240 را می‌توان برای مصالح سازه‌ای به تناسب به کار برد.

پ- فولادهای کربنی نظیر استاندارد ASTM A516، رده ۵۵ تا ۷۰ و فولادهای کم آلیاژ نظیر استاندارد ASTM A517، رده A تا T و استاندارد ASTM A537 معمولاً برای دماهای بهره‌برداری تا 46°C مدنظر هستند. فولادهای دارای آلیاژ نیکل نظیر استاندارد ASTM A203، رده A و B معمولاً برای دماهای بهره‌برداری تا 59°C - به کار می‌روند و رده‌های D، E و F نیز اغلب برای دماهای بهره‌برداری تا 101°C - مورد استفاده قرار می‌گیرند. فولادهای حاوی آلیاژ نیکل و فولادهای ضد زنگ

آلیاژ نیکل را می‌توان حتی برای دماهای کمتر نیز به کار برد. تأمین‌کنندگان فولادهای سازه‌ای در صورت نیاز، اطلاعات مربوط به چقرمگی نمونه شیاردار را ارائه می‌کنند.

ت- حفاظت در برابر خوردگی و یا اکسایش ممکن است برای سطوح داخلی و یا بیرونی بسته به مصالح به کار رفته و شرایط مواجهه با خوردگی مورد نیاز باشد. توصیه می‌شود زیربند ۳-۴ در این خصوص مد نظر قرار گیرد.

ث- تنش‌های کششی گسیختگی خزشی برای بارهای وارده و شرایط بهره‌برداری در دمای زیاد باید طبق زیربند ۴-۴-۴-۸ منظور شود.

۳-۲-۲-۴ سخت‌کننده‌ها، مهارهای سازه‌ای و سازه نگهدارنده

الف- سخت‌کننده‌ها، مهارهای سازه‌ای و یا اسکلت (سازه نگهدارنده دودکش) را می‌توان از یک یا چند مصالح فلزی زیر ساخت:

- ۱- فولادهای کربنی مطابق با استانداردهای ASTM A36، ASTM A283 یا ASTM A259؛
 - ۲- فولادهای پرمقاومت کم آلیاژ طبق استانداردهای ASTM A242، ASTM A572 یا ASTM A588؛
 - ۳- فولادهای ضدزنگ طبق استانداردهای ASTM A240 یا ASTM A666 یا آلیاژهای حاوی نیکل با ترکیباتی مشابه ورق پوسته دودکش.
- ب- محافظت در برابر خوردگی برای اجزای بیرونی پوسته و محافظت در برابر خوردگی و یا اکسایش برای اجزای داخلی پوسته. زیربند ۳-۴ باید در این خصوص مدنظر قرار گیرد.

۴-۲-۲-۴ مهارها، کابل‌ها و اتصالات

الف- سیم‌ها و کابل‌های مهار دودکش ممکن است از یکی از مصالح زیر ساخته شود و توصیه می‌شود توجه ویژه به کشیدگی اولیه مصالح مذکور پرداخته شود:

- ۱- رشته مفتول فولادی با پوشش آلومینیم مطابق با استاندارد ASTM A474؛
- ۲- رشته مفتول دارای پوشش روی (یا گالوانیزه) مطابق با استانداردهای ASTM A475 و ASTM A586؛

۳- ریسمان مفتول فولادی دارای پوشش روی (یا گالوانیزه) مطابق با استاندارد ASTM A603؛

۴- رشته مفتول فولادی ضدزنگ مطابق با استاندارد ASTM A386؛

ب- اتصالات مهارها و کابل‌ها باید مطابق با استانداردهای سازندگان بوده، یا به تناسب دارای پوشش آلومینیمی، گالوانیزه یا ضدزنگ باشند. توصیه می‌شود وزن پوشش‌های آلومینیمی و روی و رده فولاد زنگ‌نزن با مهارها یا کابل‌های مورد استفاده سازگار باشد.

۵-۲-۲-۴ میل‌مهاریها، واشرها و مهره‌ها

الف- میل‌مهاریها را می‌توان از نوع پیچ و میله‌های رزوه شده موجود در بازار که به صورت متعارف به‌عنوان وسیله اتصال استفاده می‌شود انتخاب کرد یا اینکه آن‌ها را از میلگردهایی از جنس فولاد سازه‌ای که رزوه می‌شوند، تهیه نمود. این اجزا معمولاً طبق یکی از مقررات زیر ساخته می‌شوند:

- ۱- بست‌های فولاد کربنی رزوه شده مطابق با استاندارد ASTM A307؛
- ۲- پیچ‌های فولاد کربنی برای کاربردهای عمومی مطابق با استاندارد ASTM A449؛
- ۳- پیچ‌ها، گل‌میخ‌ها و بست‌های رزوه شده فولادی مطابق با استاندارد ASTM A354؛
- ۴- پیچ‌ها و گل‌میخ‌های فولاد آلیاژی با مشخصات ضربه‌پذیری بهبودیافته طبق استاندارد ASTM A687؛

۵- فولاد کربنی مطابق با استاندارد ASTM A36؛

۶- فولاد کم آلیاژ پر مقاومت مطابق با استاندارد ASTM F1554؛

۷- فولاد آلیاژی و ضدزنگ مطابق با استاندارد ASTM A193 رده B7.

ب- مصالح واشرها باید مطابق با استاندارد ASTM F436 و متناظر با مصالح میل‌مهاریها باشد.

پ- مصالح مهره‌ها باید مطابق با استاندارد ASTM A563 و متناظر با مصالح میل‌مهاریها باشد.

ت- حفاظت در برابر خوردگی ممکن است مورد نیاز باشد. زیربند ۳-۴ باید در این خصوص مدنظر قرار گیرد.

ث- استفاده از مهره دوگانه یا ابزار قفل‌کننده مناسب توصیه می‌شود.

۶-۲-۲-۴ پیچ‌ها، واشرها و مهره‌ها

الف- پیچ‌های فولادی پرمقاومت مگر در مواردی که صراحتاً مشخص می‌شود، باید مطابق با استانداردهای ASTM A307، ASTM F3125 یا ASTM A449 مورد استفاده قرار گیرند.

ب- ممکن است به پیچ‌های فولادی آلیاژی پرمقاومت مورد نیاز باشد، که در این صورت این پیچ‌ها باید مطابق با استاندارد ASTM A354 یا ASTM F3125 باشد.

پ- در کاربردهای دمای بالا، مصالح پیچ باید طبق استاندارد ASTM A193 رده B7 شامل فولادهای آلیاژی و ضدزنگ باشد. پیچ‌های فولادی ضدزنگ مطابق با استاندارد ASTM F593 باشند.

ت- مهره‌ها مگر در مواردی که صراحتاً مشخص می‌شود، باید مطابق با مشخصات استاندارد ASTM A563 باشند. مهره‌های ضدزنگ یا مقاوم در برابر حرارت باید از فلزی مشابه با پیچ ساخته شوند مگر آن‌که ملاحظات سایدگی^۱، روند دیگری را دیکته نماید.

ث- ویژگی واشرها باید مطابق با استاندارد ASTM F436 باشد. واشرهای ضدزنگ یا مقاوم در برابر دما باید از مصالحی متناظر با پیچ باشند.

ج- حفاظت در برابر خوردگی ممکن است مورد نیاز باشد. زیربند ۳-۴ باید در این مورد مدنظر قرار گیرد.

۷-۲-۲-۴ متعلقات جانبی دودکش

الف- نردبان‌ها، قفسه‌ها و پلکان‌ها را می‌توان از یکی از مصالح زیر ساخت:

۱- فولادهای سازه‌ای و فولادهای پرمقاومت مطابق با استانداردهای ذکر شده زیر مورد الف زیربند ۲-۲-۲-۴؛

۲- ورق و تسمه فولاد کربنی مطابق با استانداردهای ASTM A569 و ASTM A570؛

۳- ورق و تسمه کم آلیاژ پرمقاومت مطابق با استانداردهای ASTM A606 و ASTM A607.

ب- سکوها و شبکه‌های فلزی را می‌توان از یکی از مصالح زیر ساخت:

۱- مصالح طبق مورد الف از زیربند ۷-۲-۲-۴؛

۲- فولادهای ضدزنگ طبق استاندارد ASTM A666؛

۳- آلومینیم مطابق با استاندارد (ASTM B221)^۲.

پ- دستگیره‌ها و ورق‌های پنجه کفشک عموماً از یکی از مصالح زیر ساخته می‌شود:

۱- فولاد سازه‌ای کربنی مطابق با استاندارد ASTM A36 یا ASTM A20؛

۲- فولاد کم آلیاژ پرمقاومت مطابق با استاندارد ASTM A242، ASTM A588 یا ASTM A618؛

۳- آلومینیم مطابق با استاندارد ASTM B221؛

۴- فولادهای ضدزنگ مطابق با استاندارد ASTM A666 و ASTM A554.

ت- دریچه‌ها و ابزارآلات دسترسی و ورودی‌های نمونه‌برداری:

۱- دریچه‌های دسترسی باید از مصالح سازگار با ورق‌های پوسته دودکش یا چدن باشند؛

۲- ورودی‌های ابزار و نمونه‌برداری باید از مصالحی سازگار یا با میزان آلیاژ بیشتر از ورق‌های پوسته دودکش باشند.

1- Gallling/Seizing Consideration

۲- این مرجع در راهنمای انجمن سازندگان فلزات معماری ایالات متحده NAAMM برای شبکه میله فلزی و کف پلکان به کار می‌رود.

ث- سرپوش‌های باران گیر دودکش:

۱- به جز مواردی که صراحتاً به نحو دیگری مشخص شود، سرپوش‌های باران گیر باید دارای همان ترکیب پوسته دودکش باشند؛

۲- به علت مسایل مربوط به خوردگی محتمل، فولاد ضدزنگ مطابق با استاندارد ASTM A240 یا مصالح مقاوم در برابر خوردگی با آلیاژ بالاتر باید مدنظر قرار گیرد.

ج- سامانه‌های زهکشی:

توصیه می‌شود جمع‌آوری و هدایت باران و میعان از داخل دودکش به یک نقطه جمع‌آوری منفرد در تراز زمین صورت گیرد. لوله زهکش باید از مصالح مقاوم در برابر خوردگی نظیر فولاد ضدزنگ نوع ۳۰۴ یا ۳۱۶ مطابق با استانداردهای ASTM A240 یا ASTM A666، آلیاژ نیکل یا پلاستیک باشد.

۸-۲-۲-۴ الکترودهای جوشکاری

الف- معمولاً استاندارد AWS D1.1 برای جوش کاری سازه‌ای دودکش‌های فولادی به کار می‌رود. به عنوان جایگزین، بخش IX استاندارد ASME BVPC برای جوشکاری، لحیم برنجی و صلاحیت‌های ذوب کاری را می‌توان استفاده کرد.

ب- الکترودهای جوشکاری با یک حداقل مقاومت کششی معادل ۴۹۰ MPa را می‌توان برای کاربردهای فولاد کربنی در ساخت دودکش فولادی استفاده نمود. نوع الکتروود با توجه به فرایند جوشکاری مورد استفاده مشخص می‌شود.

پ- برای کاربردهای دما بالا، بالاتر از ۴۰۰ °C، الکترودهای فولاد کم‌آلیاژ با حداقل مقاومت کششی معادل ۵۶۰ MPa) به کار می‌رود.

ت- برای ساخت دودکش فولادی با استفاده از فولادهای آلیاژی نظیر ASTM A335 و ASTM A387، الکتروود E8018-B2L همراه با رویه‌های جوشکاری مطابق با استاندارد AWS D10.8 با عنوان «رویه پیشنهادی برای جوشکاری لوله و تیوب فولادی با آلیاژ کروم-مولیبدن» باید مورد استفاده قرار گیرد.

ث- در صورت استفاده از فولادهای زنگ‌زن و آلیاژهای نیکل به عنوان ورق، صفحه یا روکش، مقررات زیر اعمال می‌شود:

۱- استاندارد AWS A5.4 برای الکترودهای فولاد ضدزنگ برای جوش کاری قوس فلزی پوشش دار (SMAW)؛

۲- استاندارد AWS A5.9 برای الکترودها و میله‌های جوشکاری ضدزنگ عریان؛

۳- استاندارد AWS A5.11 برای الکترودهای جوش کاری نیکل و آلیاژ نیکل در جوشکاری قوس فلزی پوشش دار (SMAW)؛

۴- استاندارد AWS A5.14 برای الکترودها و میله‌های جوش کاری عریان نیکل و آلیاژ نیکل؛

۵- استاندارد AWS A5.1 برای الکترودها جوش کاری قوس فولاد کربنی پوشش‌دار؛

۶- استاندارد AWS A5.18 برای فلزهای پرکننده از نوع فولاد کربنی در جوش کاری قوسی با گاز محافظ (GSAW)؛

۷- استاندارد AWS A5.20 برای الکترودهای فولاد کربنی برای جوشکاری قوسی توپودری (FCAW).

ج- هنگامی که جوشکاری بین فلزهای نامشابه صورت می‌گیرد، توصیه می‌شود نوع الکتروده مصرفی بر اساس مصالح رده بالاتری که جوش می‌شود باشد.

چ- مشابه طراحی فلز دودکش، باید کاهش مقاومت فلز جوش به هنگام قرار گرفتن در دماهای زیاد مدنظر قرار گیرد. کاهش مقاومت با دما برای فلز جوش را می‌توان همان کاهش منظور شده برای فلز مبنا منظور نمود.

۴-۳ روکش‌ها و پوشش‌ها

۴-۳-۱ دامنه کاربرد

زیربند ۴-۳ این استاندارد، به طراح کمک خواهد کرد که از پوشش (پوشاننده بیرونی) و یا روکش (پوشاننده داخلی) در دودکش استفاده کند یا خیر، نوع پوشش و روکش مصرفی را تعیین کند و محدودیت کلی شیمیایی و حرارتی مربوط به هر کدام را مدنظر قرار دهد. ملاحظات مربوط به استفاده از پوشش‌های عایق و عایق بیرونی نیز ارائه می‌شود.

۴-۳-۲ روکش‌ها

الف- روکش‌ها (پوشاننده‌های داخلی) دودکش‌های فولادی را می‌توان برای تأمین مقاومت در برابر گازها، بخارها یا میعانات خورنده، تأمین مقاومت در برابر حرارت و حفظ دماهای سطحی روکش به‌منظور جلوگیری از خوردگی ناشی از تقطیر به کار برد.

ب- برای تعیین اینکه یک روکش مورد نیاز است یا خیر، باید یک تحلیل حرارتی کل سامانه از منبع حرارت تا خروجی دودکش انجام پذیرد تا ملاحظات اولیه در خصوص دمای سطح دودکش به‌دست آید. توصیه می‌شود یک تحلیل شیمیایی و فیزیکی کامل دودروی گاز نیز برای تعیین وجود ترکیبات خورنده شیمیایی و مشخصات بارگذاری ذرات انجام پذیرد.

۴-۳-۲-۱ دما یا خوردگی

دماهای سطح فلز در دودکش‌های فلزی فاقد عایق و بدون پوشش ممکن است به پایین‌تر از دمای نقطه شبنم گازهای خروجی در درون دودکش یا خروجی دودکش برسد. متداول‌ترین دمای مدنظر دودکش، دمای

دودرو (گازهای خروجی) در ورودی دودکش است. این دما ممکن است گمراه کننده باشد زیرا این دمای دمای گازهای خروجی نیست که اهمیت دارد بلکه سطح فلز است که از اهمیت برخوردار است. دودکش های فولادی فاقد عایق و بدون پوشش می توانند دمای سطح فلز برابر یا بیش از ۶۰٪ کمتر از دمای دودرو در ورودی دودکش داشته باشند در حالی که در دودکش های با عایق بیرونی، اغلب دمای سطح فلز فقط کمی پایین تر از دمای گاز ورودی دودرو خواهد بود.

دماهای بحرانی خوردگی مقادیر مطلقی نیستند که کلیه وضعیت ها را پوشش دهند بلکه بیانگر نقاط کانونی برای مطالعات تفصیلی تر هستند یعنی در صورتی که سطح دودکش پایین تر از نقاط شبنم میعان اسید باشد، عایق بیرونی و یا سرعت های بالاتر گاز دودرو می تواند وضعیت را اصلاح نماید. عایق کاری بیرونی می تواند دمای سطح دودکش را حداقل 28°C بالای نقطه شبنم گاز دودرو نگه دارد. در صورتی که از دماهای فلز تجاوز شود، روکش های داخلی را می توان به عنوان یک راه حل به کار گرفت.

الف- 49°C : این نقطه شبنم آب و نقطه میعان اسید نیتریک، اسید هیدروفلوریک و اسید سولفوریک است.

ب- 63°C : دمایی است که در آن اسید هیدروکلریک تقطیر می شود. کلریدها در اکثر ذغال ها یافت می شود.

پ- 135°C : این نقطه شبنم اسید سولفوریک در نفت کوره رده ۲ است که دارای ۰/۶٪ سولفور است.

ت- 160°C : نقطه شبنم اسید سولفوریک در نفت کوره رده ۶ است که دارای ۲٪ تا ۸٪ سولفور است.

ث- 204°C : بیشینه نقطه شبنم نظری اسید با فرض آن که کل گوگرد آن به تری اکسید گوگرد تبدیل شده باشد.

ج- 427°C : دماهای بالای این نقطه باعث ایجاد تغییرات سازه ای می شود که طی آن، رده های ناپایدار فولاد ضدزنگ مستعد خوردگی مرز دانه های^۱ می شوند. بازه دما برای این اثر بین 427°C تا 899°C است.

۴-۳-۲ سایر دماهای بحرانی

الف- دمای 71°C : مشخص شده است که آسیب غیرقابل بازگشت هنگامی رخ می دهد که پوست انسان برای یک ثانیه در تماس با مواد با دمای 71°C باشد. آسیب قابل بازگشت در دمای 68°C برای یک ثانیه ایجاد می شود و آستانه آن در دمای 60°C برای تماس یک ثانیه ای خواهد بود.

ب- دمای 204°C : ضرایب میانگین انبساط خطی فولادهای کربنی، آلیاژی، زنگ نزن و آلیاژ نیکل در پیوست ب ارائه شده است. این ضرایب هنگامی مورد توجه واقع می شوند که جوش کاری فولادهای کربنی و آلیاژی به فولادهای زنگ نزن در دماهای کاربردی 204°C و بالاتر انجام می شود.

پ- دمای 400°C : برای فولاد کربنی طبق استاندارد ASTM A36، خزش یک مساله طراحی در دماهای بالاتر از 400°C است. خزش به صورت تغییر شکل دائمی وابسته به زمان تعریف می شود که

1- Intergranular corrosion

پس از اعمال یک بار به فلز بالاتر از بازه دمایی خزش ایجاد می‌شود. فولادهای کم‌آلیاژ پرمقاومت مطابق با استاندارد ASTM A242 و استاندارد ASTM A588 را هنگامی می‌توان به کار برد که فولادها با مقاومت در برابر اکسایش و مشخصات گسیختگی خزشی بالاتر از فولاد کربنی مورد نیاز باشد. فولاد طبق استاندارد ASTM A242 دو برابر مقاوم است و می‌تواند در دمای حدود 38°C بالاتر از فولاد کربنی (455°C) مورد استفاده قرار گیرد. برای استفاده از استاندارد ASTM A588 در دمای 427°C و بالاتر باید دقت بیشتری صورت گیرد زیرا شکل‌پذیری کمی دارد.

ت- دمای 455°C : دمایی که در آن خزش برای فولادهای آلیاژی اهمیت پیدا می‌کند.

ث- دمای 565°C : دمایی که در آن خزش برای فولاد زنگ‌زن آستنیتی کروم- نیکل^۱ مهم است.

ج- دمای 620°C تا 1093°C : بازه دمایی که در آن فولادهای زنگ‌زن بسته به میزان آلیاژ آن‌ها، مقاومت مناسبی در برابر پوسته شدن دارند. برای اطلاعات بیشتر در خصوص دماهای بیشینه فولادهای آلیاژی و ضدزنگ به منظور جلوگیری از پوسته شدن فزاینده به جدول ب-۱۷ پیوست ب مراجعه شود.

۳-۲-۳-۴ سطوح شدت محیطی

به جدول پ-۱ پیوست پ مراجعه شود.

الف- محیط شیمیایی: عناصر اصلی گاز دودرو که روی خوردگی محیط و در نتیجه کفایت پوشش‌های داخلی مؤثر خواهند بود شامل اکسیدهای گوگرد (SO_x)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، کلریدها (Cl) و فلوریدها (F) است.

۱- سطح خفیف: دماهای سطح دودرو بالاتر از نقاط شبنم اسید است (pH بین ۴ تا ۸)؛

۲- سطح متوسط: دماهای سطح دودرو با یک مبنای متناوب پایین‌تر از نقاط شبنم اسید بوده، ولی معمولاً بالای دماهای نقطه شبنم اسید است (pH بین ۲ تا ۴)؛

۳- سطح شدید: دماهای سطح دودرو در همه چرخه‌های بهره‌برداری کمتر از نقاط شبنم اسید است (pH کمتر از ۲).

ب- محیط‌های حرارتی: سطوح دما نیز روی شدت محیط مؤثر است به‌ویژه اینکه آن‌ها با کفایت پوشش‌های آلی مرتبط هستند. دماهایی که ثابت یا پایدار باقی می‌مانند نسبت به دماهای متغیر مشکل کمتری ایجاد می‌کنند.

۱- سطح خفیف: دماهای حداکثر تا 93°C ؛

۲- سطح متوسط: دماهای بین 93°C تا 177°C ؛

۳- سطح شدید: دماهای بالاتر از 177°C .

1- Austenitic stainless steels

۴-۳-۲-۴ رده بندی روکش ها

به جدول پ-۱ و جدول پ-۲ پیوست پ مراجعه شود.

۴-۳-۲-۴-۱ روکش های آلی

اکثر روکش های آلی مقاوم در برابر اسید، در دماهای بالای 149°C انعطاف و قابلیت مقاومت در برابر نفوذ آب و بخار را از دست می دهند. اغلب اوقات، ترکیب محیط شیمیایی با محیط حرارتی به طور طبیعی هم افزایی کرده، بنابراین نیاز به دقت بیشتری برای انتخاب روکش وجود خواهد داشت. به هنگام انتخاب یک روکش خاص، طراح باید با تولیدکننده تماس بگیرد تا از کفایت محصول برای برآورده شدن الزامات مورد نظر اطمینان حاصل نماید.

الف- رزین آلی: روکش های پلی استر، اپوکسی فنولیک، نوولاک، اپوکسی، ونیل استر و غیره حاوی ترکیبات شیمیایی رزینی مبتنی بر زنجیره ها یا حلقه های کربن و همچنین حاوی هیدروژن با یا بدون اکسیژن، نیتروژن و سایر عناصر هستند. فرمول بندی شامل مواد سخت کننده برای عمل آوری رزین ها و معمولاً پرکننده ها یا مسلح کننده هایی است که ویژگی های فیزیکی مناسب را تأمین می کنند. شکل کاربرد آن به صورت مایع (محلول، پاشیدنی و غیره) به کمک پاشش، غلطک یا ماله است.

ب- الاستومرهای آلی: روکش های داخلی فلوروپلیمر، لاستیک طبیعی، لاستیک بوتیل، آسفالت اورتان و غیره بر پایه پلیمرهای طبیعی یا مصنوعی هستند که در دمای اتاق پس از تغییر شکل اساسی ناشی از یک تنش ضعیف و حذف آن تنش، به سرعت به شکل و اندازه اولیه خود باز می شوند. به علت تعداد زیاد متغیرها در فرمول بندی های سازندگان پوشش های داخلی آلی، این موارد در شمول ضوابط این استاندارد قرار نمی گیرد. می توان به منظور ارزیابی مشخصات اصلی روکش های داخلی آلی چنانچه استاندارد مشخصی وجود نداشته باشد یا هنگامی که اطلاعات بیشتری در خصوص عملکرد و کاربردهای پیشنهادی محصولات خاصی مورد نیاز باشد، توصیه می شود با سازندگان تماس گرفته شود.

۴-۳-۲-۴-۲ روکش های غیر آلی

الف- روکش های یکپارچه بتن سیمانی غیر آلی: این روکش ها متشکل از موادی به جز هیدروکربن ها و مشتقات آن ها هستند. این روکش های محافظ شامل ترکیبات بی اثر شیمیایی، پرکننده های دانه های جامد و یک ماده سیمانی است. ماده سیمانی ممکن است یک عامل اسید گیرنده موجود در پودر و یک چسب سیلیکات باشد که متعاقباً در اثر واکنش شیمیایی بین عامل گیرنده و چسب سیلیکات یا یک چسب سیمان با آلومینای زیاد که با هیدراتاسیون سخت می شود. روند اعمال آن به کمک ماله، قالب یا پاششی است.

الزامات کنترل کیفیت، بازرسی و آزمایش پوشش ها و مواد دیرگداز یکپارچه مورد استفاده باید طبق استاندارد API RP 936 باشد.

روکش‌های مذکور به قرار زیر هستند:

۱- بتن مقاوم در برابر اسید: این روکش‌ها مبتنی بر سیمان‌های سیلیکاتی با گیرایش شیمیایی هستند و از پرکننده‌های بی اثر شیمیایی استفاده می‌کنند. آن‌ها به ویژه برای محیط‌های شیمیایی سطح شدید و محیط‌های حرارتی سطح خفیف و متوسط مناسب هستند.

۲- بتن مقاوم در برابر اسید و قلیا: این روکش‌ها عموماً بر پایه یک سیلیکات ترکیبی، سیمان مقاوم در برابر مواد شیمیایی همراه با ذرات پرکننده بی اثر هستند. این روکش‌ها به ویژه در محیط‌های شیمیایی و حرارتی سطح متوسط مناسب هستند.

۳- بتن دیرگداز: این روکش‌ها عمدتاً بر پایه آلومینای زیاد، چسب سیمانی با گیرایش هیدرولیکی همراه با ذرات پرکننده بی اثر دیرگداز است. این نوع روکش‌ها برای محیط‌های شیمیایی سطح خفیف و محیط‌های حرارتی سطح شدید مناسب هستند.

۴- بتن عایق برای دما تا 899°C : فرمول‌بندی‌های متداول شامل رس منبسط‌شونده، روباره یا خاکستر بادی همراه با یک چسب سیمانی با گیرایش هیدرولیکی؛ یک پرکننده دیاتومیت کلسینه‌شده و سیمان با آلومینای زیاد؛ و یک پرکننده دانه‌های پرلیت یا ورمیکولیت همراه با یک چسب سیمانی با آلومینای زیاد است. این روکش زمانی مناسب است که دما، وضعیت اصلی مورد نظر باشد.

۵- بتن عایق برای دما تا 1204°C : این روکش‌ها بر پایه پرکننده‌های دانه‌های عایق دمای بالا با استفاده از چسب سیمانی گیرایش هیدرولیکی با آلومینای زیاد است. این نوع روکش به ویژه هنگامی که محیط حرارتی بوده، مشخصات روکش از اهمیت برخوردار باشد مناسب است.

ب- مصالح بنایی غیرآلی: این نوع روکش متشکل از اجزای غیرفلزی، واحدهای بنایی از نظر شیمیایی بی اثر (خنثی) نظیر آجر یا بلوک فوم، بسته یا شیشه‌ای سلولی چسبیده به هم با یک ملات دارای چسبندگی کافی بین واحدها و دارا بودن مقاومت شیمیایی و حرارتی مناسب برای محیط که شامل موارد زیر می‌شود:

۱- بلوک فوم، بسته یا شیشه‌ای سلولی: روکش‌های ساخته شده از این واحدها بسیار عایق‌کننده هستند. ترکیبات شیشه بوروسیلیکات اغلب مناسب‌ترین ترکیبات برای تحمل محیط‌های به شدت شیمیایی و حرارتی هستند که در این استاندارد تعریف می‌شوند.

۲- آجر دیرگداز: روکش‌های آجری دارای میزان آلومینای مناسب که در دماهای زیاد از نظر شیمیایی و فیزیکی پایدار هستند و با یک ملات دیرگداز نصب می‌شوند که تا دمای 1204°C قابل استفاده است.

۳- آجر مقاوم در برابر اسید: این روکش‌ها از آجرهای مقاوم در برابر مواد شیمیایی ساخته می‌شوند که معمولاً در ملات مقاوم در برابر مواد شیمیایی برای استفاده در محیط‌های به شدت شیمیایی و

حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. آجر مقاوم در برابر اسید باید مطابق با یکی از استانداردهای ASTM C279 یا ASTM C980 باشد.

۴- عایق کاری پوشش‌های آجر دیرگداز: این روکش‌ها شامل آجر سبک، متخلخل و دیرگداز دارای قابلیت هدایت حرارتی کمتر و ظرفیت انبساط حرارتی بیشتر از آجر دیرگداز و نصب‌شده با ملات‌های دیرگداز دمای زیاد و به کار رفته در محیط‌های حرارتی بسیار شدید است که کیفیت عایق آن مطلوب باشد.

۴-۳-۲-۳ پوشش‌ها و روکش‌های فلزی

در این مورد به جدول پ-۱ از پیوست پ مراجعه شود. باید در مواردی که مقاومت در برابر خوردگی و یا دمای زیاد اهمیت دارد، پوشش‌ها و روکش‌های فلزی برای استفاده مدنظر باشند. فلزها و آلیاژهای کارآمد، آلیاژهای پایه نیکل و تیتانیوم برای استفاده به عنوان پوشش یا روکش روی ورق فولاد کربنی در دسترس هستند. معمولاً پوشش‌های داخلی دارای ضخامت ۱/۶ mm است اما ضخامت ۳/۲ mm نیز در این مورد به کار می‌رود. ضخامت روکش دارای محدوده‌ای بین ۵٪ تا ۵۰٪ کل ضخامت ورق است ولی برای فولاد کربنی سبک وزن به ضخامت ۶/۴ mm، ترجیح آن است که ضخامت پوشش ۱/۶ mm یا ۲۵٪ ضخامت کل ورق باشد. پوشش‌های داخلی فلزی به زیرلایه‌ها اعمال می‌شوند و به یکدیگر با یک روش درز هم‌پوشانی شده توصیه شده طبق استاندارد NACE RP0292 جوش می‌شوند. روکش فلزی به ورق فولاد کربنی توسط یکی از روش‌های فرایند نورد گرم، نورد ساندویچی یا فرایند اتصال انفجاری اعمال می‌شود. محصول ورق رول‌شده و روکش‌دار با اتصال متالورژیکی پوشش به فولاد کربنی از فرایند نورد قابل دستیابی است. ورق روکش را باید طبق استاندارد NACE RP0199 نصب نمود.

به هنگام انتخاب فولادهای ضدزنگ و آلیاژهای نیکل برای موارد مقاوم در برابر خوردگی، خلاصه‌ای از آثار برخی عناصر آلیاژ می‌تواند مفید باشد. کروم (Cr) از منظر ایجاد لایه دفاعی یا محافظ مهم‌ترین عنصر است که روی سطح آلیاژ در هوا یا محیط‌های اکسید شده شکل می‌گیرد. نیکل (Ni) از این دیدگاه حائز اهمیت است که به گسترده شدن حدود کنش‌ناپذیری آلیاژ و در نتیجه مشارکت در بهبود مقاومت در برابر خوردگی کمک می‌کند. همچنین برای نگهداری از ریزساختار آستنیتیکی مطلوب است که شکل‌پذیری، قابلیت ساخت و جوش‌پذیری را تأمین کند. مولیبدن (Mo) مهم‌ترین عنصر برای تأمین مقاومت در برابر خوردگی از نوع حفره‌دار شدن و خوردگی شیاری است و نیتروژن (N) و تنگستن (W) هم در این زمینه مفید هستند. همچنین نیتروژن مقاومت آلیاژ را افزایش می‌دهد و به حفظ ریزساختار آستنیتیکی کمک می‌نماید. استاندارد ASTM G48 روش‌های آزمون استاندارد برای مقاومت خوردگی از نوع حفره‌دار شدن و شیاری در محیط‌های کلریدی را پیشنهاد می‌دهد.

مهم‌ترین عنصر برای افزایش مقاومت در برابر اکسایش (خوردگی) فولادها در دماهای 538°C و بالاتر، کروم است. سایر عناصر نظیر سیلیکون (Si)، آلومینیم (Al) و عناصر نادر زمین نظیر سریم (Ce) نیز به ویژه در هنگامی که به آلیاژهای حاوی کروم اضافه می‌شوند مقاومت در برابر اکسایش را افزایش می‌دهند.

برای جلوگیری از خوردگی بین دانه‌های در محیط‌های قطعاً اسیدی، باید از باریدن کاربید بین دانه‌های (ICP) ناشی از جوش کاری جلوگیری به عمل آید. می‌توان از ICP با استفاده از رده‌های کم کربن (کربن کمتر از ۰.۳٪) یا افزودن عناصر پایدارساز نظیر تیتانیوم (Ti) و کلمبیوم (Cb) نیز جلوگیری کرد.

۴-۳-۳ پوشش‌ها

الف- عبارات رنگ و پوشش بعضاً به‌سختی از هم تمایز داده می‌شوند. واژه پوشش یک رده جامع‌تر است که شامل رنگ هم می‌شود. در حالی که وظیفه اصلی پوشش تأمین حفاظت است، رنگ ممکن است عملکرد نقاشی همراه با حفاظت را دارا باشد. ممکن است مشخصات رنگ‌آمیزی یک رنگ از مشخصات حفاظت‌کنندگی آن مهم‌تر باشد. در این استاندارد، واژه پوشش داخلی به معنی رنگ نیز هست. دودکش‌هایی که از فولاد کربنی ساخته می‌شوند ممکن است نیازمند پوشش‌هایی برای حفاظت از فولاد در برابر خوردگی ناشی از محیط که در معرض آن قرار می‌گیرند باشند که این کار از دیدگاه زیبایی‌شناسی نیز، به سازه جلوه می‌بخشد و باید مطابق با ضوابط ایمنی هوانوردی (نظیر CAA) باشد. برخی فولادهای کم آلیاژ نظیر فولادهای مشخص شده در استانداردهای ASTM A242 و ASTM A588 مقاومت ویژه‌ای در برابر خوردگی برای فولادهای کربنی ایجاد می‌نمایند و ممکن است بسته به میزان خوردندگی جو، نیازمند پوشش خارجی نباشند. توصیه می‌شود دودکش‌هایی که از فولاد ضدزنگ یا آلیاژهای بالاتر ساخته می‌شوند در برابر خوردگی جوّی مقاوم باشند.

ب- از آنجا که دودکش در فضای باز قرار دارد، ملاحظه ویژه‌ای برای تابش نور خورشید و هوازندگی باید در خصوص آن لحاظ شود و همچنین باید در خصوص بی‌رنگ شدن، محو شدن، شکنندگی و غیره آگاه بود.

پ- در ارزیابی آثار خوردنده محیط، باید ملاحظه ویژه‌ای در خصوص بخش فوقانی دودکش صورت گیرد که جاری شدن آب (ناشی از بارندگی یا تقطیر) می‌تواند وضعیت خوردگی شدیدتری ایجاد کند.

ت- نوع پوشش خارجی مورد نیاز وابسته به رنگ، رنگ‌دانه، بیشینه دمایی که پوسته فولادی به آن می‌رسد و مدت زمان در معرض دمای بالا قرار گرفتن خواهد بود.

ث- اکثر پوشش‌های خارجی مقاوم در برابر حرارت، از رنگ‌دانه‌های مقاوم در برابر حرارت به صورت غیرآلی یا فلزی استفاده می‌کنند.

ج- در دودکش‌های فولادی پوشش‌دار، رنگ‌ها یا امولسیون‌های پایه آب، عملکرد خوبی را نشان نداده‌اند و از خود رنگ‌پریدگی نشان می‌دهند.

۱-۳-۳-۴ رده‌بندی پوشش‌ها

به جدول پ-۲ پیوست پ مراجعه شود.

الف- سامانه پوشش‌دهی پایه روغنی: این سامانه پوشش برای ایجاد حفاظت بسیار خوب هنگام قرار گرفتن در معرض شرایط آب و هوایی برون شهری مناسب است، اما این محافظت صرفاً در برابر بخارات صنعتی بسیار ملایم و محیط‌های دریایی ملایم قابل انجام است. این سامانه پوشش برای محیط‌های خورنده توصیه نمی‌شود. این سامانه ویژگی‌های خشک شدن بسیار کندی طی عمل‌آوری دارد و به مرور زمان شکننده می‌شود و زرد می‌شود.

ب- سامانه پوشش آلکاید: این نوع پوشش مقاومت عالی در برابر هوازدگی در محیط‌های برون شهری از خود نشان می‌دهد. این سامانه مقاومت شیمیایی اسیدی ضعیفی دارد و صرفاً در محیط‌های نمکی دریایی عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد. اعمال این پوشش ساده است، ماندگاری رنگ خوبی دارد و براق می‌ماند. از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده، انجام پوشش مجدد آن به سادگی امکان‌پذیر است، اما استفاده از آن بسیار محدود می‌باشد.

پ- سامانه پوشش فنلی: این سامانه در جوهای خورنده شیمیایی متوسط تا شدید بسیار خوب است و مقاومت خوبی در برابر هوازدگی از خود نشان می‌دهد. این سامانه، مقاومت بسیار خوبی را در محیط‌های بسیار مرطوب دارد.

ت- پوشش‌های ونیلی: این پوشش‌ها معمولاً در محیط‌های به شدت شیمیایی به کار می‌روند و معمولاً به علت قیمت زیاد به عنوان پوشش دودکش استفاده نمی‌شوند. لازم به ذکر است که این پوشش‌ها مقاومت بسیار خوبی در برابر هوازدگی نشان می‌دهند و انعطاف‌پذیری خوبی دارند.

ث- رنگ‌آمیزی تک پوششه برای فولاد سازه‌ای: این نوع از پوشش برای حفاظت از فولاد در برابر هوازدگی بیشتر از ۶ ماه حتی در مناطق عادی برون شهری یا محیط‌های صنعتی ملایم یا دریایی قابل کاربرد نیست.

ج- پوشش اپوکسی قطران ذغال سنگ^۱: این پوشش به‌طور وسیعی در محیط‌های دریایی و شیمیایی به کار می‌رود. این پوشش‌ها در سال‌های نخست مواجهه با محیط، تمایل به تردشکنی دارند و به همین دلیل نیازمند یک زیرسازی نسبتاً صلب هستند تا عملکرد خوبی از خود نشان دهند. این پوشش‌ها نسبت به اپوکسی‌های دو جزئی ارزان‌تر و معمولاً مشکی‌رنگ هستند و نیازمند یک آماده‌سازی سطح از مطابق با SSPC-PC5 می‌باشند.

1- Coal-tar

یادآوری - منظور از SSPC-PC5 (Society for Protective Coatings) دستورالعمل آماده‌سازی سطح فلز برای اعمال پوشش بر اساس استاندارد NACE است.

چ - سامانه‌های رنگ‌آمیزی غنی از روی (غیرآلی)^۱: این پوشش محافظت بسیار خوبی از فولاد در برابر هوازدگی فراهم می‌کند و برای رطوبت زیاد و جو دریایی مناسب است. این پوشش برای مقاومت در برابر اسید مناسب نیست اما در صورتی که به عنوان پوشش فوقانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقاومت خوبی در برابر بخارات شیمیایی ایجاد می‌کند. این پوشش نیازمند یک حداقل آماده‌سازی سطحی SSPC-SP10 با ضخامت حداقل ۲۵ μm تا ۵۰ μm برای تأمین چسبندگی کامل است.

ح - سامانه پوشش اپوکسی: این پوشش مقاومت خوبی در برابر بخارات صنعتی و مواجهه با جو دریایی از خود نشان می‌دهد. این پوشش‌ها انعطاف‌پذیری، سختی و طاقت خوبی از خود نشان می‌دهند و محتویات جامد بالایی دارند. با آن‌که این نوع پوشش تحت هوازدگی به سرعت به صورت گچ در می‌آید، مقاومت شیمیایی بالایی دارد.

خ - سامانه اپوکسی نوولاک^۲: این پوشش، مقاومت خوبی در مواجهه با بخارات صنعتی و محیط‌های دریایی دارد. این پوشش‌ها انعطاف‌پذیری، سختی و طاقت خوبی از خود نشان می‌دهند و ۱۰۰٪ محتویات آن‌ها جامد است. این پوشش‌ها مقاومت حرارتی بالاتری نسبت به یک سامانه اپوکسی دارند و مقاومت شیمیایی آن‌ها نیز بالاتر است.

د - سامانه اپوکسی فنولی نوولاک: این پوشش مقاومت خوبی در مواجهه با بخارات صنعتی و محیط‌های دریایی دارد. این پوشش‌ها انعطاف‌پذیری، سختی و طاقت خوبی از خود نشان می‌دهند و ۱۰۰٪ محتویات آن‌ها جامد است. این پوشش‌ها مقاومت حرارتی بالاتری نسبت به یک سامانه اپوکسی نوولاک دارند و مقاومت شیمیایی آن‌ها نیز بالاتر است.

ذ - لاستیک کلردار^۳: این پوشش مشابه وینیل است و فیلم سخت خوبی را ارائه می‌دهد که مقاومت خوبی در برابر سایش و مقاومت بسیار خوبی در برابر هوازدگی دارد. همچنین مقاومت بسیار خوبی در برابر اسیدهای معدنی و محیط‌های دریایی موجود در آب شور نشان می‌دهد. عملکرد دمایی این پوشش معمولاً به ۷۱°C محدود می‌شود.

ر - سیلیکون‌ها: سیلیکون‌ها مقاومت حرارتی بسیار خوبی دارند و تا دمای ۶۴۹°C قابل استفاده هستند. در برابر هوازدگی بسیار مقاوم هستند؛ کمترین میزان فرسایش را دارند که با مقاومت گچی شدن^۴ نشان داده می‌شود و همچنین براقیت و رنگ خود را حفظ می‌کنند. این پوشش‌ها مقاومت خوبی در برابر محیط شیمیایی از خود نشان می‌دهند. مشخصات آن‌ها وابسته به میزان رزین سیلیکون موجود و نوع

1- Zinc-rich painting systems

2- Novolac

3- Chlorinated rubber

4- Chalking resistance

عامل اصلاح مصرفی دارد. سیلیکون خالص همراه با رنگ‌دانه آلومینیم، یک پوشش بسیار خوب مقاوم در برابر دمای زیاد ایجاد می‌کند و البته گران‌قیمت است.

ز- سامانه پوشش اورتان دو جزئی: سامانه پوشش اورتان دو جزئی آلیفاتیک کاتالیز شده و عمل‌آوری شده، یک پوشش سخت، پرتاقت و مقاوم در برابر سایش ایجاد می‌کند، که ویژگی‌های ممتاز در برابر هوازدگی و حفظ براقیت از خود نشان می‌دهد. این پوشش همچنین مقاومت شیمیایی خوبی در برابر اسیدها و بازهای ملایم دارد و چسبندگی خوبی به فولاد از خود نشان می‌دهد؛ به هنگام استفاده، به رطوبت حساس است ولی طی عمل‌آوری مقاومت خوبی به رطوبت، محیط‌های دریایی و محیط‌های با خوردندگی ملایم عرضه می‌نماید.

س- آکرلیک‌ها: پوشش‌های آکرلیک، رنگ بسیار خوبی دارند و براق بودن خود را در کاربردهای فضای باز حفظ می‌کنند. اما مقاومت شیمیایی آن‌ها بسیار محدود است. این پوشش‌ها اقتصادی هستند و عملکرد رضایت‌بخشی در محیط‌های برون‌شهری که وضعیت بخارات بسیار ملایم است از خود نشان می‌دهند. این پوشش‌ها در مورد مقاومت شیمیایی، مشخصاتی به خوبی لاستیک‌های وینیلی یا کلر ندارند.

۲-۳-۳-۴ ملاحظات مهم پوشش‌دهی

الف- محیط (برون‌شهری، صنعتی و دریایی)؛

ب- مواجهه با حرارت؛

پ- هوازدگی؛

ت- حفظ زیبایی ظاهری رنگ؛

ث- دوام (پایایی)؛

ج- پرداخت (آماده‌سازی) سطح؛

چ- هزینه؛

ح- توصیه‌های سازنده پوشش.

۳-۳-۳-۴ روش‌های عمل‌آوری

الف- اکسایش در هوا (آلکیدها و اپوکسی)؛

ب- تبخیر حلال (وینیل‌ها، لاستیک کلرزنی شده، ذغال سنگ، و اکریلیک)؛

پ- واکنش شیمیایی (اپوکسی، پلی‌اورتان، وینیل استرها و روی‌های غیر آلی)؛

ت- عمل‌آوری حرارتی (سیلیکون‌ها و فنولیک‌های پخت بالا).

۴-۳-۳-۴ لایه زیرین (پرایمر)

الف- پرایمر مهم‌ترین بخش در اغلب سامانه‌های پوشش است زیرا مسئول حفظ حالت فلزی لایه زیرین است و باید سامانه پوشش را به فولاد مهار نماید. آماده‌سازی سطحی بسیار حایز اهمیت است.

ب- به‌طور کلی، هرچه محیط دارای وضعیت خوردنگی شدیدتر باشد، یا هرچه نیاز به محافظت بیشتر وجود داشته باشد، ضخامت فیلم خشک پوشش بیشتر خواهد بود. با این حال، باید در استفاده از سامانه‌های پرقوام^۱ (دارای ضخامت بالا) در سازه‌های جدارنازک و سایر زیرلایه‌های ناپایدار ابعادی دقت شود. فیلم‌های ضخیم، به ویژه انواع صلب حرارتی، کمتر از فیلم‌های نازک قادر به ایجاد انعطاف‌پذیری لازم برای حرکات زیرلایه (انبساط و انقباض) هستند و می‌توانند به سادگی متحمل آسیب‌دیدگی چسب و در نهایت جدایش‌های بعدی شوند.

پ- لازم به ذکر است که دماهای مورد اشاره مربوط به سطوح خارجی سطح فولادی است و نه دمای گاز دودرو درون دودکش‌ها.

ت- برای دماهای سطوح خارجی فولادی بین 232°C و 482°C ، دو پوشش آلومینیم رنگی و پوشش‌های پایه رزین سیلیکونی عملکرد بسیار خوبی داشته‌اند.

ث- برای دماهای سطوح خارجی فولادی بین 232°C و 482°C ، یک پوشش پرایمر روی و یک پوشش فوقانی از سیلیکون اصلاح شده عملکرد بسیار خوبی از خود نشان داده است.

ج- تمام پوشش‌ها باید کاملاً طبق دستورالعمل‌های سازنده، با رعایت حداقل درجه حرارت کاربرد آن‌ها، کاتالیزور، نوع، نرخ‌های افزودن و رقیق‌کننده‌ها، و مقادیر مجاز آن‌ها اعمال شوند.

۴-۳-۳-۵ ملاحظات طراحی

الف- لبه‌ها؛

ب- گوشه‌های عمیق مربع؛

پ- نواحی ناپیوسته (کله پیچ‌ها، گوشه‌ها و غیره)؛

ت- جوش و پاشش جوش؛

ث- جوش‌های گام به گام (ناپیوسته)؛

ج- زوایای پشت به پشت؛

1- High-build

چ- جدایش مؤثر وجود فلزات نامتشابه؛

ح- مواد جداگر با شکل و ضخامت مناسب (درزبندها، نوار بوتیل و غیره)؛

خ- مصالح سازه‌ای، سیم‌های مهار، کابل‌ها، بست‌ها، پیچ‌ها، مهره‌ها، واشرها، نردبان‌ها، قفس‌ها، گری‌تینگ و سایر تجهیزات جانبی را می‌توان از خوردگی جوی با استفاده از پوشش‌های گرم گالوانیزه محافظت نمود. توصیه می‌شود این پوشش‌ها مطابق با استاندارد ASTM A153 باشد که شامل وزن پوشش مناسب در رده‌های A، B و C می‌شود که به ترتیب وزن پوشش روی در آن‌ها افزایش می‌یابد؛

د- پوشش‌های گالوانیزه گرم نباید روی مواد در تماس با فولاد بدون رنگ طبق استاندارد ASTM A242 یا ASTM A588 به کار رود؛

ذ- به علت مشکلات خوردگی محتمل در مورد سرپوش‌های باران‌گیر دودکش فولادی، باید فولادهای ضدزنگ با آلیاژ استاندارد ASTM A240 یا مواد با آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی بالاتر در ساخت این اجزا در نظر گرفته شود؛

ر- گالوانیزه کردن برخی اجزا نظیر هندریل‌ها، نردبان‌ها و سایر اجزا با ابعاد و شکل مناسب موجب حفاظت بلندمدت در محیط‌های جوی غیرتهاجمی می‌شود؛

ز- پوشش‌های سیلیکونی به دلیل رنگ خوب و حفظ براقیت در معرض هوازدهی خارجی به خوبی شناخته شده‌اند. سیلیکون‌های اصلاح نشده گران هستند و باید در دمای 204°C تا 260°C عمل‌آوری شوند. خواص خشک شدن در هوا، موجب هزینه کمتر و سختی چسبندگی از طریق پلیمر شدن سیلیکون‌ها، با پلیمرهای آلی خواهد شد. کوپلیمرها^۱ عملاً هیچ فرسایشی نشان نمی‌دهند و بنابراین گچی شدن آن‌ها بسیار کند است؛

س- در صورتی که پوشش‌های رنگ‌آمیزی شده با روی غیر آلی به‌طور صحیح به سطوح تمیز شده پاششی اعمال شود، مقاومت خوبی در برابر مواجهه با جو از خود نشان می‌دهد.

۴-۳-۶ تغییرات فرمول‌بندی‌ها

به علت تنوع فرمول‌بندی‌های ارائه شده توسط سازندگان پوشش‌ها، در این خصوص به صورت مشخص بحثی در این استاندارد مطرح نمی‌شود. در صورت عدم وجود استانداردها یا هنگامی که به اطلاعات بیشتری در خصوص محصولات مشخص، عملکرد آن‌ها و کاربردهای پیشنهادی آن‌ها نیاز باشد، باید با سازندگان پوشش‌ها تماس گرفته شود.

1- Copolymers

۴-۳-۴ خوردگی

۴-۳-۴-۱ حمله ناشی از اکسیدهای گوگرد

الف- معمول ترین شکل حمله شیمیایی ناشی از اسیدهای تشکیل شده به صورت میعان اکسیدهای گوگرد در گاز دودرو است. گوگرد در کلیه سوخت های جامد و مایع به مقادیر متفاوت وجود دارد و همچنین در سوخت های گازی یافت می شود. در طی فرایند احتراق، تقریباً کل گوگرد در سوخت به دی اکسید گوگرد (SO_2) تبدیل می شود که با میعان بخار آب جذب شده، به صورت اسید سولفوریک در می آید.

ب- مقدار کمی از دی اکسید گوگرد (SO_2) به تری اکسید گوگرد (SO_3) تبدیل می شود. این مقدار به طور پیچیده ای به میزان گوگرد سوخت، مقدار هوای اضافی موجود در هنگام احتراق، درجه حرارت در محفظه احتراق و وجود کاتالیزورهایی مانند اکسیدهای آهن بستگی دارد. این غلظت کم SO_3 (که معمولاً به صورت ذره در میلیون اندازه گیری می شود) باعث بروز بیشتر مشکلات خوردگی اسید در دودکش ها می شود. این موضوع به آن دلیل است که در میعان، یون های SO_3 با بخار آب ترکیب می شوند تا اسید سولفوریک تشکیل شود که غلظت آن می تواند تا ۸۵٪ باشد.

پ- میعان این اسیدها هنگامی رخ می دهد که دمای گاز دودرو به پایین تر از نقطه شبنم اسید برسد یا هنگامی که گاز دودرو در تماس با سطحی دارای دمای کمتر از نقطه شبنم اسید باشد.

ت- دمای نقطه شبنم اسید سولفوریک بستگی به غلظت SO_3 در گاز دودرو دارد. در صورتی که دمای سطوحی که گاز دودرو می تواند با آن در تماس باشد حداقل $28^{\circ}C$ بالاتر از نقطه شبنم اسید تخمین زده شده در شکل پ-۱ از پیوست پ باشد، خطر خوردگی اسیدی ناشی از این موضوع ایجاد نمی شود. یک منحنی اشباع بی دررو^۱ که غلظت های اسید سولفوریک را برای دماهای مختلف و شرایط بهره برداری همراه با مصالح پیشنهادی نشان می دهد، در شکل پ-۲ پیوست پ نشان داده شده است.

ث- نقطه شبنم اسید سولفوریک حدود $49^{\circ}C$ و کمی بالاتر از نقطه شبنم آب است. در صورتی که سوخت آلوده باشد، می توان انتظار داشت که سایر اسیدها نظیر اسید کلریدریک و اسید نیتریک در همان بازه دمایی تشکیل شود. بنابراین، در موارد زیر خوردگی شدید قابل انتظار است:

- سوخت و فرایندهای احتراق به گونه ای انتخاب شود که ایجاد SO_3 به حداقل برسد؛
- گازهای دودرو شستشو داده شود تا بیشتر SO_3 و SO_2 حذف شود؛

1- Adiabatic

- دماهای گاز دودکش یا سطوحی که با آن در تماس است پایین‌تر از 65°C یا دمای نقطه شبنم اسید مربوط به غلظت کاهش یافته SO_3 باشد؛

مجددا یک حاشیه اطمینان 28°C بالای نقطه شبنم از شکل‌های پ-۱ و پ-۲ از پیوست پ تعیین می‌شود.

۲-۴-۳-۴ حمله ناشی از کلر، کلریدها و فلوریدها

الف- کلریدها و فلوریدها را می‌توان در همه سوخت‌های جامد شامل پسماندها و بسیاری از سوخت‌های مایع یافت. طی احتراق، کلریدها و فلوریدها به ترتیب به یون‌های آزاد کلرید و فلورید تبدیل می‌شوند که در تماس با بخار آب، به اسید کلریدریک و اسید فلوریدریک تبدیل می‌شوند. بیشترین دمای میعان در اسید کلریدریک در دمای 60°C مشاهده شده است. دمای میعان برای اسید فلوریدریک حتی می‌تواند کمتر باشد. بنابراین، هنگامی که هر سطح دودرو پایین‌تر از دمای نقطه شبنم اسید قرار گیرد، خوردگی بسیار جدی رخ خواهد داد. این نقطه شبنم نزدیک به نقاط شبنم آب و اسید سولفوریک است. بنابراین اگر اجازه حتی مقادیر بسیار کم کلرید و فلورید تحت تأثیر ته‌نشینی وجود داشته باشد می‌تواند منجر به مشکلات خوردگی جدی شود. مثلاً مشخص شده است که مقادیر کلرید تحت اثر ته‌نشینی به میزان $100,000 \mu\text{g/g}$ می‌تواند منجر به نیاز به مقاوم‌ترین مواد در برابر خوردگی شود.

ب- کلرید هیدروژن، فلورید هیدروژن و کلر آزاد در گازهای سوختی نیز در مرحله بخار آن‌ها خورنده می‌شود. فولادهای زنگ‌نزن در دماهای بالای 316°C مورد حمله قرار می‌گیرند. بخارات فلورید برای فولادهای زنگ‌نزن در دماهای بالای 249°C می‌تواند ایجاد خوردگی نماید.

۳-۴-۳-۴ مواجهه محدود با خوردگی اسیدی

مواجهه محدود با شرایط خوردگی اسیدی را می‌توان در دودکش‌هایی که در اغلب مواقع از حمله شیمیایی به دور هستند مجاز دانست به شرطی که گاز سوختی آن‌ها حاوی هالوژن‌ها (کلر، کلریدها، فلوریدها و غیره) نباشد.

۴-۴-۳-۴ عوامل بحرانی خوردگی

الف- نشت هوا؛

ب- تیغه‌های خنک‌کننده بال‌ها، اسپویلرها یا سایر متعلقات؛

پ- خنک‌سازی از طریق نقاط تکیه‌گاهی؛

ت- آثار فروباد^۱ بالای دودکش:

۱- وجود کلریدها یا فلوریدها در میعان گازهای خروجی می تواند نرخ های خوردگی را به طور چشم گیری افزایش دهد؛

۲- صرف نظر از دما، اگر غلظت هالوژن از مقادیر زیر فراتر رود، خوردگی می تواند ایجاد شود:

الف- فلورید هیدروژن: 0.25% وزن (300 mg/m^3 در دمای 20°C و فشار 100 kPa)؛

ب- کلر: 0.1% وزن (1300 mg/m^3 در دمای 20°C و فشار 100 kPa)؛

پ- کلرید هیدروژن: 0.1% وزن (1300 mg/m^3 در دمای 20°C و فشار 100 kPa).

۴-۳-۵ عایق کاری، غلاف بندی^۲ و تسمه زنی^۳

۴-۳-۵-۱ عایق کاری

الف- ممکن است عایق کاری در وجه بیرونی دودکش، وجه درونی آن و یا بین جداره های یک دودکش دو جداره مورد نیاز باشد.

ب- پوشش های عایق در زیربند ۴-۳-۲-۴ مطرح شده است.

پ- چندین استاندارد ASTM، مواد عایق کننده حرارتی و مشخصات آنها را پوشش می دهد. برای کاربرد این استانداردها باید با سازندگان مشورت شود تا الزامات استفاده از آنها برآورده شود.

۴-۳-۵-۲ غلاف بندی و تسمه زنی

الف- غلاف بندی را می توان با موادی انتخاب شده طبق یکی از استانداردهای زیر به کار گرفت:

۱- فولاد دارای پوشش آلومینیم طبق استاندارد ASTM A463؛

۲- فولاد گالوانیزه طبق استاندارد ASTM A527؛

۳- فولاد زنگ نزن طبق استاندارد ASTM A666؛

۴- آلومینیم طبق استاندارد ASTM B209.

ب- تسمه زنی را می توان با ماده ای مشابه با آنچه که در غلاف بندی به کار می رود انجام داد اما معمولاً فولاد ضد زنگ ترجیح داده می شود.

1- Downdraft
2- Jacketing
3- Strapping

۴-۴ طراحی سازه‌ای

۴-۴-۱ دامنه کاربرد

این زیربند شامل روش‌های قابل قبول برای تعیین پیکربندی سازه‌ای دودکش‌های فولادی و عناصر آن برای تحمل کلیه بارهای خارجی و داخلی تحمیل شده توسط شرایط محیطی و عارضه‌نگاری^۱ ساختگاه و شرایط بهره‌برداری است. پارامترهای مورد استفاده در طراحی سازه‌ای در زیربند ۴-۴-۱۳ تشریح شده است.

۴-۴-۲ ملاحظات کلی

۴-۴-۲-۱ محدودیت‌ها

توصیه‌های طراحی بیان شده در این بخش از این استاندارد، برای دودکش‌های فولادی دایره‌ای شکل قابل کاربرد است.

۴-۴-۲-۲ موقعیت

طراحی و اجرای دودکش باید متناسب با ساختگاه و با بررسی شرایط باد و زلزله، ترافیک هوایی (بر اساس ضوابط هوانوردی)، شرایط بهره‌برداری و قوانین محلی صورت پذیرد.

۴-۴-۲-۳ نقشه‌ها و محاسبات

نقشه‌های طراحی دودکش و کلیه متعلقات باید به‌گونه‌ای آماده شود که بیانگر کلیه عناصر و جزئیات مورد نیاز برای ساخت و نصب رضایت‌بخش دودکش باشد. محاسبات باید آماده شود و ارائه شود. تمام ابزار اتصال مواد باید به‌طور ویژه و با تمایز میان اتصالات کارخانه‌ای و کارگاهی طرح شود.

۴-۴-۳ بارهای وارده

۴-۴-۳-۱ بار مرده

بار مرده باید شامل وزن دودکش فولادی، پوشش‌های خارجی، پوشاننده داخلی، عایق‌کاری، روکش و کلیه متعلقات دائمی نظیر نردبان‌ها، سکوها و ابزار نمونه‌گیری از گاز باشد. برای محاسبه بار مرده، کل ضخامت ورق باید مورد استفاده قرار گیرد. مساحت کاهش‌یافته ناشی از خوردگی ورق باید در محاسبات تنش به‌کار رود. برای دودکش‌های دارای پوشش داخلی دیرگداز، وزن ماده دیرگداز باید در محاسبه بار مرده مورد استفاده قرار گیرد.

1- Topography

۲-۳-۴-۴ بار زنده

حداقل بار زنده در سکوها و عبورگاهها برابر با ۲/۴ kPa منظور شود. نیازی نیست این بار در ترکیب بارهای شامل آثار باد و زلزله لحاظ شود. باید بار مربوط به خاکستر انباشته شده، و همچنین رطوبت در مورد گازهای اشباع، روی جدارهها و کفهای دودکش مدنظر قرار گیرد. ورقهای محفظه کف باید برای حداقل بار زنده ۷/۲ kPa طراحی شوند.

۳-۳-۴-۴ بار باد

بار باد باید مطابق با روند مطرح شده در این زیربند محاسبه شود. مسئولیت محاسبه هر نوع بار باد قابل اعمال بر سازه دودکش، مانند آثار بار باد وارد بر متعلقات خارج دودکش، که در این زیربند به آنها اشاره نشده است، بر عهده طراح است. در طراحی باید اثر تداخل جریانهای باد وارد بر دودکشهای مجاور، مطرح شده در زیربند ۳-۳-۴-۴، روی مقدار بارهای باد وارد بر دودکش منظور شود.

۱-۳-۳-۴-۴ نیروی باد طراحی

توزیع نیروی باد طراحی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$w(z) = \bar{w}(z) + w_D(z) \quad (15)$$

که در آن:

$$\bar{w}(z) = \frac{C_f q_z D}{1 + 6.8 I_z} \quad (16)$$

و

$$w_D(z) = \frac{3zM_0}{h^3} [G_f(1 + 6.8 I_z) - 1] \quad (17)$$

که در آنها:

$\bar{w}(z)$ مقدار متوسط بار باد هم‌راستا (بار وارده در راستای وزش باد)، برحسب N/m؛

$w_D(z)$ مقدار نوسان بار باد هم‌راستا، برحسب N/m؛

$w(z)$ مقدار کل بار باد هم‌راستا، برحسب N/m؛

z تراز محاسبه بار باد از پای دودکش، برحسب m؛

D قطر دودکش در تراز محاسبه بار باد، برحسب m؛

h ارتفاع دودکش، برحسب m؛

M_0 لنگر ناشی از بار $\bar{w}(z)$ در تراز پای دودکش، برحسب N/m؛

G_f ضریب اثر تند باد، مطابق با روابط مندرج در پیوست ت؛

I_z ضریب شدت آشفته‌گی جریان باد در تراز محاسبه بار باد، مطابق با روابط مندرج در پیوست ت؛
 q_z فشار باد وابسته به سرعت (فشار سرعتی باد)، بر حسب Pa است.

فشار باد وابسته سرعت، با فرض جرم حجمی هوا برابر با $1/225 \text{ kg/m}^3$ ، بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_z = 0.613 I V^2 K_{zt} K_z \quad (18)$$

که در آن:

V سرعت مبنای باد، مبتنی بر تندباد ۳ ثانیه که مطابق با ضوابط زیربندهای ۴-۳-۳-۴ تا ۴-۳-۳-۴-۵ به دست می‌آید، بر حسب m/s

I ضریب اهمیت دودکش، طبق جدول ت-۴ و رده خطرپذیری طبق جدول ت-۵ از پیوست ت؛

K_z ضریب اصلاح سرعت باد، که طبق جدول ت-۶ پیوست ت و تعاریف زیربند ۴-۳-۳-۴-۵ مشخص می‌شود. این ضریب با هدف اصلاح نیمرخ سرعت باد، بر مبنای تغییر وضعیت عوارض و پوشش سطح زمین نسبت به رده پوشش سطح مبنا (رده C)، در نظر گرفته می‌شود؛

K_{zt} ضریب عارضه‌نگاری، طبق ضوابط زیربند ۴-۳-۳-۴-۶، این ضریب با هدف لحاظ نمودن اثر تغییرات ناگهانی عارضه‌نگاری زمین بر افزایش سرعت مبنای باد، در نظر گرفته می‌شود؛

C_f ضریب نیرو، مطابق با جدول ت-۶ پیوست ت؛

یادآوری ۱- ضریب عددی ۰/۶۱۳ را در صورتی می‌توان تغییر داد که داده‌های هواشناسی کافی در دسترس باشد و برای یک کاربرد طراحی مشخص، یک مقدار متفاوت برای این ضریب به دست آید.

یادآوری ۲- در تعیین مقدار C_f ، باید اثر تداخل جریان‌های باد وارد بر دودکش‌های مجاور یکدیگر، مطابق با زیربند ۴-۳-۴-۳، لحاظ شود.

یادآوری ۳- سرعت مبنای باد، V بر حسب m/s به کار رفته در تعیین بارهای باد طراحی، در جدول ت-۱ پیوست ت ارائه شده است.

۴-۳-۳-۴-۲ تعیین سرعت مبنای باد

سرعت تندباد s ۳، مورد استفاده در تعیین بارهای باد طراحی را می‌توان از جدول ت-۱ پیوست ت، در کنار زیربندهای ۴-۳-۳-۴-۳ تا ۴-۳-۳-۴-۵ انتخاب کرد. داده‌های جدول ت-۱ مبتنی بر اطلاعات ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان است. دوره بازگشت سرعت باد طراحی در این استاندارد، هماهنگ با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، برابر با ۵۰ سال است. در این استاندارد، برای محاسبه سرعت مبنای باد مبتنی بر تندباد s ۳، مقادیر سرعت متوسط ساعتی مبنای باد مندرج در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، در ضریب تبدیل ۱/۵۳ ضرب شده است. مرجع تعیین ضریب ۱/۵۳ در انتهای پیوست ت آمده است.

یادآوری ۱- سرعت مبنای باد نباید کوچکتر از ۲۲ m/s منظور شود.

یادآوری ۲- در این استاندارد، در ترکیب بارهای طراحی، ضریب بار باد برای روش تنش مجاز^۱ (WSD) یا مقاومت مجاز (ASD)^۲ برابر با ۱/۰ است و مقادیر سرعت‌های مبنای باد نیز هماهنگ با روش مزبور است. در صورت نیاز به استفاده از ترکیب بارهای روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD)^۳، ضریب بار باد باید برابر با ۱/۶ منظور شود.

۴-۳-۳-۴-۳ مناطق ویژه باد

در مناطقی که داده‌های ثبت شده یا تجربه نشان دهد که سرعت مبنای باد بالاتر از مقادیری است که در پیوست ت آمده، باید سرعت مبنای باد افزایش داده شود. نواحی کوهستانی، گردنه‌ها و مناطقی که دارای سوابق رخداد طوفان بوده‌اند، باید برای شرایط نامعمول باد مورد ارزیابی قرار گیرند. باید در صورت لزوم، مرجع ذیصلاح، مقادیر ارائه شده در جدول ت-۱ پیوست ت را برای سرعت‌های باد بالاتر مورد اصلاح قرار دهد. این اصلاح باید بر اساس اطلاعات هواشناسی و تخمینی از سرعت مبنای باد مطابق با ضوابط زیربند ۴-۳-۳-۴-۴ باشد.

۴-۳-۳-۴-۴ برآورد سرعت مبنای باد از داده‌های هواشناسی منطقه‌ای

داده‌های هواشناسی منطقه‌ای تنها در صورت تأمین شرایط زیر می‌تواند به جای سرعت مبنای باد مطرح شده در جدول ت-۱ پیوست ت مورد استفاده قرار گیرد:

الف- روش‌های معتبر و تایید شده تحلیل آماری مقدار بیشینه^۴، در کاهش داده‌ها به کار رفته باشد.

ب- طول زمان ثبت، خطای نمونه‌برداری، زمان میانگین‌گیری، ارتفاع بادسنج، کیفیت داده‌برداری و نوع پوشش سطح زمین لحاظ شده باشد.

۴-۳-۳-۴-۵ رده‌بندی الگوی پوشش زمین^۵

در محاسبه بار باد باید اثرات مربوط به نوع پوشش سطح زمین در منطقه محل احداث سازه لحاظ شود. رده الگوی پوشش انتخاب شده در محاسبات باید تا حد امکان بیانگر وضعیت ناهمواری‌ها و پراکندگی عوارض طبیعی و مصنوعی موجود در در ساختگاه باشد. برای انتخاب یک رده پوشش مناسب برای ساختگاه، باید وضعیت عارضه‌نگاری، پوشش گیاهی و همچنین عوارض احداث شده موجود در منطقه طرح مورد ارزیابی قرار گیرد. در این استاندارد، انواع رده‌های الگوی پوشش سطح زمین مطابق با زیر تعریف می‌شود:

الف- الگوی پوشش A: این رده شامل مراکز بزرگ شهری دارای حداقل ۵۰٪ ساختمان با ارتفاعی بیشتر از ۲۰ m می‌شود. استفاده از این رده مواجهه باید محدود به مناطقی باشد که زمین نماینده رده A،

1- Working Stress Design (WSD)

2- Allowable Stress Design (ASD)

3- Load & Resistance Factor Design (LRFD)

4- Extreme-value statistical analysis procedures

5- Exposure categories

در راستای رو به باد برای فاصله‌ای حداقل برابر با بزرگ‌ترین مقدار 1500 m یا ده برابر ارتفاع دودکش فولادی، غالب باشد. چنانچه دودکش فولادی در ناحیه پشت ساختمان‌های مجاور یکدیگر احداث شود، باید اثرات محتمل ناشی از فشردگی مقطع جریان باد (اثر ونتوری)، که به صورت افزایش فشار وابسته به سرعت نمود خواهد داشت، در محاسبات منظور شود.

ب- الگوی پوشش B: این رده شامل نواحی شهری و حومه شهر، نواحی جنگلی یا سایر نواحی با ساختمان‌های مسکونی مستقل از یکدیگر ولی نزدیک به هم می‌شود. استفاده از این رده پوشش باید محدود به نواحی باشد که در آن‌ها زمین نماینده رده B، در راستای رو به باد در فاصله‌ای حداقل برابر با بزرگ‌ترین مقدار 500 m یا ده برابر ارتفاع دودکش فولادی باشد.

پ- الگوی پوشش C: این رده شامل زمین‌های باز با موانع پراکنده عموماً دارای ارتفاعی کوچکتر از 10 m است. این گروه شامل زمین‌های مرتفع، روباز و چمنزارها است.

ت- الگوی پوشش D: این رده شامل مناطق مسطح و بدون مانعی است که در معرض بادهایی قرار دارند که بر سطح یک پهنه آزاد آبی، مسافتی با طول حداقل 1500 m را درنور دیده‌اند. این رده باید صرفاً در مورد آن دسته از دودکش‌های فولادی به کار رود که در معرض باد وزیده شده از سمت پهنه‌های آزاد آبی قرار دارند. عمق گسترش رده پوشش D در نواحی ساحلی، در طولی برابر با بزرگ‌ترین دو مقدار 500 m یا 10 برابر ارتفاع دودکش از موقعیت خط مبنای ساحلی در نظر گرفته می‌شود.

۴-۳-۳-۴-۶ سرعت باد بر فراز تپه‌ها، صخره‌ها و تندشیب‌ها^۱

ضوابط این زیربند باید در خصوص تپه‌های منفرد و یا صخره‌ها و تندشیب‌های واقع در نواحی دارای رده‌های پوشش سطح B، C یا D، که در آن‌ها زمین رو به باد در فاصله‌ای برابر با کوچک‌ترین دو مقدار $50H_H$ یا 1500 m عاری از چنین عوارض عارضه‌نگاری باشد، اعمال شود. فاصله مزبور از نقطه‌ای که H_H تعیین می‌شود اندازه گرفته می‌شود. در این ضابطه، H_H برابر ارتفاع تپه، صخره یا تندشیب است.

افزایش سرعت باد روی تپه‌های منفرد و صخره‌ها یا تندشیب‌ها، که نمایانگر تغییرات ناگهانی در وضعیت کلی عارضه‌نگاری یک منطقه هستند، باید در طراحی دودکش‌های فولادی احداث شده روی نیمه فوقانی تپه‌ها و ناحیه تاج تپه‌ها (در حالت تپه‌های با فرم دو بعدی و طولی) و یا نزدیک به لبه صخره‌ها و تندشیب‌ها، با استفاده از ضریب K_{zt} مطابق با رابطه زیر، در نظر گرفته شود:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (19)$$

شکل‌های نمادین و مشخصات هندسی تپه‌های منفرد و تندشیب‌های موضوع این زیربند و همچنین مقادیر متغیرهای K_1 ، K_2 و K_3 در شکل ت-۱ از پیوست ت ارائه شده است.

هنگامی که $H_H/L_H < 0.2$ بوده، یا H_H کوچکتر از ۵ m برای رده پوشش D، یا ۱۰ m برای رده پوشش C، یا کوچکتر از ۲۰ m برای سایر رده‌های پوشش باشد، نیازی به منظور کردن اثر افزایش سرعت باد نیست. L_H برابر فاصله افقی راس تپه و یا تند شیب تا نقطه متناظر با $0.5H_H$ تعریف می‌شود. در هر حال، ضریب K_{zt} را نباید کوچکتر از ۱/۰ فرض نمود.

۴-۳-۳-۴-۷ ضریب اثر تندباد

ضریب اثر تندباد، G_f ، برای سامانه‌های مقاوم در برابر باد در دودکش‌های فولادی باید مطابق با روابط مندرج در پیوست ت تعیین شود.

۴-۳-۳-۴-۸ اثر تداخل جریان‌های باد عبوری از دودکش‌های مجاور روی ضریب نیرو^۱

در نبود آزمایش تونل باد روی مدل یا داده‌های تمام مقیاس موجود، برای گروه دودکش‌ها با فواصل مرکز به مرکز ۳ برابر قطر یا کوچکتر، افزایش در ضریب نیرو، C_f ، به میزان ۲۰٪ توصیه می‌شود. مقادیر C_f در جدول ت-۷ پیوست ت ارائه شده است.

۴-۳-۴-۴ آثار ناشی از زلزله

نیروهای جانبی زلزله باید مطابق با ضوابط مطرح شده در این زیربند منظور شوند. مشخص شده است که به علت جرم کوچک دودکش‌های فولادی، معمولاً برای دودکش‌های واقع در مناطق با خطرپذیری لرزه‌ای زیاد و بسیار زیاد (مطابق با تعاریف مطرح شده در استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۰۰) یا در دودکش‌های دارای توزیع جرم محتویات سنگین، نیروی زلزله حاکم بر طراحی دودکش است. برای تعیین آثار زلزله بر دودکش‌ها، از ضوابط نشریه شماره ۰۳۸ استفاده می‌شود.

یادآوری- با توجه به اینکه روش طراحی سازه‌ای در این استاندارد ملی، روش تنش مجاز است، باید در صورت استفاده از مقادیر ضریب اصلاح پاسخ حدی، R_u مطابق با فصل هفتم نشریه شماره ۰۳۸، مقادیر R_u برای تعیین ضریب اصلاح پاسخ در روش تنش مجاز، R_w ، در ضریب ۱/۴ ضرب شوند.

۴-۳-۴-۵ پاسخ لرزه‌ای و مدل سازه‌ای دودکش

مدل تحلیلی دودکش باید به اندازه کافی دقیق باشد، به‌طوری‌که تغییرات جرم و سختی پوسته و پوشش داخلی دودکش و همچنین شرایط پی در مدل لحاظ شود. در مدل‌سازی عددی، ارتفاع دودکش باید حداقل به ۱۰ قطعه تقسیم شود. در صورت استفاده از روش تحلیل مودی برای محاسبه پاسخ لرزه‌ای دودکش، حداقل پنج مود ارتعاشی باید در نظر گرفته شود.

مدل‌سازی دودکش به دو روش انجام می‌شود:

۱- مدل‌سازی با استفاده از اجزای پوسته (معمولاً با روش اجزای محدود)؛

1- Force coefficient interference effect

۲- مدل سازی به صورت تیر طره.

مزیت روش اول، دقت بالاتر آن و همچنین امکان در نظر گرفتن اندرکنش پوسته فلزی و پوشش داخلی در این روش است.

در صورتی که دودکش با ارتفاع زیاد بر روی خاک نرم ساخته شود، در نظر گرفتن اندرکنش سازه و خاک علاوه بر مواردی که طبق نشریه شماره ۰۳۸ الزامی دانسته شده است نیز توصیه می شود. در صورتی که پوشش داخلی دودکش متکی بر پوسته در هر نقطه از دودکش باشد، مدل سازی باید شامل پوسته و پوشش داخلی باشد و اندرکنش پوسته و پوشش در مدل لحاظ شود. چنانچه دودکش دارای سیستم مهار جانبی اعم از کابل یا قاب نگهدارنده باشد، اثرات اندرکنشی سیستم مهار جانبی در مدل سازی، تحلیل و طراحی دودکش باید در نظر گرفته شود.

۴-۳-۶ بارهای حرارتی

توزیع غیر یکنواخت گاز سوختی در دودکش فولادی یا پوشش آن ممکن است منجر به دماهای متفاوت شود. به جز مواردی که توزیع دما یکنواخت باشد یا تغییرات خطی در قطر دودکش یا پوشش داخلی آن وجود داشته باشد، تنش های حرارتی در دو راستای طولی و محیطی ایجاد خواهد گردید. علاوه بر آن، در صورتی که پوسته دودکش یا پوشش داخلی آن در معرض دماهای غیر یکنواخت در طول ارتفاع قرار گیرد و از جابه جایی جانبی آن جلوگیری به عمل آید، تنش های خمشی طولی و تنش های برشی نیز ایجاد خواهد شد. تنش های حرارتی باید در طراحی دودکش و پوشش داخلی آن مدنظر قرار گیرد.

در دودکش های در معرض دمای زیاد (بالای 260°C) و یا در معرض روشن و خاموش شدن های ناگهانی تأسیسات، نظیر عملکرد چرخه ای توربین احتراقی، باید ملاحظات طراحی در خصوص به حداقل رساندن اختلافات دمای غیر یکنواخت که ممکن است بین پوسته و سخت کننده ها یا سایر عناصر سازه ای ایجاد می شود مدنظر باشد. تنش های حرارتی موضعی ایجاد شده در ورق ها و سخت کننده های داخلی می تواند مهم باشد و باید در طراحی منظور شود.

۴-۳-۷ بارهای حین اجرا

بارهای اعمال شده در حین ساخت و اجرای دودکش باید در ترکیب بار بارهای باد و زلزله که انتظار می رود در حین اجرا به وقوع بپیوندند در طراحی مد نظر قرار گیرد.

۴-۳-۸ سایر بارها

هر نوع بار محتمل دیگر، نظیر فشارهای ناگهانی در درز انبساط، بارهای فشار، ضربه، حمل و نقل، و یا سایر بارهای منحصربفرد که در هر شرایط خاص قابل تعریف است، باید در طراحی منظور شود.

۴-۴-۴ تنش‌های مجاز

روابط بیان شده در زیربندهای این بخش برای تعیین تنش‌های مجاز در دودکش‌های دایره‌ای و پوشش‌های داخلی آن‌ها قابل استفاده است، مشروط به آن که رابطه (۲۰) برآورده شود:

$$\frac{t}{D} \leq \frac{10F_y}{E} \quad (20)$$

که در آن:

t ضخامت پوسته دودکش یا دیواره روکش، برحسب m؛

D قطر دودکش در ارتفاع مورد بررسی، برحسب m؛

F_y تنش تسلیم مصالح فولادی دودکش، برحسب kPa؛

E مدول الاستیسیته مصالح فولادی دودکش، برحسب kPa است.

افزایش تنش‌های مجاز پوسته در ترکیب بارهای شامل بار باد یا زلزله مجاز نیست.

سایر عناصر فولادی باید الزامات استاندارد AISC 360^۱ را برآورده نمایند، با این استثنا که افزایش تنش‌های مجاز پوسته در ترکیب بارهای شامل بار باد یا زلزله مجاز نیست.

دودکش‌ها و پوشش داخلی آن‌ها که الزامات رابطه (۲۰) را پوشش می‌دهند، باید چهار حالت بار تعریف شده در زیربندهای زیر را تأمین نمایند.

۴-۴-۴-۱ حالت اول، فشار طولی

تنش فشاری طولی (P/A)، در دودکش‌های استوانه‌ای و پوشش‌های داخلی آن، نباید از حد مجاز، S_{cl} ، فراتر رود:

$$\frac{P}{A} \leq S_{cl} \quad (21)$$

که در آن:

P بار مرده دودکش مربوط به بخش‌های بالای تراز مورد بررسی، برحسب N؛

A سطح مقطع دودکش، برحسب m^2 ؛

S_{cl} تنش مجاز فشار طولی، برحسب Pa است.

در صورتی که رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{t}{D} \leq \frac{2.8F_y}{E}$$

1- American Institute of Steel Construction

مقدار حد مجاز S_{cl} برابر است با:

$$S_{cl} = \frac{EtY}{4D(F.S.)} \quad (22)$$

و چنانچه رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{2.8F_y}{E} < \frac{t}{D} < \frac{10F_y}{E}$$

مقدار حد تنش برابر است با:

$$S_{cl} \leq \frac{F_y(1-0.3K_s)Y}{(F.S.)} \quad (23)$$

در صورتی که دو رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{L_e}{r} \leq 60$$

و

$$F_y \leq 345 \times 10^6 \text{ Pa}$$

آنگاه مقدار Y برابر با واحد است و اگر دو رابطه زیر برقرار باشد:

$$\frac{L_e}{r} > 60$$

و

$$F_y \leq 345 \times 10^6 \text{ Pa}$$

آنگاه مقدار Y برابر خواهد بود با:

$$Y = \frac{21600}{18000 + \left(\frac{L_e}{r}\right)^2}$$

و مقدار K_s نیز برابر است با:

$$K_s = \left(\frac{\frac{10F_y}{E} - \frac{t}{D}}{\frac{7.2F_y}{E}} \right)^2$$

که در آن‌ها:

E مدول الاستیسیته مصالح فولادی دودکش، برحسب Pa؛

t ضخامت پوسته دودکش، برحسب m؛

Y پارامتر وابسته به لاغری دودکش؛

D قطر دودکش، برحسب m؛

F.S. ضریب اطمینان تعریف شده در جدول ۱؛

L_e دو برابر ارتفاع کل دودکش برای دودکش‌های طره‌ای یا دو برابر ارتفاع بخش طره‌ای دودکش در دودکش‌های مهار شده برای تنش‌ها در بخش طره‌ای یا فاصله بین تکیه‌گاه‌های جانبی برای تنش‌ها در بخش حد فاصل تکیه‌گاه‌های جانبی برحسب m است.

۲-۴-۴-۴ حالت دوم، ترکیب فشار طولی و خمش

ترکیب تنش فشاری طولی و تنش ناشی از خمش در دودکش‌ها و پوشش‌های داخلی استوان‌های نباید از مقدار تنش مجاز، S_{bl} ، فراتر رود:

$$\frac{P}{A} + \frac{MD}{2I_{\text{section}}} \leq S_{bl} \quad (24)$$

که در آن:

S_{bl} برابر با S_{cl} در روابط (۲۲) و (۲۳) در زیربند ۱-۴-۴-۴؛

M لنگر ناشی از بار باد یا زلزله در تراز تحت بررسی بر حسب $N.m$ ؛

I_{section} ممان اینرسی مقطع دودکش نسبت به تار خنثی در تراز تحت بررسی بر حسب m^4 است.

یادآوری - برای فشار ناشی از خمش، $Y=1$ است.

۳-۴-۴-۴ حالت سوم، تنش محیطی

تنش محیطی پوسته، f_c ، در ناحیه بین سخت‌کننده‌های روی پوسته دودکش، ناشی از فشار خارجی باد در تراز تحت بررسی، q_z ، باید به این صورت تعیین شود:

$$f_c = \frac{q_z D}{2t} \quad (25)$$

تنش محیطی باید از تنش مجاز، S_{cc} ، به شرح زیر کوچکتر باشد:

$$S_{cc} = \frac{1.30EK \left(\frac{t}{D}\right)^{1.5}}{(F.S.) \left(\frac{l_s}{D}\right)} \quad (26)$$

در صورتی که:

$$0 \leq \frac{t}{D} \leq \frac{2.8F_y}{E}; K=1$$

و چنانچه:

$$\frac{2.8F_y}{E} \leq \frac{t}{D} \leq \frac{10F_y}{E}; K=1.68 \frac{F_y D}{Et} + 0.465 - \frac{0.0232Et}{F_y D}$$

که در آن‌ها:

۱_s فاصله نصب سخت‌کننده‌های روی پوسته در ارتفاع دودکش برحسب m است.

تعریف سایر متغیرها مشابه زیربندهای قبل است.

یادآوری - در محاسبه فشار خارجی باد، q_z در محاسبات این زیربند، باید مقدار ضریب C_f برابر یک منظور شود.

۴-۴-۴-۴ حالت چهارم، ترکیب تنش فشاری طولی و محیطی

ترکیب تنش فشاری طولی و تنش محیطی در دودکش‌های استوانه‌ای و پوشش آن‌ها را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد:

$$\frac{\left(\frac{P}{A}\right) + \frac{MD}{2I_{\text{section}}}}{S_{hl}} + \left(\frac{f_c}{S_{ccs}}\right)^2 \leq 1.0 \quad (27)$$

۵-۴-۴-۴ فشار محیطی در سخت‌کننده‌ها

ابعاد سخت‌کننده‌ها باید سه الزام زیر را برآورده نمایند. توصیه می‌شود کلیه الزامات بیان شده روی مقطعی شامل ورق سخت‌کننده و بخشی از ورق پوسته به عرض ۸ برابر ضخامت ورق پوسته، در هر طرف ورق سخت‌کننده، در نظر گرفته شود:

الف- مقطع ترکیبی سخت‌کننده و ورق پوسته باید دارای ممان اینرسی بزرگتر یا مساوی مقدار زیر باشد:

$$I_{s+p} \geq \frac{q l_s D^3 (F.S.)}{24E} \quad (28)$$

ب- مقطع ترکیبی سخت‌کننده و ورق پوسته باید دارای مساحتی بزرگتر یا مساوی حاصل از رابطه زیر باشد:

$$A_{s+p} \geq \frac{q l_s D}{2S_{ccs}} \quad (29)$$

فشار محیطی در سخت‌کننده‌ها نباید از مقدار زیر فراتر رود:

$$S_{ccs} = \left(\frac{EI}{D^2}\right) \left(\frac{1}{A_{s+p}}\right) \left(\frac{1}{F.S.}\right)$$

که در آن:

I ممان اینرسی مقطع سخت‌کننده و نواری از ورق پوسته، بر حسب m^4 است.

عرض نوار ورق پوسته نباید از ۸ برابر ضخامت تصویرشده سخت‌کننده فراتر رود.

پ- مدول مقطع ترکیبی سخت‌کننده و ورق پوسته (m^3) باید بزرگتر یا مساوی رابطه زیر باشد:

$$S_{s+p} \geq \frac{q_z D^2 l_s (F.S.)}{12.7 F_v} \quad (30)$$

که در آن:

q فشار بیرونی باد، q_x یا فشار کوران دودکش، q_p در تراز تحت بررسی، برحسب Pa؛

I_{s+p} ممان اینرسی مقطع ترکیبی سخت کننده و پوسته، برحسب m^4 ؛

A_{s+p} مساحت مقطع ترکیبی سخت کننده و پوسته، برحسب m^2 ؛

S_{s+p} اساس مقطع ترکیبی سخت کننده و پوسته، برحسب m^3 ؛

S_{ccs} فشار محیطی در مقطع ترکیبی سخت کننده و پوسته، برحسب Pa؛

و تعریف سایر متغیرها مشابه زیربندهای قبل است.

۴-۴-۴ ضرایب اطمینان

دودکش باید برای کمینه ضریب اطمینان، **F.S.** در ترکیبات بار ارائه شده در جدول ۱ طراحی شود.

جدول ۱- ضرایب اطمینان (F.S.)

ضریب اطمینان	ترکیب بار
۱/۵۰	مرده + زنده + سایر بارها + حرارتی + (باد طولی یا عرضی)
۱/۵۰	مرده + زنده + سایر بارها + حرارتی + زلزله
۱/۳۳	مرده + زنده + سایر بارها + حرارت غیرعادی + (یک چهارم بار باد در راستای طولی)
۱/۳۳	بارهای حین اجرا

۴-۴-۴-۷ کمینه ضخامت ورق پوسته و بیشینه فواصل سخت کننده‌ها

کمینه ضخامت ورق پوسته دودکش‌های فولادی و بیشینه فواصل سخت کننده‌ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- کمینه ضخامت ورق پوسته و بیشینه فواصل سخت کننده‌ها

بیشینه فواصل سخت کننده‌ها	کمینه ضخامت ورق پوسته (mm)	قطر داخلی، D (mm)
5D	۳	$D \leq 1.0$
3D	۵	$1.0 \leq D \leq 2.5$
2D	۵	$2.5 \leq D \leq 5.5$
1.5D	۶	$D > 5.5$

۴-۴-۴-۸ تنش کشش گسیختگی خزشی

در بارهای دائمی وارد بر دودکش و در شرایط بهره‌برداری در دمای بالای $400^\circ C$ ، بسته به خواص شیمیایی فولاد، مقاومت گسیختگی - خزشی فولاد، عامل مهمی در تعیین تنش مجاز کششی طراحی است.

الف- به علت خواص طبیعی فولاد، تنش‌های مجاز خزشی صرفاً برای محدود ساختن تنش‌های کششی مستقیم یا تنش‌های کششی ناشی از خمش که تحت ترکیبات بارگذاری دائمی در دماهای بالا ایجاد می‌شود، به کار می‌روند. خزش و گسیختگی خزشی بسیار وابسته به خواص شیمیایی فولاد است. برخی فولادهای کربنی نظیر استاندارد ASTM A36، بسیار مستعد خزش و گسیختگی خزشی هستند، در حالی که سایر فولادها تقریباً در برابر خزش مقاومند. تعیین دقیق ترکیبات شیمیایی فولاد برای کمی‌سازی ویژگی‌های خزش و گسیختگی ناشی از آن، مورد نیاز است.

ب- عمر طراحی خزش باید بر مبنای عمر و شرایط بهره‌برداری مورد انتظار سازه انتخاب شود. طراحی برای خزش عمدتاً مبتنی بر خواص خزش و گسیختگی خزشی متناظر با یک عمر خزش صد هزار ساعته است. این عمر طراحی برای خزش، طول عمری است که در فصل دوم استاندارد ASME BVPC برای طراحی دیگ‌های بخار (بویلرها) و مخازن تحت فشار^۱ مطرح شده است. عمر طراحی کوتاه‌تر یا بلندتر را می‌توان بسته به عمر بهره‌برداری مورد انتظار دودکش به کار برد.

پ- بیشینه تنش طراحی کشش خزشی مجاز برگرفته از فصل یکم استاندارد ASME BVPC برای طراحی بویلرها و ظروف تحت فشار، نباید از کوچکترین مقدار به‌دست آمده از دو عبارت زیر فراتر رود:

۱- تنش میانگین برای ایجاد نرخ خزش ۱٪ در صد هزار ساعت با ضریب اطمینان ۱/۰؛

۲- تنش میانگین برای ایجاد گسیختگی خزشی پس از صد هزار ساعت با ضریب اطمینان ۱/۵.

ت- تنش‌های مجاز کششی خزشی برای برخی از انواع فولاد به کار رفته در دودکش‌ها و کانال‌های فولادی، به عنوان مرجع در پیوست ث، بر اساس مرجع ASCE40112 [4]، ارائه شده است. مقادیر ارائه شده در مرجع فوق، صرفاً به عنوان یک راهنمایی ذکر شده است. تنش مجاز کششی گسیختگی خزشی، مورد استفاده در طراحی دودکش‌ها، باید بر اساس داده‌های آزمایشگاهی بیانگر ترکیب شیمیایی دقیق فولاد مورد استفاده در ساخت دودکش، به‌دست آید.

۴-۴-۵ تغییر شکل‌ها

۴-۴-۵-۱ تغییر شکل جانبی

بیشینه تغییر شکل جانبی باید محاسبه شود و در تعیین آن باید دوران یا جابه‌جایی شالوده منظور شود. تنش‌های اضافی ناشی از اثر $P-\Delta$ و سایر آثار ثانویه (مرتبه دوم) باید برای دودکش‌ها با تغییر شکل‌های جانبی بزرگتر از ۳۰۰ mm در هر ۳۰ m ارتفاع دودکش منظور شود. بیشینه تغییر شکل محاسباتی باید در ارزیابی فاصله آزاد مورد نیاز بین تجهیزات و سازه‌های نزدیک دودکش مد نظر باشد. برای اعمال آثار اندرکنش خاک-سازه برای برآورد تغییر شکل جانبی، می‌توان از نشریه شماره ۰۳۸ یا استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۰۰ استفاده نمود.

1- ASME Boiler & Pressure Vessel Code

۲-۵-۴-۴ دودکش‌های دو جداره یا دارای چند دودرو

نیروهای ناشی از تماس بین روکش‌ها و پوسته دودکش‌های فولادی دو جداره یا دارای چند دودرو، ناشی از افزایش سرعت باد تا حد سرعت طراحی باید در کلیه ترازهای پوسته و روکش‌ها منظور شود. در صورتی که پوسته بیرونی تغییرشکل یافته، تحت اثر بار باد، با روکش‌های شاقول شده تماس پیدا کند، پوسته بیرونی و روکش‌ها با یکدیگر به صورت یک مقطع مرکب تغییرشکل می‌دهند. دودکش بیرونی باید به گونه‌ای طراحی شود تا کلیه تنش‌ها را بدون کمک روکش‌ها تحمل کند. در هر حال روکش‌ها باید به گونه‌ای طرح شوند که تنش‌های ناشی از تغییرشکل جانبی را تحمل نمایند.

۳-۵-۴-۴ ملحقات و یا نقاط تماس

در طراحی و تعیین جزییات ملحقات و یا نقاط تماس با پوسته و یا پوشش داخلی، باید جابه‌جایی‌های قائم و تغییرشکل‌های جانبی منظور شود. عدم پیش‌بینی جزییات اجرایی مناسب می‌تواند منجر به ایجاد بارها و تنش‌های ناخواسته در سیستم شود.

۶-۴-۴ ناپیوستگی‌های پوسته سازه‌ای

۱-۶-۴-۴ ناپیوستگی‌ها

بازشوها در پوسته باید به گونه‌ای طراحی شوند که کمینه ضرایب اطمینان مشخص شده برای شرایط مختلف بارگذاری، تأمین شود.

الف- بالا و پایین بازشوی محل اتصال مجرای انتقال گاز به دودکش باید به میزان کافی مسلح شود تا تنش‌های ایجاد شده در مقطع ناپیوستگی پوسته به کل محیط پوسته منتقل شود.

ب- طرفین بازشوی محل اتصال مجرای انتقال گاز به دودکش باید به صورت ستون یا اعضای کششی عمل کنند تا واکنش‌های انتهایی تیرهای افقی مفروض در بالا و پایین بازشو را تحمل نمایند. مقاومت موجود هر مقطع انتخابی در ارتفاع بازشو باید برای تحمل کلیه بارهای وارده در تراز آن مقطع، کافی باشد.

پ- عناصر مسلح‌کننده بازشوی محل اتصال مجرای انتقال گاز به دودکش را می‌توان به عنوان ابزاری برای اتصال مجرا به پوشش داخلی یا پوسته مورد استفاده قرار داد. چنانچه این مسلح‌کننده‌ها در معرض جریان گاز عبوری باشند، باید خوردگی مجاز در آن‌ها مدنظر قرار گیرد.

۲-۶-۴-۴ اتصالات فلنجی (وصله پیچی) پوسته دودکش

عموماً اتصالات وصله جوشی در پوسته دودکش به اتصالات وصله پیچی ترجیح داده می‌شود، زیرا پیوستگی بین مقاطع دودکش با جوش تأمین می‌شود. اگر اتصالات وصله پیچی مورد استفاده قرار گیرد، طراح باید ملاحظات زیر را مدنظر قرار دهد:

الف- پیچ‌ها باید هم برای کشش ناشی از لنگر خمشی و هم نیروی اضافی اهرمی شدن به علت خروج از مرکزیت پیچ و خمش در اتصال طراحی شوند.

ب- توصیه می‌شود فواصل مرکز به مرکز پیچ‌ها از ۱۵۰ mm فراتر نرود. طراح می‌تواند فواصل کوچکتری بین پیچ‌ها برای کاهش ضخامت بال و کاستن از احتمال نشت گاز به کار گیرد.

پ- کلیه پیچ‌ها باید مطابق با استاندارد AISC 360 سفت شوند تا پیش‌تنیدگی اولیه مورد نیاز پیچ با یکی از روش‌های ذکر شده در زیربند ۴-۸-۶-۱ تامین شود.

ت- برای جلوگیری از نشت گاز از محل بین صفحات اتصال وصله، توصیه می‌شود درز بین صفحات از سمت داخل دودکش با جوش نشت‌بند پر شود و یا با استفاده از نوع مناسبی از مواد نشت‌بند، متناسب با دما و ترکیب شیمیایی گازهای خروجی، درزبندی شود.

ث- رواداری‌های ساخت صفحات اتصال وصله در قطعات مجاور هم باید به صورتی باشد که هنگام تکمیل شدن اتصال وصله، سطوح داخلی و خارجی در تمام محیط وصله به صورت کامل با هم در تماس باشند.

ج- پیچ‌ها باید در طی بازرسی‌های ادواری دودکش، مورد بازدید قرار گیرند.

۴-۴-۷ صفحه اتصال پای دودکش

صفحه اتصال حلقوی پای دودکش و میل‌مه‌ارها باید به صورتی طراحی شود که نیروهای برشی، فشاری و کششی را به سازه نگهدارنده یا شالوده، مطابق با روش‌های طراحی معتبر، منتقل نماید. هیچ‌گونه اضافه مقاومت برای بارهای باد یا زلزله مجاز نیست.

۴-۴-۸ میل‌مه‌ارها

۴-۴-۸-۱ کشش در میل‌مه‌ار

میل‌مه‌ار باید به نحوه‌ای طراحی شوند که کلیه نیروهای برشی و کششی را به شالوده منتقل نمایند، مگر اینکه برای این منظور از روشی دیگر استفاده شود. در مقاطع دایره که به میزان کافی از محل ناپیوستگی‌های پوسته دودکش فاصله دارند، بیشینه کشش در میل‌مه‌ارها را می‌توان با استفاده از رابطه زیر تعیین کرد:

$$F_b = \frac{4M_b}{ND_{bc}} - \frac{P}{N} \quad (31)$$

که در آن:

M_b لنگر پای دودکش ناشی از بار باد یا زلزله، بر حسب N.m؛

N تعداد میل‌مه‌ارها؛

D_{bc} قطر دایره عبوری از مرکز میل‌مه‌ارها، بر حسب m؛

P بار مرده دودکش در بالای تراز مورد بررسی، برحسب N ؛

F_b بیشینه کشش در میل مهارها، برحسب N است.

۴-۸-۴ مصالح میل مهار

کلیه مصالح مورد استفاده برای میل مهارها باید مطابق با زیربند ۴-۲ باشد.

۴-۸-۴ بارگذاری میل مهار

ظرفیت‌های کششی و یا برشی میل مهار نباید از مقادیر مندرج بر حسب اندازه پیچ و مصالح مشخص شده در استاندارد AISC 360 کوچکتر باشد. هیچ‌گونه اضافه مقاومت برای بارهای باد یا زلزله مجاز نیست.

۴-۸-۴ انتقال بار بین میل مهارها و پوسته دودکش

در طراحی سازوکار انتقال بار بین میل مهارها و پوسته باید کلیه بارها و خروج از مرکزیت‌ها منظور شود. هیچ‌گونه اضافه مقاومت برای بارهای باد یا زلزله مجاز نیست.

۴-۴-۹ محفظه کف (کف کاذب)

محفظه کف (کف کاذب) باید به گونه‌ای طرح شود که کلیه بارهای پیش‌بینی شده اعمالی را تحمل نماید. این بارها شامل فشار، بار زنده (طبق زیربند ۴-۳-۲) و بار کارکنان است. کف‌های کاذب را می‌توان به شکل شیب‌دار یا مخروطی ساخت. کف‌های کاذب شیب‌دار باید دارای شیبی بزرگتر از ۵ درجه باشند. کف‌های کاذب شیب‌دار (یک‌طرفه) را می‌توان به صورت دیافراگم یا تقویت‌شده با تیرهایی زیر کف کاذب طراحی کرد. طراح باید توجه کند که کف‌های کاذب دیافراگمی یا مخروطی باید با یک عنصر محیطی دارای اندازه مناسب طراحی شود تا مقاومت کافی در برابر بارهای وارد بر کف کاذب در محل اتصال به دودکش تامین شود. همچنین طراح باید در طراحی کف کاذب خوردگی مجاز را طبق مشخصات گاز خروجی از دودکش، منظور نماید. شکست در کف کاذب ممکن است به علت وزن زیاد خاکستر انباشته و خوردگی ایجاد شود.

۴-۴-۱۰ شالوده

شالوده باید کلیه لنگرها و برش‌ها (استاتیکی و دینامیکی) را به خاک یا شمع‌های تکیه‌گاهی منتقل کند. مشخصات بتن و میلگردها باید مطابق با آخرین ویرایش استاندارد ACI 318 و ACI 301 باشد. یک مهندس ژئوتکنیک ذی‌صلاح باید نتایج آزمایش‌های مربوط به باربری خاک و ظرفیت شمع را بازبینی کند. ترکیب بارهای مرده دودکش و وزن شالوده ضرب در فاصله بین مرکز ثقل تا پاشنه پی باید حداقل ۱/۵ برابر

لنگر طراحی پای دودکش باشد (ضریب اطمینان کنترل واژگونی دودکش، حداقل ۱/۵ فرض می‌شود). این ضریب اطمینان متناسب با شرایط زلزله طرح (DBE)^۱ و باد (با دوره بازگشت ۵۰ سال) منظور می‌شود.

۴-۴-۱۱ دودکش‌های مهار شده

در یک دودکش مهار شده، بارهای خارجی اعمالی (باد، زلزله و غیره) توسط پوسته دودکش و مهارهای کششی تحمل می‌شود. عبارت کابل مهارکننده^۲ به طناب‌های فولادی یا کابل‌های سازه‌ای مصرفی در پل‌ها باز می‌شود. بعضی اوقات از این کابل به عنوان نگهدارنده^۳ نیز یاد می‌شود.

۴-۴-۱۱-۱ کابل مهارکننده

در طراحی و انتخاب کابل‌های مهارکننده، عوامل زیر باید مدنظر قرار گیرند.

۴-۴-۱۱-۱-۱ فواصل و موقعیت کابل‌های مهارکننده

کابل‌های مهارکننده باید در پلان با فواصل یکسان قرار گیرند. یک دودکش می‌تواند در چند تراز دارای مهار باشد. توصیه می‌شود در هر تراز حداقل سه کابل (در زوایای ۱۲۰ درجه‌ای از هم در پیرامون دودکش) وجود داشته باشد. زاویه ۴۵ درجه تا ۶۰ درجه میان کابل‌ها و محور افقی دودکش متداول است.

۴-۴-۱۱-۲ مهار کابل‌ها

کابل‌های مهاری باید به یک سازه ثابت و پایدار یا یک شالوده (بلوک مهاری) متصل شود. باید قطعات مهار انتهایی هر سری از کابل‌ها (کابل‌های نصب شده در یک تراز مشخص روی بدنه)، در یک تراز نسبی یکسان بالای سطح زمین قرار گیرند.

۴-۴-۱۱-۳ مصالح کابل مهارکننده

کابل‌های مهارکننده باید گالوانیزه باشد، یا در برابر خوردگی به کمک ابزار مناسب دیگری نظیر پوشش پلاستیکی یا استفاده از رشته کابل‌های فولاد ضدزنگ محافظت شود. کلیه قطعات اتصالی به کار رفته در کابل‌های مهارکننده نیز باید گالوانیزه باشد. جدول ۳ برای معیارهای انتخاب کابل ملاحظه شود. همچنین برای جزییات بیشتر به زیربند ۴-۲-۲-۴ مراجعه شود.

1- Design Based Earthquake
2- Guy wire
3- Stay

جدول ۳- معیارهای انتخاب کابل

نوع کابل	از دیدگاه تغییر شکل جانبی	از دیدگاه انبساط حرارتی	از دیدگاه اجرایی
کابل های سازه ای مورد استفاده در پل ها	به علت سختی زیاد، مقاومت خوبی در مقابل جابه جایی جانبی دارد	به خاطر سختی زیاد، انبساط حرارتی، تنش های زیادی در کابل ها، دودکش و شالوده ایجاد می کند	اتصالات مهار در هر دو انتها باید در کارگاه نصب شود. در نتیجه اصلاح طول در کارگاه محدود به لقی بست قورباغه ^۱ می شود.
کابل های فولادی ^۲	به خاطر انعطاف پذیری نسبتاً زیاد، منجر به تغییر شکل های بزرگتری می شود	انعطاف پذیری موجب انبساط حرارتی بیشتر و در عوض، تنش کوچکتري در کابل ها، دودکش و شالوده است	انعطاف پذیری به کابل اجازه می دهد که در طولی بیشتر از طول مورد نیاز و تنظیم کارگاهی قرار گیرد

۴-۴-۱۱-۴ ایجاد پیش کشیدگی در کابل یا کشیدن کابل در کارگاه

دودکش های مهار شده، تحت اثر باد دچار جابه جایی جانبی می شوند. با ایجاد کشش اولیه (پیش کشیدگی) کافی در کابل ها، این جابه جایی کاهش می یابد. نیروی پیش کشیدگی و روش اجرای آن باید توسط طراح مشخص شود. برای اجتناب از کشیده شدن کابل ها در طی اجرا که ممکن است شرایط مفروض طراحی را تغییر دهد، استفاده از کابل های از قبل کشیده شده توصیه می شود. در دودکش های دما بالا (بالا تر از 200°C)، معمولاً پیش کشیدگی کاهش می یابد، و هرچه ارتفاع دودکش بیشتر باشد، کابل مهاری منعطف تر و شل تر می شود، و بدین ترتیب تغییر شکل جانبی دودکش به خاطر این کاهش پیش کشیدگی، افزایش می یابد. بر این اساس، دودکش مهار شده باید برای هر دو وضعیت گرم و سرد مورد تحلیل قرار گیرد. در اتصال کابل مهار کننده به تکیه گاه، عموماً از یکی از انواع اتصالات کنترل کشش، مانند بست قورباغه ای استفاده می شود تا امکان تنظیم پیش کشیدگی کابل فراهم آید. اثرات دما که موجب انبساط حرارتی نامتقارن و غیر یکنواخت در دودکش و مهارها می شود باید مدنظر قرار گیرد. اثر ایجاد یخ روی مهارها نیز باید منظور شود. برای اطلاعات بیشتر به استاندارد ASCE7 مراجعه شود. مقاومت پارگی کابل ها باید با حداقل ضریب اطمینان ۳ تعیین شود. کارامدی و کفایت ظرفیت باربری قطعات اتصال و بست ها نیز باید مدنظر باشد. برای اطلاع از جزییات بیشتر در خصوص مصالح، اندازه و مقاومت، باید به مدارک فنی تولید کننده کابل مراجعه شود.

۴-۴-۱۱-۵ بازرسی فنی و نگهداری از کابل مهار کننده

باید کابل های مهار کننده به صورت ادواری بازرسی شوند. این بازرسی شامل بازبینی چشمی کابل یا سنجش الکترومغناطیسی است که تخمینی از ضخامت از دست رفته فلز آرایه می کند. برای فواصل زمانی بین بازرسی ها به زیربند ۴-۹-۴-۱ مراجعه شود. توصیه می شود میزان کشیدگی کابل ها به صورت ادواری کنترل

1- Turnbuckle

2- Wire rope

و کفایت آن تایید شود. باید کابل‌ها روغن‌کاری شوند و کشش آن‌ها هر ۵ سال یک بار مورد کنترل و تایید قرار گیرد.

۴-۱۱-۴ تحلیل دودکش‌های دارای کابل مهارکننده

پس از انجام و تکمیل ملاحظات طراحی مربوط به ارتفاع و پایداری دودکش، ترازهای قرارگیری کابل‌های مهاری، تعداد و زاویه آن‌ها نیز باید توسط طراح مشخص شود. تحلیل یک دودکش دارای کابل مهارکننده در چند تراز، به خاطر شرایط متغیر تکیه‌گاهی بسیار پیچیده است. بنابراین به‌کارگیری مدل‌سازی رایان‌های در تحلیل سازه‌ای ضروری است. در مدل‌سازی رایان‌های، پارامترهای زیر باید منظور شود:

الف- آثار رفتار غیرخطی مصالح کابل؛

ب- بارهای باد یا زلزله در راستاهای مختلف؛

پ- انبساط حرارتی دودکش؛

ت- آثار جداسازی گردباد^۱ ایجاد شده پیرامون دودکش‌های مهار شده.

۴-۱۱-۳ اتصال کابل مهارکننده به دودکش

مجموعه کامل اتصال کابل به بدنه دودکش باید بر اساس حداکثر ظرفیت باربری اعلام شده از سوی سازنده کابل طراحی شود. در صورت نیاز، پوسته دودکش باید در تراز اتصال کابل‌های مهاری با استفاده از ورق‌های حلقوی پیوسته و سخت‌کننده‌ها مسلح شود.

۴-۴-۱۲ دودکش‌های مهاربندی شده و برج نگهدارنده^۲

علاوه بر دودکش‌های خود ایستای متکی بر شالوده روی زمین و یا دودکش‌های با کابل مهاری، ممکن است به دلایل سازه‌ای ناشی از محدودیت‌ها و شرایط فیزیکی موجود و یا حتی به دلایل مسایل ایمنی، برای یک دودکش در ترازهای مختلف، سامانه‌های تکیه‌گاهی در راستای قائم یا جانبی در نظر گرفته شود. شناخت کامل فواید و مشخصات سازه‌ای سامانه‌های تکیه‌گاهی مختلف، از جمله پیش‌نیازهای ضروری برای تحلیل و طراحی دودکش‌های دارای سامانه تکیه‌گاهی مهاربندی یا دودکش‌های متکی بر برج نگهدارنده است.

۴-۴-۱۱ انواع سامانه‌های تکیه‌گاهی دودکش

دو نوع سامانه تکیه‌گاهی برای دودکش وجود دارد که شامل تکیه‌گاه قائم و تکیه‌گاه جانبی (یا مهاربندی) است. تکیه‌گاه قائم ممکن است در تراز بالاتر از سطح زمین باشد. مثالی از این نوع تکیه‌گاه

1- Vortex shedding

2- Tower-supported stacks

می‌تواند یک دودکش متکی بر یک قاب فولادی درون یک برج سازه‌ای یا یک دودکش متکی بر کف یا بالای یک ساختمان باشد. ملاحظات دودکش‌های متکی بر سایر سازه‌ها در زیربند ۴-۱۲-۳-۲ آمده است. مثالی از دودکش با اتکای جانبی می‌تواند دودکش مهاربندی‌شده به یک ساختمان و یا مهار شده با یک برج سازه‌ای باشد. یک دودکش را می‌توان در بیش از یک موضع، مهاربندی نمود. ملاحظات طراحی این نوع دودکش در زیربند ۴-۱۲-۳-۱ آمده است. بسیار مهم است که اتصال هر گونه راهرو ارتباطی بین هر ساختمان با یک دودکش از نوع لغزشی باشد، به گونه‌ای که اجازه انتقال هیچ‌گونه بار افقی بین دودکش و سازه نگهدارنده داده نشود. در غیر این صورت بازتوزیع نیروها و تنش‌ها باید در مدل‌سازی و تحلیل دودکش مدنظر قرار گیرد. برای اطلاعات بیشتر برای تحلیل به زیربند ۴-۱۲-۳ مراجعه شود.

۴-۱۲-۲ مزایای دودکش‌های دارای سامانه‌های تکیه‌گاهی قائم و مهاربندی شده

دودکش‌هایی که در تراز بالاتر از سطح زمین مستقر می‌شوند معمولاً علاوه بر امکان اتصال کانال انتقال گاز (اگزوز) از جوانب بدنه دودکش، امکان اتصال کانال مزبور از موقعیت زیر دودکش را نیز خواهند داشت. یک دودکش مهاربندی شده در مقایسه با یک دودکش خودایستا با همان ارتفاع، به شالوده کوچک‌تری نیاز خواهد داشت، زیرا بخشی از بار باد به سازه مهاربندی جانبی منتقل خواهد شد. همچنین به علت نحوه انتقال بار ذکر شده، در یک دودکش دارای سازه مهاربندی جانبی نسبت به یک دودکش خودایستا، تنش‌های کوچک‌تری در پوسته ایجاد خواهد شد و بر این اساس دودکش مهاربندی شده دارای پوسته‌ای نازک‌تر و یا قطری کوچک‌تر خواهد بود. در دودکش‌های دارای چند سکو و دودکش‌های مرتفع، می‌توان به جای استفاده از نردبان دسترسی از تراز زمین، دسترسی به سکوها را با ایجاد راهروهایی از ساختمان مجاور دودکش تامین کرد. دودکش‌های متکی بر برج نگهدارنده، دارای این سودمندی هستند که سازه برج می‌تواند یک قاب در دسترس و ایمن را برای پلکان‌ها و سکوهایی انجام آزمایش‌ها فراهم سازد.

۴-۱۲-۳ تحلیل

باید دودکش بر اساس مدلی که در آن صلبیت سازه نگهدارنده و همچنین اجزای متصل‌کننده دودکش به سازه نگهدارنده در نظر گرفته می‌شود، مورد تحلیل قرار گیرد. برای تحمل تنش‌های موضعی ناشی از واکنش‌های ناشی از بارهای باد یا زلزله بر بدنه دودکش، استفاده از سخت‌کننده‌های محیطی روی بدنه در هر تراز مهاربندی، ضروری است.

۴-۱۲-۳-۱ دودکش‌های متکی بر دیگر سازه‌ها

ممکن است دودکش‌ها به صورت جانبی بر سایر سازه‌ها نظیر برج‌ها و ساختمان‌ها متکی باشند. در محاسبه بار باد طراحی، اثر حفاظ گونه ساختمان مهارکننده مجاور را نباید در نظر گرفت. توصیه می‌شود مجموعه مهاربندی، اجازه جابه‌جایی قائم ناشی از انبساط حرارتی را بدهد. دودکش‌ها می‌توانند در راستای قائم نیز به دیگر سازه‌ها متکی باشند. برای تحلیل صحیح، باید اندرکنش سازه‌ای بین دودکش و سازه نگهدارنده مدنظر قرار گیرد.

۴-۱۲-۳-۲ دودکش‌های متکی بر وجه فوقانی سایر سازه‌ها

بعضی اوقات، دودکش‌های سبک و کوتاه روی وجه فوقانی تجهیز قرار دارند که مستقیماً زیر دودکش مستقر است. در این حالت، باید توجه ویژه‌ای به اتصال مناسب دودکش و تجهیز و روند انتقال بار به تجهیز نگهدارنده مدنظر قرار گیرد. در صورت امکان، طراح قادر است یک قاب سازه‌ای مستقل را برای نگهداری دودکش و یک درز انبساط زیر دودکش برای اتصال دودکش به تجهیز بدون انتقال بار بین آن‌ها در نظر گیرد. در صورت امکان، می‌توان دودکش را روی بام یک ساختمان قرار داد؛ یا آن که دودکش را در حالتی که از داخل بام عبور می‌نماید و در آن تراز مهار می‌شود، روی یک کف سازه‌ای در تراز پایین‌تر مستقر نمود. در هر حال، وضعیت اتصال پای دودکش باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

۴-۱۳-۴ نشانه‌گذاری‌ها (مربوط به بخش طراحی سازه‌ای دودکش فولادی)

A	سطح مقطع عرضی دودکش، برحسب m^2 ؛
A_{s+p}	مساحت مقطع ترکیبی سخت‌کننده و پوسته، برحسب m^2 ؛
B	قطر دودکش (صرفاً مورد استفاده در پیوست ت، محاسبه ضریب تندباد)، برحسب m؛
$\bar{b}$	ضریب تعریف شده در جدول ت-۳، پیوست ت؛
c	ضریب تعریف شده در جدول ت-۳، از پیوست ت؛
C_f	ضریب نیرو تعریف شده در جدول ت-۷، پیوست ت؛
D	قطر دودکش در تراز مورد بررسی، برحسب m؛
D_{bc}	قطر دایره عبوری از مرکز میل‌مه‌ارها، برحسب m؛
E	مدول الاستیسیته در دمای متوسط پوسته، برحسب Pa؛
F_b	بیشینه کششی میل‌مه‌ار، برحسب N؛
F.S.	ضریب اطمینان (طبق جدول ۱)؛
F_y	تنش تسلیم مصالح فولادی در دمای متوسط پوسته، برحسب Pa؛
f_c	تنش محیطی پوسته ناشی از فشار بیرونی باد، برحسب Pa؛
G_f	ضریب اثر تندباد بیان شده در پیوست ت
H_H	ارتفاع تپه، صخره یا تند شیب تعریف شده در شکل ت-۱ پیوست ت، برحسب m؛
h	ارتفاع دودکش، برحسب m؛
I	ضریب اهمیت تعریف شده در جدول ت-۴، پیوست ت

I_{section}	ممان اینرسی مقطع دودکش نسبت به تار خنثی در تراز تحت بررسی، برحسب m^4 ؛
I_{s+p}	ممان اینرسی مقطع ترکیبی سخت‌کننده و پوسته، برحسب m^4 ؛
I_z	ضریب شدت آشفته‌گی جریان باد در تراز محاسبه بار باد ($\bar{z}$)، مطابق با روابط مندرج در پیوست ت؛
K	ضریب تنش محیطی پوسته؛
K_z	ضریب اصلاح سرعت باد، برآورد شده در ارتفاع z ؛
K_{zt}	ضریب عارضه‌نگاری برای محاسبه فشار در راستای باد؛
K_1, K_2 و K_3	ضرایب عارضه‌نگاری بیان شده در شکل ت-۱، پیوست ت؛
L_e	دو برابر ارتفاع کل دودکش برای دودکش‌های طره‌ای یا دو برابر ارتفاع بخش طره‌ای دودکش در دودکش‌های مهارشده برای محاسبه تنش‌ها در بخش طره‌ای یا فاصله بین تکیه‌گاه‌های جانبی برای محاسبه تنش‌ها در بخش حد فاصل تکیه‌گاه‌های جانبی، برحسب m ؛
L_H	فاصله افقی راس تپه و یا تندشیب در شکل ت-۱ پیوست ت، در جهت مخالف جریان باد، تا نقطه‌ای که اختلاف تراز آن برابر با $0.5H_H$ باشد، برحسب m ؛
L_z	مقیاس طول پایه در محاسبات آشفته‌گی جریان در یک ارتفاع معادل، برحسب m ؛
l_s	فاصله میان سخت‌کننده‌های محیطی روی پوسته، برابر مجموع نصف فاصله تا سخت‌کننده‌های مجاور در هر سمت سخت‌کننده مورد بررسی، برحسب m ؛
M	لنگر در دودکش در تراز مورد بررسی ناشی از بارهای باد یا زلزله، برحسب $N.m$ ؛
M_b	لنگر در پای دودکش ناشی از بارهای باد یا زلزله، برحسب $N.m$ ؛
M_0	لنگر در پای دودکش ناشی از بارگذاری $\bar{w}(z)$ ، برحسب $N.m$ ؛
N	تعداد میل‌مهارها؛
N_1	ضریب مورد استفاده برای محاسبه ضریب پاسخ تشدید؛
n_1	فرکانس اول طبیعی دودکش، برحسب Hz ؛
P	بار مرده دودکش مربوط به قسمت‌های بالای تراز مورد بررسی، برحسب N ؛
Q	ضریب پاسخ پیش‌زمینه؛
q_p	فشار کوران دودکش، برحسب Pa ؛

q_x	فشار خارجی باد روی پوسته دودکش در تراز مورد بررسی، برحسب Pa؛
R	ضریب پاسخ تشدید؛
R_B , R_h و R_d	ضرایب پاسخ تشدید به کار رفته در پیوست ت؛
R_n	یکی از پارامترهای به کار رفته در پیوست ت در محاسبه ضریب اثر تندباد، G_f ؛
R_u	ضریب اصلاح پاسخ (ضریب رفتار) در تعیین آثار زلزله وارد بر دودکش در روش مقاومت؛
R_w	ضریب اصلاح پاسخ (ضریب رفتار) در تعیین آثار زلزله وارد بر دودکش در روش تنش مجاز؛
r	شعاع ژیراسیون میانگین وزنی در تراز مورد بررسی، برحسب m؛
S_{bl}	تنش مجاز در حالت ترکیب فشار طولی و خمش، برحسب Pa؛
S_{cc}	تنش مجاز فشاری محیطی پوسته، برحسب Pa؛
S_{ccs}	تنش مجاز فشاری محیطی در مقطع ترکیبی شامل مقطع سخت کننده و نواری از ورق پوسته، برحسب Pa؛
S_{cl}	تنش مجاز فشاری طولی در پوسته، برحسب Pa؛
S_{s+tp}	اساس مقطع ترکیبی سخت کننده و پوسته، برحسب m^3 ؛
t	ضخامت پوسته دودکش یا دیواره پوشش داخلی، برحسب m؛
V	سرعت مبنای باد متناظر با یک سرعت تندباد ۳ s در ارتفاع ۱۰ m بالای سطح زمین دارای رده پوشش C، با احتمال فراگذشت برابر یا کمتر از ۲٪ در سال (دوره بازگشت متوسط ۵۰ سال)، برحسب m/s؛
$\bar{V}_z$	میانگین ساعتی سرعت باد، برحسب m/s؛
$w(z)$	مقدار کل بار باد وارد بر دودکش در راستای جریان باد، در واحد طول ارتفاع دودکش، برحسب N/m؛
$\bar{w}(z)$	مقدار متوسط بار باد وارد بر دودکش در راستای جریان باد، در واحد طول ارتفاع دودکش بر حسب N/m؛
$w_D(z)$	مقدار نوسان بار باد وارد بر دودکش در راستای جریان باد، در واحد طول ارتفاع دودکش، برحسب N/m؛
Y	ضریب به کار رفته برای محاسبه تنش فشاری طولی؛
z	تراز محاسبه بار باد از پای دودکش، برحسب m؛

$\bar{z}$ ارتفاع معادل دودکش، بر حسب m؛

$\bar{\alpha}$ ضریب تعریف شده در جدول ت-۲، پیوست ت؛

β مقدار نسبت میرایی کل؛

$\bar{\epsilon}$ ضریب تعریف شده در جدول ت-۲، پیوست ت؛

η پارامتر مورد استفاده برای تعیین ضریب پاسخ تشدید است.

۵-۴ بارهای دینامیکی باد

۴-۵-۱ ملاحظات کلی

در این زیربند، آثار دینامیکی بار باد وارد بر دودکش مد نظر قرار می‌گیرد. از آنجا که دودکش‌های فولادی، سازه‌های سبک، انعطاف‌پذیر و با میرایی ذاتی کم هستند، آثار دینامیکی باد باید در طراحی منظور شود.

۴-۵-۲ پاسخ‌های دینامیکی

۴-۵-۲-۱ مشخصات دینامیکی

مشخصات دینامیکی شامل بسامدهای طبیعی، شکل‌های مودی متناظر و میرایی باید در بارگذاری دینامیکی باد لحاظ شود. کلیه مودهای ارتعاشی که ممکن است در اثر بارهای باد ایجاد شوند باید مورد بررسی قرار گیرند.

۴-۵-۲-۱-۱ بسامدها

بسامدهای ارتعاش دودکش و شکل‌های مودی متناظر با آنها، تابعی از پیکربندی دودکش و شرایط تکیه‌گاهی قائم و جانبی هستند. بسامدها و شکل‌های مودی باید با استفاده از یک روش مدل‌سازی ریاضی مناسب محاسبه شوند.

۴-۵-۲-۱-۲ مدل‌سازی ریاضی

برای تحلیل دینامیکی سازه‌های با پیکربندی پیچیده از روش‌های محاسباتی جامع و دقیق استفاده می‌شود. برخی از این نوع پیکربندی‌ها شامل دودکش‌های با قطر و ضخامت متغیر، دودکش‌های با پوشش‌های داخلی، دودکش‌های دارای کابل مهاری و یا سیستم تکیه‌گاه جانبی، دودکش‌های مرتفع متکی بر برج خرابایی نگهدارنده^۱، دودکش‌های دارای چند دودرو، و دودکش‌های دارای شالوده‌های انعطاف‌پذیر می‌شود. در این موارد باید از روش‌های تحلیل اجزای محدود استفاده شود. برای پیکربندی‌های ساده می‌توان بر اساس قضاوت مهندسی از مدل‌های تحلیل ساده‌تری استفاده نمود.

1- Derrick-supported stacks

الف - مدل سازی شرایط تکیه گاهی (اندرکنش خاک - سازه): در دودکش های مستقر بر بستر سنگی یا خاک مستحکم و یا متکی بر شمع های اتکایی، فرض پایه گیردار در مدل محاسباتی قابل پذیرش است. در دودکش های فولادی مستقر بر ساختمان ها، آثار اندرکنش دودکش و ساختمان را باید لحاظ کرد. در دودکش های متکی بر شالوده سطحی مستقر بر خاک یا شمع های اصطکاکی، روش های مناسب تحلیلی را باید برای منظور کردن آثار اندرکنش به کار برد. ممکن است برای منظور کردن عدم قطعیت های خصوصیات خاک، انجام مطالعات پارامتری ضروری باشد. با مراجعه به نشریه شماره ۰۳۸ یا استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۰۰ می توان آثار اندرکنش خاک - سازه را لحاظ نمود. ملاحظات در خصوص خوردگی یا فرسایش دودکش یا پوشش آن که می تواند روی بسامد تاثیرگذار باشد باید مدنظر قرار گیرد.

ب - میرایی: دودکش های فولادی دارای میرایی سازه ای ذاتی نسبتاً کوچکی هستند. مواردی چون پوشش داخلی آجری و دیرگداز، نوع سامانه شالوده، و یا به کارگیری روش های ایرودینامیکی که تشکیل جریان های گردبادی اطراف دودکش را مختل می کنند، می تواند مقداری میرایی سیستم را افزایش دهد. البته روش های ایرودینامیکی ممکن است در برخی شرایط باعث کاهش میرایی هم شود.

برای بار باد، مقادیر نسبت میرایی سازه ای، β_s ، نشان داده شده در

جدول ۴ برای دودکش های فولادی قابل استفاده است. در صورت وجود شرایط تکیه گاهی با مقادیر میرایی ذاتی بزرگ و یا استفاده از روش های میراکننده مذکور در بند ۴-۵-۳، مشروط بر وجود توجیه آزمایشگاهی و یا تحلیلی، می توان مقادیر نسبت میرایی را متفاوت با جدول ۴ در نظر گرفت. در خصوص دودکش های متکی بر قاب های فولادی، ملاحظات ویژه ای در این خصوص باید مدنظر قرار گیرد.

جدول ۴ - مقادیر نسبت میرایی سازه ای، β_s

مقدار نسبت میرایی		
دودکش فولادی جوشی	با تکیه گاه صلب ^۱	با تکیه گاه انعطاف پذیر ^۲
بدون پوشش	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
دارای پوشش ^۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶

^۱ شالوده های مستقر بر بستر سنگی، شمع های اتکایی یا سایر وضعیت های تکیه گاهی صلب

^۲ در شالوده های دارای شمع های اصطکاکی یا پی گسترده مستقر بر خاک یا سایر وضعیت های تکیه گاهی ارتجاعی

^۳ پوشش باید دارای حداقل ضخامت ۵۰ mm و وزن مخصوص ۱۶ kN/m³ باشد تا بتوان آن را در این جدول مورد استفاده قرار داد.

۴-۵-۲-۱-۳ میرایی ایرودینامیکی

میرایی ایرودینامیکی را نیز باید مد نظر قرار داد. مقدار نسبت میرایی ایرودینامیکی، β_a ، به این صورت قابل محاسبه است:

الف- پاسخ سازه در راستای باد^۱

$$\beta_a = \frac{C_f \rho \bar{D} \bar{V}_z}{4\pi m_a n_1} \quad (32)$$

که در آن:

C_f ضریب نیرو، تعریف شده در جدول ت-۷ پیوست

ρ جرم حجمی هوا، برحسب kg/m^3

$\bar{D}$ متوسط قطر مقطع برای قطعه مورد بررسی بین دو تراز z_1 و z_2 است که ترازهای z_1 و z_2 نیز حدود بالا و پایین بخشی از دودکش بوده که حداکثر تغییرات قطر در آن برابر با ۳۰٪ (به صورت $\bar{D} \pm 15\%$) است. در حالتی که تغییرات قطر مقطع در قطعه واقع در یک سوم فوقانی دودکش محدود به دامنه $\pm 10\%$ درصد باشد، مقدار $\bar{D}$ برابر متوسط قطر همان قطعه واقع در یک سوم فوقانی دودکش در نظر گرفته می‌شود، برحسب m

$\bar{V}_z$ سرعت متوسط ساعتی باد، برحسب m/s

m_a جرم واحد طول، در قسمت یک سوم فوقانی دودکش، برحسب kg/m

n_1 فرکانس طبیعی سازه در مود ارتعاشی تحت بررسی، برحسب Hz است.

ب- پاسخ سازه در راستای عمود بر باد^۲

در این حالت، آثار میرایی ایرودینامیکی در روش‌های پیوست ج مطرح شده است.

نسبت میرایی کل سیستم برابر است با:

$$\beta = \beta_c + \beta_a \quad (33)$$

۴-۵-۲-۲-۲ پاسخ سازه دودکش در برابر جریان باد

الف- جداسدن گردباد: برای تعیین بارهای عرضی ناشی از باد در دودکش‌های قائم یا نزدیک به قائم (تغییرات قطر در یک سوم فوقانی دودکش کوچکتر از $\pm 10\%$)، باید سرعت میانگین ساعتی در پنج ششم ارتفاع دودکش بالای سطح زمین، $V_{z_{cr}}$ (بر حسب m/s) باید برای برآورد سرعت جداسدن گردباد بحرانی به کار رود. مقدار $V_{z_{cr}}$ بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

1- Along wind response

2- Crosswind motion response

$$V_{z_{cr}} = \bar{b} \left(\frac{Z_{cr}}{10} \right)^{\bar{a}} V_R \quad (34)$$

که در آن:

$V_{z_{cr}}$ میانگین ساعتی سرعت باد در ارتفاع Z_{cr} ، برحسب m/s؛

$\bar{b}$ ضریب تعریف شده در جدول ت-۳، پیوست ت؛

$\bar{a}$ ضریب تعریف شده در جدول ت-۲، پیوست ت؛

V_R سرعت مرجع طراحی، برابر حاصل ضرب سرعت مبنای باد در جذر ضریب اهمیت سازه، برحسب m/s؛

Z_{cr} ارتفاعی برابر پنج ششم ارتفاع کلی دودکش، برحسب m است.

سرعت بحرانی باد در جداسدن گردباد (m/s) برای هر مود ارتعاش به این صورت قابل تعیین است:

$$V_c = n_1 \bar{D} / S \quad (35)$$

که در آن:

V_c سرعت باد بحرانی برای پدیده جداسدن گردباد، برحسب m/s؛

S عدد استروهل است که معمولاً برای دودکش‌های منفرد برابر ۰٫۲ در نظر گرفته می‌شود.

۱- چنانچه $V_c < V_{z_{cr}}$ باشد، بارهای جداسدن گردباد باید برای کلیه مودهای نوسان محاسبه شود. برای محاسبه می‌توان از روش ارائه شده در پیوست ج استفاده کرد. در این حالت، تحلیل خستگی سازه باید در نظر گرفته شود. نیازی به ترکیب این بارها با بارهای وارد بر سازه در راستای جریان باد نیست.

۲- اگر $V_{z_{cr}} < V_c < 1.2V_{z_{cr}}$ باشد، بارهای جداسدن گردباد را باید برای تمام مودهای نوسان محاسبه نمود. روش انجام این محاسبه در پیوست ج تشریح شده است. بارهای محاسبه شده را می‌توان با ضریب $(V_{z_{cr}}/V_c)^2$ کاهش داد. نیازی به انجام تحلیل خستگی نیست.

۳- در صورتی که $V_c > 1.2V_{z_{cr}}$ باشد، می‌توان از جداسدن گردباد صرف‌نظر کرد.

در دودکش‌های با قطر متغیر، محدوده‌ای از سرعت‌های بحرانی را باید لحاظ کرد. روش ذکر شده در پیوست ج را می‌توان برای دودکش‌های دارای قطر متغیر به کار گرفت.

ب- بیضی‌شدن^۱ مقطع: اعمال نیروهای ناشی از پدیده جداسدن گردباد در میانه دودکش می‌تواند منجر به تشدید بیضی‌شدن مقطع شود. دودکش پوشش‌دار مقاومت بیشتری در برابر بیضی‌شدن از خود نشان می‌دهد، زیرا پوشش به ایجاد فرکانس طبیعی بالا و افزایش میرایی حلقه ارتجاعی کمک می‌کند؛

1- Ovalling

بنابراین نیازی به منظور کردن پدیده بیضی شدن در این نوع دودکش‌ها نیست. دودکش‌های بدون پوشش دارای میرایی بسیار کمی برای محدود کردن و کنترل پدیده بیضی شدن هستند و ممکن است تنش‌ها و تغییرشکل‌های قابل توجهی را در سرعت بحرانی باد برای وقوع پدیده بیضی شدن تجربه کنند. در دودکش‌های فولادی بدون پوشش، فرکانس طبیعی پدیده بیضی شدن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$f_o = \frac{2487t}{D^2} \quad (36)$$

که در آن:

t ضخامت پوسته دودکش، برحسب m؛

D قطر دودکش، برحسب m؛

و سرعت بحرانی باد (m/s) برای وقوع پدیده بیضی شدن برابر است با:

$$v_{co} = \frac{f_o D}{2S} \quad (37)$$

اگر v_{co} کوچکتر از $\bar{V}_z$ باشد، دودکش بدون روکش باید با سخت‌کننده‌های حلقوی برآورده‌کننده الزامات جدول ۲ مسلح شود. کمینه مدول مقطع مورد نیاز ورق سخت‌کننده، S_s ، نسبت به محور خنثی مقطع عرضی آن موازی با محور طولی دودکش، برحسب m^3 برابر است با:

$$S_s = 0.11(v_{co})^2 D^2 I_s / \sigma_a \quad (38)$$

که σ_a را باید برابر با $0.6F_y$ منظور کرد.

در نواحی که تیغه‌های مارپیچ^۱ به بدنه دودکش متصل می‌شود، سخت‌کننده‌های حلقوی را می‌توان حذف کرد به شرطی که بتوان ثابت کرد تیغه‌های مارپیچ، سختی کافی را ایجاد می‌نمایند.

پ- آثار تداخلی^۲ جریان باد: دودکش واقع در پایین دست دودکش‌های دیگر ممکن است تحت بارهای ناشی از پدیده جداشدن گردباد به بزرگتری نسبت به یک دودکش فاقد مانع قرار گیرد. در صورتی که فاصله میان دودکش‌ها، **A**، تقسیم بر قطر دودکش واقع در پشت مانع، $\bar{D}$ ، کوچکتر از ۱۵ باشد، عدد استروهل، **S**، باید از رابطه (۳۹) به دست آید. افزایش سرعت جداشدن گردباد و بارهای ناشی از آن باید مدنظر قرار گیرد. چنانچه راستای جهت باد نزدیک به راستای خط چینش دودکش‌ها باشد، ممکن است سرعت بحرانی، V_c ، به حدی افزایش یابد که مقدار آن فراتر از حد کنترل‌کننده $1.2V_{ze}$ شود.

۱- در صورتی که $A/\bar{D} \leq 15$ باشد:

1- Helical stakes

2- Interference effects

$$S=0.16+\frac{1}{300}\left(\frac{A}{D}-3\right) \quad (39)$$

۲- چنانچه $A/D > 15$ باشد:

$$S=0.20$$

۳- در دودکش‌های مشابه هم که فواصل مرکز به مرکز آن‌ها کوچکتر از ۳ برابر قطر میانگین است، و همچنین برای دودکش‌های غیر مشابه، آثار تداخلی جریان باید بر اساس نتایج مدل آزمایشگاهی یا نتایج سایر مطالعات انجام شده روی آرایش‌های مشابه با وضع طراحی موجود، تعیین شود.

۴-۵-۳ جلوگیری از ارتعاشات بیش از حد

روش‌های متعددی برای جلوگیری از ارتعاشات نامطلوب و بیش از حد، در طراحی دودکش مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف این بند، تعیین روش دقیق برای استفاده در طراحی دودکش‌ها نیست بلکه ارایه روش‌هایی است که به طور موفقیت‌آمیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تجربیات به دست آمده نشان داده است که به کارگیری یک یا چند روش آیرودینامیکی، میرایی و سخت‌کنندگی، می‌تواند در جلوگیری و یا کاهش تشدید ارتعاشات سازه مؤثر باشد.

۴-۵-۳-۱ روش‌های آیرودینامیکی

روش‌های آیرودینامیکی، در تشکیل جریان گردباده اطراف دودکش اختلال ایجاد نموده، بر این اساس منشأ ایجاد نوسان را محدود می‌کنند.

۴-۵-۳-۱-۱ تیغه‌های مارپیچ دور دودکش

در این روش یک مجموعه سه‌تایی از تیغه‌های مارپیچ ساخته‌شده از ورق خمیده، با فواصل زاویه‌ای ۱۲۰ درجه روی محیط بیرونی، به سطح پوسته دودکش متصل می‌شود. این تیغه‌ها باید در همه نقاط عمود بر سطح دودکش باشند. لازم است گام مارپیچ پنج برابر قطر آیرودینامیکی (قطر مورد استفاده در محاسبات آیرودینامیکی) و ارتفاع تیغه‌ها برابر یک دهم قطر آیرودینامیکی باشد. در یک سوم ارتفاع فوقانی دودکش باید تیغه‌هایی با ضخامت سازه‌ای مناسب تعبیه شود. هر تیغه، به جز در موقعیت‌های خاصی که بریدگی‌هایی برای قرارگیری سخت‌کننده‌های حلقوی یا سایر ملحقات مورد نیاز است، باید به لحاظ آیرودینامیکی پیوسته باشد. بیشینه پهنای درز موجود بین پوسته دودکش و تیغه مارپیچ باید یک دهم ضخامت تیغه باشد. وجود تیغه‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای، نیروهای پسا را افزایش می‌دهد و استفاده از ضریب نیروی پسا برابر ۱/۴ به همراه قطر بیرونی دودکش، شامل پوشش‌ها و عایق‌ها، توصیه می‌شود. استفاده از تیغه‌های عمودی تخت به جای تیغه‌های مارپیچ، روش قابل قبولی برای مختل نمودن تشکیل جریان گردابی پیرامون دودکش نیست.

۴-۵-۳-۱-۲ پوشش‌های حفره‌دار (مجوف) روی دودکش^۱

یکی دیگر از روش‌های ایجاد پایداری در مقابل ارتعاشات جانبی، نصب پوشش استوان‌های شکل حفره‌دار روی ۳۰٪ فوقانی ارتفاع دودکش است. درز بین این پوشش و پوسته دودکش باید بین ۶٪ تا ۱۲٪ قطر دودکش باشد. حفره‌های دایره‌ای شکل باید به گونه‌ای طرح شوند که مجموع قطر حفره‌های دایره‌ای ۵٪ تا ۷٪ بزرگتر از قطر دودکش باشند. همچنین لازم است حفره‌ها حداقل ۳۰٪ مساحت پوشش مجوف روی دودکش را شامل شود. مقادیر بیان شده به صورت حداقلی است و می‌توان آن‌ها را در صورت انجام آزمایش تغییر داد.

۴-۵-۳-۲ روش‌های میراکننده

دسته دیگری از روش‌های کنترل ارتعاشات نامطلوب و بیش از حد معمول دودکش‌ها، روش‌های میراکننده است که شامل قطعات الحاقی و سازه‌های کمکی می‌شود که انرژی دینامیکی را از دودکش متحرک جذب و مستهلک می‌کنند.

۴-۵-۳-۱-۲ میراگر جرمی

میراگر جرمی، یک سامانه جرم-فنر ثانویه است که به بالای دودکش متصل می‌شود. نسبت جرم سامانه ثانویه به جرم معادل دودکش در محل اتصال معمولاً کوچکتر از ۵٪ است. این روش قابلیت تأمین نسبت میرایی تا ۵٪ را دارد.

۴-۵-۳-۲-۲ بالشتک‌ها (واشرها)ی میراگر^۲

کنترل میرایی در یک دودکش را می‌توان با نصب بالشتک‌ها (واشرها)ی میراگر در تراز پای دودکش تأمین کرد. جای‌گذاری این بالشتک‌ها باید به گونه‌ای صورت گیرد که تمامی مسیرهای انتقال تنش بین دودکش و تکیه‌گاه آن فقط از طریق این قطعات میراگر باشد. برای این کار لازم است یک بالشتک (واشر) میراگر و یک واشر فولادی زیر هر مهره میل‌مهار قرار گیرد. نتایج قبلی نشان می‌دهد که این روش قابلیت تأمین نسبت میرایی تا ۳٪ را دارد.

۴-۵-۳-۳ سایر ابزارهای تأمین میرایی

به‌کارگیری ادوات دیگری، نظیر زنجیرهای آویز^۳ یا میراگرهای ضربه‌ای^۴ بین روکش و پوسته (در دودکش‌های دوجداره یا دارای چند دودرو) به افزایش میرایی سیستم سازه‌ای دودکش در طی دوره ارتعاش کمک می‌نماید. مقادیر میرایی تأمین شده با این ادوات باید در طراحی یا آزمایش مشخص شود.

1- Shrouds
2- Performed fabric pads
3- Hanging chains
4- Impact damping

۴-۵-۳ روش‌های مبتنی بر تغییر سختی سیستم سازه‌ای

پاسخ دودکش به پدیده جداشدن گردباد را می‌توان به‌طور قابل توجهی با تغییر در قطر بحرانی، ارتفاع، توزیع جرم، افزودن تکیه‌گاه‌های جانبی یا کابل‌های مهارکننده به سامانه دودکش، تحت تأثیر داد. تغییر در این عوامل را می‌توان برای افزایش سرعت بحرانی به مقداری فراتر از $1.2V_{z_{cr}}$ یا کوچکتر از سرعت بحرانی به یک مقدار قابل پذیرش به کار برد.

۴-۵-۴ نشانه‌گذاری‌ها (مربوط به بخش تحلیل دینامیکی دودکش فولادی در برابر باد)

- A** فاصله افقی بین مرکز دودکش‌های مجاور هم، برحسب m؛
- $\bar{b}$** ضریب بیان شده در جدول ت-۲، پیوست ت؛
- C_f** ضریب نیرو بیان شده در جدول ت-۶، پیوست ت؛
- D** قطر دودکش در تراز مورد بررسی، برحسب m؛
- $\bar{D}$** قطر میانگین قطعه بین دو تراز z_1 تا z_2 ، برحسب m؛ در دودکش‌ها با تغییر کمتر از $\pm 10\%$ در یک سوم فوقانی دودکش، مقدار $\bar{D}$ در یک سوم فوقانی محاسبه می‌شود؛
- f_0** فرکانس طبیعی بیضی شدن مقطع دودکش، برحسب Hz؛
- I** ضریب اهمیت بیان شده در جدول ت-۴، پیوست ت؛
- l_s** فاصله میان سخت‌کننده‌های محیطی، برابر با مجموع نصف فاصله سخت‌کننده مورد بررسی تا سخت‌کننده‌های مجاور، برحسب m؛
- m_a** جرم در واحد طول یک سوم فوقانی دودکش، برحسب kg/m؛
- n_1** فرکانس طبیعی برای مود مورد بررسی، برحسب Hz؛
- S** عدد استروهل که معمولاً در دودکش‌های منفرد برابر با 0.2 به کار می‌رود و ممکن است به علت اعداد رینولدز و وجود چند دودکش، تغییر نماید؛
- S_s** کمینه مقدار مدول مقطع سخت‌کننده‌های دودکش، برحسب m^3 ؛
- t** ضخامت پوسته یا روکش دودکش، برحسب m؛
- V** سرعت مبنای باد متناظر با یک سرعت تندباد ۳ s در ۱۰ m بالای زمین در رده C، متناظر با یک احتمال معادل یا فراگذشت سالانه 2% (دوره بازگشت ۵۰ سال)، برحسب m/s؛
- V_c** سرعت باد بحرانی برای پدیده جداشدن گردباد، برحسب m/s؛
- V_R** سرعت طراحی مرجع که برابر است با V ضرب در جذر ضریب اهمیت دودکش $\sqrt{I}$ ؛

برحسب m/s؛

$\bar{V}_z$ سرعت متوسط ساعتی باد، برحسب m/s؛

$V_{z_{cr}}$ سرعت متوسط ساعتی باد در z_{cr} ، برحسب m/s؛

V_{co} سرعت بحرانی باد برای وقوع پدیده بیضی شدن مقطع، برحسب m/s؛

Z_{cr} ترازى برابر با پنج ششم ارتفاع دودکش، برحسب m؛

$\bar{\alpha}$ ضرایب ارایه شده در جدول ت-۲، پیوست ت

β نسبت میرایی کل شامل مجموع نسبت میرایی آیرودینامیکی، β_a ، و نسبت میرایی سازه‌ای،

β_s

π عدد پی برابر با ۳٫۱۴۱۵۹۳

ρ جرم حجمی هوا برابر با ۱/۲۲۵ kg/m³

σ_a تنش کششی مجاز در سخت‌کننده‌های دودکش، برحسب Pa؛

۶-۴ دسترسی و ایمنی

۱-۶-۴ دامنه کاربرد

این زیربند در مورد طراحی و اجرای تجهیزات نصب شده دائمی است که به‌طور معمول برای دسترسی به دودکش‌های فولادی به‌کار می‌روند. تجهیزات به‌کار رفته در اجراء، بازرسی فنی و تخریب دودکش‌های فولادی مشمول این زیربند نیست.

۲-۶-۴ کلیات

۱-۲-۶-۴ هدف

منظور از دسترسی ایمن، حفاظت از افراد با تامین حداقل استانداردهای مورد نیاز برای طراحی، نصب، تعمیر و نگهداری تجهیزات به‌کار رفته برای دسترسی به دودکش‌های فولادی است.

۲-۲-۶-۴ محدودیت‌ها

دسترسی به یک دودکش فولادی باید صرفاً برای بازرسی فنی، آزمایش، نمونه‌برداری، تعمیر و نگهداری تأمین شود. در صورت وجود مقررات محدودکننده دولتی یا محلی، نباید دسترسی تعبیه شود.

۳-۲-۶-۴ تعمیر و نگهداری تجهیزات

کلیه تجهیزات به کار رفته در تأمین دسترسی باید همیشه در یک وضعیت قابل بهره‌برداری باقی بمانند. بازرسی نردبان‌ها، سکوها و سایر تجهیزات به کار رفته برای دسترسی به دودکش‌های فولادی باید با یک برنامه منظم و ترجیحاً هر سال یک بار صورت گیرد.

۴-۲-۶-۴ جوش کاری

کلیه جوش کاری‌ها باید مطابق با استاندارد AWS D1.1 منتشر شده توسط انجمن جوش کاری ایالات متحده یا فصل نهم استاندارد ASME BPVC برای کیفیت جوش کاری، لحیم کاری و ذوب کردن صورت گیرد.

۵-۲-۶-۴ ضوابط ایمنی

نردبان‌ها، سکوها و سایر تجهیزات مورد استفاده برای دسترسی به دودکش‌های فولادی باید مطابق استاندارد OSHA 29 CFR, Part 1910 یا ضوابط ملی معادل آن باشد. از جمله این ضوابط می‌توان به آیین‌نامه ایمنی کار در ارتفاع و آیین‌نامه حفاظتی کارگاه‌های ساختمانی اشاره کرد.

یادآوری- اطلاعات بیشتر در خصوص آیین‌نامه‌های ایمنی و حفاظتی منتشر شده در وبگاه مرجع ذی‌صلاح قانونی^۱ آن در دسترس قرار دارد.

۱- آیین‌نامه‌های بیشتر در این وبگاه <https://crtosh.mcls.gov.ir> قابل دسترس است

۶-۲-۶-۴ تعاریف

۶-۲-۶-۴-۱ حفاظ: حصاری است که به صورت محفظه‌ای روی نرده‌های جانبی پلکان ثابت نصب شده یا به سازه بسته می‌شود تا فضای صعود نردبان را محصور کند (به شکل ۱ مراجعه شود).

۶-۲-۶-۴-۲ ابزار حفاظت برای صعود: یک سامانه حفاظتی قائم به جز حفاظ که همراه با نردبان بدون نیاز به تنظیم مداوم ابزار، از سقوط کارکنان از روی نردبان جلوگیری خواهد کرد.

۶-۲-۶-۴-۳ میله دستگیره: یک ابزار قرار گرفته در مجاورت نردبان که به منظور تأمین دسترسی یا خروج ایمن افراد استفاده کننده از نردبان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶-۲-۶-۴-۴ نردبان: ابزاری شامل پله‌هایی است که در آن فرد می‌تواند روی آن بالا یا پایین برود و دارای نرده‌های کناری یا میله‌هایی به عنوان دستگیره است.

۶-۲-۶-۴-۵ نردبان پهلوگذر^۱: نردبانی که یک فرد برای دسترسی یا خروج به آن نیاز دارد و گام‌های آن در پهلوی پلکان قرار دارد.

۶-۲-۶-۴-۶ نردبان میان‌گذر^۲: نردبانی که یک فرد برای دسترسی یا خروج به آن نیاز دارد و گام‌های آن بین نرده‌ها قرار دارد.

۶-۲-۶-۴-۷ تکیه‌گاه نردبان: ابزاری برای اتصال یک نردبان به یک سازه، ساختمان یا تجهیز

۶-۲-۶-۴-۸ سکوی توقف یا استراحت^۳: سطحی که به هنگام انتقال فرد از یک بخش از نردبان به بخش دیگر یا برای استراحت به کار می‌رود.

۶-۲-۶-۴-۹ طول صعود^۴: میزان کل صعود عمودی که یک فرد قادر است در طی مسافت بین نقاط حدی دسترسی یا خروج از یک نردبان ثابت بالا رود، که در آن نردبان دارای یک طول نامنقطع باشد و یا شامل چند بخش باشد. این فاصله قائم کل با در نظر گرفتن تمام فضاهای بین تمام گام‌های نردبان یا پلکان و کلیه فضاهای برخوردکننده قائم بین نقاط حدی دسترسی یا خروج تعیین می‌شود.

۶-۲-۶-۴-۱۰ شیب^۵: زاویه بین افق و نردبان که از وجه پستی نردبان نسبت به راستای صعود سنجیده می‌شود (شکل ۲).

1- Ladder, sSide step

2- Ladder, step through

3- Landing or rest platform

4- Length of climb

5- Pitch

۴-۶-۲-۱۱ سکو: سطحی که برای کار، ایستادن یا انتقال از یک نردبان به نردبان دیگر به کار می‌رود.

۴-۶-۲-۱۲ قابل بهره‌برداری: قابلیت اجرای یک کارکرد مدنظر با پارامترهای طراحی آن

۴-۶-۲-۱۳ نرده کناری: اعضای کناری نردبان ثابت که در فواصلی به هر پله یا گام متصل می‌شود

۴-۶-۲-۱۴ تخته پنجه^۱: یک حفاظ نصب شده در طول لبه نمایان یک سکو برای جلوگیری از سقوط اجسامی که می‌توانند برای افراد در پایین، مخاطره‌آمیز باشد.

۴-۶-۲-۱۵ چاه پلکان^۲: یک محفظه دیواری در اطراف یک نردبان ثابت، که شخص را هنگام بالا رفتن از نردبان مانند یک حفاظ محافظت می‌کند.

۴-۶-۳ نردبان‌های ثابت

۴-۶-۳-۱ دامنه کاربرد

این زیربند در مورد نردبان‌های ثابت جدید روی دودکش‌های تازه ساخت یا موجود کاربرد دارد. نردبان‌های مورد استفاده برای دسترسی به دودکش فولادی باید مطابق با استاندارد ملی شماره ۱۸۱۷۶-۴ با موضوع نردبان‌های ثابت باشد.

۴-۶-۳-۲ مصالح ساخت نردبان

به زیربند ۴-۲ این استاندارد در خصوص مواد و مصالح ساخت مراجعه شود.

۴-۶-۳-۳ بارهای زنده

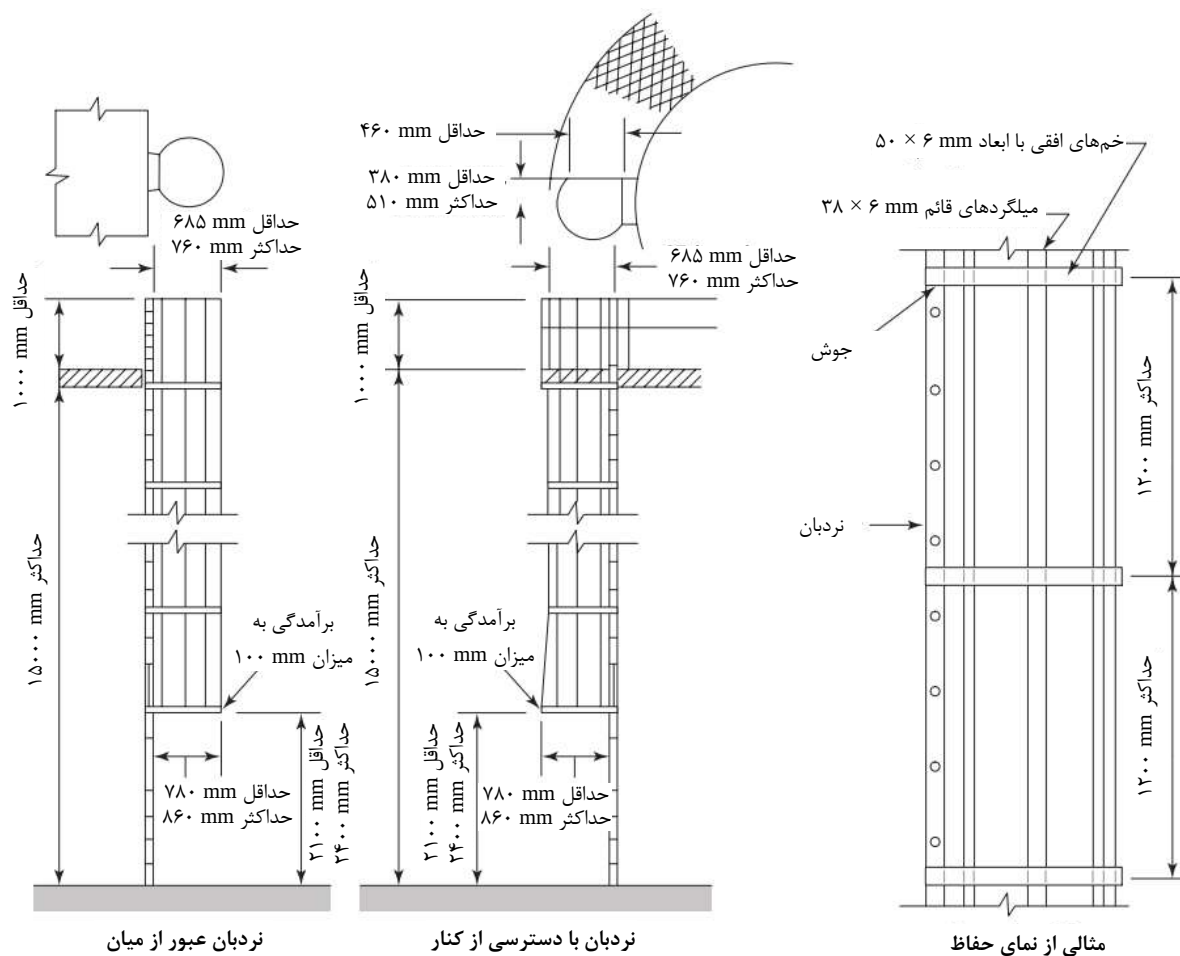
۴-۶-۳-۳-۱ بارهای زنده وارد از طرف افراد

الف- کمینه بار زنده طراحی باید دو بار متمرکز $1/1 \text{ kN}$ باشد که هر یک بین هر دو تکیه‌گاه متوالی نردبان به صورت متمرکز قرار می‌گیرد. هر گام یا پله در نردبان باید برای یک بار زنده متمرکز حداقل برابر با $1/1 \text{ kN}$ طراحی شود.

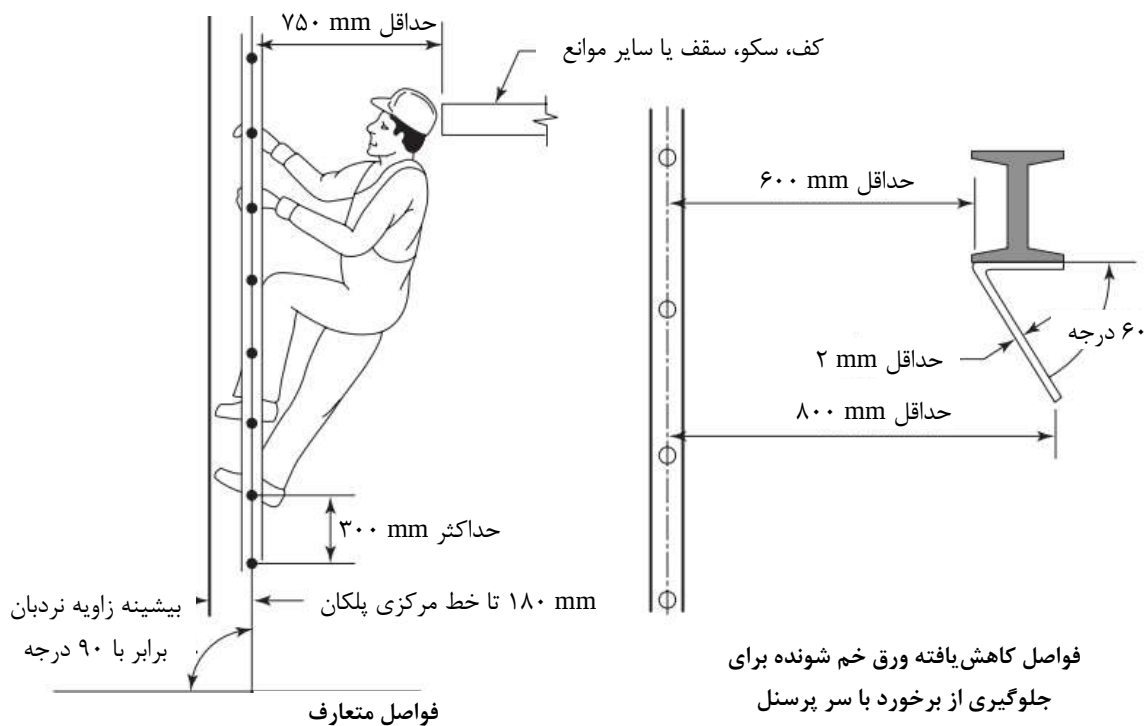
ب- تعداد و موقعیت هر بار زنده $1/1 \text{ kN}$ طبق پیش‌بینی محل قرارگیری نردبان باید در طراحی مدنظر باشد.

1- Toeboard

2- Well



شکل ۱- نمونه‌ای از ساخت قفس‌ها



شکل ۲- حداقل فواصل نردبان تا موانع

۴-۶-۳-۲ سایر بارهای زنده

بارهای زنده زیر باید در صورت کاربرد در طراحی منظور شود:

- ۱- یخ روی بخش‌هایی از نردبان و متعلقات؛
- ۲- بیشینه بار ناشی از باد یا زلزله روی کلیه قطعات نردبان؛
- ۳- بارهای ضربه پیش‌بینی شده ناشی از استفاده از ابزار حفاظت صعود کارکنان.

۴-۶-۳-۳ تمرکز بار زنده

کلیه بارهای زنده باید در یک یا چند نقطه به صورت متمرکز منظور شوند تا بیشترین تنش در عنصر سازه‌ای مورد بررسی ایجاد شود.

۴-۶-۳-۴ بارهای مرده

وزن نردبان و متعلقات متصل به آن باید به صورت همزمان با بارهای زنده در طراحی نرده‌ها، تکیه‌گاه‌ها و بست‌ها منظور شود.

۴-۶-۳-۵ شیب قرارگیری نردبان^۱

زاویه قرارگیری یک نردبان ثابت نباید هرگز از ۹۰ درجه نسبت به افق فراتر رود و نباید از ۷۵ درجه نسبت به افق کوچکتر منظور شود. شیب نباید به صورتی باشد که موقعیت فرد به هنگام صعود، پایین‌تر از نردبان باشد (به تعریف شیب در زیربند ۴-۶-۲-۶ و شکل ۲ مراجعه شود).

۴-۶-۳-۶ فواصل آزاد اطراف نردبان

فاصله خط مرکزی پله‌ها تا نزدیک‌ترین جسم دائمی روی سمت صعودکننده نردبان نباید کوچکتر از ۹۱۰ mm برای شیب ۷۵ درجه و ۷۶۰ mm برای شیب ۹۰ درجه باشد (شکل ۲ ملاحظه شود).

الف- فاصله از خط مرکزی پلکان‌ها تا نزدیک‌ترین جسم دائمی در سمت مقابل (پشت سر) نباید کوچکتر از ۱۸۰ mm باشد (به شکل ۲ مراجعه شود).

ب- به جز مواردی که از قفس استفاده می‌شود، حداقل عرض پهلوی به پهلوی ۳۸۰ mm باید در طرفین خط مرکزی نردبان در فضای صعود وجود داشته باشد (به شکل ۳ مراجعه شود).

پ- فاصله از خط مرکزی میله دستگیره تا نزدیک‌ترین جسم دائمی پشت دستگیره نباید از ۱۰۰ mm کوچکتر باشد. میله‌های دستگیره نباید در سمت صعود فراتر از پله‌های نردبانی که در حال استفاده است دارای پیش‌آمدگی باشند.

1- Pitch

۷-۳-۶-۴ سکوهای توقف^۱

اگر نردبان‌های حفاظدار برای صعود تا ارتفاع بیش از ۱۵ m مورد استفاده قرار گیرد (به جز موردی که در زیربند ۱۰-۳-۶-۴ ذکر می‌شود) سکوهای توقف باید در فواصل کوچکتر از ۱۵ m قرار داده شود. در صورتی که شرایط نصب (حتی برای یک طول نامنقطع کوتاه) مستلزم جابه‌جایی (از محور)^۲ بخش‌های مجاور باشد، سکوهای توقف باید در هر جابه‌جایی (از محور) تعبیه شوند. عمق کل سکو باید حداقل یک فضای ۷۶۰ mm از نردبان در سمت صعود را تأمین نماید. پهنای سکو نباید از ۷۶۰ mm کوچکتر باشد. الزامات شبکه فلزی و الزامات خود سکوهای توقف باید مشابه سکوهای کاری^۳ باشد (به زیربند ۳-۴-۶-۴ مراجعه شود).

۸-۳-۶-۴ ورودی یا خروجی

نرده‌های حفاظ نردبان‌های میان‌گذر و پهلוגذر باید حداقل تا ۱۱۰۰ mm بالای بام، جان‌پناه یا سکوی توقف امتداد یابند و ترجیحاً به صورت زانویی شکل^۴ باشند مگر آن‌که سایر دستگیره‌های راحت و ایمن در این مواضع به صورت مستحکم مستقر شوند.

الف- در نردبان‌های میان‌گذر، پلکان‌ها باید از این گستره حذف شوند. در نردبان‌های میان‌گذر، فاصله عرضی از خط مرکزی پله تا نزدیک‌ترین لبه سازه، ساختمان یا تجهیزات نباید کوچکتر از ۱۸۰ mm یا بزرگتر از ۳۰۰ mm باشد. در صورتی که فاصله عرضی معمول از ۳۰۰ mm فراتر رود، یک سکوی توقف باید برای ایجاد فاصله بین ۱۸۰ mm تا ۳۰۰ mm در نظر گرفته شود. در این نردبان‌ها، همان فاصله پلکان استفاده شده روی نردبان باید از سکوی توقف تا یک پله پایین‌تر از آن به کار رود (شکل ۴).

ب- در نردبان‌های پهلוגذر یا بخش‌های ثابت نردبان در سکوهای توقف، نرده‌ها و پلکان‌ها باید تا پله بعدی به میزان حداقل ۱۱۰۰ mm ذکر شده قبلی ادامه یابد. نردبان‌های پهلוגذر در نقطه دسترسی یا خروج به یک سکو باید دارای حداقل فاصله عرضی ۳۸۰ mm و حداکثر فاصله ۵۰۰ mm از خط مرکزی نردبان باشد (شکل ۳). برای سکوهای پهلוגذر، سکو باید در همان تراز یکی از پلکان‌ها واقع شود.

۹-۳-۶-۴ حفاظ‌های ایمنی

به جز موردی که در زیربند ۱۰-۳-۶-۴ ذکر می‌شود، حفاظ‌های ایمنی را باید برای کلیه نردبان‌های تا بیشینه طول نامنقطع ۱۵ m تعبیه شود (به زیربند ۷-۳-۶-۴ مراجعه شود).

1- Landing Platform
2- Offset
3- Work Platform
4- Gooseneck

الف- حفاظها باید حداقل بین ۷۵ mm تا ۱۵۰ mm بالاتر از سکوی توقف ادامه یابد مگر اینکه از روش حفاظت دیگری استفاده شود.

ب- حفاظها باید نردبان را تا نقطه‌ای به میزان حداقل ۲/۱ m تا ۲/۵ m بالای پای نردبان امتداد دهند و ناحیه تحتانی حداقل به میزان ۱۰۰ mm عریض شود یا بخشی از حفاظ که روبروی نردبان است باید تا پای دودکش ادامه یابد.

پ- حفاظها باید به حداقل میزان ۷۰۰ mm و حداکثر ۸۰۰ mm از خط مرکزی پلکان امتداد یابند. عرض حفاظ نباید کوچکتر از ۷۰۰ mm باشد. داخل حفاظ باید فاقد هرگونه پیش‌آمدگی باشد. میله‌های قائم باید در بیشینه فواصل ۴۰ درجه‌ای در پیرامون حفاظ قرار گیرند. به این ترتیب بیشینه فواصل تقریبی مرکز به مرکز میله‌های قائم حفاظ باید ۲۵۰ mm باشد. باید درون حلقه‌ها ۷ میله قائم وجود داشته باشد.

ت- میله‌های حلقوی حفاظ (میله‌های افقی) باید دارای ابعاد ۵ mm × ۵۰ mm با بیشینه فواصل مرکز به مرکز ۱۲۰۰ mm باشند.

ث- میله‌های قائم باید حداقل دارای ابعاد ۵ mm تا ۴۰ mm باشند. میله‌های قائم باید با جوش یا پیچ به یکدیگر و حلقه‌ها (ی افقی) متصل شوند و سرپیچ و مهره در سمت داخل قرار گیرد.

ج- در صورتی که نردبان دارای حفاظ به صورتی قرار گیرد که بتوان از طرف بدون پوشش بالا رفت، باید یک ورق فولادی از سطح زمین یا کف تا ارتفاع حداقل ۲۵۰۰ mm نصب شود تا از دسترسی به طرف بدون پوشش نردبان جلوگیری کند.

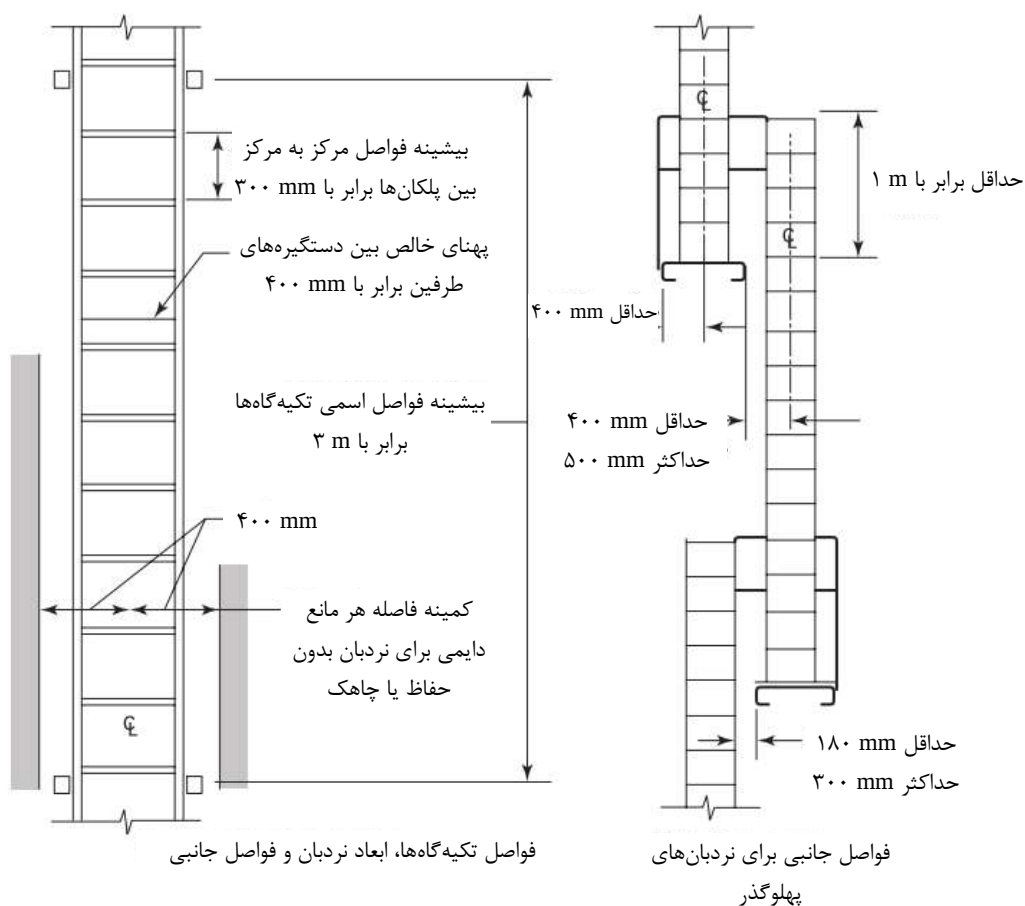
چ- در صورت نیاز به حفاظت بیشتر، ابزار محافظت‌کننده برای صعود را می‌توان همراه با حفاظها به کار برد.

۴-۶-۳-۱۰ ابزار حفاظت صعود

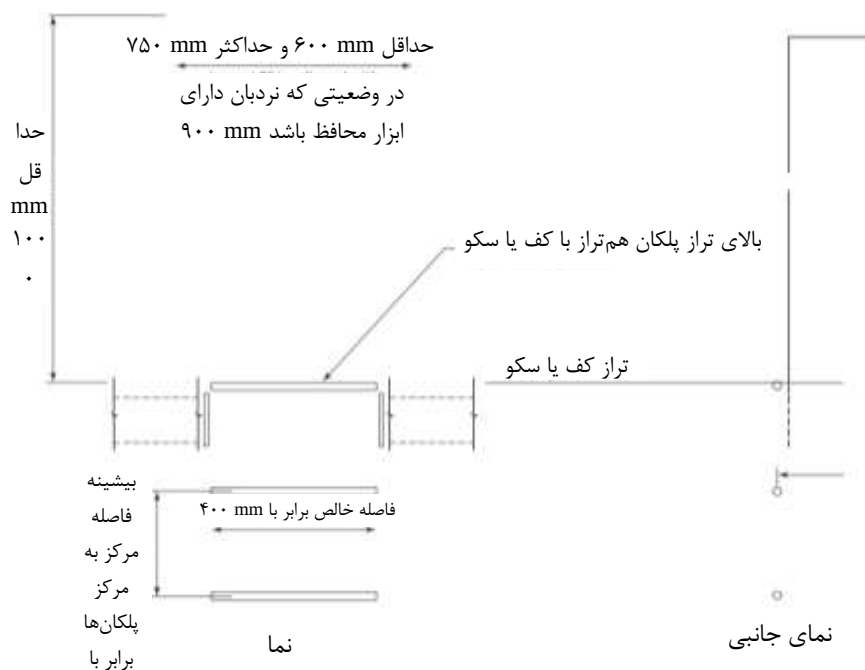
در نبود حفاظ، می‌توان از ابزار حفاظت صعود روی نردبان‌ها استفاده کرد. در این موارد، سکوه‌ای توقف باید در بیشینه فواصل ۴۵۰۰ mm تعبیه شود. ابزار حفاظت صعود که از ترمزهای اصطکاکی و اتصالات لغزشی بهره می‌برد باید الزامات استاندارد ANSI A14.3 را برآورده کند. برای احتمال خوردگی افزایش‌یافته بالای دودکش‌ها ناشی از گازهای دودکش باید ملاحظات ویژه‌ای را مدنظر قرار داد.

۴-۶-۳-۱۱ نردبان‌های کوتاه

کلیه نردبان‌های دودکش با ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ mm باید دارای حفاظ باشند یا آن‌که دارای یک ابزار ایمنی باشند مگر آن‌که نردبان در ارتفاع کوچکتر از ۴۵۰۰ mm بالای تراز زمین قرار گیرد.



شکل ۳- ابعاد، فاصله تکیه‌گاه‌ها و فواصل جانبی نردبان



یادآوری ۱- کلیه اتصالات جوشی باید سنگ‌زنی شوند.

یادآوری ۲- باید انبساط حرارتی و جابه‌جایی جانبی در کلیه اتصالات منظور شود.

شکل ۴- ابعاد سکوی توقف

۴-۶-۳-۱۲ پایه‌های جانبی

پایه جانبی باید یک میله توپر تخت و با ابعادی بزرگتر از $10 \text{ mm} \times 65 \text{ mm}$ باشد. در صورتی که استفاده از مقاطع عرضی دیگری مورد نظر باشد، آن مقاطع باید حداقل دارای مقاومتی معادل میله فولادی با ابعاد ذکر شده فوق باشد.

الف- پایه‌ها باید در فواصل داخل به داخل حداقل 400 mm و حداکثر 600 mm باشند.

ب- تمام وصله‌ها باید با تغییر مقطع هموار با همان پایه‌های اصلی و به گونه‌ای باشند که کمترین تداخل با سطح گیرایش^۱ دست‌های فرد استفاده‌کننده از نردبان فراهم شود. برآمدگی‌های تیز یا بزرگ نباید وجود داشته باشد.

پ- در صورتی که لازم باشد از کمانش یا ایجاد تنش در پایه جلوگیری شود، تمهیداتی برای انبساط ناشی از تغییرات دما باید در وصله‌های نرده مدنظر باشد.

ت- برای نردبان‌های در معرض شرایط خوردگی جوی غیرمعمول، باید فولاد مقاوم در برابر خوردگی با ضخامت افزایش‌یافته به کار رود. میزان ضخامت افزایش یافته باید از تجارب خوردگی قبلی تعیین شود.

ث- سرهای پیچ باید از نوع پهن^۲ یا دکمه‌ای باشد. سرپیچ‌ها باید در سمت داخل پایه باشد. قطر پیچ‌ها نباید کوچکتر از 15 mm باشد.

ج- با اتصالات نوع پیچی پایه، حداقل دو پیچ باید در هر سمت تعبیه شود.

چ- وصله‌های جوشی پایه باید از نوع جوش لب به لب با نفوذ کامل بین پلکان‌ها باشد و به صورت زیگزاگ حداقل به فواصل 250 mm قرار داده شود.

۴-۶-۳-۱۳ پلکان‌ها^۳ (عناصر افقی نردبان)

قطر پلکان‌ها نباید کوچکتر از 20 mm باشد. برای نردبان‌های در معرض خوردگی جوی غیرمعمول، پلکان‌ها باید از نوع میله‌های توپر حداقل به قطر 25 mm باشد. فواصل مرکز به مرکز پلکان‌ها نباید از 250 mm فراتر رود و این پلکان‌ها باید در طول نردبان به صورت یکنواخت قرار داده شوند. پلکان‌ها باید از درون حفرات نرده‌ها عبور داده شوند و به پیرامون پلکان باید به‌طور کامل به بیرون نرده‌ها جوش داده شود.

1- Gripping surface

2- Countersunk

3- Rungs

۴-۳-۶-۴ تکیه‌گاه نردبان

تکیه‌گاه‌های نردبان باید فولادی بوده، مقاومت آن حداقل برابر با مقاومت نرده باشد. تکیه‌گاه‌های نردبان را می‌توان با پیچ یا جوش به نرده‌ها متصل کرد اما اتصال آن به پوسته دودکش باید جوشی باشد. فواصل تکیه‌گاه نردبان نباید بزرگتر از ۳ m باشد. در مهار نردبان‌ها باید میزان انبساط حرارتی دودکش منظور شود.

۴-۶-۴ سکوه‌های کار

۱-۴-۶-۴ موارد لازم برای احداث سکوه‌های کار

سکوه‌های کار را باید در مواردی که وظایف کارکنان به گونه‌ای باشد که باید در ترازهای بالای زمین یا سقف ساختمان مجاور دودکش کار کنند تعبیه کرد.

۲-۴-۶-۴ الزامات مقاومت

سکوه‌های کاری باید به صورتی طراحی شوند که بارهای مورد انتظار را تحمل کنند شامل دیرک^۱، لنگرکش^۲، بازرسی معلق^۳ و داربست تعمیر و نگهداری^۴ باشد.

۳-۴-۶-۴ کف‌ها

باید سامانه کف از نوع شبکه فلزی^۵ باشد. توصیه می‌شود فضای بین میله‌های شبکه (بازشدگی) به صورتی نباشد اجسام به قطر بزرگتر از ۲۵ mm عبور کنند. باید شبکه فلزی کف مقاومت کافی برای تحمل بار زنده به شدت ۵ kPa واقع بر کل سطح سکو را داشته باشد. کمینه ابعاد سکو باید همان ابعادی باشد که برای سکوه‌های توقف ذکر شده در زیربند ۴-۳-۶-۷ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۴-۶-۴ نرده‌ها

نرده‌های مصرفی برای کلیه سکوه‌های کاری باید از جنس فولاد باشند (به زیربند ۴-۳-۶-۲ مراجعه شود). یک نرده استاندارد باید شامل ریل فوقانی، ریل میانی و تکیه‌گاه نرده^۶ باشد و ارتفاع قائم اسمی ۱/۱ m از روی کف تا ریل فوقانی در سراسر طول نرده تأمین شود. ریل میانی تقریباً باید در حد وسط بین ریل فوقانی و سکو قرار گیرد. فواصل ریل‌های افقی نرده باید به صورتی باشد که یک توپ به قطر ۵۳۰ mm نتواند از بین ریل‌ها عبور کند. نواحی انتهایی ریل نباید از روی تکیه‌گاه‌های انتهایی به صورت طره‌ای قرار گیرد مگر آن که این بخش طره‌ای به صورت یک جلوآمدگی خطرناک محسوب نشود.

1- Gin pole
2- Davits
3- Suspension inspection
4- Maintenance scaffolding
5- Grating
6- Posts

الف- نرده‌ها باید متشکل از لوله یا تیوب با قطر بیرونی حداقل ۴۰ mm یا مقاطع عرضی معادل دیگر با تکیه‌گاه‌های قائم با فواصل مرکز به مرکز کوچکتر از ۱۵۰۰ mm باشند.

ب- ریل‌های فوقانی و میانی نرده باید قادر به تحمل یک نیروی ۹۰۰ N در هر راستا و هر موقعیت نرده باشند.

۵-۴-۶-۴ صفحه پاخور (قرنیز ایمنی)^۱

صفحه پاخور باید دارای ارتفاع حداقل ۱۰۰ mm از لبه فوقانی تخته تا تراز قرارگیری سکو باشند. این قرنیزها باید به‌طور ایمن در جای خود محکم شوند و فاصله آن‌ها از روی سکو بزرگتر از ۶ mm نباشد. باید جنس آن‌ها از فولاد باشد.

۶-۴-۶-۴ دسترسی

الف- بازشوهای دسترسی به سکوهایی کاری باید دارای حفاظ باشند.

ب- در صورتی که دسترسی به سکوهایی کاری از طریق کف صورت می‌پذیرد، باید درهای پوشاننده^۲ تعبیه شود. درهای دسترسی باید همواره بسته بماند مگر مواقعی که کارکنان در حال ورود و خروج به سکو هستند. درهای دسترسی و دریچه‌های آن‌ها باید به صورت خود بسته شونده^۳ طراحی شوند.

پ- در صورتی که دسترسی به سکوهایی کاری با استفاده از نردبان‌های پهلوقدر انجام می‌شود، بازشو باید با دروازه‌های خود بسته شونده مورد حفاظت قرار گیرد.

۵-۶-۴ داربست‌زنی و بالابرهای مصرفی برای ساخت دودکش‌های فولادی

۱-۵-۶-۴ کلیات

داربست‌زنی باید مطابق با استاندارد ANSI A10.8، با عنوان الزامات ایمنی در داربست‌زنی انجام شود. یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۵۴۴۳ با عنوان «الزامات عملکردی و طراحی عمومی داربست‌ها» در این خصوص در دسترس است.

۲-۵-۶-۴ طناب‌های نجات

طناب‌های نجات^۴، کمربندهای ایمنی و مهارها باید مطابق با استاندارد ANSI A10.14 الزامات کمربندهای ایمنی، مهارها^۵، حمایل‌ها^۶ و طناب‌های نجات در کاربردهای ساختمانی و صنعتی باشند.

1- Toe boards
2- Trap doors
3- Self closing
4- Lifelines
5- Harnesses
6- Lanyards

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۲۹۷ با عنوان «تجهیزات حفاظت فردی در برابر سقوط از ارتفاع - کمربندهای استقرار در محل کار و لنیارد های محل کار» در دسترس قرار دارد.

۴-۵-۶-۳ نقاط مهار

در صورتی که داربست ها و بالابر ها برای دسترسی به دودکش های فولادی مورد استفاده قرار گیرد، نقاط مهار مناسب باید تعبیه شود. ملحقات برای داربست ها، بالابر ها و کمربندهای معلق نباید به ورق دودکش پیچ یا پرچ شود (به زیربند ۴-۵-۶-۳ مراجعه شود).

۴-۵-۶-۴ بالابر های کارکنان

بالابر های کارکنان باید مطابق با استاندارد ANSI A10.4 با عنوان الزامات ایمنی بالابر های کارکنان باشند.

۴-۵-۶-۵ سبد حمل مصالح رنگ آمیزی

از سبدهای مخصوص مصالح رنگ آمیزی نباید برای بالا رفتن، پایین آمدن و نگهداری افراد استفاده کرد. این سبدها باید صرفاً برای بالا بردن مصالح به کار روند.

۴-۶-۶ حفاظت حرارتی

۴-۶-۶-۱ سطوح داغ

دمای سطح دودکش فولادی (هنگامی که کارکنان نزدیک آنها هستند) باید حداکثر به 60°C محدود شود.

۴-۶-۶-۲ نواحی حفاظت شده

نواحی که باید مورد حفاظت قرار گیرند شامل موارد زیر است:

الف - 600 mm از عرض و کل طول نردبان ها

ب - از کف سکو تا 2400 mm بالای شبکه^۱

پ - از پای دودکش تا 2400 mm بالاتر از آن، در صورتی که دما زیاد باشد.

۴-۶-۶-۳ روند حفاظت

حفاظت را می توان با عایق کاری و پوشش دهی^۲ و یا استفاده از شبکه های دور ایست^۳ انجام داد. ابعاد شبکه نباید بزرگتر از $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ باشد.

1- Grating
2- Cladding
3- Stand-off mesh

۴-۶-۶ مواد و مصالح

مصالح به کار رفته برای مهار، پوشش و شبکه باید از نوع مقاوم در برابر خوردگی باشند و برای تحمل فشارهای باد طراحی شوند.

۴-۷ طراحی و اجرای کارهای برقی

۴-۷-۱ دامنه کاربرد

ضوابط این بند باید به کلیه موارد مربوط به دودکش فولادی اعمال شود. این موارد را نباید حین ساخت یا تخریب دودکش فولادی به کار گرفت.

۴-۷-۲ کلیات

هدف از این بخش، بیان موارد برقی معمول در دودکش‌های فولادی و تبیین استاندارد مربوط به این موارد است.

۴-۷-۳ سامانه روشنایی هشدار موانع هوایی^۱

۴-۷-۳-۱ الزامات مرجع ذیصلاح هوانوردی

پیشنهاد می‌شود تا بلافاصله پس از تعیین موقعیت و ارتفاع دودکش پیشنهادی، با مرجع ذیصلاح هوانوردی تماس گرفته شود تا الزامات ویژه آن سازمان برای روشنایی و نشانه‌گذاری^۲ تعیین شود. روشنایی هشدار هوانوردی برای دودکش‌های مرتفع‌تر از ۶۰ m مورد نیاز است و بعضاً برای دودکش‌های با ارتفاع کمتر در جوار فرودگاه، محل فرود بالگرد^۳ یا بندرگاه مورد نیاز است.

بعضی مواقع اصلاحاتی در قوانین نشانه‌گذاری و روشنایی منطقی است و می‌تواند توسط مرجع ذیصلاح هوانوردی قابل پذیرش باشد. در مورد دودکش‌های گروهی، دودکش‌های در یک ردیف، دودکش‌ها در یک مجتمع صنعتی بزرگ و غیره که سایر سازه‌ها یا دودکش‌ها وجود دارند نیز صدق کند. مرجع ذیصلاح هوانوردی در خصوص قوانین مناسب‌ترین نشانه‌گذاری و یا روشنایی در هر مورد بر حسب درخواست بررسی لازم را انجام می‌دهد.

۴-۷-۳-۲ اجزای سامانه

در صورت نیاز، یک سامانه روشنایی هشدار مانع^۴ باید مطابق استاندارد FAA AC70/7460 (یا ضوابط مرجع ذیصلاح هوانوردی) باشد. سامانه روشنایی می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

-
- 1- Aviation obstruction light system
 - 2- Marking
 - 3- Heliport
 - 4- Obstruction-marking light system

الف- نورافکن‌ها^۱: نورافکن‌هایی که در پای دودکش یا نزدیکی آن قرار می‌گیرند استاندارد نیستند اما می‌توانند با مجوز مرجع ذی‌صلاح هوانوردی برای دودکش‌های کوتاه مورد استفاده قرار گیرد.

ب- چراغ‌های قرمز رنگ هشدار مانع^۲: این چراغ‌ها در تراز مورد نیاز روی دودکش و موقعیت‌های خاصی پیرامون دودکش مطابق با استاندارد FAA AC70/7460 نصب می‌شود. باید کلیه چراغ‌های قرمز رنگ از غروب تا طلوع آفتاب در معرض دید باشند. به هنگام استفاده از سامانه چراغ قرمز، معمولاً باید تا دودکش با یک الگوی نارنجی و سفید برای نشانه‌گذاری در طول روز رنگ‌آمیزی شود.

پ- چراغ‌های سفید رنگ هشدار مانع با شدت متوسط^۳: چراغ‌های هشدار چراغ گردان (همه‌جهته)^۴ با شدت متوسط در اغلب دودکش‌ها قابل توصیه است زیرا چراغ‌های با شدت بالا عموماً در سازه‌های با ارتفاع کوچکتر از ۱۵۰ m پیشنهاد نمی‌شود. شدت سامانه نور باید کنترل شود. تعداد و موقعیت چراغ‌ها توسط استاندارد FAA AC70/7460 مشخص می‌شود. برای دودکش‌های با قطر کوچک، FAA اغلب اجازه دو چراغ را می‌دهد زیرا پرتوهای نوری آن‌ها همه جهته هستند.

ت- چراغ‌های سفید رنگ مانع با شدت زیاد: در صورتی که چراغ‌های مانع سفید تک جهته با شدت زیاد FAA مورد نیاز باشد، این چراغ‌ها باید در ترازهای خاصی از دودکش و موقعیت‌های ویژه‌ای پیرامون دودکش که توسط استاندارد FAA AC70/7460 مشخص می‌شود نصب شوند. این نوع سامانه همراه با یک ابزار کنترل حساسیت نور که برای کنترل شدت از نور آسمان استفاده می‌کند به کار می‌رود.

ث- چراغ‌های دوگانه انسداد با نور قرمز و سفید با شدت متوسط^۵: این سامانه نور ترکیبی از سامانه‌های نور قرمز و سفید است که در زیربندهای قبل تعریف شد. یک سامانه نور دوگانه اغلب در نواحی پرجمعیت به کار می‌رود که در آن‌ها استفاده از نورهای قرمز با وضوح کم در شب ترجیح داده می‌شود. استفاده از نور سفید در طول ساعات روز نیاز به رنگ‌آمیزی دودکش را با علامت‌گذاری‌های هشدار مانع^۶ مرتفع می‌نماید.

۳-۳-۷-۴ موقعیت دسترسی به سامانه روشنایی

دسترسی به چراغ‌ها برای مسایل تعمیر و نگهداری را می‌توان به کمک نردبان و سکو یا توسط یک ابزار پایین‌آورنده (که موقعیت چراغ را به یک موقعیت قابل دسترسی تبدیل می‌کند) تأمین نمود. به علت انحراف

-
- 1- Flood lights
 - 2- Aviation red obstruction lights
 - 3- Medium intensity white obstruction lights
 - 4- Omnidirectional
 - 5- Dual lighting with red/Medium intensity white obstruction lights
 - 6- Obstruction markings

گازهای دودکش رو به پایین^۱، موقعیت دسترسی به چراغ‌ها و همچنین خود چراغ‌ها باید تا حدی که استاندارد FAA مجاز بداند در تراز کم ارتفاع قرار گیرد.

۴-۷-۴ حفاظت در برابر صاعقه

الزامات حفاظت در برابر صاعقه برای دودکش‌های فولادی در استاندارد NFPA 780 با عنوان «نصب سامانه‌های حفاظت در برابر صاعقه»^۲ پوشش داده می‌شود که نیازمند دو پایانه زمینی مستقر بر دو سمت دودکش با ضخامت فلز ۵ mm یا بزرگتر است. نیازی به پایانه‌های هوایی یا هادی تحتانی نیست. در دودکش‌های مهار شده، کابل‌های فلزی مهارکننده چنانچه در بتن، یک ساختمان مصالح بنایی یا سایر تکیه‌گاه‌های غیرهادی مهار شوند باید در پایین‌ترین موضع خود به زمین متصل شوند.

۴-۷-۵ روشنایی مورد نیاز محوطه^۳

روشنایی مورد نیاز (میزان لوکس) سکوه‌های آزمایش، سکوه‌های پایش، سامانه‌های دسترسی، فضای پیرامونی و غیره را می‌توان مدنظر قرار داد و در صورت قابل کاربرد بودن به کار گرفت.

۴-۷-۶ پریزهای برق مورد نیاز^۴

پریزهای برق مورد نیاز معمولاً در طی آزمایش دودکش و تعمیر و نگهداری تجهیزات پایش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۷-۷ ابزار دقیق: نمونه برداری

ابزار دقیق برای پایش یا نمونه برداری از خروجی‌های گازهای منتشر شده از دودکش بر اساس مقررات سازمان حفاظت محیط زیست (معادل استاندارد فدرال EPA، CFR Part 60 در ایالات متحده) باید روی سطح بیرونی دودکش فولادی نصب شود به گونه‌ای که از حرارت زیاد محافظت شود و برای جابه‌جایی حرارتی و سایر جابه‌جایی‌های دودکش به کار گرفته می‌شود.

۴-۸ ساخت و نصب

۴-۸-۱ هدف

این زیربند برای تعیین میزان کیفیت ساخت و نصب و ایجاد درجه بالای ایمنی عمومی و اطمینان از این سازه‌ها تدوین شده است. در این زیربند، الزامات جوش کاری برای ساخت و نصب دودکش‌های فولادی جوش شده مطرح می‌شود.

1- Dawnwash

2- Installation of lightning protection systems

3- Convenience lighting

4- Convenience power outlets

۴-۸-۲ دامنه کاربرد

این زیربند دستورالعمل‌های پیشنهادی در خصوص ساخت و نصب دودکش‌های فولادی را در بر می‌گیرد. این زیربند مربوط به موارد زیر بوده اما محدود به آن‌ها نیست: دودکش‌های فولادی تک جداره، دو جداره و دارای چند دودرو که از نوع آزاد ایستا، خودمهار، مهار شده با کابل یا متکی بر مهاربندهای فولادی سازه‌ای یا اسکلت هستند. این دستورالعمل‌ها مربوط به ساخت در کارخانه، در کارگاه و همچنین نصب در کارگاه است.

۴-۸-۳ جوش کاری

استاندارد ANSI/AWS D1.1 یا فصل نهم استاندارد ASME BPVC باید برای کلیه ضوابط جوش کاری، نیروی انسانی، تکنیک‌ها، صلاحیت جوشکار و بازرسی جوش کاری مورد استفاده قرار گیرد. کلیه جوش‌های لب به لب باید از نوع نفوذی کامل باشند.

۴-۸-۴ بازرسی جوش کاری و آزمون غیرمخرب

بازرسی جوش کاری باید بر اساس حداقل الزامات زیر صورت پذیرد.

۴-۸-۴-۱ حداقل بازرسی جوش کاری

الف- بازرسی‌های چشمی باید در کلیه جوش‌ها در طی عملیات جوش کاری و مجدداً پس از اتمام کار انجام شود تا مقدار ذوب^۱ ایجاد شده بین لایه‌های مجاور فلز جوش و بین جوش و فلزهای مبنا تعیین شود. پس از اتمام جوش کاری، باید سرباره جوش از کلیه جوش‌ها برداشته شود. جوش و فلز جوش شده باید با برس زنی یا سایر ابزارالات مناسب تمیز شوند. بازرسی جوش باید دقت ویژه‌ای به ترک‌های سطحی، تخلخل^۲، ناخالصی سرباره‌ای سطحی^۳، بریدگی لبه جوش^۴، روی هم‌افتادگی^۵، حفره گازی^۶ و ابعاد جوش نماید. جوش کاری معیوب باید بر اساس الزامات استاندارد ASME یا AWS ذکر شده فوق مورد اصلاح قرار گیرد.

ب- حداقل یک آزمون رادیوگرافی از هر سه درز محیطی کارخانه‌ای روی پوسته سازه‌ای دودکش باید انجام پذیرد که ترجیحاً در تقاطع جوش عمودی باشد. پوسته درونی یا بیرونی باید هنگامی به عنوان پوسته سازه‌ای تلقی شود که برای تحمل آثار بار باد یا زلزله طراحی شده باشد.

1- Fusion
2- Porosity
3- Slag surface inclusion
4- Undercut
5- Overlap
6- Gas Pocket

پ- باید کلیه جوش‌های شیارهای سازه‌ای کارگاهی با نفوذ کامل به صورت چشمی مورد بازدید قرار گیرند. رادیوگرافی‌های جوش کاری وصله پوسته یا دودرو معمولاً به علت طراحی وصله‌های کارگاهی امکان‌پذیر نیست.

۴-۸-۲ انواع بازرسی جوش کاری

روش و تکنیک جوش کاری باید مطابق با مشخصات فنی خاص هر پروژه بوده، معیارهای پذیرش باید مطابق با استانداردهای ASME یا AWS باشد.

الف- بازرسی به کمک رادیوگرافی: این روش را می‌توان در کارخانه روی جوش‌های لب به لب با نفوذ کامل انجام داد.

ب- بازرسی چشمی: این روش در خصوص کلیه جوش‌های کارخانه‌ای و کارگاهی باید انجام پذیرد.

پ- بازرسی ذرات مغناطیسی^۱: این روش را می‌توان در خصوص کلیه جوش‌های مواد فرومغناطیسی^۲ انجام داد.

ت- بازرسی فراصوتی^۳: این روش باید روی کلیه جوش‌های لب به لب کارخانه‌ای با بعد بزرگتر از ۳ mm انجام پذیرد.

ث- بازرسی نفوذ مایع نافذ^۴: این روش باید در صورت نیاز به عنوان مکمل بازرسی چشمی انجام پذیرد. روش‌های استاندارد این نوع بازرسی که در استاندارد ANSI/AWS D1.1 تشریح شده است باید در بازرسی نفوذ مایع نافذ انجام شود و معیار پذیرش آن باید طبق استاندارد ASME یا AWS باشد.

۴-۸-۵ رواداری‌ها

مگر در مواردی که مشخصاً ذکر می‌شود، رواداری‌های زیر باید به عنوان مقادیر مجاز به کار رود:

الف- ناهم‌ترازی بین ورق‌ها در هر اتصال لب به لب نباید از مقادیر جدول ۵ تجاوز نماید.

جدول ۵- رواداری ناهم‌ترازی بین ورق‌ها

ضخامت ورق (mm)	بیشینه انحراف (mm)
تا ۲۰	^۱ ۰/۲۵t
۲۰ تا ۴۰	۵/۰
^۱ برابر با ضخامت اسمی ورق نازک‌تر در اتصال (mm)	

1- Magnetic particle inspection
2- Ferromagnetic material weld
3- Ultrasonic inspection
4- Dye penetrant inspection

ب- پیکینگ^۱ یک انحراف موضعی از کانتور مقطع استوان‌های دودکش از یک دایره کامل در محل اتصال است. پیکینگ اتصالات و درزها نباید بیش از ۶ mm باشد که از یک الگو به طول ۴۵۰ mm در مرکز جوش اندازه‌گیری شده و تا شعاع تعیین شده بریده می‌شود.

پ- در زمان نصب، دودکش باید قائم باشد و میزان ناشاقولی آن از ۵۰ mm در ۳۰ m فراتر نرود.

ت- در زمان نصب، تفاوت بین قطرهای درونی بیشینه و کمینه در هر مقطع عرضی پوسته استوان‌های در ارتفاع دودکش نباید از ۱٪ قطر فراتر رود.

ث- فرورفتگی‌های موضعی^۲ در ورق‌ها نباید از نصف ضخامت ورق فراتر رود.

۴-۸-۶ ساخت کارخانه‌ای و نصب در کارگاه

۴-۸-۶-۱ مونتاژ اتصالات پیچی

در خلال مونتاژ اتصالات پیچی:

الف- عملیات دریف‌تینگ در صورت لزوم نباید سوراخ‌ها را گشاد کند یا عضو را دچار اعوجاج نماید. سوراخ‌هایی که نیازمند گشاد شدن هستند را باید برقو^۳ زد.

ب- پیچ‌ها باید با استفاده از یکی از روش‌های زیر محکم شوند:

۱- روش کنترل زاویه‌ای^۴

۲- استفاده از واشرهای نشانگر بار^۵

۳- آچارهای واسنجی‌شده^۶

۴- سایر روش‌های مورد تایید

۴-۸-۶-۲ صاف‌کاری^۷

هرگونه صافکاری مورد نیاز مصالح باید با روشی انجام شود که منجر به حداقل تنش پسماند در فولاد شود.

۴-۸-۶-۳ صاف و خم کردن میل‌مه‌ار

هر گونه صاف یا خم کردن پیچ به کمک حرارت ممنوع است.

1- Peaking
2- Local Dents
3- Ream
4- Turn-of-the-nut method
5- Load-indicating washers
6- Calibrated wrenches
7- Straightening

۴-۸-۶-۴ درزهای جوش

کلیه درزهای مربوط به جوش لب به لب قائم کارخانه‌ای باید در زاویه حداقل ۲۰ درجه به صورت زیگزاگ قرار گیرند. کلیه مقاطع استوآن‌های جوش شده متصل به مقاطع استوآن‌های دیگر با جوش‌های محیطی باید دارای درزهای زیگزاگی با زاویه حداقل ۲۰ درجه باشند.

۴-۸-۶-۵ ظرفیت و شعاع کاری جرثقیل

ابعاد و بخش‌های دودکش باید به دقت محاسبه شود و با ظرفیت‌های جرثقیل در شعاع کاری جرثقیل‌های به کار رفته در نصب مقایسه شود و نباید از ظرفیت‌ها و شعاع کاری جرثقیل تجاوزی صورت گیرد.

۴-۸-۶-۶ اجزای جوش شده به دودکش

گیره‌های بالابر^۱، گوشواره‌ها^۲، سگک‌ها^۳، لچکی‌ها^۴ و سایر مواردی که به قطعات دودکش یا سایر اجزای سازه دائمی جوش داده می‌شوند و به منظور نصب یا برپایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، چنانچه لازم نباشد در آن مواضع باقی بمانند، باید بدون آسیب رساندن به فلز مبنا برداشته شوند. هر بخش از جوش باقیمانده در رویه داخلی دودکش که در معرض گاز دودکش قرار می‌گیرد باید کاملاً تراز و هموار شود. در صورتی که از پشت‌بند^۵ در جوش کاری استفاده شود، نیازی به برداشتن آن وجود ندارد.

۴-۸-۶-۷ نصب، داربست‌زنی و نردبان‌ها

نصب و داربست‌زنی، نردبان‌ها و غیره باید مطابق با ضوابط معتبر باشد.

۴-۸-۷ گروت‌ریزی

در صورتی که دودکش فولادی روی شالوده حلقوی بتنی یا ستونک^۶ بتنی مستقر می‌شود، توصیه می‌شود گروت‌ریزی پای حلقه دودکش انجام پذیرد.

۴-۸-۷-۱ ویژگی‌های گروت

پس از آن که دودکش به صورت شاقول نصب شد و میل‌مه‌ارها نیز در جای خود مستقر شدند، فضای میان کف ورق تحتانی و بالای شالوده باید گروت‌ریزی شود. گروت مورد اشاره باید از نوع غیرانقباضی باشد و باید

1- Lifting clips
2- Lugs
3- Dogs
4- Brackets
5- Backing
6- Pedestal

بدون آباندازی یا جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن به هنگام مخلوط و ریخته شدن در هر وضعیت (سیال)^۱، جاری شونده^۲، خمیری^۳ یا خشک^۴) استقرار پیدا کند و سازگار باشد.

۴-۷-۸-۲ آماده‌سازی سطوح

سطوحی که گروت‌ریزی می‌شوند باید عاری از هر گونه ماده خارجی باشند و باید قبل از گروت‌ریزی تا حد کافی مرطوب شوند.

۴-۷-۸-۳ دمای گروت و سطوح

دماهای گروت، ورق پای دودکش و شالوده در طی گروت‌ریزی باید مطابق با توصیه‌های تولیدکننده دودکش باشد.

۴-۷-۸-۴ پرکردن غلاف میل‌مهارها با گروت

در صورتی که میل‌مهارها در غلاف‌های باز واقع می‌شوند، باید در خصوص پر شدن کامل غلاف با گروت و باقی نماندن حباب هوا اطمینان حاصل کرد.

۴-۸-۸-۱ جابه‌جایی و انبارکردن

۴-۸-۸-۱-۱ جابه‌جایی

باید جابه‌جایی در طی باربرداری، نصب یا جابه‌جایی هر بخش از دودکش با استفاده از جرثقیل، بالابر، بلندکننده^۵ یا نیروی انسانی به صورت ایمن برنامه‌ریزی شود.

۴-۸-۸-۲ محافظت از اجزای دودکش قبل از نصب

در صورت تعبیه پوشش‌های محافظتی حین حمل، تا زمانی که امکان‌پذیر باشد باید در مناطق یا مکان‌های مربوط به دودکش باقی بمانند. اجزایی که قبل از نصب، مستقر قرار می‌گیرند باید از زمین دور نگهداشته شده، به‌طور صحیح قرار گیرند و مهاربندی شوند تا از آسیب‌دیدگی آن‌ها جلوگیری شود.

۴-۸-۸-۳ مقاومت کافی ادوات نصب

کلیه وسایل نصب مانند زنجیرها^۱، قلاب‌ها، گیره‌ها^۱، تیرها، قلاب مخصوص حمل و نقل^۲ و غیره باید از مقاومت کافی برای بلندکردن ایمن کلیه اجزا و قطعات برخوردار باشند.

1- Fluid
2- Flowable
3- Plastic
4- Damp-pack
5- Hoist
6- Slings

۴-۸-۸-۴ انبار کردن

شرایط انبار کردن زیر باید برآورده شود:

- الف- قطعات باید به صورتی انبار شوند که از تابیدگی^۲، تورفتگی^۳، خمیدگی و معیوب شدن جلوگیری شود.
- ب- کلیه قطعات باید بالای سطح زمین انبار شوند و به گونه‌ای قرار گیرند که در معرض گودال‌های آب، خاک، آلودگی یا آسیب به پوشش و روکش آن‌ها قرار نگیرند.
- پ- مواردی که ممکن است منجر به ایجاد زوال یا آسیب به عناصر شوند باید به دقت مورد توجه قرار گیرند.

۴-۹-۹-۴ بازرسی فنی و تعمیرات

۴-۹-۱-۹ هدف

هدف از این زیربند، شناسایی مشکلاتی است که در طی عمر بهره‌برداری دودکش‌های فولادی رخ می‌دهند و راهکارهایی برای کاهش این مشکلات به وسیله بازرسی‌های ادواری و تعمیر و نگهداری ارائه خواهد شد. برای روش و تکنیک نظام‌مند بازرسی فنی دودکش‌ها، به مرجع [5] مراجعه شود.

۴-۹-۲-۹ دامنه کاربرد

ضوابط بازرسی فنی و تعمیر و نگهداری این زیربند به پوسته دودکش، روکش‌های دودرو و متعلقات آن‌ها اعمال می‌شود.

۴-۹-۳-۹ مشکلات متداول

- الف- خوردگی در شرایط محیطی و تأثیرات آب و هوایی بر سطح بیرونی؛
- ب- خوردگی ناشی از میعان اسید در گازهای دودرو روی سطوح داخلی؛
- پ- خاکستر بادی^۵ یا تجمع ذرات در پای دودکش، محفظه کف یا فضای فوقانی^۶ دودکش؛
- ت- ایجاد میعان ناشی از رطوبت در پای دودکش؛
- ث- نفوذ اسید یا رطوبت به عایق؛
- ج- تغییر شکل ناشی از دما یا سایر بارها؛

1- Chokers
2- Lifting lugs
3- Kinked
4- Dented
5- Fly ash
6- Roof cap

چ- خوردگی پیچ های مهاري؛

ح- ترک های ناشی از خستگی؛

خ- از بین رفتن یا تخریب عایق، پوشش یا روکش؛

د- شل شدن پیچ مهارها؛

ذ- شل شدن پیچ های وصله ها؛

ر- تشکیل نقاط داغ روی پوسته دودکش های دارای روکش داخلی؛

ز- جدا شدن تکیه گاه نردبان از پوسته دودکش.

۴-۹-۴ بازرسی فنی

برای تشخیص زود هنگام مشکلات متداول، پیشنهاد می شود که دودکش به صورت ادواری مورد بازرسی فنی قرار گیرد تا بهره بردار قادر به اتخاذ تصمیمات مناسب به منظور غلبه بر مشکلات باشد.

۴-۹-۴-۱ فواصل زمانی بین بازرسی ها

تعدد بازرسی ها باید بر اساس آب و هوا، مصالح ساخت و طبیعت کاربری دودکش (مثلا نوع سوخت، دمای بهره برداری و برنامه زمانی بهره برداری) تعیین شود. گرچه سازنده دودکش می تواند این برنامه را تعیین کند اما در نبود این اطلاعات، توصیه می شود که دودکش ها در سه سال اول بهره برداری، هر یک سال یک بار مورد بازرسی فنی قرار گیرند. نتایج این بازرسی ها باید در تعیین فواصل زمانی بازرسی های بعدی به کار رود.

۴-۹-۴-۲ موارد بازرسی

۴-۹-۴-۲-۱ بازرسی بیرونی

الف- ضخامت پوسته: از ابزار فراصوتی برای آزمون غیرمخرب ضخامت پوسته یا از نمونه برداری (مغزه گیری) به عنوان آزمون مخرب می توان در این خصوص استفاده کرد تا ضخامت پوسته مورد سنجش قرار گیرد. بسته به وضعیت دودکش، یک خوانش ضخامت پوسته برای هر بخش از ارتفاع دودکش معادل قطر آن توصیه می شود. ثبت نتایج باید برای پایش خوردگی ورق پوسته دودکش نگهداری شود.

ب- خروجی^۱: آسیب، سایش و ناپیوستگی در خروجی انتهایی باید مورد بازرسی قرار گیرد و باید کلیه ایرادات ثبت شود.

پ- سامانه دسترسی: کلیه نردبان ها، مهارکننده های نردبان، قفس ها، ابزار بالابر ایمن و سکوها باید برای اطمینان از یکپارچگی و ایمنی مورد بازرسی فنی قرار داده شوند.

ت- سامانه حفاظت در برابر صاعقه: کلیه اجزا سامانه حفاظت در برابر صاعقه از جمله اتصال به زمین باید برای پیوستگی الکتریکی مورد بازرسی قرار گیرند.

ث- سامانه تکیه‌گاهی: هر مهاربند، مهارهای کابل، کابل‌های مهارکننده، بست‌های مهار و سایر موارد مشابه باید کنترل شوند. کلیه ایرادات باید یادداشت و مورد تحلیل قرار داده شود.

ج- پیچ‌ها: کلیه پیچ‌ها از جمله میل‌مهار باید بازرسی شوند.

چ- سامانه برقی: وجود میعان رطوبت در مجرای سیم‌ها و بست‌ها باید ثبت شود. خوردگی بست‌ها و مجرای سیم باید مورد توجه قرار گیرد. لامپ‌های سوخته باید مورد تعویض قرار گیرند.

ح- عایق‌کاری: خیس شدن عایق ناشی از نفوذ اسید در دودکش‌های دارای عایق محتمل است. عایق مرطوب و اشباع از اسید منجر به افزایش سرعت خوردگی پوسته و در نهایت آسیب سازه‌ای جدی خواهد شد.

۴-۹-۴-۲ بازرسی داخلی

الف- ضخامت پوسته: از آزمون غیرمخرب ابزار فراصوتی می‌توان برای سنجش ضخامت پوسته مورد سنجش قرار گیرد. بسته به وضعیت دودکش، یک خوانش ضخامت پوسته برای هر بخش از ارتفاع دودکش معادل قطر آن توصیه می‌شود. ثبت نتایج باید برای پایش خوردگی ورق پوسته دودکش نگهداری شود.

ب- روکش: این جزء دودکش بحرانی‌ترین جزء در برابر سایش، ترک‌خوردگی، فروریختن و سایر ایرادات است. این عیوب عمدتاً به خاطر رسوب ذرات پوشاننده، پنهان می‌مانند و بایدی برای شناسایی آن‌ها دقت ویژه‌ای مد نظر باشد. توصیه می‌شود خوانش (pH)^۱ به صورت سراسری انجام شود. خوانش pH را می‌توان با استفاده از کاغذ تورنسل^۲ یا معرف‌ها^۳ و یا با تحلیل شیمیایی نمونه‌های معرف خراشیده شده از سطوح روکش انجام داد.

پ- انباشت ذرات: تجمع ذرات مانند بقایای احتراق، خاکستر بادی و غیره روی دیواره دودکش و در پای دودکش یک ماتریس برای میعان‌ات اسیدی فراهم می‌کند.

۴-۹-۴-۳ موارد کلی

تغییر شکل هر جزء دودکش از جمله رأس دودکش، درزهای انبساط و ورودی‌های آزمایش و ابزار دقیق^۴، ناشی از بار حرارتی یا سایر بارها باید ثبت شود.

1- pH reading
2- Litmus paper
3- Reagents
4- Instrument ports

۳-۴-۹-۴ روش بازرسی

الف- در بازرسی‌های دقیق^۱، دودکش باید به ابزاری که به بازرسی اجازه بدهد در سراسر ارتفاع در بخش داخلی و بیرونی حرکت کند مجهز شود. تجهیزات بالابر^۲ و داربست‌زنی‌ها باید مطابق با استاندارد OSHA 29CFR.1910 باشد.

ب- کل ارتفاع دودکش باید طی شود و وضعیت عمومی داخل دودکش در فواصل منظم با توجه ویژه به نواحی معیوب عکس‌برداری شود.

۱- توصیه می‌شود تصاویر رنگی برای استفاده در گزارش تهیه شود. عکس‌های فوری را می‌توان به عنوان پشتیبان نگهداری کرد.

۲- نواحی معیوب که ممکن است یافت شود را باید ترسیم و ثبت کرد.

پ- یکپارچگی روکش باید با یک مبنای بصری مورد بررسی قرار گیرد و با یک میله ردیاب معمولی^۳ میزان سختی، صحت و یا وضعیت عمومی تکمیل شود.

ت- دودکش‌های فولادی فاقد روکش نیز باید با یکی از روش‌های غیر مخرب سنجش ضخامت نظیر ابزار فراصوتی یا آزمون مخرب سنجش ضخامت به صورت مغزه‌گیری مورد بررسی قرار داده شوند.

ث- بازرسی بیرون نیز باید شامل یک ارزیابی کلی تمام متعلقات^۴ نظیر میل‌مه‌ارها، درب نظافت^۵، نردبان، سرپوش‌ها، سامانه حفاظت در برابر صاعقه و اجزای دیگر باشد.

۴-۴-۹-۴ گزارش بازرسی فنی

حدود بازرسی فنی باید توسط بهره‌بردار دودکش مشخص شود. در نبود چنین مشخصاتی، توصیه می‌شود که گزارش بازرسی فنی دودکش شامل موارد زیر باشد:

الف- شناسایی و توصیف مختصر دودکش؛

ب- توصیف روش‌های بازرسی فنی؛

پ- تصاویر رنگی نشان‌دهنده شرایط معمول در برابر نواحی معیوب. در هر عکس باید محل تصویربرداری و همچنین شرح آنچه در عکس نشان داده شده مشخص شود؛

ت- نقشه‌ها و یا نمودارهای موقعیت تعریف‌کننده ضخامت پوسته، خوانش‌های pH و ایرادات؛

1- Thorough inspections
2- Rigging
3- Routine probing
4- Appurtenance
5- Cleanout door
6- Caps

ث- تحلیل عیوب و مشکلات ثبت شده در طی بازرسی فنی؛

ج- پیشنهاد تعمیر، نگهداری و بهسازی.

۴-۹-۵ تعمیر و نگهداری

۴-۹-۵-۱ رویه بیرونی

هر مورد سایش، خوردگی و یا سایر ایرادات در سطوح بیرونی باید در صورت نیاز تعمیر شود.

۴-۹-۵-۲ رویه داخلی

برداشت ادواری رسوب ذرات روی سطوح داخلی با استفاده از آب تحت فشار یا سایر روش‌های مؤثر و کاربردی پیشنهاد می‌شود و سایر عیوب در روکش باید برطرف شود.

۴-۹-۵-۳ میل‌مهارها

نواحی اطراف میل‌مهارها باید تمیز و عاری از رسوب ذرات و رطوبت نگهداشته شود. میل‌مهارها باید ۳۰ روز پس از نصب دودکش مجدداً سفت شوند و سفت کردن ادواری میل‌مهارها توصیه می‌شود.

۴-۹-۵-۴ زهکش‌ها

کلیه زهکش‌ها و محفظه‌های کف باید در طی تعمیر و نگهداری ادواری مورد نظافت قرار گیرند.

۴-۹-۵-۵ متعلقات جانبی دودکش

کلیه متعلقات جانبی دودکش باید در صورت لزوم به منظور حفظ ایمنی و کاربری مدنظر تعمیر شوند.

۵ دودکش‌های بتنی

۵-۱ کلیات

دودکش‌های بتنی سازه‌های نسبتاً مرتفع پیش‌ساخته یا درجاریزی هستند که دارای دو بخش اصلی هستند:

الف- پوسته دودکش که عملکرد سازه‌ای دارد و کلیه بارهای وارده از قبیل بارهای دایمی، زنده، زلزله و باد را تحمل می‌کند.

ب- پوشش داخلی دودکش که عملکرد سازه‌ای ندارد و به منظور ایجاد لایه محافظ در مقابل حرارت‌های زیاد، فرسایش و خوردگی برای پوسته دودکش عمل می‌کند.

در این بخش از استاندارد، روند طراحی، انتخاب مصالح و ضوابط اجرای این نوع دودکش‌ها بیان می‌شود.

۵-۲ محدوده شمول

در این بخش از این استاندارد، بیان حداقل الزامات طراحی و ساخت پوسته دودکش‌های بتن مسلح دایره‌ای پیش‌ساخته و درجاریز ارائه می‌شود. در صورت استفاده از سایر مقاطع، طراحی آن‌ها باید مطابق با اصول استفاده شده در این استاندارد باشد. این استاندارد شامل طراحی پوشش‌های داخلی (روکش‌ها) نیست، اما تأثیرات پوشش‌های داخلی روی پوسته بتنی را در بر می‌گیرد.

پوسته دودکش پیش‌ساخته کاملاً از قطعات بتنی مسلح پیش‌ساخته تهیه می‌شود که یک به یک روی دیگری هم‌گذاری می‌شود و به صورت یک طره خود ایستا در می‌آید. جهت ایجاد پیوستگی و پایداری سازه‌ای، میلگردهای قائم و گروت در هسته‌های مقاطع پیش‌ساخته قرار می‌گیرند. از پانل‌های پیش‌ساخته به عنوان قالب ماندگار در حالت درجاریز استفاده می‌شود.

یادآوری - این بخش از استاندارد برای طراحی دودکش‌های تازه ساخت بتنی تدوین شده است. اگرچه روش‌های کلی تحلیل و الزامات مندرج در این استاندارد، برای ارزیابی و بهسازی دودکش‌های بتنی موجود نیز مناسب است، اما برای انجام بهسازی دودکش‌های بتنی موجود، همه الزامات این استاندارد همانند زیربند ۵-۷-۱۰ قابل کاربرد و مناسب نیست.

۵-۳ نقشه‌ها

نقشه‌های دودکش باید به گونه‌ای تهیه شود که شامل مقاومت بتن پوسته، ضخامت پوسته، اندازه و آرایش قرارگیری میلگردها، جزییات و ابعاد پوشش داخلی دودکش و اطلاعات مربوط به متعلقات دودکش باشد.

۵-۴ الزامات قانونی

در این بخش از استاندارد، باید کلیه آیین‌نامه‌های ملی مربوط به سازه‌های بتن مسلح و پیش‌تنیده (نظیر استاندارد ACI318) در طراحی و اجرای دودکش بتنی مدنظر قرار گیرد. همچنین باید ملاحظات ویژه‌ای در خصوص ضوابط ایمنی هوانوردی (نظیر استاندارد سازمان فدرال هوانوردی ایالات متحده - FAA برای ارتفاع دودکش‌ها، نورپردازی و نصب علائم روی دودکش برای جلوگیری از برخورد هواپیماها و بالگردها یا ضوابط مرجع ذی‌صلاح هوانوردی) مدنظر طراح قرار گیرد.

۵-۴-۱ نشانه‌گذاری‌ها (مربوط به بخش دودکش بتنی)

A_s سطح مقطع میلگرد مسلح‌کننده در بالا و پایین بازشو، برحسب mm^2

B پارامتر پهنای نوار

C_b ضریب هدایت حرارتی پوشش داخلی بدون عایق یا عایق اطراف پوشش داخلی فولادی، برحسب $W/m^2 \cdot K$

C_c قابلیت هدایت حرارتی جداره پوسته بتنی دودکش، برحسب $W/m^2 \cdot K$

C_{dr} ضریب پسا برای بار طولی باد

C_E	ضریب اثر انتها
C_L	ضریب برا
C_s	ضریب هدایت حرارتی عایق پرکننده فضای بین پوشش داخلی و پوسته، برحسب W/m^2K ؛
c	نسبت فاصله دورترین تار فشاری تا تار خنثی برای تنش‌های قائم به ضخامت کل
c'	پارامتر c برای تنش‌های پیرامونی
D	بار مرده، برحسب N ؛
D	قطر دودکش، برحسب m ؛
d_b	میانگین قطر پوشش داخلی بدون عایق یا عایق دور پوشش داخلی، برحسب m ؛
d_c	قطر متوسط پوسته دودکش بتنی، برحسب m ؛
d_{ci}	قطر داخلی پوسته دودکش بتنی، برحسب m ؛
d_{co}	قطر خارجی پوسته دودکش بتنی، برحسب m ؛
d_s	قطر متوسط فضای بین پوشش داخلی و پوسته دودکش بتنی، برحسب m ؛
$d(b)$	قطر بیرونی دودکش در پایین، برحسب m ؛
$\bar{d}(b)$	قطر متوسط دودکش در پایین، برحسب m ؛
$d(h)$	قطر بیرونی دودکش در راس، برحسب m ؛
$\bar{d}(h)$	قطر متوسط دودکش در راس، برحسب m ؛
$d(u)$	میانگین قطر بیرونی در یک سوم ارتفاع بالای دودکش، برحسب m ؛
$d(z)$	قطر خارجی دودکش در تراز z ، برحسب m ؛
$d(z_{cr})$	قطر بیرونی دودکش در ارتفاع بحرانی z_{cr} ، برحسب m ؛
E	بار زلزله، برحسب N ؛
E_{ck}	مدول الاستیسیته بتن، برحسب MPa ؛
E_s	مدول الاستیسیته میلگرد، برحسب MPa ؛

F_{1A}	پارامتر عدد استروهاال
F_{1B}	پارامتر ضریب برا ^۱
f	فرکانس، برحسب Hz؛
f_c	مقاومت فشاری بتن، برحسب MPa؛
$f_c''(c)$	مقدار f_c اصلاح شده برای آثار حرارتی و پیرامونی، برحسب MPa؛
$f_c''(v)$	مقدار f_c اصلاح شده برای آثار حرارتی و قائم، برحسب MPa؛
f_{CTC}''	بیشینه تنش پیرامونی در بتن ناشی از دمای داخلی پوسته دودکش، برحسب MPa؛
f_{CTV}''	بیشینه تنش قائم در بتن داخل پوسته دودکش ناشی از حرارت، برحسب MPa؛
f_{STC}	بیشینه تنش در میلگردهای پیرامونی بیرونی ناشی از حرارت، برحسب MPa؛
f_{STV}	بیشینه تنش در میلگردهای قائم بیرونی ناشی از حرارت، برحسب MPa؛
f_{STV}''	بیشینه تنش در میلگردهای قائم داخلی ناشی از حرارت، برحسب MPa؛
f_y	مقاومت تسلیم مشخصه فولاد مسلح کننده، برحسب MPa؛
$f_y''(c)$	مقدار f_y اصلاح شده برای آثار دما و پیرامونی، برحسب MPa؛
G	ضریب بیشینه باد عرضی
$G_r(z)$	ضریب تندباد برای فشار باد شعاعی در تراز z
G_w	ضریب تندباد برای بار تلاطمی باد در راستای طولی
g	شتاب ثقل برابر با 9.81 m/s^2
h	ارتفاع کل دودکش بالای سطح زمین، برحسب m
I	ضریب اهمیت دودکش برای طراحی در برابر بار باد
l	پارامتر تلاطم موضعی
$K, K_1, K_2 \text{ و } K_3$	پارامترهای مقاومت خمشی اسمی

1- Lift coefficient

K_d	ضریب جهت‌دهی باد
K_e	برابر با E_s/f_y
K_i	ضریب انتقال حرارت از گاز به رویه پوشش داخلی وقتی دودکش دارای روکش داخلی است یا از گاز به سطح داخلی پوسته وقتی دودکش بدون روکش است، برحسب W/m^2K ؛
K_o	ضریب انتقال حرارت از رویه بیرونی پوسته به فضای محیط بیرونی، برحسب W/m^2K ؛
K_r	ضریب انتقال حرارت به صورت تشعشعی بین سطح بیرونی پوشش داخلی و سطح داخلی پوسته بتنی، برحسب W/m^2K ؛
K_s	ضریب انتقال حرارت بین سطح بیرونی پوشش داخلی و رویه داخلی پوسته برای دودکش‌های دارای فضاها تهویه هوا، بر حسب W/m^2K ؛
k	نسبت سرعت باد $\bar{V}$ به سرعت باد بحرانی V_{cr}
k_a	پارامتر میرایی آیرودینامیکی
k_{ao}	پارامتر میرایی جرمی دامنه‌های کوچک
L	ضریب طول مرتبط
l	عرض بازشو، برحسب mm؛
M_a	بیشینه لنگر در تراز پی، برحسب N.m؛
$M_a(z)$	لنگر ایجاد شده در تراز z در اثر بارهای عرضی باد، برحسب N.m؛
$M_i(z)$	بیشینه لنگر خمشی پیرامونی ایجاد شده در ارتفاع z دودکش ناشی از اثرات فشار شعاعی باد طوری که در تارهای داخلی ایجاد کشش کند، برحسب N.m/m؛
M_n	مقاومت خمشی اسمی مقطع، برحسب N.m؛
$M_o(z)$	بیشینه لنگر خمشی پیرامونی ایجاد شده در ارتفاع z دودکش ناشی از اثرات فشار شعاعی باد به گونه‌ای که در تارهای بیرونی ایجاد کشش کند، برحسب N.m؛
M_u	لنگر ضریب‌دار وارد بر مقطع، برحسب N.m؛
$M_w(b)$	لنگر خمشی در تراز پی در اثر میانگین بار طولی باد، برحسب N.m؛

- $M_w(z)$ لنگر خمشی طراحی در تراز z برای ترکیب بار باد عرضی و طولی، برحسب N.m؛
- n نسبت تبدیل برابر با E_s/E_c
- n_1 تعداد بازشوهای قرار گرفته به طور کامل در منطقه فشاری
- P_{cr} فشار بار باد در سرعت بحرانی، برحسب MPa؛
- P_u بار قائم ضریب دار، برحسب N؛
- $\bar{p}(z)$ فشار ناشی از سرعت میانگین ساعتی باد در ارتفاع z ، برحسب MPa؛
- $p_r(z)$ توزیع فشار پیرامونی باد در تراز z
- Q پارامتر اصلاح میزان تنش
- $\bar{Q}, Q_1, Q_2, Q_3$ و $\bar{R}$ پارامتر مقاومت خمشی اسمی
- r شعاع متوسط مقطع، برحسب m؛
- r_q نسبت انتقال حرارت در طول پوسته دودکش به انتقال حرارت در طول پوشش داخلی برای دودکش‌های با فضا‌های هوای دارای تهویه
- $r(z)$ شعاع میانگین دودکش در ارتفاع z ، برحسب m؛
- S_{sv} ضریب شکل مود
- S_t عدد استروهاال
- T_1 زمان تناوب مود اول ارتعاش پوسته بدون پوشش داخلی، برحسب s؛
- T_2 زمان تناوب مود دوم ارتعاش پوسته بدون پوشش داخلی، برحسب s؛
- T_i بیشینه دمای گاز داخل از دودکش، برحسب °C؛
- T_o کمینه دمای هوای بیرون دودکش، برحسب °C؛
- T_x افت دما در عرض پوسته بتنی، برحسب °C؛
- t ضخامت مقطع پوسته بتنی، ضخامت بتن در محل بازشو، برحسب mm؛
- t_b ضخامت پوشش عایق‌بندی نشده و یا ضخامت عایق اطراف پوشش فولادی، برحسب mm؛
- t_s ضخامت پوشش هوا یا ضخامت عایق پرکننده فضای بین پوشش و پوسته،

بر حسب mm؛

$t(b)$ ضخامت پوسته بتنی در پایین، بر حسب mm؛

$t(h)$ ضخامت پوسته بتنی در بالا، بر حسب mm؛

U_c مقاومت پیرامونی مورد نیاز، بر حسب N؛

U_v مقاومت قائم مورد نیاز، بر حسب N؛

V سرعت باد مبنا، بر حسب m/s؛

V_{cr} سرعت باد بحرانی برای امتداد عرضی مرتبط با مود اصلی، بر حسب m/s؛

V_{cr2} سرعت باد بحرانی برای امتداد عرضی مرتبط با مود دوم، بر حسب m/s؛

V_r برابر با $V\sqrt{I}$ ، بر حسب m/s؛

$\bar{V}$ سرعت میانگین ساعتی باد در ارتفاع $(5/6h)$ متغیر در بازه ۰/۵۰ و $1.3\bar{V}_{(z_{rr})}$ بر حسب m/s؛

$\bar{V}(10)$ سرعت میانگین ساعتی باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین، بر حسب m/s؛

$\bar{V}(h)$ سرعت میانگین ساعتی باد در بالای دودکش، بر حسب m/s؛

$\bar{V}(z)$ سرعت میانگین ساعتی باد در تراز z ، بر حسب m/s؛

$\bar{V}_{(z_{rr})}$ سرعت میانگین ساعتی باد در ارتفاع $(5/6h)$ ، بر حسب m/s؛

W بار باد، بر حسب N؛

$w(z)$ کل بار باد در واحد طول در امتداد طولی در تراز z ، بر حسب N/m؛

$\bar{w}(z)$ میانگین بار باد در واحد طول در امتداد طولی تراز z ، بر حسب N/m؛

$w'(h)$ بار باد تلاطمی طولی در واحد طول در بالای دودکش تراز z ، بر حسب N/m؛

$w'(z)$ بار باد تلاطمی طولی در واحد طول در تراز z ، بر حسب N/m؛

$w_1(z)$ میانگین بار باد طولی در واحد طول در تراز z ، بر حسب N/m؛

$w_a(h)$ بار باد در امتداد عرضی در واحد طول در بالای دودکش، بر حسب N/m؛

$w_a(z)$ بار باد در امتداد عرضی در واحد طول در تراز z ، بر حسب N/m؛

$wt(u)$ متوسط وزن واحد طول دودکش در یک سوم ارتفاع فوقانی دودکش،

N/m	بر حسب
Y_{max}	بیشینه جابه‌جایی جانبی بالای دودکش، بر حسب mm
Z_c	طول مواجهه، بر حسب mm
z	ارتفاع از سطح زمین، بر حسب mm
α	در مقطع عرضی دودکش، نصف زاویه مرکزی ایجاد شده توسط تار خنثی (شکل ۶)، بر حسب rad
α_{te}	ضریب انبساط حرارتی بتن و فولاد میلگرد برابر با $1/2 \times 10^{-5} / ^\circ C$
β	نصف زاویه مرکزی ایجاد شده توسط یک بازشو در مقطع عرضی دودکش (شکل ۶)، بر حسب rad
β_1	ضریب بلوک تنش وابسته به مقاومت فشاری مشخصه بتن
β_a	ضریب میرایی ایرودینامیکی
β_s	نسبتی از میرایی بحرانی برای بار باد عرضی
γ	نصف زاویه مرکزی بین خطوط مرکزی دو بازشو در مقطع دودکش، بر حسب rad
γ_1	نسبت سطح مقطع میلگردهای قائم در سفره داخلی مقطع دودکش
γ_2	نسبت فاصله بین جداره داخلی دودکش تا سفره بیرونی میلگردگذاری قائم به کل ضخامت پوسته بتنی
γ'_1	نسبت سطح مقطع میلگردهای پیرامونی سفره داخلی به نسبت سطح مقطع میلگردهای پیرامونی سفره بیرونی
γ'_2	نسبت فاصله بین رویه داخلی دودکش تا سفره بیرونی میلگردگذاری پیرامونی به ضخامت کل پوسته
γ_d	نسبت $d(h)$ به $d(b)$
δ	برابر با $\gamma-\beta$ در هنگامی که بخشی از دو بازشو متقارن در ناحیه تحت فشار قرار دارند بر حسب rad
ε_m	کرنش فشاری بیشینه بتن
Λ	برابر با $\tau-n_1\beta$ ، بر حسب rad

$$\lambda_1 \mu + \psi - \pi, \text{ بر حسب rad}$$

μ و τ و ψ زاویه‌های نشان داده شده در شکل ۶

ρ نسبت سطح مقطع میلگرد قائم در سفره بیرونی به کل سطح مقطع پوسته بتنی

ρ' نسبت سطح مقطع میلگرد محیطی در سفره بیرونی در واحد ارتفاع به کل سطح مقطع پوسته بتنی در واحد ارتفاع

ρ_a وزن مخصوص هوا

ρ_{ck} جرم مخصوص بتن، بر حسب kg/m^3

ρ_t نسبت سطح مقطع کل میلگردهای قائم به سطح مقطع کل پوسته بتنی

ϕ ضریب کاهش مقاومت

$$\omega_t \rho_t f_y / f_c$$

۵-۵ مصالح مصرفی در احداث دودکش بتنی

۵-۵-۱ ملاحظات کلی

کلیه مصالح و آزمون‌های مربوط به آن‌ها باید مطابق با استاندارد ACI318 باشد مگر آن‌که به‌طور مشخص، ضابطه دیگری در این استاندارد مطرح شده باشد.

۵-۵-۲ سیمان

باید از سیمان یک واحد تولیدکننده و یک نوع سیمان در سراسر دودکش استفاده شود. سیمان مورد استفاده می‌تواند سیمان تیپ I، II، III یا V طبق استاندارد ASTM C150 یا نوع IS یا IP طبق استاندارد ASTM C595 باشد. برای انتخاب نوع سیمان، می‌توان به استاندارد ACI318 مراجعه نمود. ویژگی‌های سیمان‌های پرتلند باید مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۳۸۹ باشد.

۵-۵-۳ سنگدانه‌ها

کلیه سنگدانه‌های مصرفی در بتن باید طبق استاندارد ASTM C33 باشد. بیشینه اندازه مصالح سنگی درشت‌دانه نباید از یک هشتم باریک‌ترین فاصله بین قالب‌های داخلی و خارجی یا نصف کمینه فاصله خالص بین میلگردها بزرگتر باشد. این الزام با استاندارد ACI318 تفاوت دارد زیرا اکثر دیواره‌های دودکش دارای ضخامت ۲۰۰ mm بوده، سنگدانه‌های به ابعاد ۲۰ mm یا ۲۵ mm با قالب‌های ۲۰۰ mm هماهنگی بهتری دارند. انتخاب سنگدانه‌ها باید با منظور کردن استاندارد ملی ایران شماره ۳۰۲ صورت گیرد.

۵-۴-۵ میلگردها

میلگرد باید طبق استاندارد ASTM A615/A615M، ASTM A996/A996M یا ASTM A706/A706M باشد. استفاده از سایر میلگردهای آجدار با حداقل مقاومت تسلیم مشخصه بیش از معادل ۴۱۵ MPa در صورتی که کرنش کششی نهایی برابر یا بزرگتر از ۰/۰۷ باشد مجاز است. میلگردهای فولادی، طبق استانداردهای ملی ایران شماره‌های ۳۱۳۲ و ۱۱۵۵۸ تولید می‌شوند.

یادآوری- برای توصیف حدود کرنش کششی نهایی به یادآوری زیربند ۵-۸-۱-۲ مراجعه شود.

۵-۶ الزامات اجرایی

۵-۶-۱ ملاحظات کلی

کیفیت بتن، روش‌های تعیین مقاومت فشاری بتن، آزمایش‌های میدانی، تناسبات و سازگاری بتن، طرح اختلاط، و بتن‌ریزی، قالب‌بندی و جزییات میلگردگذاری باید طبق استاندارد ACI318 باشد، مگر مواردی که صراحتاً در این زیربند ذکر شده باشد.

۵-۶-۲ مقاومت بتن

کمینه مقاومت فشاری مشخصه بتن (نمونه استوان‌های ۲۸ روزه) باید ۲۱ MPa باشد.

۵-۶-۳ آزمون‌های مقاومت بتن

مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن باید بر اساس حداقل دو آزمون مقاومت (که هر کدام شامل دو استوانه استاندارد است) به‌دست آید که این نمونه‌ها باید در هر ۸ ساعت کاری و یا یک نوبت بتن‌ریزی گرفته شوند. در قطعات پیش‌ساخته، هر روز حداقل دو نمونه از هر رده بتن درجا و از هر ۷۵ m³ بتن ریخته شده باید اخذ شود.

۵-۶-۴ قالب‌ها

۵-۶-۴-۱ جنس قالب

قالب‌ها برای پوسته دودکش بتنی می‌تواند از فلز، چوب و یا هر ماده مناسب دیگری باشد. در صورتی که از قالب چوبی بدون روکش استفاده شود، این قالب‌ها باید از مصالح با اتصالات کام و زبانه انتخاب شده، به‌طور مداوم مرطوب نگهداشته شوند تا از انقباض و تابیدگی بتن ناشی از در معرض قرار گرفتن عناصر جلوگیری کنند. در صورت لزوم می‌توان از یک روغن فاقد آلودگی برای قالب‌بندی استفاده نمود؛ این روغن نباید اثر بدی بر بتن داشته باشد و به عبارتی باید ثابت شود که می‌توان از پوشش‌های محافظتی مشخص یا رنگ روی بتن در معرض روغن استفاده کرد.

۵-۴-۶-۲ محکم کردن قالب‌ها

قالب‌ها باید به نحوی به هم محکم شوند که از نشت شیره بتن به بیرون جلوگیری کنند.

۵-۴-۶-۳ اعمال بار قبل از گیرش بتن

هنگامی که بارهای حین اجرا به سازه بتنی وارد می‌شود این بارها باید توسط تکیه‌گاه‌های مناسب انتقال یابد تا زمانی که بتن مقاومت لازم خود را به‌دست آورد.

۵-۴-۶-۴ زمان باز کردن قالب‌ها

قالب‌ها را زمانی می‌توان باز کرد که بتن به مقاومت کافی رسیده باشد و در اثر باز کردن قالب‌ها، دچار خسارت و تغییرشکل نشود.

۵-۴-۶-۵ اتصال قالب‌های داخلی و بیرونی

بستن قالب‌های داخل و بیرون پوسته به یکدیگر مجاز نیست.

۵-۴-۶-۶ درزهای اجرایی

درزهای اجرایی باید به درستی اجرا شوند تا چسبیدگی را تسهیل نمایند. به عنوان الزام حداقلی، کلیه مواد سست و پودری باید از روی قالب‌ها برداشته شوند.

یادآوری- انتقال برش بین پوسته‌های بتنی پیش‌ساخته باید در طراحی مدنظر قرار گیرد به ویژه چنانچه سازه علاوه بر درزهای اجرایی افقی، دارای درزهای اجرایی قائم نیز باشد.

۵-۶-۱۵ استقرار میلگردها

۵-۶-۱۵-۱ میلگردهای محیطی

میلگردهای محیطی^۱ باید در بیرونی‌ترین قسمت دودکش قرار داده شده، به میلگردهای قائم بسته شوند. همه میلگردها باید در فواصل حداقل ۶۰۰ mm بسته شوند. میلگردها باید در برابر جابه‌جایی در محدوده رواداری مطرح شده در استاندارد ACI318 ایمن شوند.

یادآوری- توجه ویژه‌ای باید به قرارگیری و استقرار ایمن میلگردهای پیرامونی منظور شود به گونه‌ای که میلگردها دچار باد کردن^۲ یا جابه‌جایی در طی قرارگیری و حرکت بتن نشوند و در نتیجه، پوشش بتنی روی میلگردهای پیرامونی از حد منظور شده در طراحی کمتر نشود.

1- Circumferential reinforcement

2- Bulging

۵-۶-۲ اتکای موقت میلگردهای قائم

میلگردهای قائم که بالای قالب‌های پوسته دودکش یا در هسته مقاطع پیش‌ساخته قرار دارند باید به‌طور موقت به نحوی محکم شوند تا سبب تضعیف چسبندگی با بتن تازه نشوند.

یادآوری - حفاظت از چسبندگی اولیه از اهمیت زیادی برخوردار است. میلگردهای قائم در معرض جابه‌جایی ناشی از نیروهای باد هستند. باید میلگردهای قائم به نحوی به یکدیگر بسته یا مهار شوند که از تضعیف چسبندگی جلوگیری به‌عمل آید.

۵-۶-۳ وصله میلگردها

بیشتر از ۵۰٪ میلگردها را نباید در یک صفحه افقی یا قائم به صورت همزمان وصله پوششی نمود مگر آن‌که این موضوع توسط مهندس طراح ذیصلاح، مجاز شمرده شود و به تصویب وی برسد.

۵-۶-۴ پوشش بتنی میلگردها

کمینه پوشش بتنی میلگردهای دودکش‌های درجا، باید ۵۰ mm باشد. برای میلگردگذاری دودکش‌های پیش‌ساخته در شرایط کنترل شده کارگاهی، حداقل پوشش بتنی باید ۴۰ mm باشد.

۵-۶-۶ بتن‌ریزی

بتن‌ریزی باید مطابق استاندارد ACI318 صورت پذیرد و لایه‌ها دارای ضخامتی کوچکتر از ۴۰۰ mm باشند. در پوسته دودکش بتنی درجاریز نباید درز اجرایی قائم وجود داشته باشد و درزهای اجرایی افقی در دودکش‌های درجاریز و پیش‌ساخته نیز باید در فواصل مساوی در ارتفاع پوسته دودکش قرار گیرند.

یادآوری - در دودکش‌های بتنی درجاریز باید از روش قالب لغزنده استفاده شود تا دودکش فاقد درز اجرایی باشد.

مقاومت فشاری مشخصه گروت در تنظیم دودکش‌های پیش‌ساخته باید بزرگتر یا مساوی مقاومت فشاری مشخصه قطعات پیش‌ساخته باشد.

۵-۶-۷ عمل‌آوری بتن

۵-۶-۷-۱ زمان عمل‌آوری

بلافاصله پس از باز کردن قالب‌ها تمام مراحل مربوط به عمل‌آوری بتن باید انجام پذیرد.

۵-۶-۷-۲ مواد عمل‌آوری

بلافاصله پس از انجام عملیات پرداخت^۱، هر دو وجه بتن باید با پوشاندن توسط یک ترکیب غشایی یا سایر روش‌های مورد تایید مهندس طراح ذیصلاح مورد عمل‌آوری قرار گیرد. ماده عمل‌آوری باید طبق

1- Finishing

استاندارد ASTM C309 باشد و طبق توصیه‌های تولیدکننده مورد استفاده قرار گیرد. در صورتی که بتن به کمک موادی، پوشش داده شود، ترکیب عمل‌آوری باید با این پوشش‌ها سازگار باشد.

۵-۶-۸ رواداری‌های اجرایی

۵-۶-۸-۱ ملاحظات کلی

پوسته دودکش بتنی باید بر اساس حدود رواداری مطرح شده در این زیربند ساخته شود.

یادآوری- باید یک برنامه کنترل کیفیت برای سنجش، مستندسازی و تصدیق الزامات رواداری‌های اجرایی مطابق با این استاندارد تدوین شود. این برنامه باید حاوی نوع، تعداد و تکرار سنجش‌های مورد نیاز برای مستندسازی نواحی مشخص شده در این استاندارد باشد.

۵-۶-۸-۲ ناشاقولی قائم دودکش

نقطه مرکزی دودکش نباید در امتداد شاقولی بیشتر از یک هزارم ارتفاع یا ۲۵ mm (هر کدام که بزرگتر است) از محل خود جابه‌جا شود. همچنین مقدار جابه‌جایی در هر ۳ m نباید از ۲۵ mm فراتر رود.

۵-۶-۸-۳ قطر دودکش

قطر بیرونی پوسته دودکش نباید در هر مقطع از $(25 \pm 0.01D)$ mm نسبت به مقدار مشخص شده اختلاف داشته باشد که در این رابطه **D** قطر مشخصه دودکش برحسب mm است.

۵-۶-۸-۴ ضخامت جداره

در پوسته بتنی با ضخامت ۲۵۰ mm یا کوچکتر، مقدار ضخامت سنجیده شده نباید بیشتر از ۶/۵ mm - تا ۱۲/۵ mm + و برای ضخامت بزرگتر از ۲۵۰ mm نباید بیشتر از ۱۲/۵ mm - تا ۲۵ mm + نسبت به مقدار مشخص شده در طرح تفاوت داشته باشد. سنجش ضخامت پوسته برابر با میانگین حداقل ۴ سنجش است که در فواصل یکنواخت روی یک کمان ۶۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار دارند. رواداری منفی موجب کاهش ضخامت کل و رواداری مثبت موجب افزایش ضخامت کل خواهد شد.

۵-۶-۸-۵ بازشوها و اجزای مدفون^۱

برای اندازه و موقعیت بازشوها و اجزای مدفون در پوسته نمی‌توان رواداری خاصی مطرح کرد زیرا این موضوع به دقت مورد نیاز بر حسب طبیعت کاربری آن‌ها بر می‌شود. رواداری‌های مناسب ابعاد بازشو و اجزای مدفون باید برای هر دودکش به‌طور منحصر بفرد مشخص شود.

۵-۶-۹ نصب قطعات پیش ساخته

۵-۶-۹-۱ مقاومت قطعات، گروت و اتصالات

قطعات پیش ساخته باید به گونه ای و با نرخ نصب شوند که از مقاومت کافی دست یافته شده گروت، هسته بتنی و کلیه اجزای متصل کننده برای تحمل ایمن بارهای طراحی و اجرایی اطمینان حاصل شود.

۵-۶-۹-۲ گروت ریزی و کلید برشی

قطعات پیش ساخته باید در ترازهای مشخص شده، گروت ریزی شوند و اتصالات بین آنها نشت بندی شوند. در صورت صلاح دید مهندس طراحی ذیصلاح، کلیدهای برشی باید در حد فاصل قطعات پیش ساخته تعبیه شود.

۵-۷ بارها و معیارهای عمومی طراحی

۵-۷-۱ ملاحظات کلی

پوسته دودکش بتنی باید برای آثار بار ثقلی، حرارتی، باد و زلزله طبق استاندارد ACI318 طراحی شود مگر آن که در این زیربند، ضوابط دیگری مشخص شده باشد.

یادآوری- در این استاندارد، برای دودکش های به ارتفاع کوچکتر از ۹۰ m و به قطر کوچکتر از ۶ m، دو سفره میلگرد و حداقل ضخامت ذکر شده در زیربند ۵-۷-۳ الزامی دانسته شده است. این موضوع به منظور کمینه ساختن ترک های قائم ناشی از فشارهای باد شعاعی و گرادیان حرارتی معکوس ناشی از تابش آفتاب در نظر گرفته شده است. گرادیان حرارتی معکوس ناشی از تابش آفتاب به ویژه هنگامی اهمیت می یابد که هوای بین پوسته دودکش و پوشش داخلی با فن های فشارافزا خارج شود و دمای گاز نیز پایین باشد. در این استاندارد، وجود دو سفره میلگرد در جداره دودکش بتنی بدون توجه به ابعاد دودکش و محیط خورنده اطراف دودکش الزامی است.

۵-۷-۲ ترکیبات بار

پوسته دودکش باید برای ترکیبات بارگذاری مطابق زیربند ۵-۸ طراحی شود.

۵-۷-۳ کمینه ضخامت پوسته

۵-۷-۳-۱ ضخامت حداقل برای دودکش بتنی درجاریز و پیش ساخته

ضخامت پوسته نباید برای دودکش بتنی درجاریز از ۲۰۰ mm و برای دودکش بتنی پیش ساخته از ۱۸۰ mm کوچکتر منظور شود.

یادآوری- الزام کمینه ضخامت در این زیربند به منظور بتن ریزی مناسب در اطراف دو سفره میلگرد در نظر گرفته شده است.

۵-۷-۳ ضخامت در محل بازشوها

ضخامت پوسته دودکش بتنی در محل بازشوها نباید از یک بیست و چهارم ارتفاع بازشو در یک طول قائم به میزان نصف ارتفاع بازشو پایین تر از وجه تحتانی بازشو تا نصف ارتفاع بازشو بالاتر از وجه فوقانی آن کوچکتر باشد. از پشت‌بندهای با طراحی مناسب یا سایر ادوات تأمین قید جانبی می‌توان به جای این الزام استفاده نمود. اما پشت‌بندها یا سایر قید جانبی را نباید در محاسبه مقاومت قائم منظور کرد.

یادآوری- این ضابطه به خاطر جلوگیری از کمناش لبه در جداره‌های نسبتاً نازک منظور شده است. استفاده از پشت‌بند به شکل مستطیل یا مربع در یکی از طرفین یا دو طرف جداره دودکش می‌تواند پایداری اضافی را در طرح دیواره تأمین نماید.

۵-۷-۴ افزایش کمینه ضخامت

در صورتی که قطر داخلی پوسته از ۸٫۵ m بزرگتر باشد، کمینه ضخامت باید به ازای هر ۳۰۰ mm افزایش قطر، به میزان ۳ mm اضافه شود.

۵-۷-۵ اندرکنش پوسته و پوشش داخلی

پوسته دودکش بتنی که بارهای پوشش داخلی را هم تحمل می‌کند باید طبق الزامات این استاندارد در خصوص پوشش‌های درجا باشد. بارهای وارد بر پوسته بتنی باید شامل بارهای پوشش داخلی شامل بار مرده، آثار حرارت، باد یا زلزله باشد.

۵-۷-۶ طراحی برای بارهای موقت حین اجرا

در صورت استفاده از بازشوهای دسترسی موقت در حین اجرا، آن‌ها باید به عنوان بازشوهای دائمی منظور شوند.

۵-۷-۷ ملاحظات شالوده

۵-۷-۷-۱ بیشینه باربری شالوده

بیشینه تنش باربری شالوده باید بر اساس بارهای بهره‌برداری دودکش بتنی تعیین شود.

۵-۷-۷-۲ طراحی شالوده

شالوده باید بر اساس روش مقاومت طبق استاندارد ACI 318 طراحی شود. طراحی شالوده باید مبتنی بر بارهای وارد بر پی سطحی یا عمیق (شمع) با استفاده از ترکیبات بارگذاری معرفی شده در زیربند ۵-۸-۳-۱ انجام پذیرد.

یادآوری- در طراحی شالوده، باید بارهای وارد بر پی (سطحی یا عمیق) با ضرب کردن نیروها و لنگرهای ناشی از بار مرده بدون ضریب وارد بر پی در ضرایب بار مربوطه طبق زیربند ۵-۸-۳-۱ تعیین شود.

۵-۷-۳ ضریب اطمینان در برابر واژگونی

ضریب اطمینان برای کنترل واژگونی دودکش بتنی بر اساس بارهای بهره‌برداری باید حداقل ۱/۵۰ باشد.

۵-۷-۴ طراحی برای آثار حرارتی

طراحی باید شامل آثار حرارت تابشی گازها روی هر بخش از شالوده با منظور کردن سطح کف شالوده باشد که در معرض کف‌های بتنی و پوشش‌های مستقر بر پوسته بتنی هستند.

۵-۷-۸ بارهای باد

۵-۸-۱ ملاحظات کلی

دودکش‌های بتن مسلح باید به گونه‌ای طراحی شوند که در مقابل بار باد در امتداد طولی و در امتداد عرضی مقاوم باشند. علاوه بر این، دودکش‌های با مقطع دایره‌ای توخالی باید برای مقاومت در برابر بارهای ناشی از توزیع فشار پیرامونی طراحی شوند. برای طراحی دودکش بتنی در برابر باد، سرعت باد مبنای طراحی، V_r ، سرعت تندباد ۳ s با دوره بازگشت ۵۰ سال برحسب m/s است که طبق جدول ت-۱ پیوست ۴ این استاندارد به‌دست می‌آید. ضریب اهمیت کلیه دودکش‌های بتنی برای بار باد، I_w ، از جدول ت-۴ پیوست ۴ این استاندارد قابل تعیین است. ضرایب عارضه‌نگاری ساختمانی که دودکش در آن احداث می‌شود طبق زیربند ۴-۳-۳-۴ و جدول ت-۲ پیوست ۴ این استاندارد ارائه شده است.

طراحی دودکش برای بار باد باید شامل آثار دینامیکی باشد اما می‌توان از روش‌های ساده‌شده و بارهای معادل استاتیکی نیز در این خصوص استفاده نمود. استفاده از تحلیل دینامیکی اثبات شده به جای این ضوابط مجاز است.

سرعت باد طراحی میانگین برحسب m/s در ارتفاع z برحسب m از سطح زمین از رابطه زیر به‌دست می‌آید (مطابق با استاندارد ASCE7):

$$\bar{V}(z) = V_r \times \left(\frac{z}{10} \right)^{0.154} \times 0.65 \quad (40)$$

یادآوری- در رابطه فوق، ضریب ۰/۶۵، ضریب تبدیل سرعت تندباد ۳ s به سرعت میانگین ساعتی باد (عکس ضریب ۱/۵۳ طبق شکل ت-۱ پیوست ۴ یا همان ضریب $\bar{b}$ جدول ت-۳ پیوست ۴ برای رده C طبق تعاریف مطرح شده در زیربند ۴-۳-۳-۴ این استاندارد) است. توان ۰/۱۵۴ (ضریب $\bar{a}$ در جدول ت-۳ پیوست ۴) در این رابطه برای رده C و مخصوص سازه‌های انعطاف‌پذیر (طبق تعاریف مطرح شده در استاندارد ASCE7) و حساس از دیدگاه دینامیکی بیان شده است. روش رایج شده در این زیربند از تحلیل‌های دینامیکی ساده شده که منجر به توزیع بار استاتیکی معادل می‌شود استخراج شده است. این روش مستلزم آن است که یک سرعت باد میانگین‌گیری شده در بازه زمانی تقریباً بین ۲۰ دقیقه تا ۱ ساعت به عنوان مبنای طراحی منظور شود. در رابطه (۴۰) اجازه داده می‌شود، سرعت میانگین ساعتی باد در ارتفاع z از سرعت مبنای باد که مبتنی بر تندباد ۳ s در ارتفاع ۱۰ m در یک زمین باز است به‌دست آید. به این ترتیب فرض بر آن است که دودکش بتنی در یک فضای باز احداث می‌شود. در پوشش‌های سطحی دیگر (مطابق با الزامات

استاندارد ASCE7)، بارهای کلی طراحی دودکش در برابر باد کاهش می‌یابد اما برای یک دودکش بتنی بلند (با ارتفاع حدود ۲۰۰ m)، این کاهش از ۲۰٪ فراتر نمی‌رود.

ضوابط ساده‌شده این استاندارد بیانگر استفاده نکردن از روش‌های تفصیلی‌تر نیست و نتایج تحلیل دینامیکی کامل دودکش با استفاده از رویکردهای پذیرفته شده و نیمرخ جریان و ترازهای تلاطم در یک ساختگاه مشخص را می‌توان به جای ضوابط این استاندارد به کار برد. البته لازم به ذکر است روش‌های تقریبی، در برابر تحلیل‌های تفصیلی‌تر با استفاده از رویکردهای احتمالاتی و تعیینی مورد آزمون قرار گرفته‌اند.

۵-۷-۸-۲ بار باد طولی برای دودکش‌های مدور

این بار به صورت نیرو در واحد طول در ارتفاع z (m) در نظر گرفته شده، با $w(z)$ نمایش داده می‌شود و در هر تراز z مجموع بار میانگین $\bar{w}(z)$ و بار تلاطمی $w'(z)$ است.

مقدار بار میانگین $\bar{w}(z)$ (N/m) با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\bar{w}(z) = C_{dr}(z) \times d(z) \times \bar{p}(z) \quad (41)$$

که در آن:

$$C_{dr}(z) = 0.65 \quad \text{برای} \quad z < h - 1.5d(h) \quad (42)$$

$$C_{dr}(z) = 1 \quad \text{برای} \quad z \geq h - 1.5d(h) \quad (43)$$

که $1.5d(h)$ نباید از ۱۵ m بزرگتر شود.

$$\bar{p}(z) = 0.613K_d[\bar{V}(z)]^2 \quad (44)$$

که در آن:

K_d ضریب جهت‌دهی باد که برای دودکش بتنی مدور برابر است با ۰٫۹۵ (اطلاعات بیشتر در استاندارد ASCE7)

$w'(z)$ بار تلاطمی (N/m) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$w'(z) = \frac{3.0z \times G_w' \times M_{\bar{w}}(b)}{h^3} \quad (45)$$

که در آن:

$M_{\bar{w}}(b)$ لنگر ناشی از بار $w(z)$ در تراز پی (N.m)؛ و

G_w' از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$G_w' = 0.3 + \frac{19.227[T_1 \times \bar{V}(10)]^{0.47}}{(3.28h + 16)^{0.86}} \quad (46)$$

که در آن:

$\bar{V}(10)$ از رابطه (۴۰) برای ارتفاع ۱۰ متری (به ازای $z=10m$) بر حسب m/s محاسبه می‌شود و

T_1 زمان تناوب نوسان دودکش بدون پوشش داخلی در مود اول (s) است که به کمک تحلیل دینامیکی یا به صورت تقریبی با استفاده از رابطه (۴۷) قابل تعیین است:

$$T_1 = 5 \frac{h^2}{\bar{d}(b)} \sqrt{\frac{\rho_{ck}}{E_{ck}}} \left(\frac{t(h)}{t(b)} \right)^{0.3} \quad (47)$$

که در آن:

h ارتفاع دودکش بالای سطح زمین، برحسب m؛

ρ_{ck} جرم مخصوص بتن، برحسب kg/m^3 ؛

E_{ck} مدول الاستیسیته بتن، برحسب Pa؛

$t(h)$ ضخامت پوسته بتنی در راس دودکش، برحسب m؛

$t(b)$ ضخامت پوسته بتنی در پایین، برحسب m؛

$\bar{d}(b)$ قطر متوسط در پایین دودکش، برحسب m؛

مشخصات جرمی و سازه‌ای پوشش دودکش باید در محاسبه زمان تناوب لحاظ شود.

۳-۸-۷-۵ بار باد عرضی برای دودکش‌های مدور

۱-۳-۸-۷-۵ ملاحظات کلی

در صورتی که V_{cr} بین ۰/۵ تا ۱/۳ برابر $\bar{V}_{z_{ref}}$ باشد بارهای باد عرضی ناشی از جداشدن گردباد در مودهای اول و دوم باید در طراحی پوسته دودکش منظور شود.

۲-۳-۸-۷-۵ تحلیل برای اثرات مود اول

در صورتی که قطر پوسته بیرونی در یک سوم ارتفاع دودکش کوچکتر از ۱/۶ برابر قطر پوسته بیرونی در بالای دودکش باشد، بارهای باد عرضی باید با استفاده از رابطه (۴۸) به صورت بیشینه لنگر در تراز پی محاسبه شود:

$$M_a = \frac{G}{g} S_{sv} C_L \frac{\rho_a}{2} V_{cr}^2 d(u) h^2 \sqrt{\frac{\pi}{4(\beta_s + \beta_a)}} \times S_p \sqrt{\frac{2L}{\frac{h}{d(u)} + C_E}} \quad (48)$$

که در رابطه بالا، M_a بیشینه لنگر وارد بر بدنه دودکش در تراز پی به ازای مقدار $\bar{V}$ هنگامی است که $\bar{V}$ بین ۰/۵ و $1.3\bar{V}_{(z_{ref})}$ ارزیابی می‌شود. در صورتی که $\bar{V} > \bar{V}_{(z_{ref})}$ باشد، M_a باید در مقدار زیر ضرب شود:

$$1.0 - 0.95 \left(\frac{\bar{V} - \bar{V}_{(z_{ref})}}{\bar{V}_{(z_{ref})}} \right) \quad (49)$$

و $G=4.0$ و $S_{sv}=0.57$ (برای مود اول) و $S_{sv}=0.18$ (برای مود دوم).

$$C_L = C_{L0} F_{1B} \quad (50)$$

که در آن:

$$C_{L0} = -0.243 + 5.648i - 18.182i^2 \quad (51)$$

و

$$i = \frac{1}{\log_e \left(\frac{(5/6)h}{Z_c} \right)} \quad (52)$$

که $Z_c = 0.018m$

$$F_{1B} = -0.089 + 0.337 \log_e \frac{h}{d(u)} \quad (53)$$

که کوچکتر از ۱/۰ و بزرگتر از ۰/۲۰ منظور می‌شود.

ρ_a وزن مخصوص هوا برابر با 1.225 kg/m^3 است.

$$V_{cr} = \frac{fd(u)}{S_t} \quad (54)$$

$$S_t = 0.25 F_{1A} \quad (55)$$

$$F_{1A} = 0.333 + 0.206 \log_e \left(\frac{h}{d(u)} \right) \quad (56)$$

که کوچکتر از ۱/۰ و بزرگتر از ۰/۶۰ منظور می‌شود.

$$\beta_s = 0.01 + \frac{0.10(\bar{V} - \bar{V}_{(z_{cr})})}{\bar{V}_{(z_{cr})}} \quad (57)$$

که کوچکتر از ۰/۰۴ و بزرگتر از ۰/۰۱ منظور می‌شود.

$$\beta_a = \frac{k_a \rho_a d^2(u)}{wt(u)} \quad (58)$$

$$k_a = k_{a0} F_{1B} \quad (59)$$

$$k_{a0} = \frac{-1.0}{(1+5i) \left(1 + \frac{|k-1|}{i+0.10} \right)} \quad (60)$$

که در آن:

$$k = \frac{\bar{V}}{V_{cr}} \quad (61)$$

$$S_p = \frac{k^{1.5}}{B^{0.5} \pi^{0.25}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{1-k^{-1}}{B} \right)^2 \right] \quad (62)$$

که در آن:

$$B \text{ برابر با } 0.10+2i$$

L برابر با ۱٫۲۰

C_E برابر با ۳

پس از محاسبه M_a ، لنگرهای باد عرضی در هر ارتفاع، $M_a(z)$ ، باید بر اساس شکل مود متناظر ستون دودکش باشد.

۵-۷-۳-۳ تحلیل برای اثرات مود دوم

در صورتی که سرعت باد بحرانی، V_{cr2} که از رابطه (۶۳) محاسبه می‌شود بین ۰٫۵ و $1.30\bar{V}_{(z_{cr})}$ باشد، پاسخ به باد عرضی در مود دوم باید منظور شود که در آن سرعت باد میانگین ساعتی در ارتفاع $5/6h$ دودکش است.

$$V_{cr2} = \frac{5d(u)}{T_2} \quad (63)$$

زمان تناوب T_2 برحسب s ، برای یک پوسته فاقد پوشش داخلی را می‌توان با استفاده از رابطه (۶۴) تخمین زد. در طرح نهایی، T_2 را باید با تحلیل دینامیکی محاسبه نمود.

$$T_2 = 0.82 \frac{h^2}{\bar{d}_b} \sqrt{\frac{\rho_{ck}}{E_{ck}}} \left[\frac{t(h)}{t(b)} \right]^{0.09} \left[\frac{\bar{d}(h)}{\bar{d}(b)} \right]^{-0.22} \quad (64)$$

که در آن:

$t(h)$ و $t(b)$ به ترتیب ضخامت‌ها در بالا و پایین دودکش، برحسب m و

$\bar{d}(h)$ و $\bar{d}(b)$ به ترتیب میانگین قطر در بالا و پایین دودکش، برحسب m است.

اثر یک پوشش داخلی متکی بر پوسته روی زمان تناوب مود دوم را نیز باید در طراحی در نظر گرفت. از هر روش مبتنی بر مشخصات مودی دودکش باید برای تخمین پاسخ به باد عرضی در مود دوم استفاده نمود.

۵-۷-۳-۴ دودکش‌های گروهی

در صورتی که دو دودکش مشابه در مجاورت هم قرار داشته باشند، بار باد عرضی را باید برای منظور کردن افزایش محتمل حرکات ناشی از گردباد افزایش داد. در این موارد، ضریب برا^۱، C_L ، ارایه شده در رابطه (۵۰) را باید به این صورت اصلاح نمود:

الف- چنانچه $s/d(z_{cr}) > 12.75$ باشد، مقدار C_L بدون تغییر می‌ماند؛ و

ب- در صورتی که $3 < s/d(z_{cr}) < 12.75$ باشد، مقدار C_L باید در ضریب زیر ضرب شود:

$$[0.26 - 0.015 s/d(z_{cr})] + [2 - s/12d(z_{cr})]$$

1- Lift coefficient

در دودکش‌های بتنی نامشابه و همچنین در دودکش‌های بتنی مشابه هم با $s/d(z_{cr}) \leq 3$ مقدار C_L باید با استفاده از آزمایش‌های مدل یا گزارش‌های آزمایش آرایش‌های مشابه تعیین شود.

۵-۷-۸-۳-۵ ترکیب بارهای طولی و عرضی باد

بارهای عرضی باد را باید با بارهای طولی همزمان باد ترکیب کرد. لنگر ترکیبی طرح در هر مقطع، $M_w(z)$ را باید به این صورت تعیین کرد:

$$M_w(z) = \{[M_s(z)]^2 + [M_l(z)]^2\}^{0.5} \quad (۶۵)$$

که در آن:

$$w_l(z) = \bar{w}(z) \left[\frac{\bar{V}}{\bar{V}(z_{cr})} \right] \quad (۶۶)$$

لازم به ذکر است که $w_l(z)$ نباید از $\bar{w}(z)$ بزرگتر در نظر گرفته شود.

۴-۸-۷-۵ خمش پیرامونی

لنگرهای خمشی بیشینه پیرامونی ناشی از توزیع باد شعاعی باید با استفاده از روابط (۶۷) و (۶۸) محاسبه شود:

$$M_i(z) = 0.31 p_r(z) [r(z)]^2 \quad (\text{N.m}) \quad (\text{کشش در تارهای داخلی}) \quad (۶۷)$$

$$M_o(z) = 0.27 p_r(z) [r(z)]^2 \quad (\text{N.m}) \quad (\text{کشش در تارهای بیرونی}) \quad (۶۸)$$

$$p_r(z) = \bar{p}(z) G_r(z) \quad (۶۹)$$

$$G_r(z) = 4.0 - 0.8 \log_{10} \left(\frac{z}{0.3048} \right) \quad (۷۰)$$

که در رابطه (۷۰)، مقدار $G_r(z)$ برای $z \leq 0.3m$ برابر با ۴ است.

در فاصله‌ای به میزان $1.5d_h$ از بالای دودکش، فشار $\bar{p}(z)$ باید به میزان ۵۰٪ افزایش داده شود (مقدار $1.5d_h$ نباید از ۱۵ m بزرگتر باشد).

۵-۸-۷-۵ بارهای باد وارد بر دودکش‌های غیر مدور

برای دودکش‌های غیردایره‌ای، ضرایب نیرو، C_f ، جهت‌دهی، K_d و اثر تندباد، G_f باید طبق استاندارد ASCE7 تعیین شود. برای اشکال نامتناول که در استاندارد مذکور پوشش داده نمی‌شوند باید آزمایش

تونل باد یا روش‌های مشابه برای تصدیق بارهای طولی، عرضی یا اثر توام آن‌ها به کار گرفته شود. به گونه مشابه، خمش افقی ناشی از توزیع فشار باد نیز باید توسط آزمایش تونل باد یا سایر روش‌های معتبر منظور شود.

۵-۷-۹ بارهای ناشی از زلزله

دودکش‌های بتنی باید برای آثار ناشی از زلزله مطابق با مقررات نشریه شماره ۰۳۸ طراحی شوند. آثار لرزه‌ای وارد بر دودکش‌های بتنی بر اساس روش تحلیل طیف پاسخ یا روش تحلیل تاریخچه زمانی تشریح شده در نشریه شماره ۰۳۸ قابل محاسبه است. ضوابط مدل‌سازی دودکش، اندرکنش خاک-سازه، لزوم منظور کردن آثار مرتبه دوم $P-\Delta$ و همچنین کنترل واژگونی و جابه‌جایی جانبی دودکش بتنی در آن نشریه ارایه شده است که باید مدنظر طراح قرار گیرد.

۵-۷-۱۰ الزامات و ملاحظات ویژه طراحی دودکش‌های بتنی

۵-۷-۱۰-۱ میلگردگذاری

باید دو سفره میلگردگذاری طولی و عرضی (محیطی) در پوسته دودکش‌های بتنی مورد استفاده قرار گیرد. میزان میلگردگذاری قائم بیرونی نباید کمتر از نصف کل میلگردهای قائم باشد. میلگردهای قائم قرار گرفته در سفره بیرونی نباید کوچکتر از نمره ۱۴ باشند و فواصل مرکز به مرکز آن‌ها نباید بزرگتر از ۳۰۰ mm باشد. میلگردهای قائم قرار گرفته در سفره داخلی نباید کوچکتر از نمره ۱۴ و فواصل مرکز به مرکز آن‌ها نیز نباید بزرگتر از ۶۰۰ mm باشد.

۵-۷-۱۰-۲ مقدار حداقل میلگردگذاری محیطی

کل میلگردهای محیطی در پوسته دودکش نباید کوچکتر از ۰/۰۰۲ سطح مقطع بتن باشد. میلگردگذاری محیطی در هر سفره نباید کوچکتر از ۰/۰۰۱ سطح مقطع بتن در هر مقطع باشد. فواصل بین میلگردهای محیطی در سفره بیرونی و درونی نباید از ضخامت جداره یا ۳۰۰ mm (هر کدام که کوچکتر است) فراتر رود. میلگردهای مسلح‌کننده محیطی باید حداقل دارای نمره ۱۰ باشند.

میلگردگذاری محیطی در فاصله‌ای به میزان $0.2d_h$ از بالای دودکش یا ۲/۵ m (هر کدام که بزرگتر است) باید مطابق با حداقل الزام زیربند ۵-۸-۷ باشد ولی نباید کوچکتر از ۰/۰۰۲ کل سطح مقطع بتن در هر سفره باشد. بیشینه فواصل میلگردهای محیطی در این ناحیه باید به نصف ضخامت پوسته یا ۱۵۰ mm (هر کدام که کوچکتر است) محدود شود.

۵-۷-۱۰-۳ قطعه بحرانی

در صورتی که یک قطعه از پوسته دودکش در حد فاصل بازشوها به خاطر ارتفاع یا ضخامتش بحرانی باشد، این قطعه را باید به عنوان تیر-ستون منظور نمود و طراحی کرد.

۵-۷-۱۰-۴ موقعیت استقرار میلگردهای اضافی در محل بازشوها

علاوه بر میلگردهای مورد نیاز طراحی، میلگردهای اضافی را نیز باید در جناحین، بالا، پایین و گوشه‌های کلیه بازشوها که از این پس ذکر می‌شود تعبیه نمود. میلگردهای اضافی را باید تا حد امکان در نزدیکی لبه بازشو قرار داد به نحوی که قرارگیری سایر میلگردها را مختل نکند. کلیه میلگردهای اضافی باید حداقل به میزان طول گیرایی، تا پس از بازشو ادامه یابند.

۵-۷-۱۰-۵ سطح مقطع میلگردهای اضافی قائم و فواصل آن‌ها

در هر سمت بازشو، میلگردهای اضافی قائم باید حداقل دارای سطح مقطعی برابر با نسبت میلگرد طراحی شده ضرب در نصف مساحت بازشو باشند. در غیاب یک تحلیل تفصیلی، این میلگردهای اضافی باید در فاصله‌ای کوچکتر از ۳ برابر ضخامت جداره قرار گیرند. در صورتی که میلگردهای اضافی در همان سفره‌های میلگردهای داخلی و بیرونی واقع نشوند، باید میلگردهای تنگ برای مهار کردن میلگردهای اضافی قائم تعبیه شود. بیشینه فاصله افقی ۳۰۰ mm و بیشینه فاصله قائم ۶۰۰ mm است. این ضابطه، علاوه بر الزامات زیربند ۵-۷-۱۰-۸ مطرح می‌شود. برای جزییات بیشتر به شکل ۵ مراجعه شود.

۵-۷-۱۰-۶ سطح مقطع حداقل میلگردهای اضافی

در بالا و پایین هر بازشو، سطح مقطع میلگردهای اضافی را باید حداقل با مساحتی برابر با نصف میلگردهای پیرامونی طراحی قطع شده با بازشو در نظر گرفت. مقدار سطح مقطع این میلگردهای اضافی در بالا و پایین، A_s نباید از مقدار حاصل از رابطه (۷۱) کوچکتر منظور شود مگر آن که یک تحلیل تفصیلی به کار رود.

$$A_s = \frac{0.06f_c' d l}{f_y} \quad (71)$$

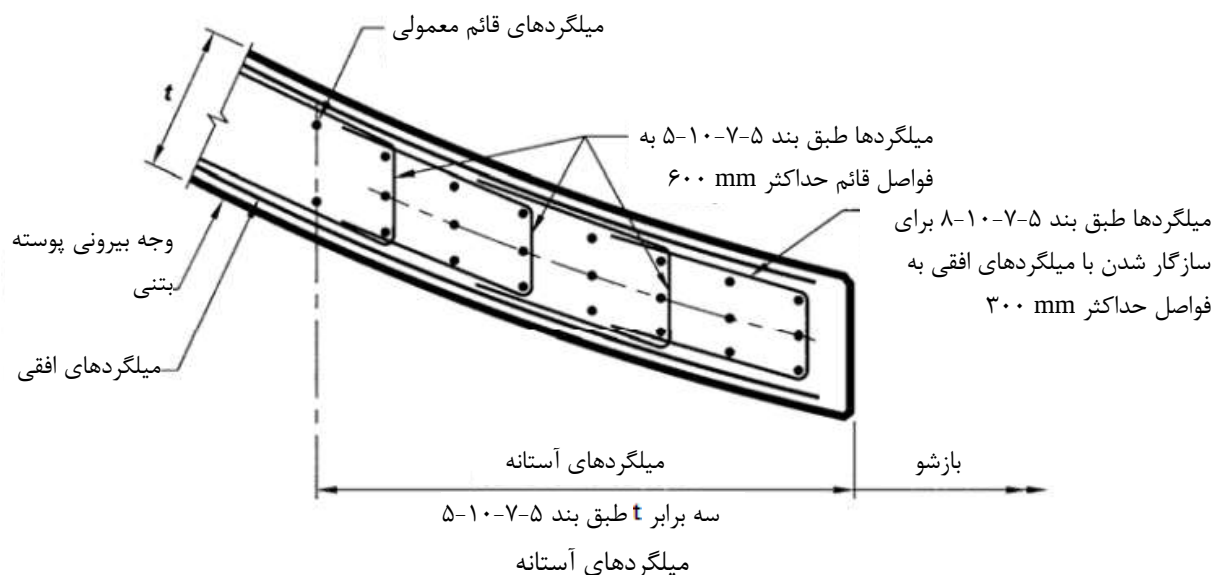
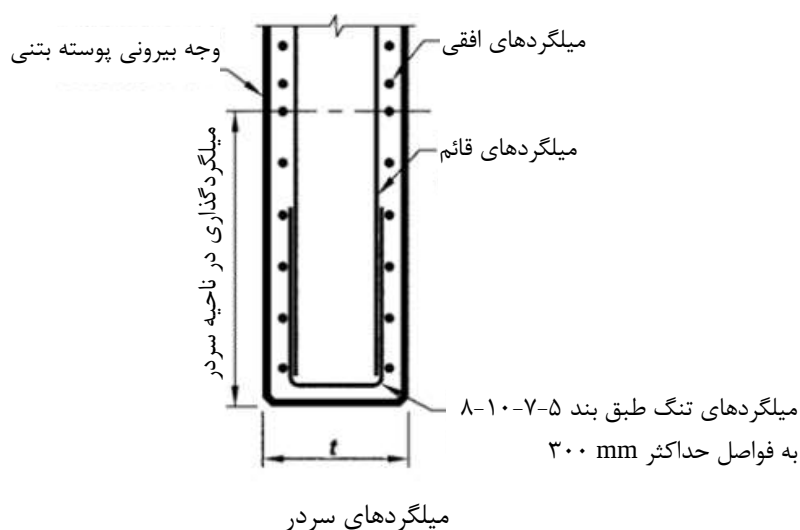
نصف این میلگرد اضافی باید به‌طور کامل در پیرامون دودکش امتداد یافته، بقیه آن باید تا فاصله کافی به میزان طول گیرایی در کشش تا پس از لبه بازشو امتداد داده شود. این میلگردها باید تا حد امکان به بازشو نزدیک باشند ولی درون ارتفاعی که از ۳ برابر ضخامت t فراتر نمی‌رود قرار گیرند.

۵-۷-۱۰-۷ میلگردهای قطری در گوشه‌های بازشو

برای بازشوها با عرض بزرگتر از ۶۰۰ mm، میلگردهای مسلح‌کننده قطری با سطح مقطعی معادل ۲/۵۴ برابر ضخامت پوسته دودکش برحسب mm^2 باید در هر گوشه بازشو قرار داده شود. در بازشوهایی با عرض کوچکتر یا مساوی ۶۰۰ mm، حداقل دو میلگرد نمره ۱۶ باید به صورت قطری در هر گوشه بازشو تعبیه شود.

۵-۷-۱۰-۸ میلگردهای تنگ

میلگردهای تنگ باید بین میلگردهای سفره داخلی و بیرونی در پیرامون کلیه بازشوها طوری قرار داده شوند که فولادهای مسلح کننده را در بالای پوسته دودکشها دربرگیرند. تنگها باید حداقل از نمره ۱۰ باشند و فواصل آنها طبق شکل ۵ از ۲۵۰ mm فراتر نرود.



شکل ۵- میلگردهای تنگ در ناحیه سردر^۱ (قائم) و آستانه^۲ (افقی) بازشوها در دودکشهای بتنی

1- Lintel

2- Jamb

۵-۷-۱۱ معیارهای جابه‌جایی دودکش در برابر باد

بیشینه جابه‌جایی جانبی بالای دودکش بتنی بدون اعمال ضرایب بار نباید از مقدار زیر فراتر رود:

$$Y_{\max} = 0.003h \quad (۷۲)$$

یادآوری- لازم به ذکر است استفاده از روش مقاومت در این استاندارد عموماً منجر به طرح دودکش‌های بتنی با پوسته‌هایی دارای ضخامت کمتر در بخش تحتانی و در نتیجه، جابه‌جایی جانبی بزرگتر می‌شود. باید تغییرشکل جانبی تحت بارهای بهره‌برداری کنترل شود و جابه‌جایی جانبی دودکش‌های بتنی که با روش مقاومت طراحی شده‌اند به میزان زیادی با جابه‌جایی جانبی دودکش‌های بتنی موجود که با روش تنش مجاز طرح شدند تفاوت فاحشی ندارد. همچنین محدود کردن تغییرشکل جانبی دودکش بتنی، آثار لنگرهای خمشی ثانویه را کاهش می‌دهد.

۵-۸ طراحی پوسته دودکش بتنی به روش مقاومت

۵-۸-۱ ملاحظات کلی

۵-۸-۱-۱ فرضیات طراحی

فرضیات طراحی باید طبق استاندارد ACI 318 باشد مگر آن که این فرضیات مشخصاً در این استاندارد ذکر شده باشد. روش طراحی دودکش بتنی در این استاندارد، روش مقاومت است.

۵-۸-۱-۲ بلوک تنش

توزیع تنش فشاری بتن به صورت یک بلوک تنش مستطیلی به همان صورت که در استاندارد ACI 318 توصیف شده است مدنظر قرار می‌گیرد. برای مقاومت قائم، بیشینه کرنش فشاری بتن، 0.003 و بیشینه کرنش کششی فولاد، 0.007 فرض می‌شود. هر کدام از این دو مقدار که اول فرا برسد به عنوان مقدار محدودکننده منظور می‌شود.

به جای فرض توزیع تنش فشاری معادل وارد بر بتن به صورت بلوک تنش مستطیلی، هر رابطه دیگر بین تنش و کرنش فشاری بتن را می‌توان فرض کرد به شرطی که رابطه مذکور بتواند مقاومت قطعات توخالی دایره‌ای شکل را نزدیک به نتایج آزمایش‌های فشاری پیش‌بینی کند.

یادآوری- بیشینه کرنش فشاری بتن برابر با 0.003 و بیشینه کرنش کششی فولاد نیز برابر با حد گسیختگی یعنی 0.007 (هر کدام که زودتر فرا برسد) فرض می‌شود (بخش الف شکل ۶). حد کرنش 0.007 با کمینه ویژگی‌های ازدیاد طول میلگردهای تحت کشش سازگار است. در صورتی که ابتدا فولاد به حد گسیختگی خود برسد، بیشینه کرنش بتن محاسبه شده از نمودار کرنش خطی، کوچکتر از 0.003 خواهد بود. این موضوع با فرضیات طراحی استاندارد ACI318 متفاوت است. برای یک نسبت میلگرد قائم مشخص، این اتفاق هنگامی می‌افتد که نسبت بار قائم به لنگر خمشی از یک حد معین کوچکتر باشد. استفاده از نسبت میلگرد قائم در مقطع عرضی دودکش کوچکتر از حداقل مقدار الزام شده استاندارد ACI318 در عناصر خمشی مجاز است. حتی هنگامی که کرنش فشاری بیشینه بتن، ϵ_m ، کوچکتر از 0.003 است، بلوک تنش

همچنان به صورت مستطیلی منظور می‌شود. اما در این موارد مقدار تنش با یک ضریب اصلاح که در این استاندارد، **Q** نامیده می‌شود مورد اصلاح قرار می‌گیرد. به یادآوری زیربند ۵-۸-۲ مراجعه شود.

۳-۱-۸-۵ طراحی پوسته دودکش‌های پیش‌ساخته

طراحی و طرح جزییات پوسته‌های دودکش پیش‌ساخته مشابه طراحی پوسته دودکش‌های درجاریز است به جز مواردی که در این زیربند مطرح می‌شود. باید توجه ویژه‌ای به فواصل و میلگردگذاری هسته‌های درجاریز و همچنین اتصالات واحدهای پیش‌ساخته برای اطمینان از برآورده شدن الزامات این استاندارد و سایر استانداردهای مطرح شده در کتاب‌نامه این استاندارد مدنظر باشد.

۴-۱-۸-۵ پوسته‌های غیر دایره‌ای

روش‌های طراحی پوسته‌های غیر دایره‌ای در زیربند ۵-۸-۶ آمده است.

۲-۸-۵ بارهای طراحی

بارهای مرده و نیروهای باد یا زلزله قبل از ضرایب بار باید مطابق زیربند ۵-۷ این استاندارد باشد. آثار حرارتی در شرایط بهره‌برداری باید مطابق با زیربند ۵-۹ این استاندارد مدنظر قرار گیرد.

۳-۸-۵ مقاومت مورد نیاز

۱-۳-۸-۵ مقاومت قائم

مقاومت قائم مورد نیاز، U_v ، به‌منظور تحمل بار مرده، D ، بار باد، W ، بار زلزله، E و بار حرارتی، T باید برای بیشینه ترکیب‌های بارگذاری طبق روابط (۷۳) تا (۷۹) تعیین شود:

$$U_v = 1.4D \quad (73)$$

$$U_v = 0.9D + 1.2T + 1.6W_{\text{along}} \quad (74)$$

$$U_v = 1.2D + 1.2T + 1.6W_{\text{along}} \quad (75)$$

$$U_v = 0.9D + 1.2T + 1.4W_{\text{combined along+across}} \quad (76)$$

$$U_v = 1.2D + 1.2T + 1.4W_{\text{combined along+across}} \quad (77)$$

$$U_v = 0.9D + 1.2T + 1.0E \quad (78)$$

$$U_v = 1.2D + 1.2T + 1.0W \quad (79)$$

یادآوری - در تعیین بارهای زلزله از بارهای دائمی برای تعیین جرم مؤثر لرزه‌ای دودکش بتنی استفاده می‌شود.

۲-۳-۸-۵ مقاومت محیطی

مقاومت محیطی مورد نیاز، U_c ، برای تحمل بار باد، W و بار حرارتی عادی، T باید از ترکیب بار زیر بزرگتر باشد:

$$U_c = 1.2T + 1.4W \quad (۸۰)$$

۵-۸-۴ مقاومت طراحی

مقاومت طراحی خمشی یک مقطع بر باید به صورت مقاومت خمشی اسمی محاسباتی طبق الزامات این استاندارد ضرب در ضریب کاهش مقاومت، ϕ ، برابر با ۰/۸۰ برای مقاومت قائم و ۰/۹۰ برای مقاومت پیرامونی منظور شود.

۵-۸-۵ مقاومت خمشی اسمی: پوسته‌های دایره‌ای شکل

۱-۵-۸-۵ ملاحظات کلی

روابط تعیین مقاومت خمشی اسمی مقاطع عرضی دودکش بتنی بر اساس فرضیات استاندارد ACI318 به‌دست آمده به جز آنچه در زیربند ۵-۸-۱-۲ این استاندارد مورد اصلاح قرار گرفته است. روند تعیین این روابط در پیوست چ آمده است.

۲-۵-۸-۵ رابطه تعیین مقاومت خمشی

بر اساس بخش الف، ب و پ از شکل ۶، روابط زیر اعمال می‌شود:

$$\frac{P_u}{rtf_c} = K_1 = 1.7Q\lambda + 2\varepsilon_m K_e \omega_t Q_1 + 2\omega_t \lambda_1 \quad (۸۱)$$

که در آن:

$$K_e = E_s / f_y \quad (۸۲)$$

$$\omega_t = \frac{\rho_t f_y}{f_c} \quad (۸۳)$$

$$\lambda = \tau - n_1 \beta \quad (\text{رادیان}) \quad (۸۴)$$

که در آن‌ها:

n_1 : تعداد بازشوهایی است که به‌طور کامل در ناحیه تحت فشار قرار دارند. بیشینه تعداد بازشوها ۲ عدد است.

$$Q_1 = \frac{\sin \psi - \sin \mu - (\psi - \mu) \cos \alpha}{1 - \cos \alpha} \quad (۸۵)$$

$$\cos \tau = 1 - \beta_1 (1 - \cos \alpha) \quad (۸۶)$$

$$\cos \psi = \cos \alpha - \left(\frac{1 - \cos \alpha}{\varepsilon_m} \right) \left(\frac{f_y}{E_s} \right) \geq -1.0 \quad (۸۷)$$

$$\cos \mu = \cos \alpha + \left(\frac{-\cos \alpha}{\varepsilon_m} \right) \left(\frac{f_y}{E_s} \right) < 1.0 \quad (۸۸)$$

در صورتی که $f_c^t \leq 28 \text{ MPa}$ باشد:

$$\beta_1 = 0.85 \quad (۸۹)$$

و چنانچه $f_c^t > 28 \text{ MPa}$ باشد:

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05(f_c^t - 28) \geq 0.65 \quad (۹۰)$$

$$\varepsilon_m = 0.07 (1 - \cos \alpha) / (1 + \cos \alpha) \leq 0.003 \quad (۹۱)$$

$$\frac{M_n}{P_n r} = K_3 = \cos \alpha + \frac{K_2}{K_1}, \quad M_n = P_n r K_3 \quad (۹۲)$$

$$K_2 = 1.7 Q \bar{R} + \varepsilon_m K_s \omega_t Q_2 + 2 \omega_t K \quad (۹۳)$$

برای $\alpha \leq 5^\circ$:

$$Q = (-0.523 + 0.181\alpha - 0.0154\alpha^2) + (41.3 - 13.2\alpha + 1.32\alpha^2) \left(\frac{t}{r} \right) \quad (۹۴)$$

برای $5^\circ < \alpha \leq 10^\circ$:

$$Q = (-0.154 + 0.01773\alpha - 0.00249\alpha^2) + (16.42 - 1.980\alpha + 0.0674\alpha^2) \left(\frac{t}{r} \right) \quad (۹۵)$$

برای $10^\circ < \alpha \leq 17^\circ$:

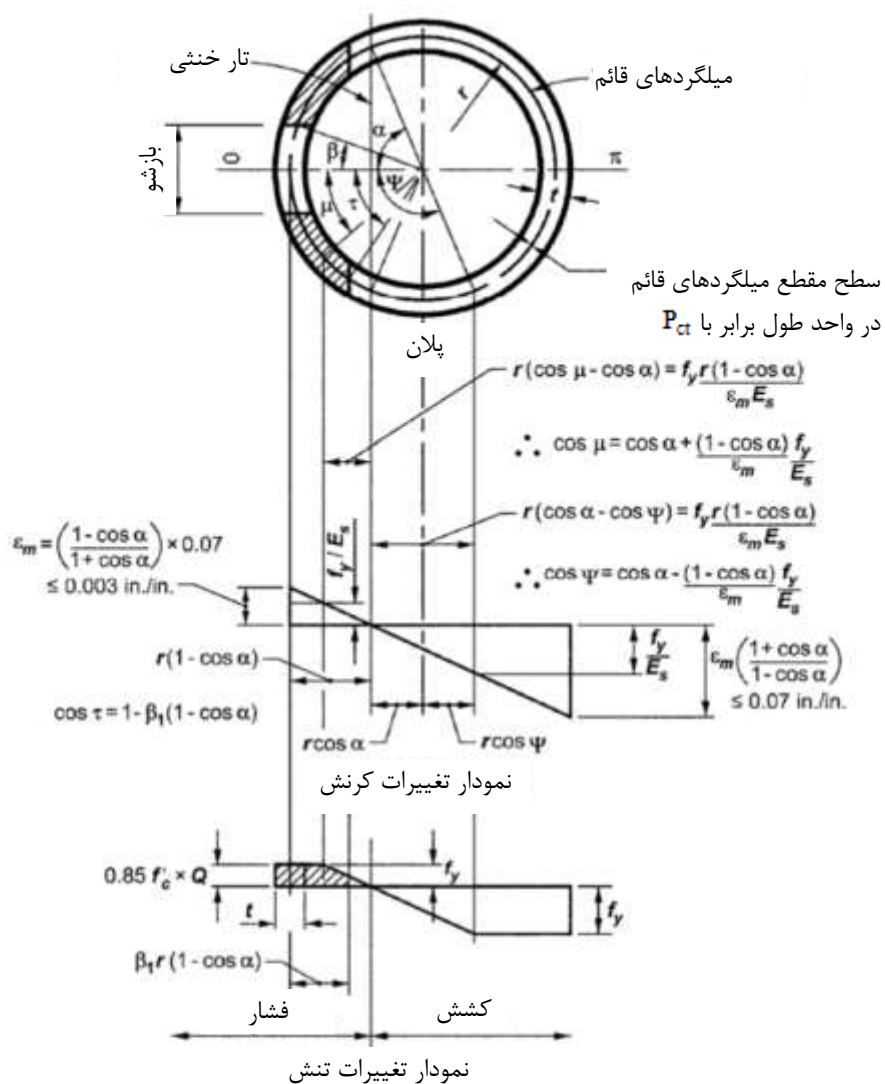
$$Q = (-0.488 + 0.076\alpha) + (9.758 - 0.640\alpha) \left(\frac{t}{r} \right) \quad (۹۶)$$

برای $17^\circ < \alpha \leq 25^\circ$:

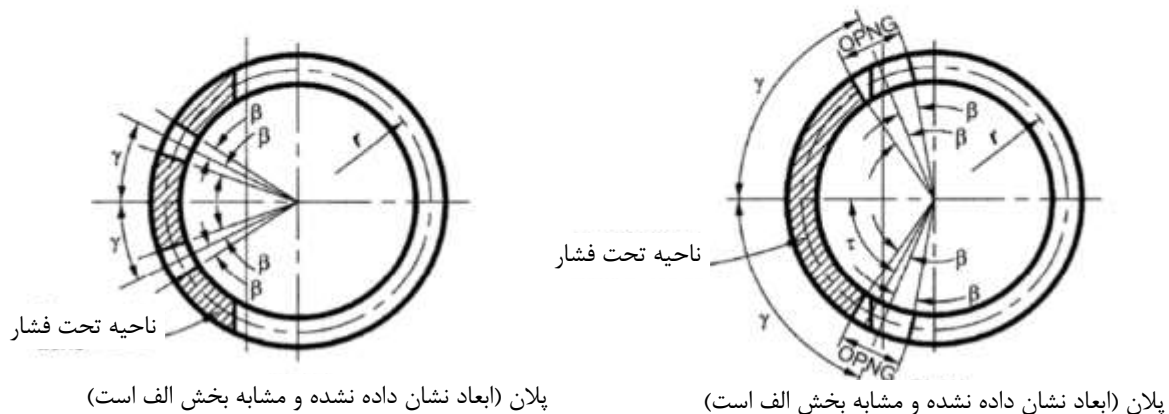
$$Q = (-1.345 + 0.2018\alpha - 0.004434\alpha^2) + (15.83 - 1.676\alpha + 0.03994\alpha^2) \left(\frac{t}{r} \right) \quad (۹۷)$$

برای $25^\circ < \alpha \leq 35^\circ$:

$$Q = (0.993 - 0.00258\alpha) + (-3.27 + 0.0862\alpha) \left(\frac{t}{r} \right) \quad (۹۸)$$



الف- نمودار تغییرات تنش و کرنش



پ- دو بازشو در ناحیه تحت فشار قرار دارد

ب- دو بازشوی متقارن که بخشی از آنها در ناحیه تحت فشار قرار دارد

شکل ۶- توزیع تنش و کرنش در مقطع دودکش دایره‌ای شکل توخالی (بالا) و قرارگیری بازشو در مقطع (پایین)

برای $\alpha > 35^\circ$:

$$Q=0.89 \quad (99)$$

که در آن:

$$Q_2 = \frac{[(\psi - \mu)(1 + 2 \cos^2 \alpha) + (\frac{1}{2})(4 \sin 2\alpha + \sin 2\psi - \sin 2\mu) - \zeta]}{(1 - \cos \alpha)} \quad (100)$$

که در آن:

$$\zeta = 4 \cos \alpha (\sin \alpha + \sin \psi - \sin \mu)$$

$$\bar{R} = \sin \tau - (\tau - n_1 \beta) \cos \alpha - (n_1 / 2) [\sin (\gamma + \beta) - \sin (\gamma - \beta)] \quad (101)$$

که γ برابر است با نصف زاویه بین خطوط مرکزی دو بازشو و در موارد بدون بازشو، $n_1 = \gamma = \beta = 0$ برای یک بازشو در ناحیه تحت فشار، $n_1 = 1$ ، $\gamma = 0$ برای دو بازشو در ناحیه تحت فشار، $n_1 = 2$ است.

یادآوری - پارامتر Q : استفاده از بلوک تنش فشاری در تیرهای بتنی مسلح مستطیلی و T شکل پس از مطالعات مقایسه‌ای گسترده بین نتایج تحلیلی با استفاده از این رابطه تنش - کرنش و داده‌های آزمون، مورد پذیرش قرار گرفته است. پذیرش بلوک تنش مستطیلی بر اساس ارتباط مناسب بین نتایج تحلیل‌ها و آزمایش‌ها و مقایسه‌های زیر صورت گرفته است:

الف - نیروی فشاری بتن؛ و

ب - لنگر نیروی فشاری حول تار خنثی (در یک مقطع مستطیلی، این معادل فاصله از مرکز ثقل بلوک تنش مستطیلی تا تار خنثی است)

مطالعه مقایسه‌ای قبلی بر اساس داده‌های محدود آزمایشگاهی در دسترس برای اعضای بتنی مسلح مقاطع دایره‌ای توخالی در معرض بارهای محوری و عرضی انجام شده است.

مشکل دیگر در تعیین بلوک تنش مستطیلی برای تحلیل دودکش‌های بتنی مسلح این موضوع بود که هنگامی که فولاد به حد گسیختگی خود می‌رسد، کرنش فشاری بیشینه بتن از ۰/۰۰۳ کوچکتر باشد. در این وضعیت، بلوک تنش فشاری به صورت کامل شکل نمی‌گیرد (به یادآوری زیربند ۵-۸-۱-۲ مراجعه شود). بنابراین، تلاش‌های قبلی برای منظور کردن بلوک تنش مستطیلی برای مقاطع عرضی دودکش بتنی نیاز به اصلاح دارد. به همین منظور، کمیته تدوین استاندارد ACI 307: 1988، یک مطالعه عددی برای یافتن یک بلوک تنش مستطیلی معادل برای محاسبه مقاومت مقاطع عرضی دودکش انجام داده است.

برای یک مقدار مشخص α ، نتایج بلوک تنش فشاری مستطیلی بتن با اصلاحات بدون بعد ردیف‌های الف و ب بیان شده فوق، با نتایج آزمایش‌های متناظر با استفاده از یک رابطه دقیق‌تر تنش - کرنش بتن ارایه شده توسط Hognested با استفاده از یک کرنش فشاری محدودکننده ۰/۰۰۳ ارایه گردید. مقایسه‌ها برای

مقاطع دایره‌ای شکل توخالی بدون بازشو و با یک باز شو همراه با مقادیر زاویه β برابر با ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه انجام پذیرفت.

نتیجه آن شد که برای مقادیر α بزرگتر از ۲۰ درجه یا هنگامی که ابتدا کرنش محدودکننده بتن فرا برسد، در صورتی که میزان تنش بلوک تنش مستطیلی با یک ضریب ۰/۸۹ کاهش داده شود، یک تعادل بین دو رویکرد ایجاد می‌شود. برای مقادیر α کوچکتر از تقریباً ۲۰، یک اصلاح دیگر که منجر به پارامتر Q تعریف شده در زیربند ۵-۸-۵-۲ می‌شود مورد نیاز است.

بنابراین، ضریب اصلاح یا پارامتر Q یک تعادل نزدیک بین مقادیر منتج شده از ردیف‌های الف و ب ذکر شده فوق برای بلوک تنش مستطیلی اصلاح شده و بلوک تنش مبتنی بر رابطه تنش-کرنش ارایه شده توسط Hognested به دست می‌دهد و در ضمن سادگی بلوک تنش مستطیلی را حفظ می‌کند.

۵-۸-۵-۳ دو بازشوی متقارن در ناحیه تحت فشار

طبق بخش پ شکل ۶ این وضعیت هنگامی $\gamma + \beta > \tau$ و $\gamma - \beta < \tau$ باشد ایجاد می‌شود. در این وضعیت، $\delta = \gamma - \beta$ خواهد بود. سپس در رابطه (۸۱)، $\lambda = \delta$ خواهد بود و در رابطه (۹۳) باید از مقدار زیر استفاده شود:

$$\bar{R} = \sin \delta - \delta \cos \alpha \quad (۱۰۲)$$

۵-۸-۵-۴ بازشوها در ناحیه کششی

از بازشوها در ناحیه کششی صرف‌نظر می‌شود زیرا مقاومت کششی بتن قابل چشم‌پوشی است و میلگردهای قطع شده در محل بازشوها در طرفین بازشو قرار می‌گیرند.

۵-۸-۵-۵ بازشوها در ناحیه فشاری

در محاسبات نیروها در میلگردهای صرفاً تحت فشار، از بازشوهای واقع در ناحیه فشاری صرف‌نظر می‌شود زیرا میلگردهای قطع شده در طرفین بازشو قرار می‌گیرند.

۵-۸-۵-۶ محدودیت

نصف زاویه بازشو β نباید از ۳۰ درجه فراتر رود.

۵-۸-۵-۷ روند محاسبه مقاومت خمشی

با مقادیر مشخص $x, t, f_c, \beta, \gamma, P_u, M_u$ و تعداد بازشوها (که P_u و M_u به ترتیب بار قائم ضریب‌دار و لنگر خمشی ضریب‌دار هستند)، از روند زیر استفاده می‌شود:

گام ۱- یک مقدار برای کل نسبت میلگرد قائم، p ، فرض می‌شود.

گام ۲- با سعی و خطا، مقدار α برای برآورده شدن رابطه (۸۱) به دست می‌آید.

گام ۳- این مقدار α در رابطه (۹۲) جای گذاری می شود و مقدار M_n محاسبه می شود.

گام ۴- اگر $\phi M_n < M_u$ باشد، ρ_f افزایش داده می شود؛ چنانچه $\phi M_n > M_u$ باشد، مقدار ρ_f کاهش داده می شود.

گام ۵- گام ۲ تا ۴ تا زمانی تکرار می شود که رابطه $\phi M_n = M_u$ برقرار شود.

یادآوری- به علت آنکه دودکش های بتنی در معرض حرارت قرار دارند، افت دما در عرض جداره دودکش، مقاومت اسمی قطعات دودکش را کاهش می دهد. این اثر با کاستن مقاومت تسلیم مشخصه فولاد و مقاومت فشاری مشخصه بتن منظور می شود. روند استخراج روابط در پیوست چ ارایه گردیده است.

۵-۸-۵ اصلاح مقادیر مقاومت مشخصه بتن و فولاد به علت آثار حرارتی

برای ترکیبات بار شامل آثار دما، مقادیر f_y و f_c را باید با روابط (۱۰۳) و (۱۰۴) اصلاح نمود. مقدار f_y باید با مقدار حاصل از رابطه زیر جایگزین شود:

$$f_y'(v) = f_y - \frac{1.2}{1 + \gamma_1} (f_{STV} - \gamma_1 f_{CTV}') \quad (10.3)$$

و همچنین مقدار f_c به این صورت اصلاح می شود:

$$f_c'(v) = f_c - 1.2 f_{CTV}' \quad (10.4)$$

که در آن:

f_{STV} ، f_{CTV}' و γ_1 در زیربند ۵-۹ تعریف شده است.

۵-۸-۵ ملاحظات ویژه

در صورتی که بیش از دو بازشو در یک تراز واقع شده باشند، روش های مناسب طراحی سازگار با حالات مندرج در بخش الف، ب و پ شکل ۶ باید به کار گرفته شود.

یادآوری- در این استاندارد، محدودیتی برای تعداد بازشوهای دودکش در هر مقطع عرضی افقی وجود ندارد.

۵-۸-۶ مقاطع غیر دایره ای

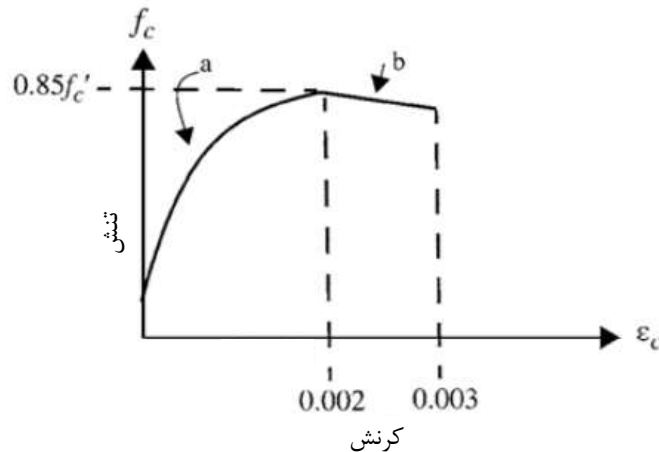
۵-۸-۶-۱ ملاحظات کلی

کلیه زیربندهای قابل کاربرد مطرح شده در بخش دودکش های بتنی در بند ۵، این استاندارد شامل خمش افقی و آثار حرارتی باید برای مقاطع غیردایره ای نیز به کار گرفته شود.

۵-۸-۶-۲ فرضیات طراحی

کرنش در میلگرد و بتن باید مستقیماً متناسب با فاصله تا تار خنثی فرض شود. برای مقاومت قائم (محوری)، کرنش بیشینه در بتن به ۰/۰۰۳ و بیشینه کرنش در فولاد به ۰/۰۰۷ محدود می شود. هر کدام از این دو مقدار

که زودتر فرا برسد به عنوان مقدار محدودکننده تلقی خواهد شد. تنش در میلگرد پایین‌تر از مقاومت مشخصه، f_y برای رده میلگرد مصرفی باید برابر با مدول الاستیسیته فولاد، E_s ضرب در کرنش آن منظور شود. برای کرنش‌های بزرگتر از مقدار کرنش متناظر با f_y تنش در میلگرد باید برابر با f_y منظور شود. از مقاومت کششی بتن صرف‌نظر می‌شود. رابطه بین تنش فشاری بتن و کرنش بتن باید مطابق با منحنی تنش - کرنش نشان داده شده در شکل ۷ فرض شود.



$$f_c = 0.85f'_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{0.002} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0.002} \right)^2 \right] \quad \text{الف}$$

$$f_c = 850f'_c \varepsilon_c (1 - 250\varepsilon_c) \quad \text{ب}$$

$$f_c = 0.85f'_c \left[1 - 0.15 \frac{(\varepsilon_c - 0.002)}{0.001} \right] \quad \text{ب}$$

$$f_c = 0.85f'_c (1.30 - 150\varepsilon_c)$$

شکل ۷- منحنی تنش - کرنش بتن

۵-۸-۶-۳ روند محاسبه

با مقادیر مشخص M_u ، P_u (که M_u و P_u به ترتیب بار قائم ضریب‌دار و لنگر خمشی ضریب‌دار هستند)، از روند زیر استفاده می‌شود:

گام ۱- یک مقدار برای کل نسبت میلگرد قائم، ρ ، فرض می‌شود.

گام ۲- با سعی و خطا، موقعیت تار خنثی که موجب می‌شود نیروی قائم کل در مقطع برابر (و خلاف علامت) با P_u شود به دست می‌آید.

گام ۳- با دانستن موقعیت تار خنثی، مقدار مقاومت خمشی اسمی، M_n محاسبه می‌شود.

گام ۴- اگر $\phi M_n < M_u$ ، ρ_t افزایش داده شده و؛ چنانچه $\phi M_n > M_u$ باشد، ρ_t کاهش داده می‌شود.

گام ۵- گام ۲ تا ۵ تا زمانی تکرار می‌شود که رابطه $\phi M_n = M_u$ برقرار شود.

۵-۸-۶-۴ خمش افقی

طراحی برای خمش افقی باید مطابق با الزامات زیربند ۵-۸-۷ صورت پذیرد.

۵-۸-۷ طراحی برای خمش پیرامونی

۵-۸-۷-۱ طراحی نوار افقی

هر نوار افقی از ستون بتنی باید به صورت یک تیر افقی مقاوم در برابر لنگرهای پیرامونی ارائه شده در زیربند ۵-۸-۷-۴ و آثار حرارتی توصیف شده در زیربند ۵-۹-۳ طراحی شود.

۵-۸-۷-۲ اصلاح مقاومت‌های فولاد و بتن برای آثار حرارتی

برای بارهای ترکیب شده با آثار حرارتی، f_y و f_c به ترتیب با استفاده از روابط اصلاح می‌شوند.

f_y با رابطه زیر جایگزین می‌شود:

$$f_y'(c) = f_y - 1.2 f_{STC} \quad (10.5)$$

f_c با رابطه زیر جایگزین می‌شود:

$$f_c''(c) = f_c - 1.2 f_{CTC} \quad (10.6)$$

که در آن‌ها:

f_{STC} و f_{CTC} در زیربند ۵-۹ تعریف شده است.

یادآوری زیربند ۵-۸-۷-۵ عیناً در این زیربند نیز قابل کاربرد است.

۵-۹ تنش‌های حرارتی

۵-۹-۱ ملاحظات کلی

به علت افت دما در عرض جداره دودکش، اختلاف روابط تنش‌های قائم و افقی در بتن و فولاد ناشی از این موضوع در پیوست ح ارائه شده است. روابط محاسبه تنش‌های حرارتی ارائه شده در این زیربند مبتنی بر روش‌های تنش مجاز است و باید با ضریب بار مناسب در محاسبه مقاومت خمشی اسمی در زیربند ۵-۸

به کار گرفته شود.

۵-۹-۲ تنش های حرارتی قائم

۵-۹-۲-۱ تنش قائم در بتن و فولاد

بیشینه تنش های قائم در بتن و فولاد، f_{CTV}^* و f_{STV}^* بر حسب MPa، در درون پوسته دودکش ناشی از حرارت باید با روابط زیر محاسبه شود:

$$f_{CTV}^* = \alpha_{te} \times c \times T_x \times E_c \quad (107)$$

$$f_{STV}^* = \alpha_{te} (c - 1 + \gamma_2) \times T_x \times n \times E_c \quad (108)$$

که در آن:

$$c = -\rho n (\gamma_1 + 1) + \sqrt{[\rho n (\gamma_1 + 1)]^2 + 2 \rho n [\gamma_2 + \gamma_1 (1 - \gamma_2)]} \quad (109)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (110)$$

تغییرات حرارت در عرض پوسته بتنی، T_x ، باید با استفاده از روابط (۱۱۱) تا (۱۱۴) محاسبه شود یا به کمک یک مطالعه تعادل حرارتی کامل برای کلیه وضعیت های بهره برداری تعیین شود.

الف- دودکش های بدون پوشش داخلی:

$$T_x = \frac{td_{ci}}{C_c d_c} \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{td_{ci}}{C_c d_c} + \frac{d_{ci}}{K_o d_{co}}} \right) \quad (111)$$

ب- دودکش های دارای عایق که فضای بین پوشش داخلی و پوسته را کاملاً پر کرده است:

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c} \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}} \right) \quad (112)$$

پ- دودکش های دارای پوشش داخلی با فضای خالی بدون تهویه بین پوشش داخلی و پوسته:

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c} \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{K_i} + \frac{t_b d_{bi}}{C_b d_b} + \frac{d_{bi}}{K_i d_b} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}} \right) \quad (113)$$

ت- دودکش های دارای پوشش داخلی با یک فضای خالی دارای تهویه بین پوشش داخلی و پوسته:

$$T_x = \frac{td_{bi}}{C_c d_c} \left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{r_q K_i} + \frac{t_b d_{bi}}{r_q C_b d_b} + \frac{d_{bi}}{K_s d_s} + \frac{td_{bi}}{C_c d_c} + \frac{d_{bi}}{K_o d_{co}}} \right) \quad (114)$$

۵-۹-۲-۲ پارامترهای ثابت در تعیین تغییرات حرارت

به جز مواردی که مطالعات تعادل حرارتی کامل برای یک دودکش انجام می‌شود، استفاده از مقادیر تقریبی زیر مجاز است. زمانی که این مقادیر ثابت درون روابط اختلاف دما در پوسته دودکش، T_x ، قرار داده می‌شود، مقدار حاصل دارای دقت کافی با فرضیات مبنای طراحی خواهد بود.

r_q برابر با ۰/۵

C_c برابر با $68 \text{ W/m}^2\text{K}$

C_s به دست آمده از سازنده ماده مورد استفاده

C_b به دست آمده از سازنده ماده مورد استفاده

K_i از نمودارهای شکل ۸ تعیین می‌شود

K_o برابر با $68 \text{ W/m}^2\text{K}$

K_r برابر با $T_i/120$

K_s برابر با $T_i/150$

مقدار $r_q=0.5$ باید صرفاً جایی که فاصله بین پوشش داخلی و پوسته دودکش در سراسر ارتفاع پوشش داخلی بزرگتر از ۱۰۰ mm است و بازشوهای ورودی و خروجی هوا در بالا و پایین پوسته دودکش تعبیه می‌شود به کار رود. مساحت بازشوهای ورودی و خروجی بر حسب مترمربع (m^2) پوسته باید به لحاظ عددی برابر با ۰/۰۶۱۹ برابر قطر داخلی پوسته دودکش بر حسب متر (m) در بالای پوشش داخلی باشد. در فضای خالی بین پوشش داخلی و پوسته دودکش نباید موانع موضعی، محدودیتی برای فضا در هر مقطع افقی کوچکتر از مقدار مشخص شده برای ورودی یا خروجی هوا ایجاد کنند.

یادآوری- داده‌های تحقیقاتی موجود برای تعیین ضرایب انتقال حرارت در طول پوشش داخلی و پوسته دودکش به ویژه داده‌هایی که انتقال حرارت از گازها به سطوح و فضاهای خالی تهویه شده بین پوشش داخلی و پوسته دودکش را منظور می‌کنند ناکافی است. لذا به جز مواردی که مطالعات تعادل حرارتی برای یک دودکش انجام می‌پذیرد، استفاده از مقادیر ثابت ذکر شده در این استاندارد مجاز است.

۵-۹-۲-۳ بیشینه تنش ناشی از حرارت در میلگردهای قائم

بیشینه تنش در میلگردهای قائم، f_{sTV} بر حسب MPa، ایجاد شده در پوسته دودکش ناشی از حرارت باید با استفاده از رابطه (۱۱۵) تعیین شود:

$$f_{STV} = \alpha_{te} \times (\gamma_2 - c) \times T_x \times E_s \quad (115)$$

۵-۹-۳ تنش‌های حرارتی پیرامونی

۵-۹-۳-۱ تنش پیرامونی در بتن

بیشینه تنش پیرامونی در بتن، f_{CTC}'' بر حسب MPa، ایجاد شده در داخل پوسته دودکش ناشی از حرارت باید با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود:

$$f_{CTC}'' = \alpha_{te} \times (c') \times T_x \times E_c \quad (116)$$

که در آن:

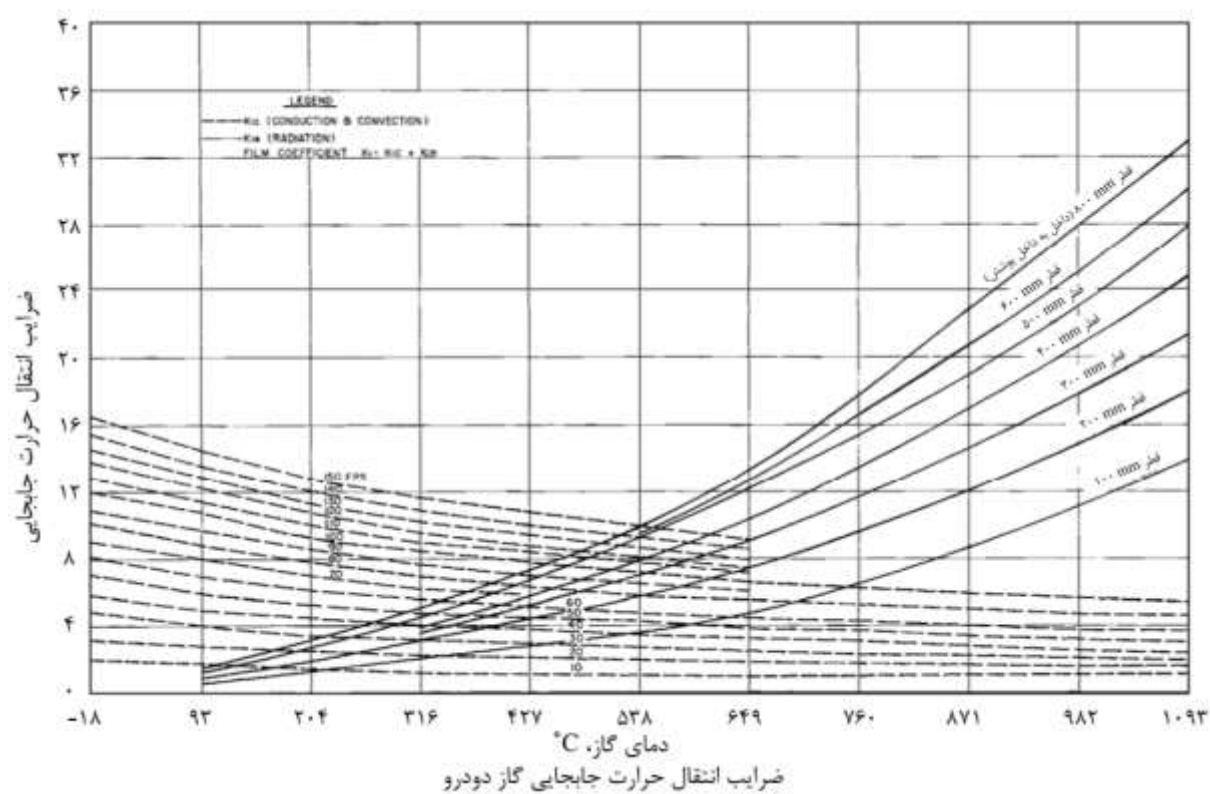
$$c' = -\rho'n(\gamma_1' + 1) + \sqrt{[\rho'n(\gamma_1' + 1)]^2 + 2\rho'n[\gamma_2' + \gamma_1'(1 - \gamma_2')]} \quad (117)$$

و T_x مقدار تعیین شده برای تنش‌های حرارتی قائم است. بقیه نشانه‌گذاری‌ها مشابه نشانه‌گذاری‌های مربوط به تنش‌های حرارتی قائم است.

۵-۹-۳-۲ تنش در میلگردهای پیرامونی بیرونی

بیشینه تنش در میلگردهای پیرامونی بیرونی، f_{STC} بر حسب MPa، ناشی از حرارت باید از رابطه (۱۱۸) محاسبه شود.

$$f_{STC} = \alpha_{te} \times (\gamma_2' - c') \times T_x \times E_s \quad (118)$$

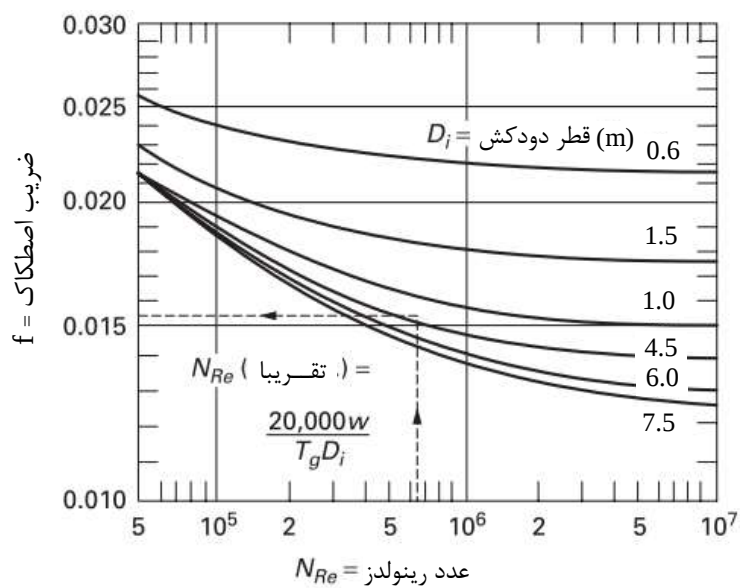


شکل ۸- نمودار برای تعیین K_i

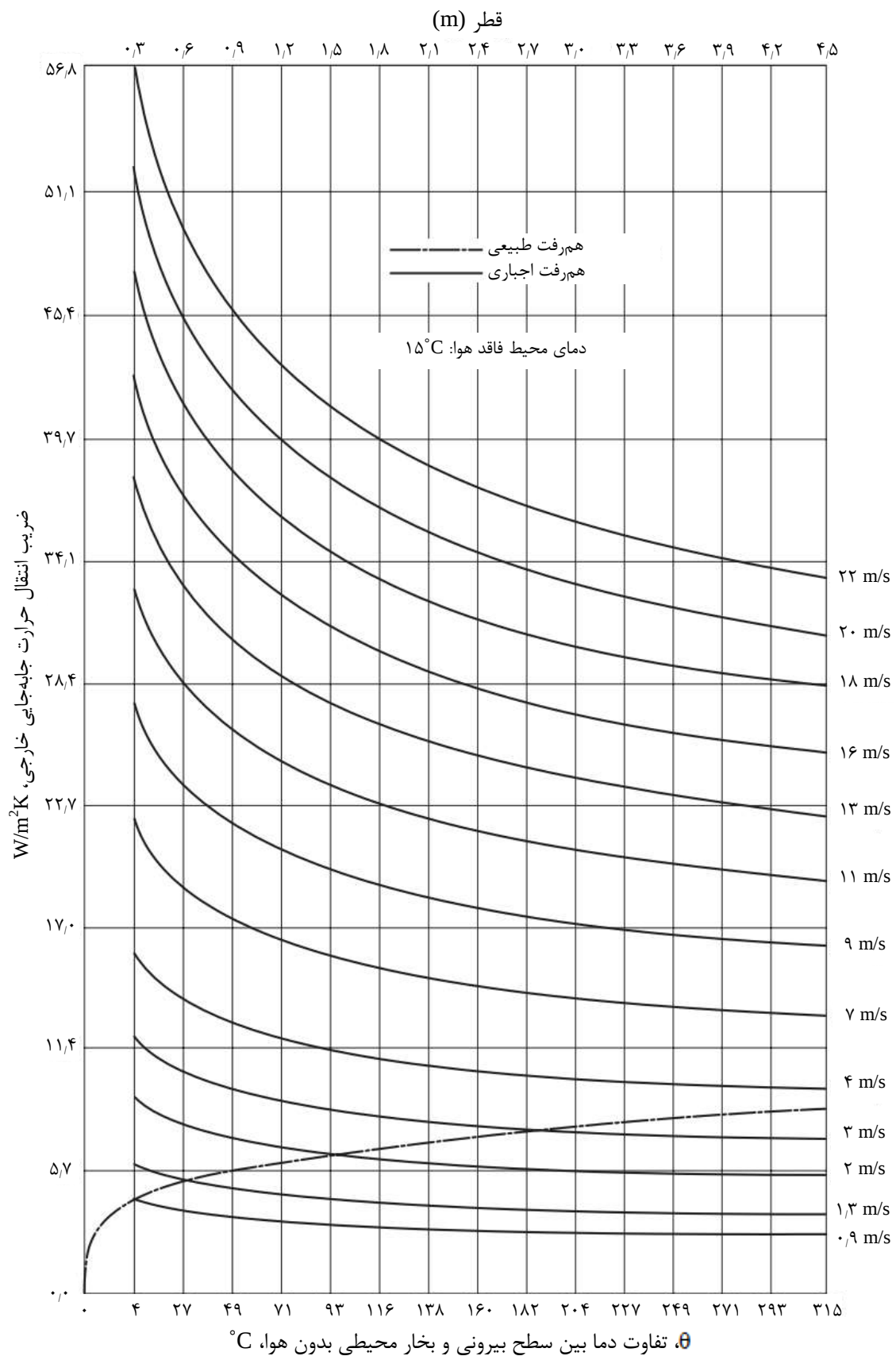
پیوست الف

(آگاهی‌دهنده)

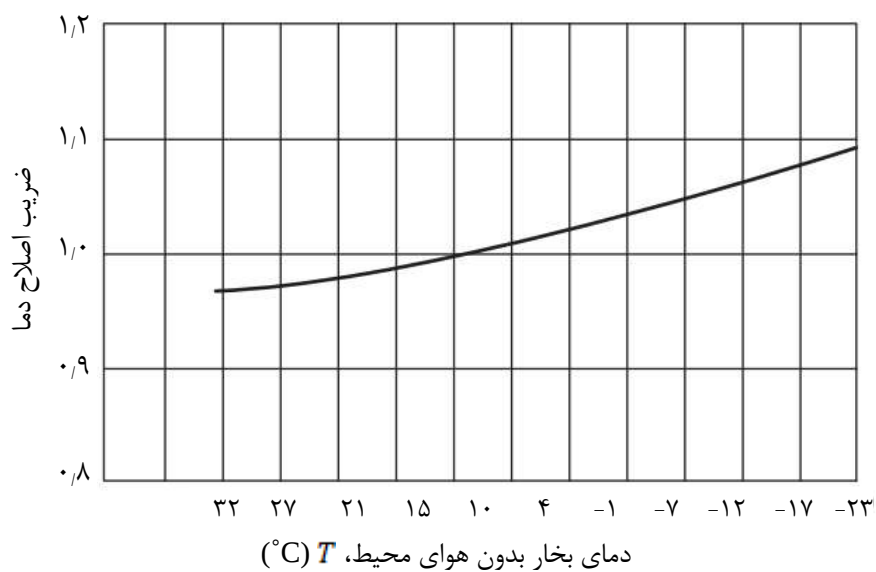
طراحی مکانیکی دودکش فولادی



شکل الف-۱- ضریب اصطکاک، f ، در برابر عدد رینولدز و قطر دودکش فولادی



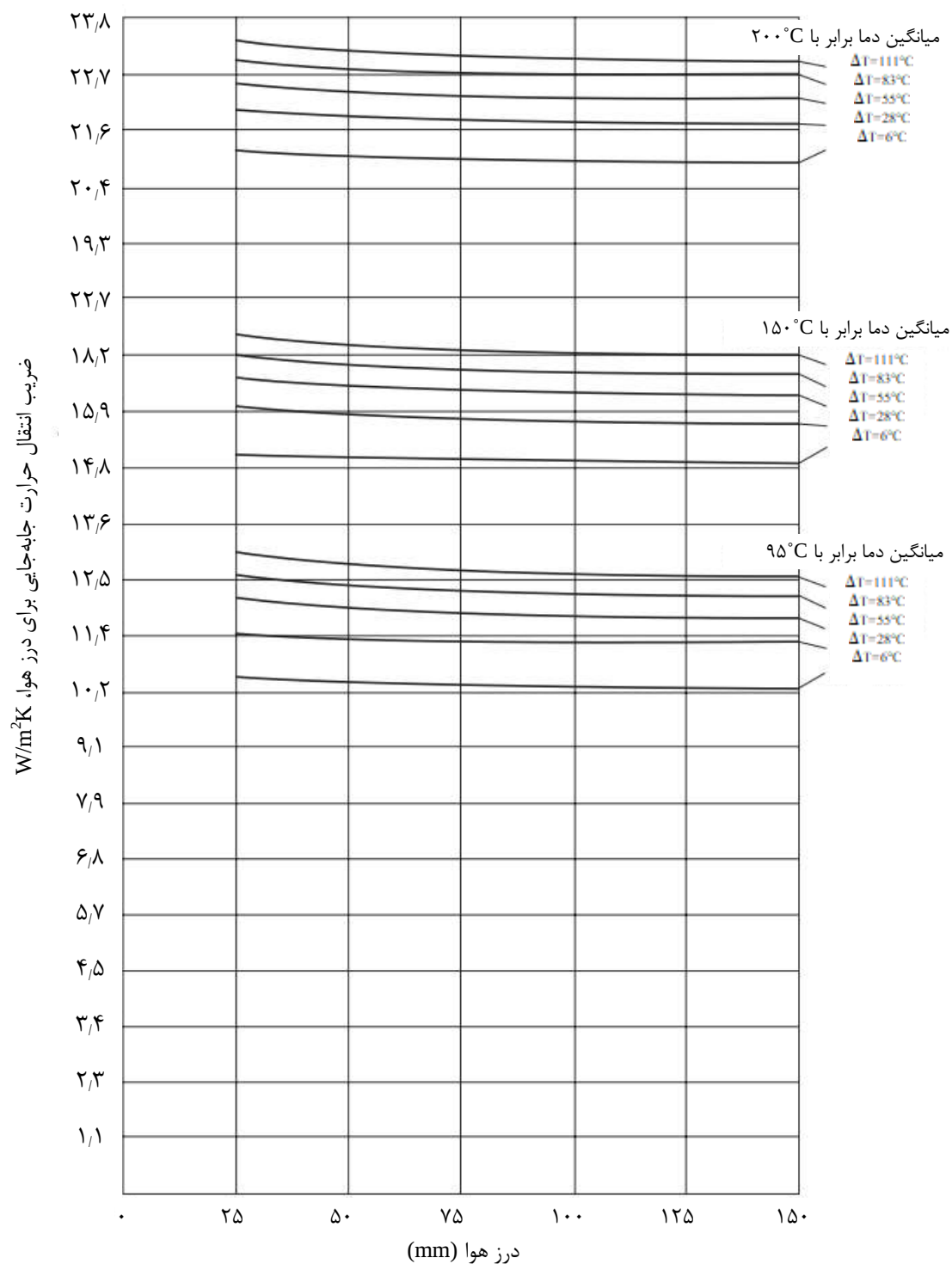
شکل الف-۲- ضریب انتقال حرارت خارجی برای همرفت اجباری و طبیعی



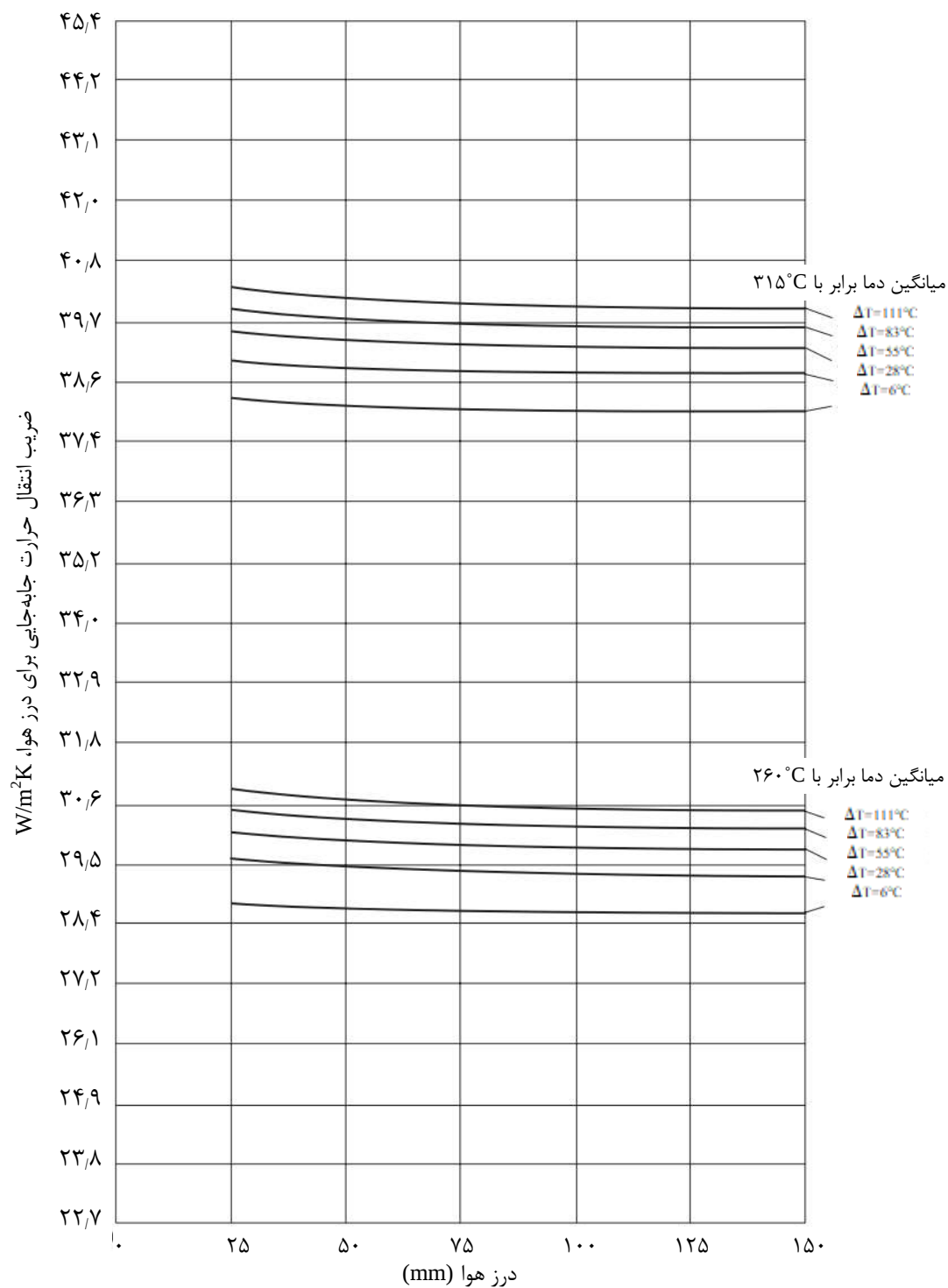
راهنما:

- h_T ($h_{15^\circ\text{C}}$) T (ضریب اصلاح دما) که در آن:
- h_T ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی برای ارتعاش اجباری که در آن، دمای بخار بدون هوا برابر با T برحسب $^\circ\text{C}$ است.
- $h_{15^\circ\text{C}}$ ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی برای ارتعاش اجباری به ازای T برابر با 15°C (به شکل الف-۲ مراجعه شود)

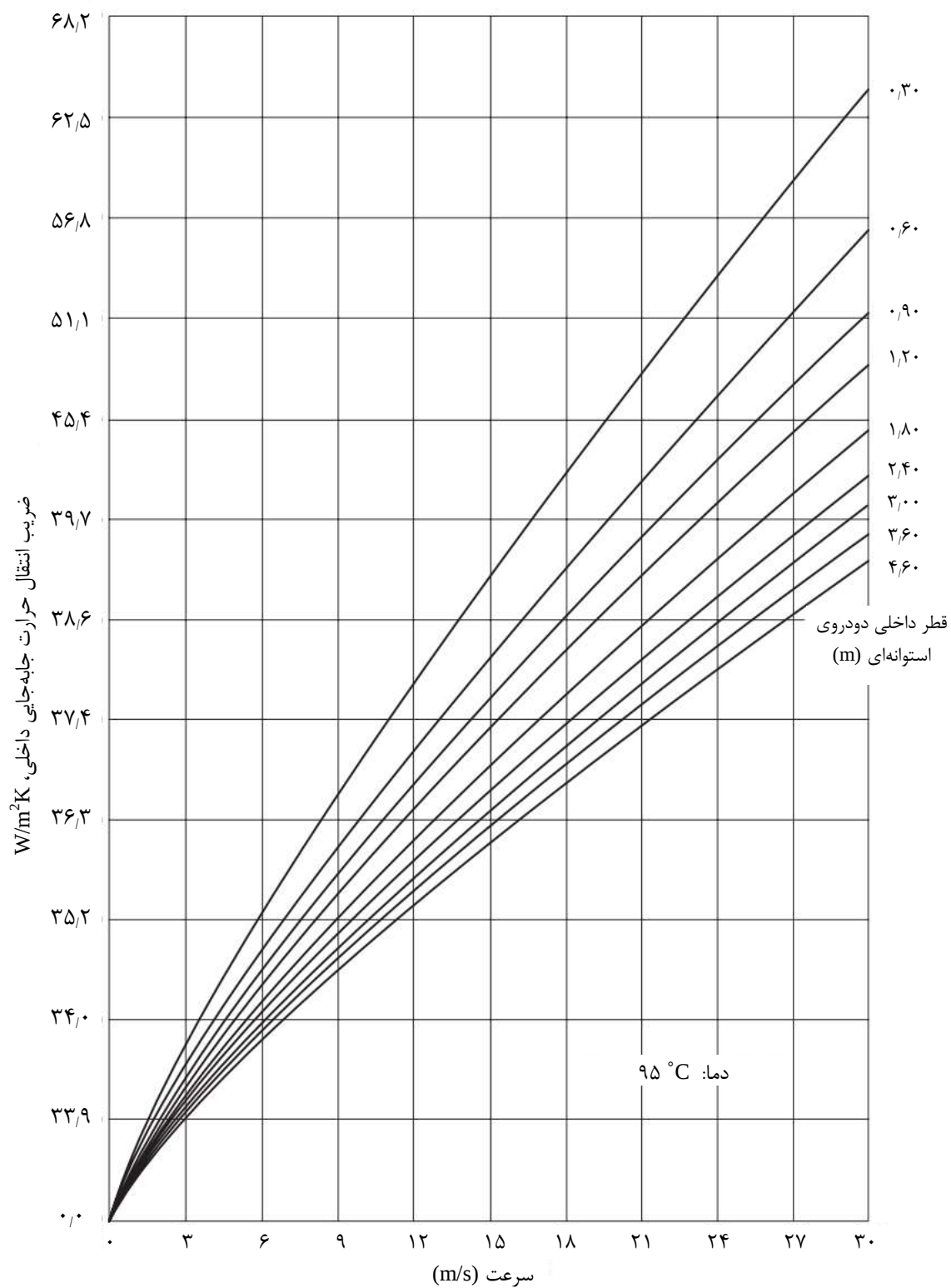
شکل الف-۳- اثر تغییر در دمای بخار بدون هوا در ضریب انتقال حرارت خارجی در همرفت اجباری



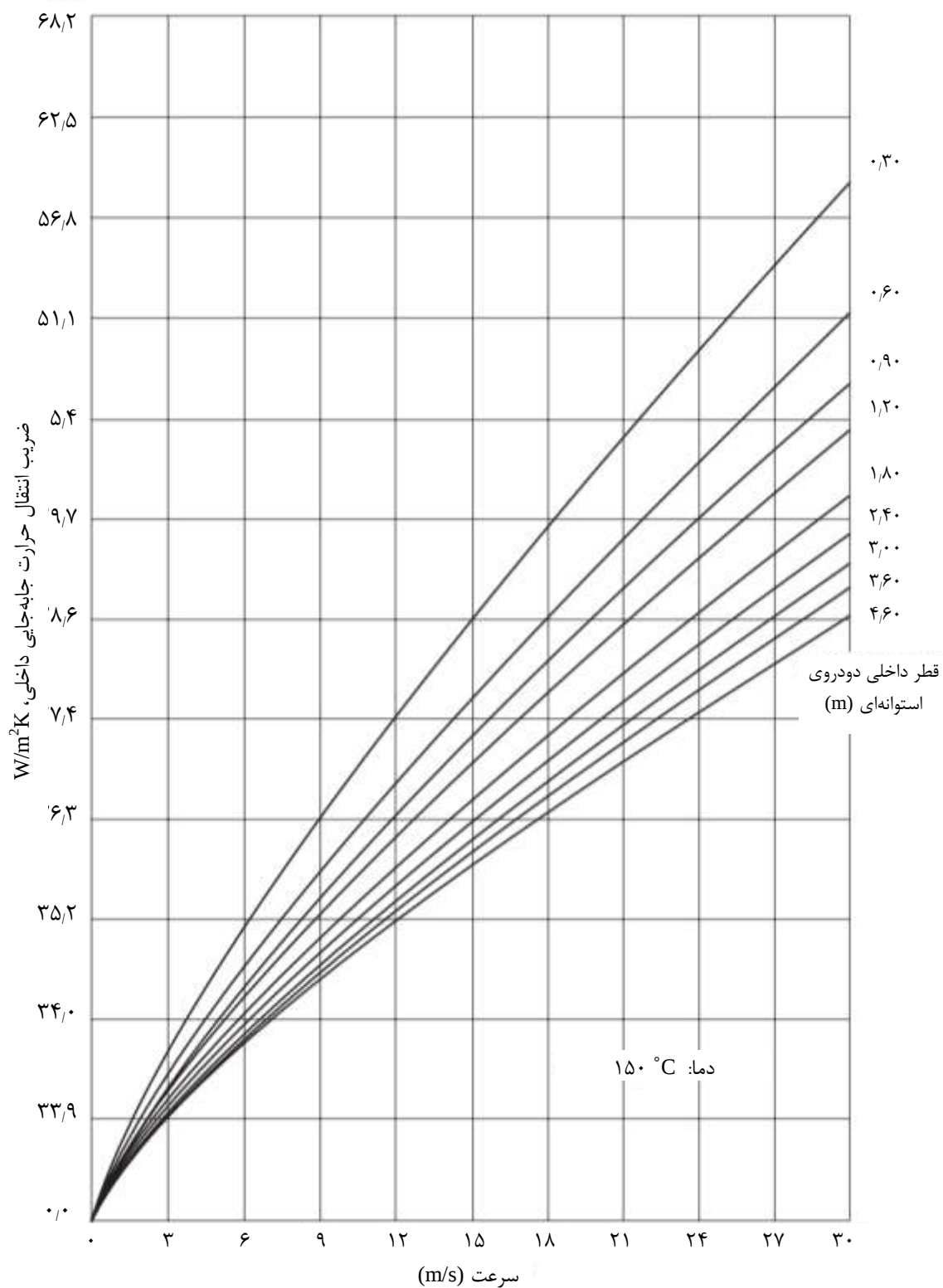
شکل الف-۴- ضریب انتقال حرارت برای درز هوا بین دو دیواره در یک دودکش فلزی دو جداره (میانگین دما بین $95^\circ C$ تا $20^\circ C$)



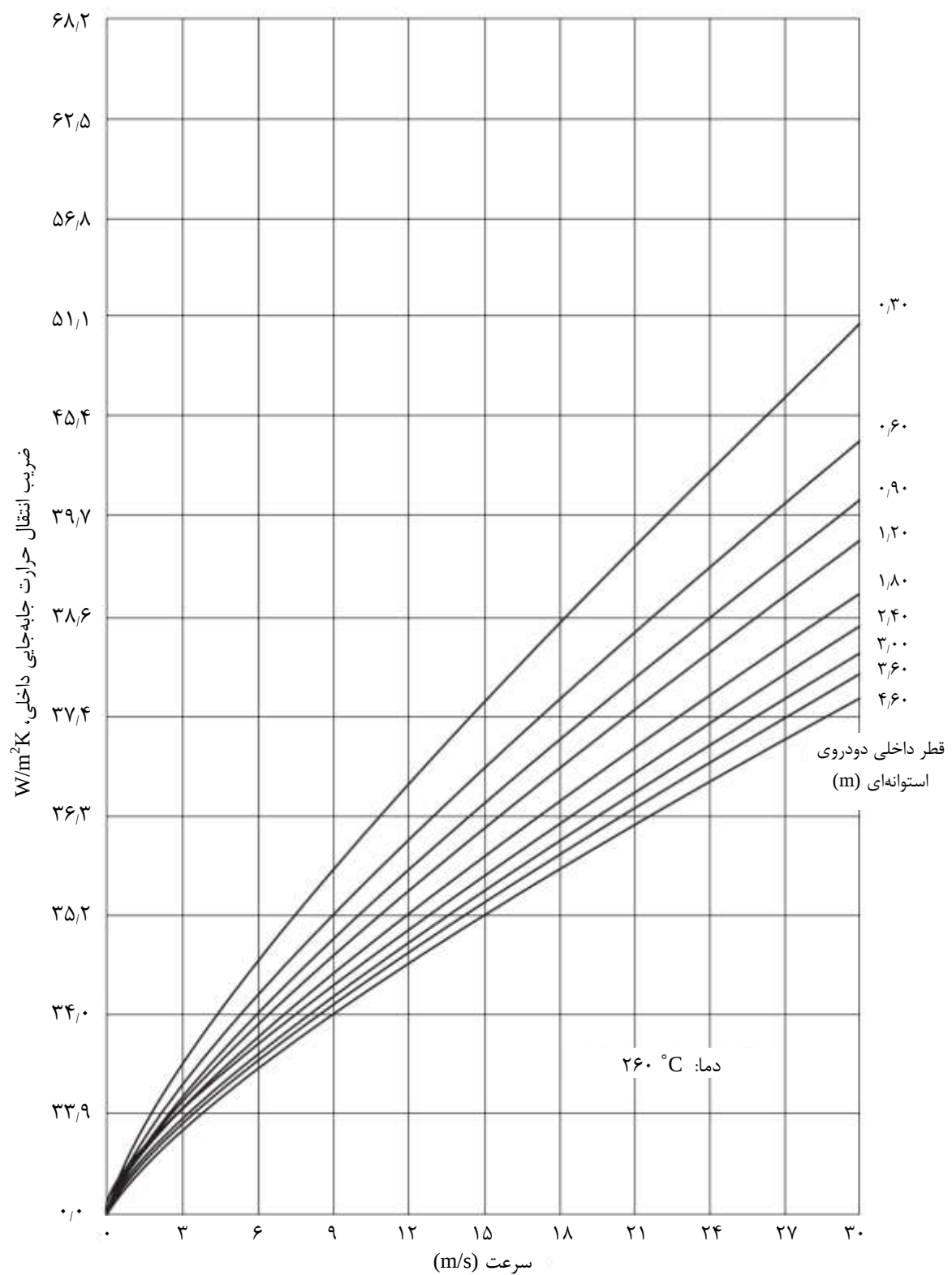
شکل الف-۵- ضریب انتقال حرارت برای درز هوا بین دو دیواره در یک دودکش فلزی دو جدار (میانگین دما بین $260^{\circ}C$ تا $315^{\circ}C$)



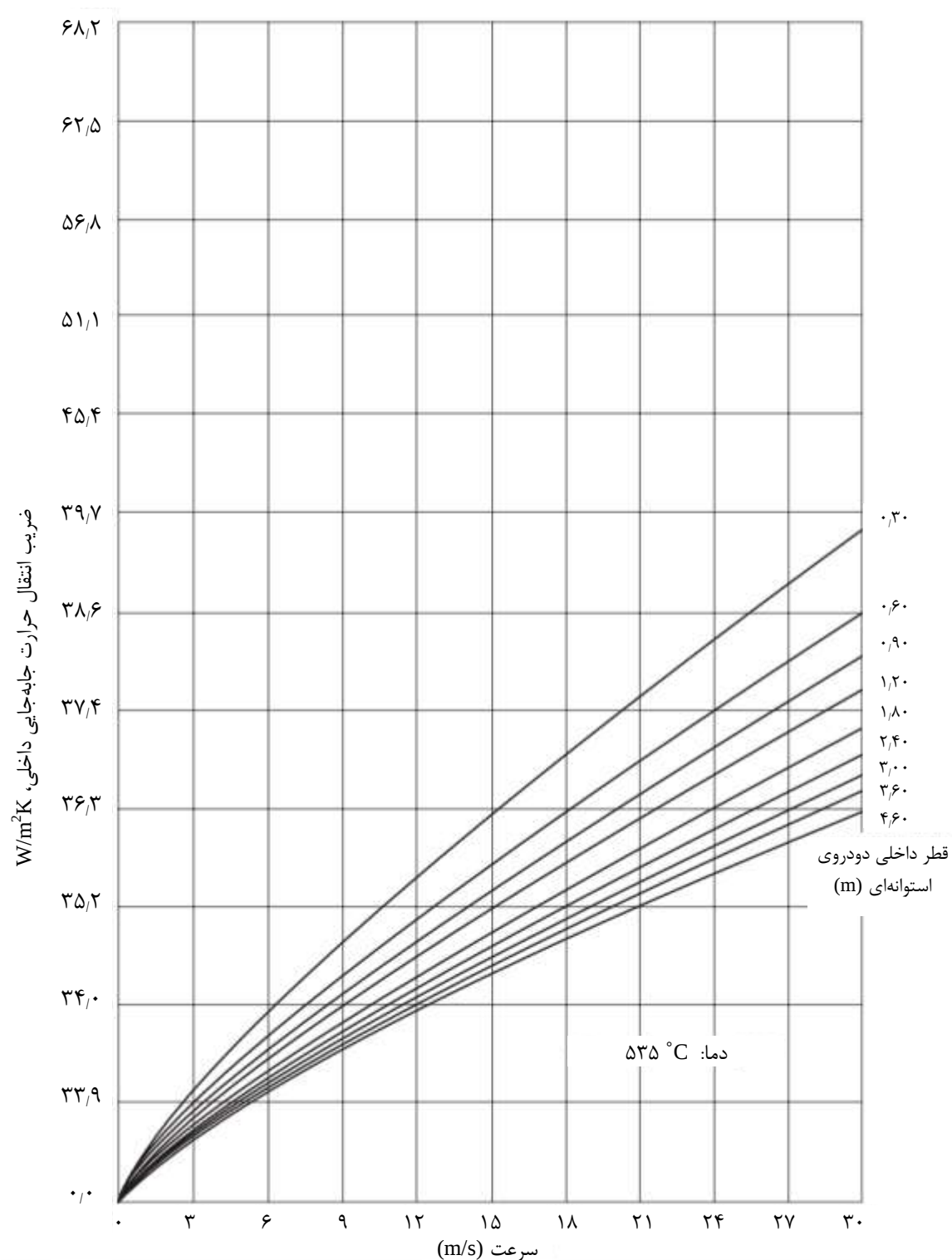
شکل الف-۶- ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی داخلی برحسب W/m^2K ، در برابر سرعت برحسب m/s با دمای $95\text{ }^{\circ}C$



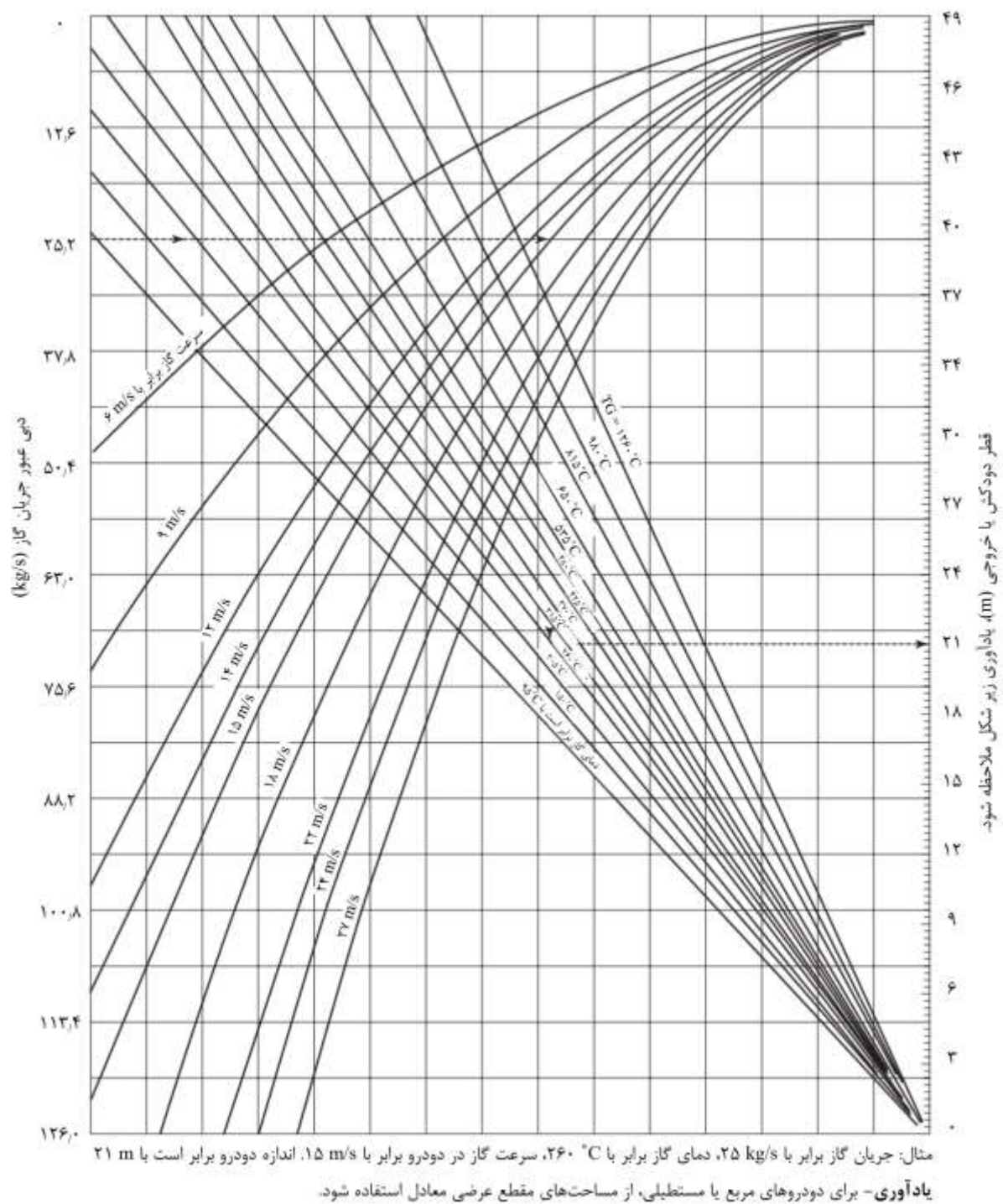
شکل الف-۷- ضریب انتقال حرارت داخلی برحسب W/m^2K در برابر سرعت برحسب m/s با دمای $150\text{ }^{\circ}C$



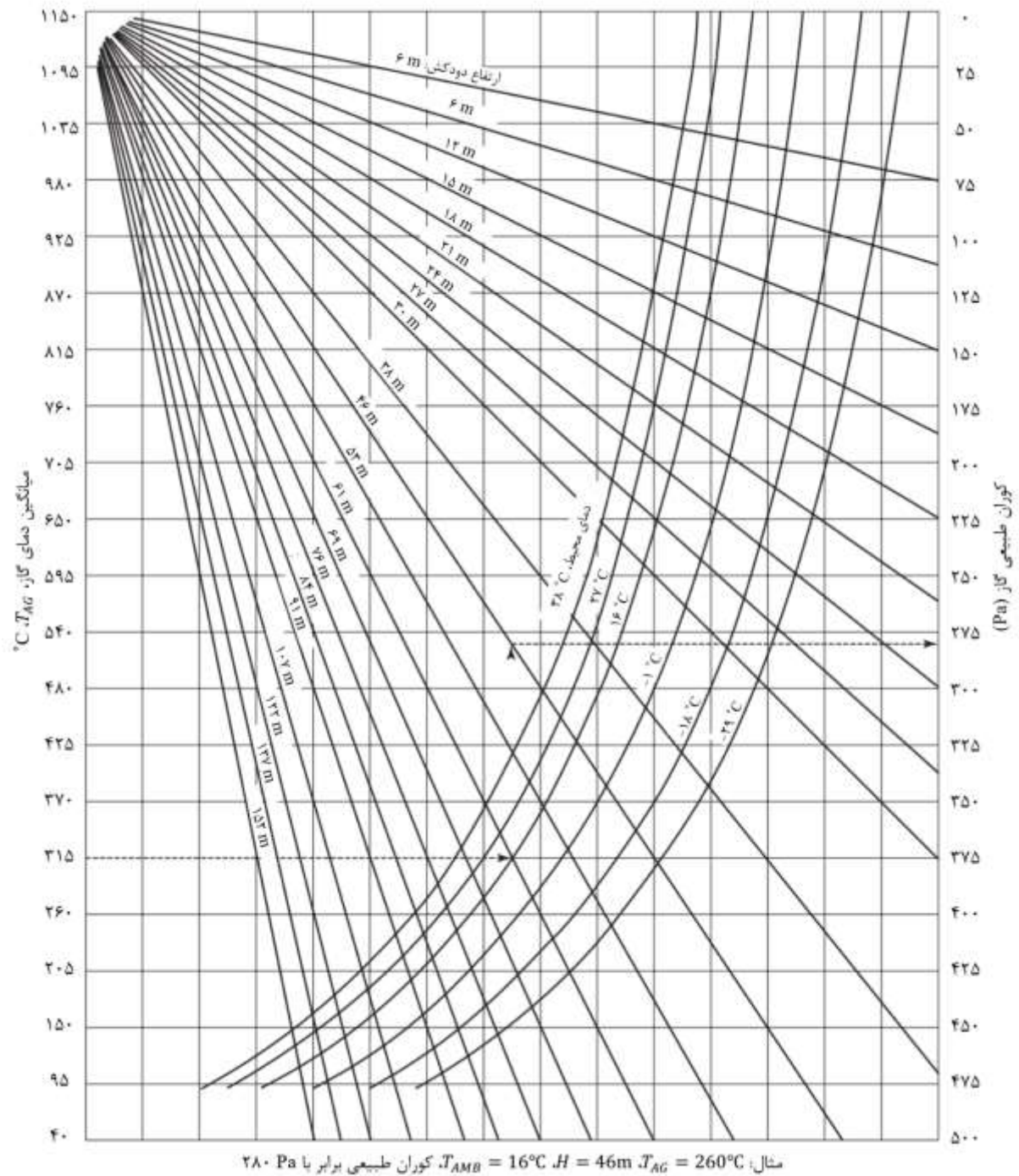
شکل الف-۸- ضریب انتقال حرارت داخلی بر حسب W/m^2K در برابر سرعت بر حسب m/s با دمای $260\text{ }^{\circ}C$



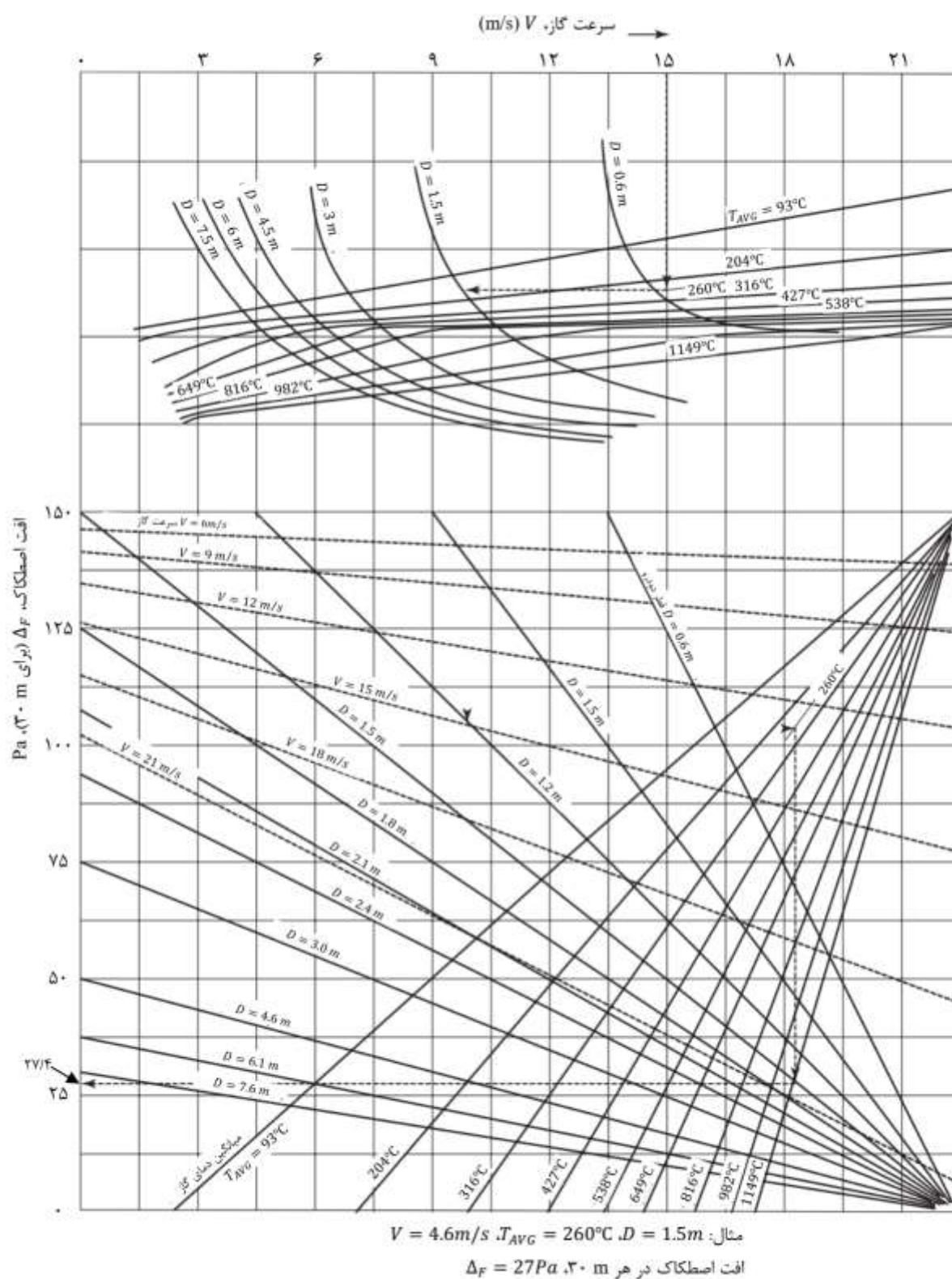
شکل الف-۹- ضریب انتقال حرارت داخلی برحسب W/m^2K در برابر سرعت برحسب m/s با دمای $535^\circ C$



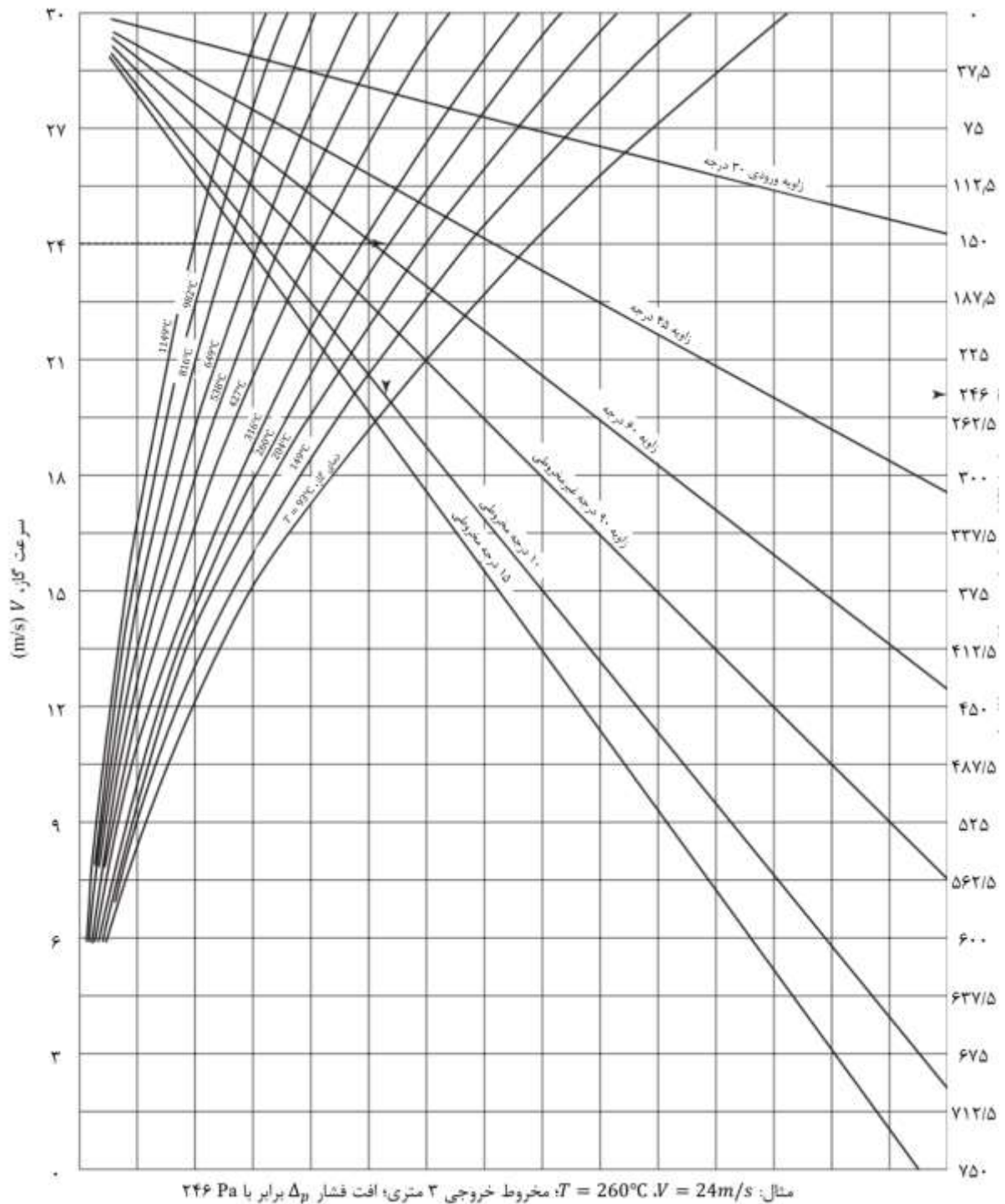
شکل الف-۱۰- اندازه دودرو



شکل الف-۱۱- کوران طبیعی



شکل الف-۱۲- افت اصطکاک



شکل الف-۱۳- افت خروجی و ورودی

جدول الف-۱- ضریب K برای زاویه ورودی مجرا (ضریبی وابسته به زاویه ورودی مجرا نسبت به خط قائم)

ضریب K	زاویه
۱٫۰	۹۰
۰٫۷۵	۶۰
۰٫۵۰	۴۵
۰٫۲۰	۳۰
۰٫۸۵	برای شیب ۴۵ درجه صرفاً در بالا

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

مواد و مصالح برای بهره‌برداری در دمای محیط و ارتفاع دودکش فولادی

جدول ب-۱- فولاد کربنی طبق استاندارد ASTM A36

الف - ترکیب شیمیایی عناصر			
درصد ترکیب شیمیایی		عناصر	
0.35 max.		کربن	
0.29/1.06		منگنز	
0.048 max.		فسفر	
0.058 max.		گوگرد	
0.10 min.		سیلیس	
ب - خصوصیات نوعی تنش‌زدایی شده			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
29,676 (204 471)	58.0 (399.6)	36.0 (248.0)	-20 (-29)
29,062 (200 234)	58.0 (399.6)	36.0 (248.0)	100 (38)
28,831 (198 644)	58.0 (399.6)	33.8 (232.9)	150 (66)
28,600 (197 054)	58.0 (399.6)	33.0 (227.4)	200 (93)
28,350 (195 332)	58.0 (399.6)	32.4 (223.2)	250 (121)
28,100 (193 609)	58.0 (399.6)	31.8 (219.1)	300 (149)
27,700 (190 853)	58.0 (399.6)	30.8 (212.2)	400 (204)
27,100 (186 719)	58.0 (399.6)	29.3 (201.9)	500 (260)
26,400 (181 896)	58.0 (399.6)	27.6 (190.2)	600 (316)
25,850 (178 106)	58.0 (399.6)	26.7 (184.0)	650 (343)
25,300 (174 317)	58.0 (399.6)	25.8 (177.8)	700 (371)
24,650 (169 838)	57.3 (394.8)	24.9 (171.6)	750 (399)
24,000 (165 360)	53.3 (367.2)	24.1 (166.0)	800 (427)
23,150 (159 503)	48.5 (334.2)	23.4 (161.2)	850 (454)
22,300 (153 647)	43.3 (298.3)	22.8 (157.1)	900 (482)
21,250 (146 413)	38.0 (261.8)	22.1 (152.3)	950 (510)
20,200 (139 178)	33.4 (230.1)	21.4 (147.4)	1,000 (538)
یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.			
یادآوری ۲- مشخصات به صورت عمومی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.			

جدول ب-۲- فولاد آلیاژی رده ۱۱، طبق استاندارد ASTM A387

الف- ترکیب شیمیایی عناصر	
عناصر	درصد ترکیب شیمیایی
کربن	0.15 max.
منگنز	0.30/0.61
فسفر	0.045 max.
گوگرد	0.045 max.
سیلیس	0.50 max.
کرم	0.80/1.25
مولیبدن	0.44/0.65

ب- خصوصیات نوعی تنش‌زدایی شده (رده، وضعیت، حالت = ۱)

دما °F (°C)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	مدول الاستیسیته ksi (MPa)
-20 (-29)	35.0 (241.2)	60.0 (413.4)	30,076 (207 227)
100 (38)	35.0 (241.2)	60.0 (413.4)	29,462 (202 990)
150 (66)	33.3 (229.4)	60.0 (413.4)	29,231 (201 400)
200 (93)	32.3 (222.5)	60.0 (413.4)	29,000 (199 810)
250 (121)	31.5 (217.0)	60.0 (413.4)	28,750 (198 088)
300 (149)	30.7 (211.5)	60.0 (413.4)	28,500 (196 365)
400 (204)	29.5 (203.3)	60.0 (413.4)	28000 (192 920)
500 (260)	28.4 (195.7)	60.0 (413.4)	27,400 (188 786)
600 (316)	27.4 (188.8)	60.0 (413.4)	26,900 (185 341)
650 (343)	26.9 (185.3)	60.0 (413.4)	26,550 (182 929)
700 (371)	26.4 (181.9)	60.0 (413.4)	26,200 (180 518)
750 (399)	25.9 (178.5)	60.0 (413.4)	25,900 (178 451)
800 (427)	25.2 (173.6)	60.0 (413.4)	25,600 (176 384)
850 (454)	24.5 (168.8)	58.3 (401.7)	25,200 (173 628)
900 (482)	23.8 (164.0)	55.8 (384.5)	24,800 (170 872)
950 (510)	22.9 (157.8)	52.6 (362.4)	24,350 (167 771)
1,000 (538)	21.9 (150.9)	48.8 (336.2)	23,900 (164 671)

ب- خصوصیات نرمال‌سازی شده و حرارت دیده (رده، وضعیت، حالت = ۲)

دما °F (°C)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	مدول الاستیسیته ksi (MPa)
-20 (-29)	45.0 (310.1)	75.0 (516.8)	30,076 (207 227)
100 (38)	45.0 (310.1)	75.0 (516.8)	29,462 (202 990)
150 (66)	42.8 (294.9)	75.0 (516.8)	29,231 (201 400)
200 (93)	41.5 (285.9)	75.0 (516.8)	29,000 (199 810)
250 (121)	40.5 (279.0)	75.0 (516.8)	28,750 (198 088)
300 (149)	39.5 (272.2)	75.0 (516.8)	28,500 (196 365)
400 (204)	37.9 (261.1)	75.0 (516.8)	28,000 (192 920)
500 (260)	36.5 (251.5)	75.0 (516.8)	27,400 (188 786)
600 (316)	35.3 (243.2)	75.0 (516.8)	26,900 (185 341)
650 (343)	34.6 (238.4)	75.0 (516.8)	26,550 (182 929)
700 (371)	34.0 (234.3)	75.0 (516.8)	26,200 (180 518)
750 (399)	33.2 (228.7)	75.0 (516.8)	25,900 (178 451)
800 (427)	32.5 (223.9)	75.0 (516.8)	25,600 (176 384)
850 (454)	31.6 (217.7)	72.8 (501.6)	25,200 (173 628)
900 (482)	30.6 (210.8)	69.7 (480.2)	24,800 (170 872)
950 (510)	29.4 (202.6)	65.7 (452.7)	24,350 (167 771)
1,000 (538)	28.4 (195.7)	61.0 (420.3)	23,900 (164 671)

یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.

یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت شده تلقی شوند.

جدول ب-۳- فولاد آلیاژی رده ۱۲، طبق استاندارد ASTM A387

الف- ترکیب شیمیایی عناصر			
عناصر	درصد ترکیب شیمیایی		
کربن	0,15 max.		
منگنز	0,30/0,61		
فسفر	0.045		
گوگرد	0,045 max.		
سیلیس	0,50/1,00		
کرم	1,00/1,50		
مولیبدن	0,44/0,65		

ب- خصوصیات نوعی تنش‌زدایی شده (رده، وضعیت، حالت = ۱)

دما °F (°C)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	مدول الاستیسیته ksi (MPa)
-20 (-29)	33.0 (227.4)	55.0 (379.0)	30,076 (207 227)
100 (38)	33.0 (227.4)	55.0 (379.0)	29,462 (202 990)
150 (66)	31.0 (213.6)	55.0 (379.0)	29,231 (201 400)
200 (93)	29.8 (205.3)	54.0 (372.1)	29,000 (199 810)
250 (121)	28.9 (199.1)	53.5 (368.3)	28,750 (198 088)
300 (149)	28.1 (193.6)	52.9 (364.5)	28,500 (196 365)
400 (204)	26.8 (184.7)	52.9 (364.5)	28000 (192 920)
500 (260)	25.9 (178.5)	52.9 (364.5)	27,400 (188 786)
600 (316)	25.1 (172.9)	52.9 (364.5)	26,900 (185 341)
650 (343)	24.8 (170.9)	52.9 (364.5)	26,550 (182 929)
700 (371)	24.4 (168.1)	52.9 (364.5)	26,200 (180 518)
750 (399)	24.0 (165.4)	52.9 (364.5)	25,900 (178 451)
800 (427)	23.6 (162.6)	52.9 (364.5)	25,600 (176 384)
850 (454)	23.1 (159.2)	52.9 (364.5)	25,200 (173 628)
900 (482)	22.5 (155.0)	51.4 (354.1)	24,800 (170 872)
950 (510)	21.7 (149.5)	48.9 (336.9)	24,350 (167 771)
1,000 (538)	20.9 (144.0)	45.8 (315.6)	23,900 (164 671)

پ- خصوصیات نرمال سازی شده و حرارت دیده (رده، وضعیت، حالت = ۲)

دما °F (°C)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	مدول الاستیسیته ksi (MPa)
(-29) -20	40.0 (275.6)	65.0 (447.9)	30,076 (207 227)
(38) 100	40.0 (275.6)	63.8 (439.6)	29,462 (202 990)
150 (66)	37.5 (258.4)	62.5 (430.6)	29,231 (201 400)
200 (93)	36.2 (249.4)	62.5 (430.6)	29,000 (199 810)
250 (121)	35.0 (241.2)	62.5 (430.6)	28,750 (198 088)
300 (149)	34.0 (234.3)	62.5 (430.6)	28,500 (196 365)
400 (204)	32.5 (223.9)	62.5 (430.6)	28,000 (192 920)
500 (260)	31.4 (216.3)	62.5 (430.6)	27,400 (188 786)
600 (316)	30.5 (210.1)	62.5 (430.6)	26,900 (185 341)
650 (343)	30.1 (207.4)	62.5 (430.6)	26,550 (182 929)
700 (371)	29.6 (203.9)	62.5 (430.6)	26,200 (180 518)
750 (399)	29.1 (200.5)	62.5 (430.6)	25,900 (178 451)
800 (427)	28.6 (197.1)	62.5 (430.6)	25,600 (176 384)
850 (454)	28,0 (192.9)	62.5 (430.6)	25,200 (173 628)
900 (482)	27.2 (187.4)	60.8 (418.9)	24,800 (170 872)
950 (510)	26.3 (181.2)	57.8 (398.2)	24,350 (167 771)
1,000 (538)	25.3 (174.3)	54.2 (373.4)	23,900 (164 671)

جدول ب-۴- فولاد نوع ۱، طبق استاندارد ASTM A242 و فولاد نوع ۴، فولاد (Corten A)، طبق استاندارد
ASTM A606

الف- ترکیب شیمیایی عناصر

عناصر	درصد ترکیب شیمیایی
کربن	0.12 max.
منگنز	0.20/0.50
فسفر	0.07/0.15
گوگرد	0.05 max.
سیلیس	0.25/0.75
مس	0.25/0.55
کرم	0.50/1.25
وانادیوم	0.65 max.

یادآوری- بازنویسی شده با اجازه موسسه USS برای بهره‌برداری در دمای مرتفع،
ویرایش ۱۹۷۶

ب- خصوصیات کششی نوعی

دما °F (°C)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	مدول الاستیسیته ksi (MPa)
-20 (-29)	54.1 (372.7)	81.3 (560.2)	30,000 (206 700)
80 (27)	54.1 (372.7)	81.3 (560.2)	30,000 (206 700)
200 (93)	50.8 (350.0)	76.2 (525.0)	29,000 (199 810)
400 (204)	47.6 (328.0)	76.4 (526.4)	28,000 (192 920)
600 (316)	41.1 (283.2)	81.3 (560.2)	26,900 (185 341)
800 (427)	39.9 (274.9)	76.4 (526.4)	25,600 (176 384)
1,000 (538)	35.2 (242.5)	52.8 (363.8)	23,900 (164 671)
1,200 (649)	20.5 (141.2)	27.6 (190.2)	21,800 (150 202)
1,400 (760)	20.5 (141.2)	10.6 (73.0)	18,900 (130 221)

یادآوری ۱- انحراف قابل توجه از مشخصات ارائه شده فوق ممکن است ناشی از ترکیب شیمیایی نسبتاً وسیع نشان داده شده باشد.

یادآوری ۲- مشخصات درج شده به صورت "نوعی" است مگر آن که مشخصاً قید شود و نباید به عنوان مقادیر ضمانت شده به کار رود.

یادآوری ۳- مقادیر از مرجع USS برای بهره‌برداری در دمای مرتفع برداشته شده است.

یادآوری ۴- این مقادیر با اجازه موسسه USS: 1976 برای بهره‌برداری در دمای مرتفع، اقتباس شده است.

جدول ب-۵- فولاد رده A، طبق استاندارد ASTM A588 و فولاد (Corten B)، طبق استاندارد ASTM A709

الف - ترکیب شیمیایی عناصر

عناصر	درصد ترکیب شیمیایی
کربن	0.10/0.19
منگنز	0.90/1.25
فسفر	0.04 max,
گوگرد	0.05 max,
سیلیس	0.15/0.30
مس	0.25/0.40
کرم	0.40/0.65
وانادیوم	0.02/0.10

یادآوری - بازنویسی شده با اجازه موسسه USS: 1976 برای بهره‌برداری در دمای مرتفع

ب - خصوصیات کششی نوعی

مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F(°C)
30,000 (206 700)	86.7 (597.4)	55.0 (379.0)	-20 (-29)
30,000 (206 700)	86.7 (597.4)	55.0 (379.0)	80 (27)
29,000 (199 810)	81.4 (560.8)	51.7 (356.2)	200 (93)
28,000 (192 920)	79.8 (549.8)	48.4 (333.5)	400 (204)
26,900 (185 341)	75.5 (520.2)	46.7 (321.8)	600 (316)
25,600 (176 384)	71.1 (489.9)	45.1 (310.7)	800 (427)
23,900 (164 671)	52.0 (358.3)	35.8 (246.7)	1,000 (538)
21,800 (150 202)	30.3 (208.8)	20.0 (137.8)	1,200 (649)
18,900 (130 221)	11.3 (77.9)	9.4 (64.8)	1,400 (760)

یادآوری ۱- انحراف قابل توجه از مشخصات ارائه شده فوق ممکن است ناشی از ترکیب شیمیایی نسبتاً وسیع نشان داده شده باشد.

یادآوری ۲- این ماده را نباید برای سازه‌های باربر با دمای بالاتر از ۴۲۵ °C به خاطر احتمال از دست رفتن شکل پذیری به کار برد.

یادآوری ۳- مشخصات درج شده به صورت "نوعی" است مگر آن‌که مشخصاً قید شود و نباید به عنوان مقادیر ضمانت شده به کار رود.

یادآوری ۴- مقادیر از مرجع USS برای بهره‌برداری در دمای مرتفع برداشته شده است.

یادآوری ۵- این مقادیر با اجازه موسسه USS: 1976 برای بهره‌برداری در دمای مرتفع، اقتباس شده است.

جدول ب-۶- فولاد ضدزنگ نوع ۴۱۰، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر	
عناصر	درصد ترکیب شیمیایی
کربن	0.15
منگنز	1.00
فسفر	0.04
گوگرد	0.03
سیلیس	1.00
کرم	11.50/13.50
آهن	Bal.

ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
29,729 (204 836)	65.0 (447.9)	30.0 (206.7)	-20 (-29)
29,015 (199 916)	65.0 (447.9)	30.0 (206.7)	100 (38)
28,708 (197 796)	65.0 (447.9)	28.4 (195.7)	150 (66)
28,400 (195 676)	65.0 (447.9)	27.6 (190.2)	200 (93)
28,150 (193 953)	64.4 (443.4)	27.0 (186.0)	250 (121)
27,900 (192 231)	63.7 (438.9)	26.6 (183.3)	300 (149)
27,300 (188 097)	62.6 (431.3)	26.2 (180.5)	400 (204)
26,800 (184 652)	61.6 (424.4)	25.8 (177.8)	500 (260)
26,200 (180 518)	60.1 (414.1)	25.3 (174.3)	600 (316)
25,850 (178 107)	59.0 (406.5)	24.8 (170.9)	650 (343)
25,500 (175 695)	57.5 (396.2)	24.3 (167.4)	700 (371)
25,000 (172 250)	55.6 (383.1)	23.6 (162.6)	750 (399)
24,500 (168 805)	53.4 (367.9)	22.7 (156.4)	800 (427)
23,850 (164 327)	50.7 (349.3)	21.6 (148.8)	850 (454)
23,200 (159 848)	47.7 (328.7)	20.3 (139.9)	900 (482)
22,350 (153 992)	44.2 (304.5)	18.9 (130.2)	950 (510)
21,500 (148 135)	40.3 (277.7)	17.2 (118.5)	1,000 (538)

یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.

یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت شده تلقی شوند.

جدول ب-۷- فولاد ضدزنگ نوع ۳۰۴، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر	
درصد ترکیب شیمیایی	عناصر
0.06	کربن
2.00	منگنز
0.045	فسفر
0.030	گوگرد
0.75	سیلیس
18.0/12.00	کرم
8.0/10.5	نیکل
Bal,	آهن

ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
28,776 (198 270)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	-20 (-29)
28,115 (193 715)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	100 (38)
27,808 (191 595)	73.0 (503.0)	26.7 (184.0)	150 (66)
27,500 (189 475)	71.0 (489.2)	25.0 (172.3)	200 (93)
27,250 (187 753)	68.6 (472.7)	23.6 (162.6)	250 (121)
27,000 (186 030)	66.2 (456.1)	22.4 (154.3)	300 (149)
26,400 (181 896)	64.0 (441.0)	20.7 (142.6)	400 (204)
25,900 (178 451)	63.4 (436.8)	19.4 (133.7)	500 (260)
25,300 (174 317)	63.4 (436.8)	18.4 (126.8)	600 (316)
25,050 (172 594)	63.4 (436.8)	18.0 (124.0)	650 (343)
24,800 (170 872)	63.4 (436.8)	17.6 (121.3)	700 (371)
24,450 (168 461)	63.4 (436.8)	17.2 (118.5)	750 (399)
24,100 (166 049)	62.8 (432.7)	16.9 (116.4)	800 (427)
23,800 (163 982)	62.0 (427.2)	16.5 (113.7)	850 (454)
23,500 (161 915)	60.8 (418.9)	16.2 (111.6)	900 (482)
23,150 (159 503)	59.3 (408.6)	15.9 (109.6)	950 (510)
22,800 (157 092)	57.4 (395.5)	15.5 (106.8)	1,000 (538)

یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.

یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.

جدول ب-۸- فولاد ضدزنگ نوع ۳۱۶، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر	
درصد ترکیب شیمیایی	عناصر
0.08	کربن
2.00	منگنز
0.045	فسفر
0.030	گوگرد
0.75	سیلیس
16.0/18.00	کرم
10.0/14.0	نیکل
Bal,	آهن

ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
28,776 (198 270)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	-20 (-29)
28,115 (193 715)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	100 (38)
27,808 (191 595)	75.0 (516.8)	27.4 (188.8)	150 (66)
27,500 (189 475)	75.0 (516.8)	25.9 (178.5)	200 (93)
27,250 (187 753)	72.9 (502.3)	24.6 (169.5)	250 (121)
27,000 (186 030)	71.9 (495.4)	23.4 (161.2)	300 (149)
26,400 (181 896)	71.8 (494.7)	21.4 (147.4)	400 (204)
25,900 (178 451)	71.8 (494.7)	20.0 (137.8)	500 (260)
25,300 (174 317)	71.8 (494.7)	18.9 (130.2)	600 (316)
25,050 (172 594)	71.8 (494.7)	18.5 (127.5)	650 (343)
24,800 (170 872)	71.8 (494.7)	18.2 (125.4)	700 (371)
24,450 (168 461)	71.5 (492.6)	17.9 (123.3)	750 (399)
24,100 (166 049)	70.8 (487.8)	17.7 (122.0)	800 (427)
23,800 (163 982)	69.7 (480.2)	17.5 (120.6)	850 (454)
23,500 (161 915)	68.3 (470.6)	17.3 (119.2)	900 (482)
23,150 (159 503)	66.5 (458.2)	17.1 (117.8)	950 (510)
22,800 (157 092)	64.3 (443.0)	17.0 (117.1)	1,000 (538)

یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.

یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر تضمین‌شده تلقی شوند.

جدول ب-۹- فولاد ضدزنگ نوع 304L، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر	
درصد ترکیب شیمیایی	عناصر
0.03	کربن
2.00	منگنز
0.045	فسفر
0.030	گوگرد
0.75	سیلیس
18.0/20.00	کرم
8.0/12	نیکل
Bal,	آهن

ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
28,776 (198 270)	70.0 (482.3)	25.0 (172.3)	-20 (-29)
28,115 (193 715)	70.0 (482.3)	25.0 (172.3)	100 (38)
27,808 (191 595)	68.1 (468.9)	22.7 (156.4)	150 (66)
27,500 (189 475)	66.1 (455.4)	21.4 (147.4)	200 (93)
27,250 (187 753)	63.7 (438.5)	20.26 (139.2)	250 (121)
27,000 (186 030)	61.2 (421,7)	19.2 (132.3)	300 (149)
26,400 (181 896)	58.7 (404.4)	17.5 (120.6)	400 (204)
25,900 (178 451)	57.5 (396.2)	16.4 (113.0)	500 (260)
25,300 (174 317)	56.9 (392.0)	15.5 (106.8)	600 (316)
25,050 (172 594)	56.7 (390.7)	15.2 (104.7)	650 (343)
24,800 (170 872)	56.4 (388.6)	15.0 (103.4)	700 (371)
24,450 (168 461)	56.0 (385.8)	14.7 (101.3)	750 (399)
24,100 (166 049)	55.4 (381.7)	14.5 (99.9)	800 (427)
23,800 (163 982)	54.6 (376.2)	14.3 (98.5)	850 (454)
23,500 (161 915)	53.6 (369.3)	14.0 (96.5)	900 (482)
23,150 (159 503)	52.3 (360.3)	13.7 (94.4)	950 (510)
22,800 (157 092)	50.7 (349.3)	13.3 (91.6)	1,000 (538)

یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.

یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.

جدول ب-۱۰- فولاد ضدزنگ نوع 316L، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر			
درصد ترکیب شیمیایی		عناصر	
0.03		کربن	
2.00		منگنز	
0.045		فسفر	
0.030		گوگرد	
0.75		سیلیس	
16.0/18.00		کرم	
10.0/14.0		نیکل	
Bal,		آهن	
ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
28,776 (198 270)	70.0 (482.3)	25.0 (172.3)	-20 (-29)
28,115 (193 715)	70.0 (482.3)	25.0 (172.3)	100 (38)
27,808 (191 595)	69.1 (475.8)	22.7 (156.4)	150 (66)
27,500 (189 475)	68.1 (469.2)	21.3 (146.8)	200 (93)
27,250 (187 753)	66.1 (455.1)	20.1 (138.5)	250 (121)
27,000 (186 030)	64.0 (441.0)	19.0 (130.9)	300 (149)
26,400 (181 896)	62.2 (428.6)	17.5 (120.6)	400 (204)
25,900 (178 451)	61.8 (425.8)	16.4 (113.0)	500 (260)
25,300 (174 317)	61.7 (425.1)	15.6 (107.5)	600 (316)
25,050 (172 594)	61.6 (424.4)	15.3 (105.4)	650 (343)
24,800 (170 872)	61.5 (423.7)	15.0 (103.4)	700 (371)
24,450 (168 461)	61.1 (421.0)	14.7 (101.3)	750 (399)
24,100 (166 049)	60.5 (416.8)	14.4 (99.2)	800 (427)
23,800 (163 982)	59.7 (411.3)	14.1 (97.1)	850 (454)
23,500 (161 915)	58.6 (403.8)	13.8 (95.1)	900 (482)
23,150 (159 503)	57.1 (393.4)	13.5 (93.0)	950 (510)
22,800 (157 092)	55.4 (381.7)	13.2 (90.9)	1,000 (538)
یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.			
یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.			

جدول ب-۱۱- فولاد ضدزنگ نوع ۳۱۷، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر	
درصد ترکیب شیمیایی	عناصر
0.08	کربن
2.00	منگنز
0.045	فسفر
0.030	گوگرد
0.75	سیلیس
18.0/20.0	کرم
11.0/15.0	نیکل
Bal,	آهن

ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
28,776 (198 270)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	-20 (-29)
28,115 (193 715)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	100 (38)
27,808 (191 595)	75.0 (516.8)	27.4 (188.8)	150 (66)
27,500 (189 475)	75.0 (516.8)	25.9 (178.5)	200 (93)
27,250 (187 753)	72.9 (502.3)	24.6 (169.5)	250 (121)
27,000 (186 030)	71.9 (495.4)	23.4 (161.2)	300 (149)
26,400 (181 896)	71.8 (494.7)	21.4 (147.4)	400 (204)
25,900 (178 451)	71.8 (494.7)	20.0 (137.8)	500 (260)
25,300 (174 317)	71.8 (494.7)	18.9 (130.2)	600 (316)
25,050 (172 594)	71.8 (494.7)	18.5 (127.5)	650 (343)
24,800 (170 872)	71.8 (494.7)	18.2 (125.4)	700 (371)
24,450 (168 461)	71.5 (492.6)	17.9 (123.3)	750 (399)
24,100 (166 049)	70.8 (487.8)	17.7 (122.0)	800 (427)
23,800 (163 982)	69.7 (480.2)	17.5 (120.6)	850 (454)
23,500 (161 915)	68.3 (470.6)	17.3 (119.2)	900 (482)
23,150 (159 503)	66.5 (458.2)	17.1 (117.8)	950 (510)
22,800 (157 092)	64.3 (443.0)	17.0 (117.1)	1,000 (538)

یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.

یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.

جدول ب-۱۲- فولاد ضدزنگ رده ۷۰، طبق استاندارد ASTM A516

الف - ترکیب شیمیایی عناصر			
درصد ترکیب شیمیایی		عناصر	
0.28		کربن	
0.85/1.20		منگنز	
0.035		فسفر	
0.035		گوگرد	
0.15/0.40		سیلیس	
ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
29,876 (205 849)	70.0 (482.3)	38.0 (261.8)	-20 (-29)
29,262 (201 612)	70.0 (482.3)	38.0 (261.8)	100 (38)
29,031 (200 022)	70.0 (482.3)	35.7 (246.0)	150 (66)
28,800 (198 432)	70.0 (482.3)	34.8 (239.8)	200 (93)
28,550 (196 709)	70.0 (482.3)	34.2 (235.6)	250 (121)
28,300 (194 987)	70.0 (482.3)	33.6 (231.5)	300 (149)
27,900 (192 231)	70.0 (482.3)	32.5 (223.9)	400 (204)
27,300 (188 097)	70.0 (482.3)	31.0 (213.6)	500 (260)
26,500 (182 585)	70.0 (482.3)	29.1 (200.5)	600 (316)
26,000 (179 140)	70.0 (482.3)	28.2 (194.3)	650 (343)
25,500 (175 695)	70.0 (482.3)	27.2 (187.4)	700 (371)
24,850 (171 217)	69.1 (476.1)	26.3 (181.2)	750 (399)
24,200 (166 738)	64.3 (443.0)	25.5 (175.7)	800 (427)
23,350 (160 882)	58.6 (403.8)	24.7 (170.2)	850 (454)
22,500 (155 025)	52.3 (360.3)	24.0 (165.4)	900 (482)
21,450 (147 791)	45.9 (316.3)	23.3 (160.5)	950 (510)
20,400 (140 556)	40.4 (278.4)	22.6 (155.7)	1,000 (538)
یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.			
یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.			

جدول ب-۱۳- فولاد ضدزنگ نوع ۳۰۹، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر	
عناصر	درصد ترکیب شیمیایی
کربن	0.08
منگنز	2.00
فسفر	0.045
گوگرد	0.030
سیلیس	0.75
کرم	22/24
نیکل	12/15
آهن	Bal,

ب - خصوصیات کششی نوعی			
دما °F (°C)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	مدول الاستیسیته ksi (MPa)
-20 (-29)	30.0 (206.7)	75.0 (516.8)	28,776 (198 270)
100 (38)	30.0 (206.7)	75.0 (516.8)	28,115 (193 715)
150 (66)	27.6 (190.2)	75.0 (516.8)	27,808 (191 595)
200 (93)	26.3 (181.2)	75.0 (516.8)	27,500 (189 475)
250 (121)	25.1 (172.9)	74.9 (515.7)	27,250 (187 753)
300 (149)	24.2 (166.7)	74.7 (514.7)	27,000 (186 030)
400 (204)	22.7 (156.4)	73.2 (504.0)	26,400 (181 896)
500 (260)	21.6 (148.8)	71.6 (493.3)	25,900 (178 451)
600 (316)	20.8 (143.3)	70.2 (483.7)	25,300 (174 317)
650 (343)	20.5 (141.2)	69.3 (477.5)	25,050 (172 594)
700 (371)	20.2 (139.2)	68.3 (470.6)	24,800 (170 872)
750 (399)	20.0 (137.8)	67.2 (463.0)	24,450 (168 461)
800 (427)	19.7 (135.7)	65.8 (453.4)	24,100 (166 049)
850 (454)	19.4 (133.7)	64.2 (442.3)	23,800 (163 982)
900 (482)	19.1 (131.6)	62.5 (430.6)	23,500 (161 915)
950 (510)	18.8 (129.5)	60.4 (416.2)	23,150 (159 503)
1,000 (538)	18.4 (126.8)	58.2 (401.0)	22,800 (157 092)

یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.

یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.

جدول ب-۱۴- فولاد ضدزنگ نوع ۳۱۰، طبق استاندارد ASTM A240

الف - ترکیب شیمیایی عناصر			
درصد ترکیب شیمیایی		عناصر	
0.08		کربن	
2.00		منگنز	
0.045		فسفر	
0.030		گوگرد	
0.75		سیلیس	
24/26		کرم	
19/22		نیکل	
Bal,		آهن	
ب - خصوصیات کششی نوعی			
مدول الاستیسیته ksi (MPa)	حد کمینه گسیختگی ksi (MPa)	حد کمینه تسلیم ksi (MPa)	دما °F (°C)
28,776 (198 270)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	-20 (-29)
28,115 (193 715)	75.0 (516.8)	30.0 (206.7)	100 (38)
27,808 (191 595)	74.6 (514.0)	27.9 (192.2)	150 (66)
27,500 (189 475)	74.2 (511.2)	26.5 (182.6)	200 (93)
27,250 (187 753)	72.5 (499.5)	25.3 (174.3)	250 (121)
27,000 (186 030)	70.8 (487.8)	24.2 (166.7)	300 (149)
26,400 (181 896)	69.6 (479.5)	22.6 (155.7)	400 (204)
25,900 (178 451)	69.5 (478.9)	21.4 (147.4)	500 (260)
25,300 (174 317)	69.5 (478.9)	20.6 (141.9)	600 (316)
25,050 (172 594)	69.5 (478.9)	20.2 (139.2)	650 (343)
24,800 (170 872)	69.3 (477.5)	19.9 (137.1)	700 (371)
24,450 (168 461)	68.8 (474.0)	19.6 (135.0)	750 (399)
24,100 (166 049)	68.0 (468.5)	19.4 (133.7)	800 (427)
23,800 (163 982)	66.9 (460.9)	19.1 (131.6)	850 (454)
23,500 (161 915)	65.5 (451.3)	18.8 (129.5)	900 (482)
23,150 (159 503)	63.8 (439.6)	18.5 (127.5)	950 (510)
22,800 (157 092)	61.6 (424.4)	18.2 (125.4)	1,000 (538)
یادآوری ۱- مشخصات، از Section 2، استاندارد ASME BPVC، برگرفته شده است.			
یادآوری ۲- مشخصات به صورت نوعی درج شده‌اند و نباید به عنوان مقادیر ضمانت‌شده تلقی شوند.			

جدول ب-۱۵- سایر فولادهای ضدزنگ، آلیاژهای نیکل و تیتانیوم مورد استفاده در روکش دودکش‌ها

نشانه‌گذاری			ترکیب شیمیایی اسمی (درصد وزنی)								
آلیاژ	UNS	ASTM	C	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Ti	Fe	سایر
409	S40900	A240	0.08	11	0.5	...	...	...	...	Bal.	0.75 max.
317L	S31703	A240	0.03	19	13.0	3.25	..	...	...	Bal.	...
317LM	S31725	A240	0.03	19	16.0	4.25	...	...	...	Bal.	...
317LMN	S31726	A240	0.03	19	16.0	4.0	...	0.15	...	Bal.	...
2205	S31803	A240	0.03	22	5.0	3.0	...	0.15	...	Bal.	...
255	S32550	A240	0.03	25	6.0	3.0	2.0	0.15	...	Bal.	...
...	6% Mo یادآوری ملاحظه شود	A240	0.02	20/24	18/25	6/7.3	0/1	0.2/0.5	...	Bal.	...
625	N06625	B688	0.05	22	Bal.	9.0	...	...	...	...	Cb+Ta
276	N10276	B443	0.02	16	Bal.	16.0	...	...	...	...	W
22, 622	N06022	B575	0.02	22	Bal.	13.0	...	...	...	...	W
59	N06059	B575	0.02	23	59.0	16.0	...	...	...	...	...
686	N06686	B575	0.01	21	57.0	16.0	...	...	...	...	W
...	R50250 تیتانیوم	B575	0.08	...	...	...	...	...	Bal.	0.12	باقیمانده

یادآوری- از آنجا که فولادهای زنگ‌نزن سوپرآستنی‌تی مولیبدن ۶٪ به صورت اختصاصی هستند، باید طیف وسیعی از ترکیبات نشان داده شود.

جدول ب-۱۶- ضرایب انبساط حرارتی

نمادگذاری آلیاژ مطابق با ASTM	میانگین ضریب انبساط خطی			(in./in./°F×10 ⁻⁶) From 32°F	
	400°F (204°C)	600°F (316°C)	800°F (427°C)	1.000°F (538°C)	1.200°F (649°C)
ASTM A 36	6.8	7.2	7.7	8.0	8.2
ASTM A 242	6.9	7.0	7.2	7.5	7.6
ASTM A 588	6.9	7.0	7.2	7.5	7.6
ASTM A 387, GR 11, 12	6.8	7.2	7.5	7.8	8.1
ASTM A 176, Type 409	5.8	6.1	6.4	6.6	6.8
ASTM A 176, Type 410	5.8	6.1	6.4	6.6	6.8
ASTM A 240, Type 304	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5
ASTM A 240, Type 316	9.6	9.8	10.1	10.3	10.5
ASTM A 240, Type 309	8.8	9.3	9.5	9.7	9.9
ASTM A 240, Type 310	8.1	8.3	6.7	9.0	9.0
ASTM B 686, 6 % Mo	8.9	9.3	9.8	10.0	...
ASTM B 443, Alloy 625	7.3	7.4	7.6	7.8	8.2
ASTM B 575, Alloy C-276	6.2	6.7	7.3	7.4	7.8

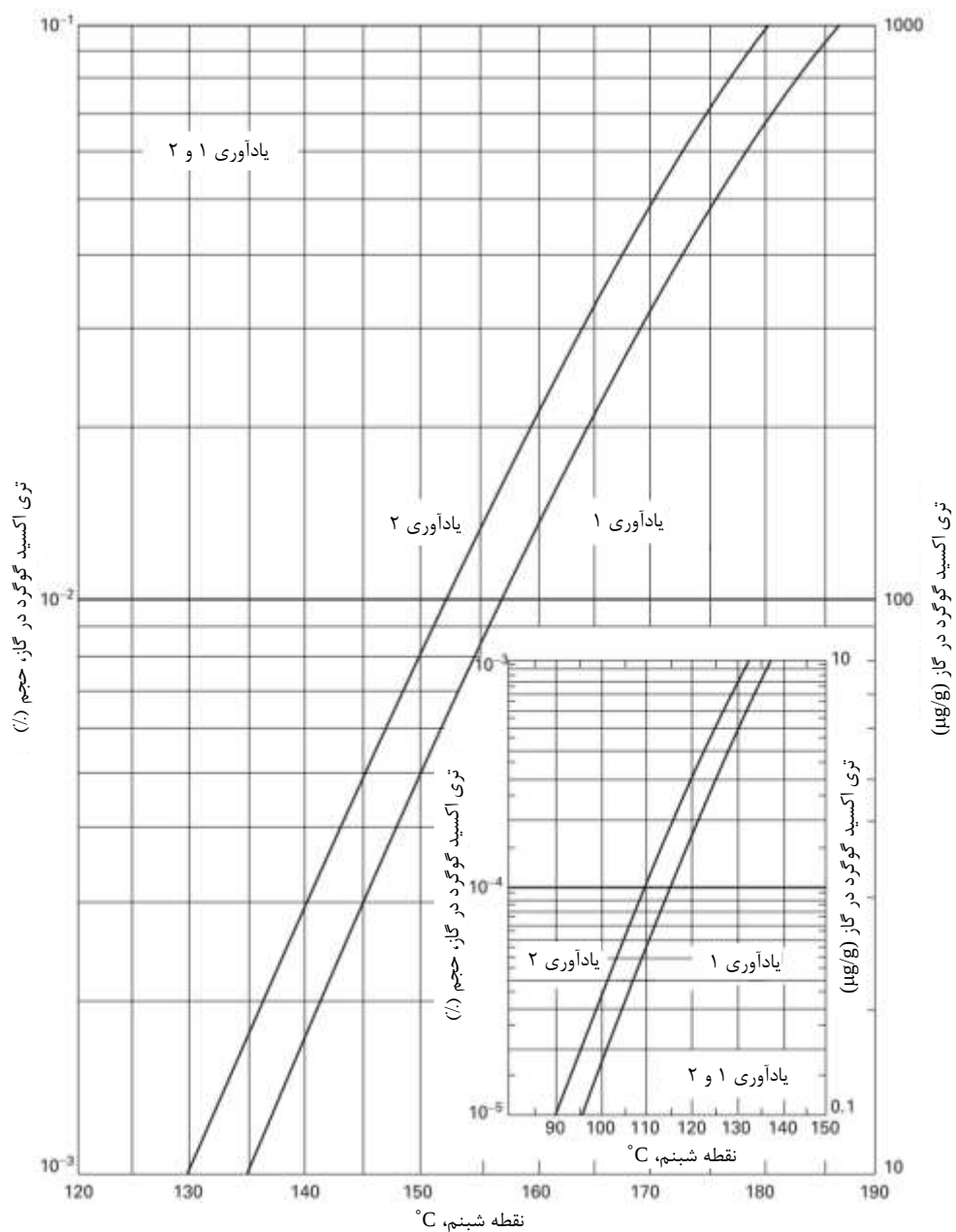
جدول ب-۱۷- بیشینه دمای بدون مقیاس

رده یا درجه ASTM (یادآوری ملاحظه شود)	دمای بیشینه (°F (°C)
A36	800 °F (427 °C)
A242, Type 1	950 °F (510 °C)
A387, Gr. 11, 12	1,050 °F (566 °C)
A176, Type 409	1,300 °F (704 °C)
A176, Type 410	1,300 °F (704 °C)
A240, Type 304	1,650 °F (899 °C)
A240, Type 316	1,650 °F (899 °C)
A240, Type 317	1,650 °F (899 °C)
A240, Type 309	1,900 °F (1038 °C)
A240, Type 310	2,000 °F (1038 °C)
یادآوری- باید برای انواع یا رده‌هایی که در این جدول ذکر نشده، مشورت لازم با سازندگان صورت گیرد.	

پیوست پ

(آگاہی دہندہ)

روکش‌ها و پوشش‌ها در دودکش فولادی

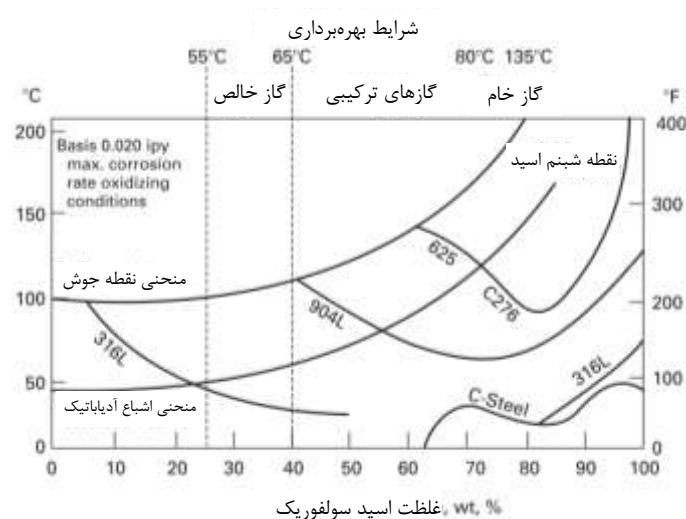


نقطه شبنم در برابر میزان تری اکسید گوگرد

یادآوری ۱- ۱۰٪ حجم آب در نفت

یادآوری ۲- ۶٪ حجم آب در زغال سنگ

شکل پ-۱- نقطه شب‌نم در گازهای دودکش



شکل پ-۲- منحنی اشباع اسید سولفوریک

جدول پ-۱- روکش‌های مناسب پیشنهادی دودکش فولادی برای تحمل محیط شیمیایی و حرارتی گازهای دودرو

رده روکش	UNS.No	Type ASTM	محیط شیمیایی			محیط حرارتی		
			خفیف	متوسط	شدید	خفیف	متوسط	شدید
رزین طبیعی		پلی‌استر	X	X	...	X	...	...
		اپوکسی فنولیک نوولاک (یادآوری ۱)	X	X	X	X	X	X (یادآوری)
		اپوکسی نوولاک (یادآوری ۱)	X	X	X	X	X	...
		اپوکسی	X	X	...	X	...	...
		ونیل‌استر	X	X	X	X	...	...
		اورتان‌ها	X	X	...	X	...	...
الاستومرهای آلی		لاستیک طبیعی	X	X	...	X	...	...
		نتوپرن	X	X	...	X	...	...
		کلروپوتیل	X	X	...	X	...	...
		فلروالاستومر	X	X	X	X	X	...
بتن یکپارچه معدنی		سیلیکات پتاسیم	X	X	X	X	X	X
		آلومینات کلسیم	X	X	...	X	X	X
		دیرگداز	X	...	...	X	X	X
		عایق	...	...	...	X	X	X
مصالح معدنی بنایی		بلوک شیشه بوروسیلیکات	X	X	X	X	X	X
		آجر ضد حریق و ملات دیرگداز	X	X	...	X	X	X
		آجر ضداسید و ملات ضدمواد شیمیایی	X	X	X	X	X	X
		آجر عایق و ملات دیرگداز	...	...	...	X	X	X
UNS S40900		فولاد زنگ‌نزن (A240) (یادآوری ۳)	X	...	...	X	X	X
UNS S41000		فولاد زنگ‌نزن (A240) (یادآوری ۳)	X	...	...	X	X	X
UNS S30403		فولاد زنگ‌نزن (A240) (یادآوری ۳)	X	X	...	X	X	X
UNS S31603		فولاد زنگ‌نزن (A240) (یادآوری ۳)	X	X	...	X	X	X
UNS S31703		فولاد زنگ‌نزن (A240)	X	X	...	X	X	X
UNS S31725		فولاد زنگ‌نزن (A240)	X	X	...	X	X	X
UNS S31726		فولاد زنگ‌نزن (A240)	X	X	...	X	X	X
UNS S31803		فولاد زنگ‌نزن (A240)	X	X	X	X	X	X
UNS S32550		فولاد زنگ‌نزن (A240)	X	X	X	X	X	X
6% Mo		فولاد زنگ‌نزن (A240)	X	X	X	X	X	X
UNS N06625		آلیاژ نیکل (B443)	X	X	XX (یادآوری ۴)	X	X	X
UNS N10276		آلیاژ نیکل (B575)	X	X	XX (یادآوری ۴)	X	X	X
UNS N06022		آلیاژ نیکل (B75)	X	X	XX (یادآوری ۴)	X	X	X
UNS N06059		آلیاژ نیکل (B575)	X	X	XX (یادآوری ۴)	X	X	X
UNS N06686		آلیاژ نیکل (B575)	X	X	XX (یادآوری ۴)	X	X	X
UNS R50250		تیتانیوم (B246)	X	X	XX (یادآوری ۴)	X	X	X

یادآوری ۱- باید با تامین‌کنندگان مواد در خصوص پیشنهادهای مربوط به کاربرد هر کدام مشورت شود.

یادآوری ۲- می‌تواند در محیط‌های به شدت شیمیایی استفاده شود.

یادآوری ۳- پوشش‌دهی ممکن است باعث تیرگی سطح و تبدیل به کربن آلی در دماهای بالاتر شود.

یادآوری ۴- معمولاً برتری قیمتی قابل توجهی برای استفاده از این نوع آلیاژها به عنوان روکش به جای آلیاژهای جامد وجود ندارد.

یادآوری ۵- مقاوم‌ترین آلیاژها

جدول پ-۲- مشخصات و رده‌بندی پوشش پیشنهادی دودکش‌ها

نوع	سازوکار عمل‌آوری	اسید	نمک	هوا	دمای خشک
آلکاید	اکسایش در هوا	ضعیف	خوب	عالی	250 °F (121 °C)
لاستیک کلرزنی شده	تبخیر حلال	عالی	عالی	خوب	150 °F (66 °C)
اپوکسی کاتالیز شده	اتصال عرضی شیمیایی	عالی	عالی	خوب	300 °F تا 250 °F (149 °C تا 121 °C)
اپوکسی فنولیک نوولاک	اتصال عرضی شیمیایی	عالی	عالی	عالی	325 °F (163 °C)
اپوکسی نوولاک	اتصال عرضی شیمیایی	عالی	عالی	عالی	300 °F تا 250 °F (149 °C تا 121 °C)
پلی‌اورتان چرب	اتصال عرضی شیمیایی	بسیار خوب	عالی	عالی	250 °F تا 180 °F (121°C تا 82°C)
سیلیکون آلومینیوم	حلال / حرارت	ضعیف	خوب	خوب	1,000 °F (538 °C)
اپوکسی قیری	تبخیر حلال	بسیار خوب	عالی	ضعیف	250 °F تا 160 °F (121 °C تا 71 °C)
ونیل	تبخیر حلال	عالی	عالی	بسیار خوب	150 °F (66 °C)
روی معدنی	هیدرولیز	عالی (یادآوری ۱)	عالی	عالی	1,000 °F تا 750 °F (538 °C تا 399 °C) یادآوری ۲
روی غنی شده آلی	اتصال عرضی شیمیایی	بسیار خوب (یادآوری ۱)	بسیار خوب	بسیار خوب	300 °F (149 °C) یادآوری ۲
سیلیکات معدنی	واکنش شیمیایی	بسیار خوب	عالی	عالی	
یادآوری ۱- نتایج به‌دست آمده مبتنی بر پرایمر فوقانی روکش بوده است. یادآوری ۲- نتایج به‌دست آمده مبتنی بر محدودیت پوشش فوقانی در سامانه است.					

پیوست ت

(الزامی)

محاسبه ضریب اثر تندباد در دودکش فولادی

در این پیوست، روابطی برای تعیین ضریب اثر تندباد ارائه شده است. از رابطه زیر می‌توان برای تعیین اثر تندباد استفاده کرد:

$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1.7 I_z g_v} \right) \quad (\text{ت-۱})$$

که R ، ضریب پاسخ تشدید است که برابر است با:

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0.53 + 0.47 R_d)} \quad (\text{ت-۲})$$

$$R_n = \frac{7.47 N_1}{(1 + 10.3 N_1)^{5/3}} \quad (\text{ت-۳})$$

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{\bar{V}_z} \quad (\text{ت-۴})$$

$$R_1 = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad \text{برای } \eta > 0 \quad (\text{ت-۵})$$

$$R_1 = 1 \quad \text{برای } \eta = 0$$

که در آن:

اندیس ۱ برابر با h و B و d است که:

$$R_h \quad \text{همان } R_1 \text{ است به ازای } \eta = 4.6 n_1 h / \bar{V}_z$$

$$R_h \quad \text{همان } R_B \text{ است به ازای } \eta = 4.6 n_1 B / \bar{V}_z$$

$$R_h \quad \text{همان } R_d \text{ است به ازای } \eta = 15.4 n_1 d / \bar{V}_z$$

β نسبت میرایی است؛ و

$$\bar{V}_z = \bar{b} \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{a}} V \quad (\text{ت-۶})$$

که $\bar{b}$ و $\bar{a}$ در جدول ت-۳ ارائه شده است.

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3,600n_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3,600n_1)}} \quad (\text{ت-۷})$$

ضرایب g_Q و g_v را می‌توان برابر با ۳/۴ فرض کرد. V سرعت تندباد ۳ ثانیه در رده C در ارتفاع مرجع است که در ایران از جدول ت-۱ به‌دست می‌آید.

$$I_z = c \left(\frac{10}{z} \right)^{1.6} \quad (\text{ت-۸})$$

که در آن:

c در جدول ت-۳ ارائه شده است

I_z شدت تلاطم در ارتفاع z

z ارتفاع معادل سازه $0.6h$ و بزرگتر از z_{min} که برای هر رده الگوی پوشش زمین در جدول ت-۳ ارائه شده است.

Q پاسخ پیش‌زمینه^۱ که برابر است با

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left(\frac{B+h}{L_z} \right)^{0.63}}} \quad (\text{ت-۹})$$

که در آن:

B قطر دودکش، برحسب m؛

h ارتفاع دودکش، برحسب m؛

L_z مقیاس طول یکپارچگی تلاطم در ارتفاع معادل

$$L_z = 1 \left(\frac{z}{10} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{ت-۱۰})$$

که ۱ و ۳ در جدول ت-۳ آمده است. جدول ت-۴ ضرایب اهمیت برای بار باد، جدول ت-۵ رده خطرپذیری سازه، جدول ت-۶ ضرایب مواجهه با فشار ناشی از سرعت باد، K_z و جدول ت-۷ ضرایب نیروی باد، C_f ، ارائه شده است. در شکل ت-۱ نیز، نمودار تعیین ضریب ۱/۵۳ برای تبدیل مقادیر میانگین سرعت ساعتی باد به سرعت تندباد s ۳ آمده است.

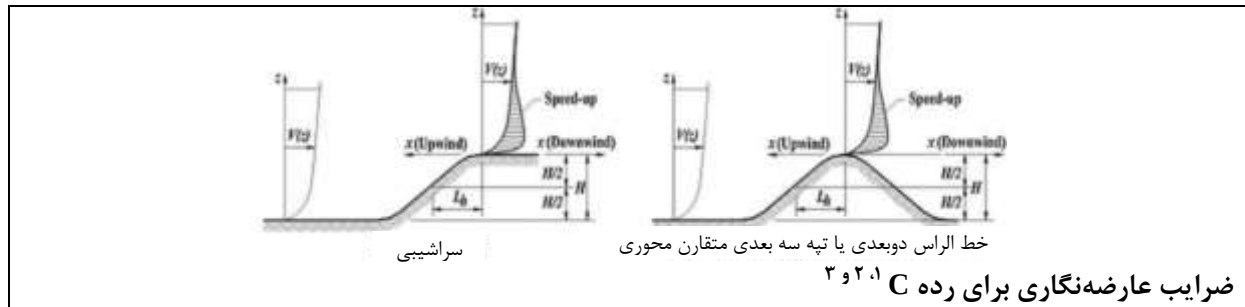
جدول ت-۱- سرعت مبنای باد بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی ایران

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	پناب	۳۴	۱۰۳	چوپانان	۳۴
۲	ایاتان	۳۸	۵۳	بندر اسیر آباد	۴۲	۱۰۴	چنگر	۴۳
۳	آبادیه	۵۱	۵۴	بندرگزائی	۵۱	۱۰۵	حاجی آباد (خراسان جنوبی)	۳۴
۴	آبدانان	۴۷	۵۵	بندر ترکمن	۳۸	۱۰۶	حاجی آباد (هرمزگان)	۴۷
۵	ایلی	۵۱	۵۶	بندر دیر	۳۸	۱۰۷	حسینیه	۴۳
۶	استارا	۵۵	۵۷	بندر دیلم	۳۴	۱۰۸	خاش	۳۸
۷	آشتیان	۳۴	۵۸	بندر لنگه	۳۸	۱۰۹	خدابنده	۴۷
۸	آغاخاری	۴۳	۵۹	بندر ماه شهر	۴۲	۱۱۰	خرم آباد	۳۸
۹	آلاشت	۴۳	۶۰	بندر عباس	۴۲	۱۱۱	خرم دره	۳۸
۱۰	آمل	۴۷	۶۱	بهباد	۵۱	۱۱۲	خلخال	۳۸
۱۱	اوج	۴۳	۶۲	بهبهان	۳۸	۱۱۳	خمین	۳۴
۱۲	ابركوه	۴۳	۶۳	بیوانات	۴۷	۱۱۴	خنداب	۴۳
۱۳	اراک	۴۳	۶۴	بوشهر (فرودگاه)	۴۲	۱۱۵	خواف	۳۸
۱۴	اردبیل	۶۰	۶۵	بوشهر (ساحلی)	۵۱	۱۱۶	خوار	۴۷
۱۵	ارستان	۴۷	۶۶	بوکان	۳۸	۱۱۷	خور بیرجند	۵۵
۱۶	اردل	۵۱	۶۷	بوئین زهرا	۳۸	۱۱۸	خور و بیابانک	۳۸
۱۷	ارسنجان	۳۴	۶۸	بیرجند	۳۸	۱۱۹	خوی	۴۷
۱۸	ارومیه	۴۳	۶۹	بیجار	۴۷	۱۲۰	خیرآباد	۴۳
۱۹	آزنا	۴۳	۷۰	بیرجند	۳۸	۱۲۱	داراب	۴۷
۲۰	استهبان	۳۸	۷۱	بيله سوار	۳۸	۱۲۲	داران	۳۸
۲۱	اسفراین	۳۸	۷۲	پارس آباد	۴۲	۱۲۳	دامغان	۴۷
۲۲	اسلام آباد غرب	۳۸	۷۳	پارسین	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	الکند	۵۵	۷۶	پیرانشهر	۴۷	۱۲۷	درودزن	۳۸
۲۶	الشتر	۴۳	۷۷	تازه آباد (کرمانشاه)	۵۱	۱۲۸	درزقول	۵۱
۲۷	الیگودرز	۴۷	۷۸	تاكستان	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	ثربت جام	۳۸	۱۳۳	دهلران	۴۷
۳۲	اهواز	۴۷	۸۳	ثربت حیریه	۳۸	۱۳۴	دوگنبدان	۴۷
۳۳	ایذه	۳۴	۸۴	نقرش	۳۴	۱۳۵	دیلمان	۳۸
۳۴	ایرانشهر	۵۱	۸۵	نگاب	۳۸	۱۳۶	راسک	۴۳
۳۵	ایزدخواست	۳۸	۸۶	تهران	۴۲	۱۳۷	راسر	۴۷
۳۶	ایلام	۴۳	۸۷	تویسرکان	۳۸	۱۳۸	رامهرمز	۳۴
۳۷	ایمان آباد	۴۷	۸۸	خاجرم	۴۷	۱۳۹	ریاط پشت یادام	۳۸
۳۸	ایوان	۴۷	۸۹	چابک	۴۳	۱۴۰	رشت	۴۳
۳۹	بابلسر	۴۳	۹۰	جزیره ابوموسی	۳۴	۱۴۱	رقستان	۵۱
۴۰	بافت	۴۷	۹۱	جزیره سیری	۴۲	۱۴۲	روانسر	۴۳
۴۱	بالق	۵۱	۹۲	جزیره قشم	۴۲	۱۴۳	روان	۳۸
۴۲	بانه	۴۷	۹۳	جزیره کیش	۴۲	۱۴۴	روندر	۴۷
۴۳	بجنورد	۶۰	۹۴	جزیره لاوان	۳۸	۱۴۵	زابل	۵۵
۴۴	بیراجان	۳۴	۹۵	جلفا	۴۷	۱۴۶	زاهدان	۵۵
۴۵	بیروجرد	۴۷	۹۶	جم	۳۴	۱۴۷	زربنه	۴۷
۴۶	بروجن	۳۸	۹۷	چهرم	۳۴	۱۴۸	زرقان	۳۸
۴۷	بستان	۴۷	۹۸	جوانرود	۳۸	۱۴۹	زرنه	۴۳
۴۸	بستان آباد	۴۳	۹۹	جیرفت	۴۷	۱۵۰	زرین دشت	۳۸
۴۹	بشرویه	۳۴	۱۰۰	جیرنده	۴۷	۱۵۱	زرین شهر	۳۴
۵۰	بلند	۳۴	۱۰۱	چابهار	۳۸	۱۵۲	زنجان	۳۸
۵۱	بم	۴۷	۱۰۲	چالدران	۳۸	۱۵۳	ساری	۴۳

جدول ت-۱- سرعت مبنای باد بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی ایران (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	فیروزآباد (اردبیل)	۴۳	۲۵۶	ماسوله	۴۷
۱۵۵	ساوه	۴۷	۲۰۶	فیروزکوه	۴۷	۲۵۷	ماکو	۴۷
۱۵۶	سیزوان	۴۳	۲۰۷	قائم شهر	۳۸	۲۵۸	مانه و سملقان (خراسان شمالی)	۵۱
۱۵۷	سپیدان	۴۴	۲۰۸	قائن	۳۸	۲۵۹	ماه‌نشان	۴۷
۱۵۸	سرپل ذهاب	۴۳	۲۰۹	قراخیل	۳۸	۲۶۰	محلات	۳۴
۱۵۹	سراب	۴۷	۲۱۰	قره شیال‌دین	۳۸	۲۶۱	مراغه	۵۱
۱۶۰	سرابله (ایلام)	۴۴	۲۱۱	قروه	۴۳	۲۶۲	مرادیه	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	سرسه	۳۸	۲۱۵	قوچان	۳۸	۲۶۶	مسجد سلیمان	۴۳
۱۶۵	سرخس	۴۷	۲۱۶	قبر و کارزین	۳۴	۲۶۷	مشکین شهر	۶۰
۱۶۶	سردشت	۵۱	۲۱۷	کازرون	۳۴	۲۶۸	مشهد	۳۸
۱۶۷	سرعین	۴۳	۲۱۸	کاشان	۴۳	۲۶۹	معلم کلاهی	۵۱
۱۶۸	سفر	۴۷	۲۱۹	کاشمر	۳۴	۲۷۰	ملایر	۵۱
۱۶۹	سلفچگان	۵۵	۲۲۰	کاشمران	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	کلانک (گلستان)	۴۳	۲۷۷	میاندوآب	۴۳
۱۷۶	سومار	۵۱	۲۲۷	کلیبر	۵۱	۲۷۸	میانه	۴۳
۱۷۷	سی سخت	۴۳	۲۲۸	کمیجان	۳۴	۲۷۹	سید	۴۷
۱۷۸	سیاه بیشه	۵۵	۲۲۹	کنارک (فروگاه)	۴۳	۲۸۰	میرجاوله	۳۴
۱۷۹	سیرجان	۴۳	۲۳۰	کنگاور	۳۸	۲۸۱	میمه	۳۴
۱۸۰	سیلاخور	۴۳	۲۳۱	کهریز (آذربایجان غربی)	۴۷	۲۸۲	عیاب	۳۸
۱۸۱	شادگان	۳۸	۲۳۲	کهنک	۴۳	۲۸۳	ناتین	۳۸
۱۸۲	شازند	۴۳	۲۳۳	کهنوج	۵۵	۲۸۴	نجد آباد	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	نهبوند	۵۱
۱۸۶	شهریارک	۴۷	۲۳۷	کیاسر	۴۷	۲۸۸	نهبندان	۴۳
۱۸۷	شهرضا	۴۷	۲۳۸	کیاشهر	۴۳	۲۸۹	نورآباد (البرز)	۵۱
۱۸۸	شهرکرد	۳۸	۲۳۹	گلریز (یزد)	۳۸	۲۹۰	نورآباد (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	صفهان (فارس)	۴۷	۲۴۳	گرمی	۴۳	۲۹۴	نیشابور	۳۸
۱۹۳	صفا آباد (دزفول)	۵۱	۲۴۴	گل مکان	۴۷	۲۹۵	نیکشهر	۴۳
۱۹۴	طالقان	۵۱	۲۴۵	گلپایگان	۴۳	۲۹۶	هرات (یزد)	۴۷
۱۹۵	طبرس	۴۳	۲۴۶	گل‌گواه	۴۷	۲۹۷	هریس	۳۸
۱۹۶	عقدا	۴۷	۲۴۷	گناباد	۳۸	۲۹۸	هریس	۴۷
۱۹۷	غرق آباد (استان مرکزی)	۴۳	۲۴۸	گنبد کاووس	۴۳	۲۹۹	هشتگرد	۴۷
۱۹۸	فرانشیند	۴۴	۲۴۹	گیلان غرب	۵۱	۳۰۰	همدان	۴۷
۱۹۹	فردوس	۴۴	۲۵۰	لار	۴۳	۳۰۱	هندیجان	۳۴
۲۰۰	فروگاه امام خمینی	۵۵	۲۵۱	لاذه زار (کرمان)	۴۳	۳۰۲	وزمین	۴۳
۲۰۱	فریدن 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	فیروزآباد (فارس)	۳۴	۲۵۵	لوسار	۴۳			

جدول ت-۲- تعیین ضریب عارضه‌نگاری، K_{z1}



ضریب K_1				ضریب K_2			ضریب K_3			
H/L_h	تپه دوبعدی	سریشی دو بعدی	تپه سه بعدی نامتقارن	x/L_h	تپه دوبعدی	سایر موارد	z/L_h	تپه دوبعدی	سریشی دوبعدی	تپه سه بعدی نامتقارن
۰٫۲۰	۰٫۳۹	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۰٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰
۰٫۲۵	۰٫۳۶	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۵۰	۰٫۸۸	۰٫۶۷	۰٫۱۰	۰٫۷۴	۰٫۷۸	۰٫۶۷
۰٫۳۰	۰٫۴۳	۰٫۲۶	۰٫۳۲	۱٫۰۰	۰٫۷۵	۰٫۳۳	۰٫۲۰	۰٫۵۵	۰٫۶۱	۰٫۴۵
۰٫۳۵	۰٫۵۱	۰٫۳۰	۰٫۳۷	۱٫۵۰	۰٫۶۳	۰٫۰۰	۰٫۳۰	۰٫۴۱	۰٫۴۷	۰٫۳۰
۰٫۴۰	۰٫۵۸	۰٫۳۴	۰٫۴۲	۲٫۰۰	۰٫۵۰	۰٫۰۰	۰٫۴۰	۰٫۳۰	۰٫۳۷	۰٫۲۰
۰٫۴۵	۰٫۶۵	۰٫۳۸	۰٫۴۷	۲٫۵۰	۰٫۳۸	۰٫۰۰	۰٫۵۰	۰٫۲۲	۰٫۲۹	۰٫۱۴
۰٫۵۰	۰٫۷۲	۰٫۴۳	۰٫۵۳	۳٫۰۰	۰٫۲۵	۰٫۰۰	۰٫۶۰	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۰۹
				۳٫۵۰	۰٫۱۳	۰٫۰۰	۰٫۷۰	۰٫۱۲	۰٫۱۷	۰٫۰۶
				۴٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۸۰	۰٫۰۹	۰٫۱۴	۰٫۰۴
							۰٫۹۰	۰٫۰۷	۰٫۱۱	۰٫۰۳
							۱٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۲
							۱٫۵۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰
							۲٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰

راهنما:

- برای مقادیر بینابینی H/L_h ، x/L_h و z/L_h می‌توان از درون‌یابی خطی استفاده کرد.
 - 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.
 - ضرایب با این فرض به‌دست آمده که باد با تپه یا سریشی در راستای شیب بیشینه اعمال می‌شود.
 - H ارتفاع تپه یا سریشی نسبت به زمین رو به باد، برحسب m
 - K_1 ضریبی برای منظور کردن شکل عوارض عارضه‌نگاری و بیشینه اثر افزایش سرعت باد
 - K_2 ضریبی برای منظور کردن کاهش در افزایش سرعت باد با فاصله رو به باد یا پشت به باد تاج
 - K_3 ضریبی برای منظور کردن کاهش در افزایش سرعت باد با ارتفاع بالای عوارض موضعی
 - L_h فاصله رو به باد یا پشت به باد تا جایی که اختلاف تراز زمین نصف ارتفاع تپه یا سریشی باشد، برحسب m
 - x فاصله (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: $K_{z1} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$ که در آن: K_1 از جدول زیر به‌دست می‌آید و $K_2 = (1 - |x|/\mu L_h)$ و $K_3 = e^{-\gamma z/L_h}$
- پارامترهای افزایش سرعت روی تپه‌ها و سریشی‌ها

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

جدول ت-۳- ثابت‌های مربوط به الگوی پوشش زمین

رده	α	$z_g(m)$	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	c	$l(m)$	$\bar{\epsilon}$	$z_{min}(m)$
B	۷/۰	۳۶۵/۷۶	۰/۱۴۳	۰/۸۴	۰/۲۵۰	۰/۴۵	۰/۳۰	۹۷/۵۴	۰/۳۳۳	۹/۱۴
C	۹/۵	۲۷۴/۳۲	۰/۱۰۵	۱/۰۰	۰/۱۵۴	۰/۶۵	۰/۲۰	۱۵۲/۴۰	۰/۲۰۰	۴/۵۷
D	۱۱/۵	۲۱۳/۳۶	۰/۰۸۷	۱/۰۷	۰/۱۱۱	۰/۸۰	۰/۱۵	۱۹۸/۱۲	۰/۱۲۵	۲/۱۳

^۱ z_{min} برابر است با کمینه ارتفاع به کار رفته برای اطمینان از آن که ارتفاع معادل، $\bar{z}$ بزرگترین مقدار $0.6h$ یا z_{min} است. در سازه‌های با $h \leq \bar{z}$ باید برابر با z_{min} منظور شود.

جدول ت-۴- ضریب اهمیت دودکش برای بار باد

رده خطرپذیری	ضریب اهمیت، I
۱	۰/۸۵
۲	۱/۰۰
۳	۱/۱۵
۴	۱/۲۵

یادآوری ۱- بر اساس جدول ت-۵ این پیوست، پیشنهاد می‌شود خطرپذیری دودکش‌های صنایع نفت و نیرو، از رده ۳ یا ۴ این جدول انتخاب شود.

یادآوری ۲- در روش‌های حدی ضرایب اهمیت مورد اشاره در این جدول، به ترتیب معادل دوره بازگشت ۳۰۰، ۷۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۰۰۰ سال برای تندباد ۳ S است.

یادآوری ۳- برای طراحی در سطح تنش مجاز، ضرایب اهمیت مورد اشاره در این جدول، به ترتیب متناظر با دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ سال برای تندباد ۳ S است.

جدول ت-۵- رده بندی خطرپذیری سازه ها برای بارهای سیل، باد، برف و زلزله در استاندارد ASCE7

رده خطرپذیری	نوع کاربری سازه
۱	ساختمان ها و سازه هایی که فروریزش آن ها خطر کمی برای انسان ها دارد نظیر موارد زیر (که البته صرفاً به این موارد محدود نمی شود): - تأسیسات کشاورزی؛ - تأسیسات و مستحقات موقت؛ - تأسیسات ذخیره سازی فرعی.
۲	کلیه ساختمان ها و سازه هایی که در رده ۱، ۳ و ۴ قرار نمی گیرند
۳	ساختمان ها و سازه هایی که فروریزش آن ها ایمنی جانی را به خطر بیندازد: - ساختمان ها و سازه هایی با تجمع بیش از ۳۰۰ نفر؛ - ساختمان ها و سازه هایی محل تجمع کودکان با ظرفیت بیش از ۱۵۰ نفر؛ - ساختمان ها و سازه هایی مربوط به مدارس با ظرفیت بیش از ۱۵۰ نفر؛ - ساختمان ها و سازه هایی مربوط به دانشگاه ها و مراکز آموزش عالی با ظرفیت بیش از ۵۰۰ نفر؛ - مراکز درمانی (درمانگاه) با ظرفیت بیش از ۵۰ بیمار که فاقد تجهیزات اورژانس باشد؛ - زندان ها و بازداشت گاه ها؛ - تأسیسات تولید برق و سایر تجهیزاتی که در رده ۴ قرار نمی گیرند. ساختمان ها و سازه های حاوی مقادیر قابل توجه مواد سمی، منفجره یا سایر ذرات خطرناک برای عموم در صورت وقوع نشت که می تواند شامل موارد زیر باشد اما محدود به آن ها نیست: - تأسیسات صنعت نفت (نظیر پالایشگاه ها و مجتمع های پتروشیمی)؛ - تأسیسات ذخیره سازی سوخت (نظیر انبارهای نفت)؛ - تأسیسات تهیه یا انبارش مواد شیمیایی خطرناک؛ - تأسیسات تهیه یا انبارش مواد منفجره.
۴	ساختمان ها و سازه هایی که حاوی مواد سمی، منفجره یا سایر مواد خطرناک هستند، شامل موارد زیر (البته صرفاً محدود به این موارد نیست): - مخزن دو جداره، دایک با ابعاد کافی برای جلوگیری از سرریز یا سایر تأسیسات به منظور حفظ سرریز یا انفجار درون مرز تأسیسات و جلوگیری از نشت مواد سمی در هوا، خاک، آب زیرزمینی، آب سطحی یا جو ساختمان و سازه های حاوی مواد سمی، انفجاری یا سایر مواد خطرناک در مناطق طوفان خیز ساختمان ها و سازه هایی که به عنوان تأسیسات ضروری شناخته می شوند، شامل موارد زیر (البته صرفاً محدود به این موارد نیست): - بیمارستان ها و سایر مراکز درمانی دارای اورژانس و اتاق های جراحی؛ - آتش نشانی، مراکز امداد و نجات، کلانتری ها و پارکینگ خودروهای امدادی؛ - مراکز مدیریت بحران به هنگام رخداد زلزله، طوفان یا سیل؛ - مراکز مخابراتی و سایر تأسیسات ارتباطی مورد نیاز امداد و نجات؛ - مراکز تولید برق و سایر تأسیسات الکتریکی مورد نیاز در امداد و نجات؛ - سازه های جانبی (شامل برج های مخابراتی، مخازن ذخیره سوخت، برج های خنک کن، پست های برق، مخازن آب آتش نشانی یا سایر سازه های ذخیره سازی آب یا سایر تجهیزات مورد نیاز آتش نشانی مورد نیاز برای سازه های رده ۴ در طی رخداد حوادث غیرمترقبه؛ - برج های مراقبت پرواز و مراکز کنترل ترافیک هوایی و آشیانه هواپیماها؛ - تأسیسات ذخیره سازی و تلمبه خانه های آب مورد نیاز برای تأمین فشار آب. - ساختمان ها و سازه های دارای کاربری دفاعی و راهبردی

جدول ت-۶- ضرایب مواجهه با فشار ناشی از سرعت باد، K_z

رده الگوی پوشش زمین			تراز زمین بالای سطح دریا (m)
B	C	D	
$0.70(0.70)^1$	0.85	1.03	صفر (۰) تا ۴.۶
$0.70(0.70)^1$	0.90	1.08	۶.۱
$0.70(0.70)^1$	0.94	1.12	۷.۶
0.70	0.98	1.16	۹.۱
0.76	1.04	1.22	۱۲.۲
0.81	1.09	1.27	۱۵.۲
0.85	1.13	1.31	۱۸.۰
0.89	1.17	1.34	۲۱.۳
0.93	1.21	1.38	۲۴.۴
0.96	1.24	1.40	۲۷.۴
0.99	1.26	1.43	۳۰.۵
۱.۰۴	۱.۳۱	۱.۴۸	۳۶.۶
۱.۰۹	۱.۳۶	۱.۵۲	۴۲.۷
۱.۱۳	۱.۳۹	۱.۵۵	۴۸.۸
۱.۱۷	۱.۴۳	۱.۵۸	۵۴.۹
۱.۲۰	۱.۴۶	۱.۶۱	۶۱.۰
۱.۲۸	۱.۵۳	۱.۶۸	۷۶.۲
۱.۳۵	۱.۵۹	۱.۷۳	۹۱.۴
۱.۴۱	۱.۶۴	۱.۷۸	۱۰۶.۷
۱.۴۷	۱.۶۹	۱.۸۲	۱۲۱.۹
۱.۵۲	۱.۷۳	۱.۸۶	۱۳۷.۲
۱.۵۶	۱.۷۷	۱.۸۹	۱۵۲.۴

یادآوری ۱- در صورتی که برای رده B از روش پوش (Envelope) استفاده شود و به ازای $z < 9.1m$ مقدار 0.70 استفاده شود.

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

$$K_z = 2.01(z/z_z)^{2/5} \quad \text{برای } 4.6m < z \leq z_z$$

$$K_z = 2.01(15/z_z)^{2/5} \quad \text{برای } z < 4.6m$$

یادآوری ۳- ضرایب α و z_z در جدول ت-۳ آمده است.

یادآوری ۴- درونیایی خطی برای مقادیر بینابینی ارتفاع z قابل پذیرش است.

یادآوری ۵- رده‌های الگوی پوشش زمین در زیربند ۴-۳-۵ تعریف شده است.

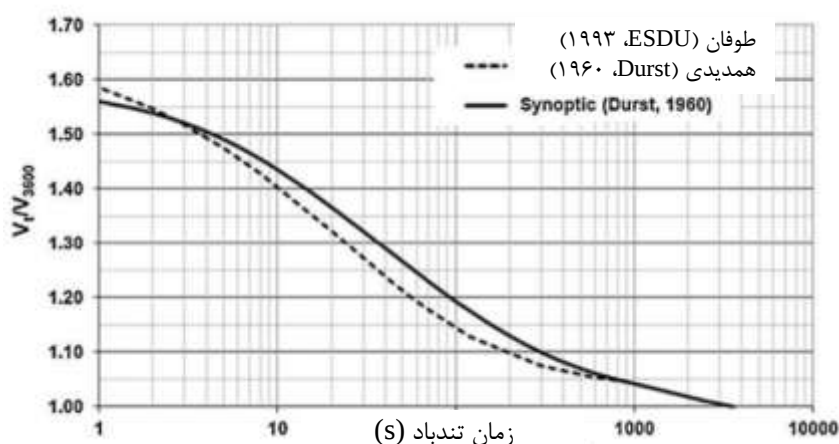
جدول ت-۷- ضرایب نیروی باد، C_f

h/D			نوع سطح	مقطع عرضی
۲۵	۷	۱		
۲٫۰	۱٫۴	۱٫۳	کلیه سطوح	مربع (باد عمود بر رویه)
۱٫۵	۱٫۱	۱٫۰	کلیه سطوح	مربع (بار در راستای قطر)
۱٫۴	۱٫۲	۱٫۰	کلیه سطوح	شش ضلعی یا هشت ضلعی
۰٫۷	۰٫۶	۰٫۵	سطح با زبری متوسط	دایره $D\sqrt{q_z} > 5.3$ (که D بر حسب m و q_z بر حسب Pa است)
۰٫۹	۰٫۸	۰٫۷	سطح زیر ($D'/D=0.02$)	
۱٫۲	۱٫۰	۰٫۸	سطح بسیار زیر ($D'/D=0.08$)	
۱٫۲	۰٫۸	۰٫۷	کلیه سطوح	دایره $D\sqrt{q_z} \leq 5.3$ (که D بر حسب m و q_z بر حسب Pa است)

یادآوری ۱- نیروی باد طراحی باید بر اساس سطح بادگیر سازه تصویر شده 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.
راهنما:

D قطر مقطع عرضی دایره‌ای و کمینه بعد افقی مقطع عرضی مربع، شش ضلعی یا هشت ضلعی در تراز مورد بررسی، بر حسب m ؛
 D' عمق عناصر بیرون‌زده نظیر دنده‌ها^۱، غلاف‌های دندانه‌دار^۲ یا سایر نامنظمی‌های سطحی که روی زبری دودکش مؤثر باشد، بر حسب m ؛
 h ارتفاع سازه، بر حسب m ؛
 q_z فشار سرعتی ارزیابی شده در ارتفاع z بالای زمین، بر حسب Pa است.



شکل ت-۱- مرجع تعیین ضریب $1/53$ به کار رفته برای تبدیل سرعت میانگین ساعتی باد به تندباد 3 s برگرفته از تفسیر استاندارد ASCE7

- 1- Ribs
- 2- Corrugated Jackets

پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

محاسبه تنش خزشی مجاز برای فولاد کربنی و زنگ‌نزن در دودکش فولادی

جدول ث-۱- تنش مجاز خزشی فولاد کربنی در دمای مرتفع

تنش‌های خزشی مجاز (به یادآوری ۱ مراجعه شود) MPa								
نوع فولاد	دما (°C)							
(یادآوری ۲)	۳۹۹	۴۲۷	۴۵۴	۴۸۲	۵۱۰	۵۳۸	۵۶۶	۵۹۳
A36 (یادآوری ۳)	۹۸٫۶ (یادآوری ۴)	†	.	.	.	.	.	.
A53 Grade B (یادآوری ۳)		۷۱٫۰ (یادآوری ۴)						
A242 Type I (یادآوری ۵ و ۶) A618 Grade 1 (یادآوری ۵ و ۶)	..	۸۲٫۷-۱۱۷٫۲	۵۵٫۲-۸۹٫۶	۳۴٫۵-۶۲٫۱	†	†	.	.
A588 Grade A (یادآوری ۵ و ۶)	..	۸۲٫۷-۱۱۷٫۲	†	†	†	†	.	.
A588 Grade B (یادآوری ۵)			۵۵٫۲-۸۹٫۶	۳۴٫۵-۶۲٫۱				
A387 Grade 11 (یادآوری ۷)	..	..	..	۱۰۸٫۲ (یادآوری ۴)	۷۳٫۸ (یادآوری ۴)	۴۹٫۰ (یادآوری ۸)	۳۰٫۳ (یادآوری ۸)	۱۸٫۶ (یادآوری ۸)
A335 Grade P11 (یادآوری ۷)	..	..	..					
A387 Grade 12 (یادآوری ۷)	..	..	..	۱۲۴٫۱ (یادآوری ۴)	۷۷٫۹ (یادآوری ۴)	۵۰٫۳ (یادآوری ۴)	۳۱٫۰ (یادآوری ۸)	۱۷٫۲ (یادآوری ۸)
A335 Grade P12 (یادآوری ۷)	..	..	..	۱۲۴٫۱	۷۷٫۹	۵۰٫۳		

راهنما:

.. مقدار خزش حاکم نیست- تنش‌های مجاز عادی بر مبنای F_y حاکم است.

. : استفاده از این فولاد برای این دما توصیه نمی‌شود.

† : استفاده از این فولاد برای این دما صرفاً برای کاربردهای غیر بحرانی توصیه می‌شود.

یادآوری ۱- مقادیر بیان شده در جدول، تنش‌های مجاز مبتنی بر معیارهای ارائه شده در بند ۴-۳-۵ با یک عمر طراحی ۱۰۰،۰۰۰ ساعت است. ضریب اطمینان مناسب در این مقادیر تدارک دیده شده است.

یادآوری ۲- مشخصات خزش و گسیختگی به میزان زیادی وابسته به ترکیب دقیق شیمیایی فولاد است. مقادیر نشان داده شده در جدول صرفاً به عنوان یک مرجع ارائه شده است. باید مقادیر به کار رفته در طراحی از داده‌های آزمایش که بیانگر ترکیب دقیق فولاد به کار رفته در ساخت مجرا باشد به‌دست آید.

یادآوری ۳- مشخصات خزش و گسیختگی برای این فولاد از استاندارد ASTM DS-11S1 به‌دست می‌آید.

یادآوری ۴- مقدار تنش مجاز در این دما بر مقاومت گسیختگی خزشی حاکم است.

یادآوری ۵- مشخصات خزش و گسیختگی برای این فولاد از انتشارات موسسه فولاد ایالات متحده (USSC) شامل فولادهای با کاربری دما در ارتفاع به‌دست آمده است.

یادآوری ۶- بازه‌ای از مقادیر، در فولادها در استاندارد ASTM A242، ASTM A588 و ASTM A618 بیان شده است زیرا قابلیت تغییرات زیاد در ویژگی‌های شیمیایی وجود دارد که می‌تواند روی مشخصات فولاد تأثیرگذار باشد. کران تحتانی باید به کار رود مگر آن‌که داده‌ها بیانگر اتفاق دیگری باشد.

یادآوری ۷- مشخصات خزش و گسیختگی برای این فولاد از استاندارد ASTM DS-50 برداشته شده است. این مقادیر با مقادیر استاندارد ASME متفاوت است زیرا حدود استاندارد ASME، تنش مجازی برابر با $0.25F_y$ دارد که یک حد برای بویلرها است و نه مجراها.

یادآوری ۸- مقدار تنش مجاز در این دما با نرخ خزش حاکم می‌شود.

جدول ث-۲- مشخصات خزش و گسیختگی فولاد زنگ‌نزن نوع ۴۱۰

دمای آزمون °F (°C)	تنش برای یک نرخ خزش برابر با		تنش گسیختگی در	
	0.0001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	0.00001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	1,000 ساعت ksi (MPa)	10,000 ساعت ksi (MPa)
900 (482)	24.0 (165)	13.6 (94)	34.0 (234)	22.0 (152)
1,000 (538)	9.0 (62)	7.4 (51)	19.4 (134)	13.0 (90)
1,100 (593)	4.2 (29)	3.6 (25)	10.0 (69)	6.8 (47)
1,200 (649)	2.0 (14)	1.7 (12)	4.8 (33)	2.8 (19)
1,300 (704)	0.8 (6)	0.8 (4)	2.5 (17)	1.2 (8)
1,400 (760)	...	...	1.2 (8)	0.6 (4)

جدول ث-۳- مشخصات خزش و گسیختگی فولاد زنگ‌نزن نوع ۳۰۴

دمای آزمون °F (°C)	تنش برای یک نرخ خزش برابر با		تنش گسیختگی در	
	0.0001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	0.00001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	1,000 ساعت ksi (MPa)	10,000 ساعت ksi (MPa)
1,000 (538)	25.5 (176)	17.9 (123)	49.8 (343)	36.0 (248)
1,100 (593)	16.5 (114)	11.1 (77)	31.0 (214)	22.2 (153)
1,200 (649)	10.8 (74)	7.2 (50)	19.0 (131)	13.8 (95)
1,300 (704)	7.0 (48)	4.5 (31)	11.9 (82)	8.5 (59)
1,400 (760)	4.6 (32)	2.9 (20)	7.7 (53)	5.3 (37)
1,500 (816)	3.0 (21)	1.8 (12)	4.7 (32)	3.3 (23)

جدول ث-۴- مشخصات خزش و گسیختگی فولاد زنگ‌نزن نوع ۳۱۶

دمای آزمون °F (°C)	تنش برای یک نرخ خزش برابر با		تنش گسیختگی در	
	0.0001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	0.00001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	1,000 ساعت ksi (MPa)	10,000 ساعت ksi (MPa)
1,000 (538)	35.5 (245)	20.1 (139)	50.0 (345)	43.0 (296)
1,100 (593)	22.5 (155)	12.4 (85)	34.0 (234)	26.5 (183)
1,200 (649)	14.2 (98)	7.9 (54)	23.0 (159)	16.2 (112)
1,300 (704)	8.9 (61)	4.8 (33)	15.4 (106)	9.9 (66)
1,400 (760)	5.6 (39)	3.0 (21)	10.3 (71)	6.0 (41)
1,500 (816)	3.6 (25)	1.9 (13)	6.7 (46)	3.7 (26)

جدول ث-۵- مشخصات خزش و گسیختگی فولاد زنگ‌نزن نوع ۳۱۷

دمای آزمون °F (°C)	تنش برای یک نرخ خزش برابر با		تنش گسیختگی در	
	0.0001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	0.00001 % در ساعت، 1 % در 10,000 ساعت ksi (MPa)	1,000 ساعت ksi (MPa)	10,000 ساعت ksi (MPa)
1,000 (538)	24.0 (165)	16.0 (110)	...	...
1,100 (593)	17.3 (119)	14.7 (101)	34.0 (234)	28.0 (193)
1,200 (649)	12.7 (88)	8.7 (60)	24.0 (165)	13.3 (92)
1,300 (704)	7.3 (50)	4.7 (32)	16.7 (115)	10.7 (74)
1,400 (760)	4.3 (30)	2.3 (16)	10.3 (71)	6.7 (46)
1,500 (816)	2.7 (19)	2.0 (14)	6.7 (46)	3.3 (23)

پیوست ج

(آگاهی‌دهنده)

طراحی در برابر پدیده جداشدن گردباده در دودکش فولادی

یادآوری - این پیوست در دودکش‌های مهارشده (زیربندهای ۱۰-۴-۴ و ۱۱-۴-۴) قابل کاربرد نیست.

پاسخ دودکش فولادی به بارهای ناشی از گردباده به ابعاد، مشخصات مودی برای مود نوسان مورد بررسی، نسبت میرایی سازه‌ای، β_s ، و نسبت میرایی آئرودینامیکی، β_a ، وابسته است. لازم به ذکر است که نسبت میرایی سازه‌ای برای جداشدن گردباده مطابق با قسمت ب از زیربند ۴-۵-۲-۱-۲ به‌دست می‌آید. این نسبت میرایی با میرایی مورد استفاده در محاسبه بار زلزله متفاوت است.

ج-۱ نظریه کلی

مقدار جابجایی دینامیکی، بر مبنای جذر متوسط مجموع مربعات^۱، در نقطه بیشینه جابجایی مودی در هر مود ارتعاشی، به این صورت قابل محاسبه است:

$$\frac{\tilde{a}_M}{\bar{D}} = \frac{C_1 C_M}{m_r \sqrt{\lambda(\beta_s + \beta_a)}} \quad (\text{ج-۱})$$

که در آن:

$$\beta_a = -\frac{C_2}{m_r} \left[1 - 4 \left(\frac{\tilde{a}_M}{\bar{D}} \right)^2 \right] \quad (\text{ج-۲})$$

$$\lambda = \frac{H}{\bar{D}} \quad (\text{ج-۳})$$

$$m_r = \frac{m_a}{\rho \bar{D}^2 g} \quad (\text{ج-۴})$$

$$m_a = \frac{\int_0^H m(z) \phi^2(z) dz}{\int_0^H \phi^2(z) dz} \quad (\text{ج-۵})$$

فقط برای دودکش‌های موازی با هم: $C_2=0.6$

$$C_M = \phi(z_M) \frac{\left(\frac{1}{H} \int_0^H \phi^2(z) dz \right)^{0.5}}{\frac{1}{H} \int_0^H \phi^2(z) dz} \quad (\text{ج-۶})$$

1- The root-mean-square motion

- مقدار $\phi(z_M)$ در بیشینه تغییر شکل؛
 - برای مود طره‌ای: $z_M=H$ ؛
 - در مود اصلی نوسان: $C_M=2.0$ ؛
 - برای یک دودکش فولادی منفرد: $C_1=0.12$ ؛
 - برای دودکش فولادی گروهی: $C_1=\frac{0.12}{(5S)^2} \alpha$ ؛
- برای گروهی متشکل از دو یا چند دودکش مشابه، ضریب تشدید، α ، و عدد استروهال، S ، به این صورت محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \alpha &= 1.50 - \frac{(A/\bar{D}-3)}{24}, & 3 \leq \frac{A}{\bar{D}} < 15 \\ \alpha &= 1.0, & \frac{A}{\bar{D}} \geq 15 \\ S &= 0.16 + \frac{1}{300} \left(\frac{A}{\bar{D}} - 3 \right), & \frac{A}{\bar{D}} < 15 \\ S &= 0.2, & \frac{A}{\bar{D}} \geq 15 \end{aligned} \quad (\text{ج-۷})$$

برای $\frac{A}{\bar{D}} < 3$ در گروه متشکل از دودکش‌های فولادی مشابه یا گروه‌های فولادی نامتشابه، آثار تداخلی باید با استفاده از آزمایش مدل یا سایر مطالعات مربوط به آرایش مشابه مدنظر قرار گیرد.

یادآوری - اگر A_2 نزدیک به یک باشد، پاسخ به تغییرات کوچک نسبت میرایی سازه‌ای، β_s ، به شدت حساس خواهد بود.

ج-۲ محاسبه پاسخ ناشی از جداسدگی گردباده

ج-۲-۱ ارزیابی بارهای ناشی از جداسدن گردباده

رابطه تعیین $\frac{\tilde{a}_M}{\bar{D}}$ را می‌توان به این صورت بازنویسی کرد:

$$\frac{\tilde{a}_M}{\bar{D}} = \frac{A_1}{\sqrt{1-A_2 \left[1-4 \left(\frac{\tilde{a}_M}{\bar{D}} \right)^2 \right]}} \quad (\text{ج-۸})$$

$$A_1 = \frac{C_1 C_M}{m_r \sqrt{\beta_s \lambda}} \quad (\text{ج-۹})$$

$$A_2 = \frac{C_2}{m_r \beta_s} \quad (\text{ج-۱۰})$$

$$\frac{\tilde{a}_M}{\bar{D}} \simeq \frac{A_1}{\sqrt{1-\frac{C_2}{m_r \beta_s}}} \quad - \text{ برای } m_r \beta_s > 0.8$$

$$\frac{\tilde{a}_M}{D} \cong 0.5 \sqrt{1 - \frac{m_r \beta_\epsilon}{C_2}} \quad \text{برای } m_r \beta_\epsilon < 0.4$$

ج-۲-۲ تعیین رابطه کاربردی

رابطه عمومی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد تا بارهای استاتیکی معادل به دست آیند.

به ازای هر مقدار $m_r \beta_\epsilon$

$$\tilde{a}_M = \bar{D} \left(\frac{-(1-A_2) + \sqrt{(1-A_2)^2 + 16A_1^2 A_2}}{8A_2} \right)^{1/2} \quad \text{(ج-۱۱)}$$

مقادیر بیشینه برای پاسخ در برابر جدا شدن گردباد به برابر است با:

$$\hat{a} = \hat{g} \tilde{a}_M \quad \text{(ج-۱۲)}$$

$$a_s = g_\epsilon \tilde{a}_M$$

که در آن:

$\hat{a}$ مقدار بیشینه است و برای محاسبه بارها و تنش‌های حداکثر به کار می‌رود، در حالی که a_s مقدار دامنه ثابت معادل در محاسبات خستگی است. مقادیر $\hat{g}$ و g_ϵ به این صورت تعیین می‌شود:

$$\text{به ازای } m_r \beta_\epsilon > 0.8, \hat{g} = 4.0, g_\epsilon = 2.0$$

$$\text{به ازای } m_r \beta_\epsilon < 0.4, \hat{g} = 1.6, g_\epsilon = 1.5$$

$$\text{برای مقادیر } 0.4 < m_r \beta_\epsilon < 0.8 \text{ از درون‌یابی خطی استفاده می‌شود.}$$

ج-۲-۳ بارهای استاتیکی معادل

بارهای استاتیکی معادل متناظر با جابه‌جایی $\tilde{a}_M$ به این صورت به دست می‌آید:

$$\hat{\omega}(z) = \frac{\hat{a}(2\pi m_1)^2 \phi(z) m(z)}{g_\epsilon} \quad \text{(ج-۱۳)}$$

$$\omega_s(z) = \frac{a_s(2\pi m_1)^2 \phi(z) m(z)}{g_\epsilon} \quad \text{(ج-۱۴)}$$

تعداد چرخه‌ها در T سال در دامنه ثابت معادل، a_s برابر است با:

$$N/n_1 = \left(\frac{T}{50} \right) 10^{10} \left(\frac{V_c \sqrt{I}}{V_{zcr}} \right)^2 \exp \left[-15 \left(\frac{V_c \sqrt{I}}{V_{zcr}} \right)^2 \right] \quad \text{(ج-۱۵)}$$

V_c و V_{zcr} در یک ارتفاع مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

تحلیل خستگی را باید با استفاده از روش ذکر شده در آیین‌نامه مدل CICIND ویژه دودکش‌های فولادی یا استاندارد AISC 360 انجام داد.

ج-۲-۴ دودکش‌های با قطر متغیر

در دودکش‌های با قطر متغیر، روش قبلی را می‌توان با اصلاحات زیر برای منظور کردن بازه قطرهای بحرانی محتمل به کار برد. روش قبلی با تغییرات زیر در روابط مورد استفاده قرار می‌گیرد. پاسخ بیشینه با تغییر دادن بازه ارتفاع منظور شده در هر قطر متوسط، $\bar{D}$ ، برای هر بخش دودکش فولادی که قطر به میزان ۱۵٪ از قطر متوسط تفاوت دارد تعیین می‌شود. پاسخ بیشینه با سعی و خطا در ارتفاع دودکش به دست می‌آید.

$$C_M = \phi(z_M) \frac{\left(\frac{1}{H} \int_{z_1}^{z_2} \phi^2(z) dz \right)^{1/2}}{\frac{1}{H} \int_0^H \phi^2(z) dz} \quad (\text{ج-۱۶})$$

$$R = \frac{\left(\int_{z_1}^{z_2} \phi^2(z) dz \right)}{\int_0^H \phi^2(z) dz} \quad (\text{ج-۱۷})$$

برای نزدیک به موازی: $R=1.0$ و $C_2=0.6R$ ، حدود به این صورت تغییر می‌کند:

$$m_r \beta_\epsilon \geq 0.8R \quad (\text{ج-۱۸})$$

$$m_r \beta_\epsilon \leq 0.4R$$

ج-۲-۵ نشانه‌گذاری‌ها

A فواصل مرکز به مرکز به منظور تعیین آثار تداخلی، برحسب m

A_1 و A_2 مقادیر ثابت

$\hat{a}$ بیشینه مقدار دامنه برای بارهای طراحی معادل استاتیکی، برحسب m

a_s بیشینه مقدار دامنه برای بارهای خستگی معادل استاتیکی، برحسب m

$\bar{a}_M$ جابه‌جایی دینامیکی r.m.s در تراز $z=z_m$ ، برحسب m

C_1 مقدار ثابت برای دودکش‌های گروهی و منفرد

C_2 مقدار ثابت

C_M مقدار ثابت شکل مود

$\bar{D}$	میانگین قطر برای قطعه z_1 تا z_2 یا برای دودکش‌های با تغییرات کوچکتر از $\pm 10\%$ در یک سوم فوقانی که مقدار $\bar{D}$ میانگین در یک سوم فوقانی است، برحسب m؛
g	شتاب ثقل برابر با 9.81 m/s^2 ؛
$\hat{g}$	مقدار ثابت برای بیشینه بارهای استاتیکی معادل؛
g_n	ثابت ثقلی؛
g_e	ثابت برای بارهای استاتیکی معادل خستگی؛
H	ارتفاع دودکش فولادی، برحسب m؛
m_r	جرم بدون بعد
$m(z)$	جرم در واحد طول در ارتفاع z ، برحسب N.m؛
n_1	بسامد طبیعی مود، برحسب Hz؛
N_T	تعداد مؤثر چرخه‌ها در سال‌های بازه زمانی؛
R	مقدار ثابت برای دودکش‌های مقطع متغیر؛
S	عدد استروهل؛
T	عمر دودکش (سال)؛
V_c	سرعت بحرانی برای قطعه z_1 تا $z_2 = 5n_1\bar{D}$ برحسب m/s؛
$V_{z_{cr}}$	سرعت طراحی میانگین ساعتی (با دوره بازگشت ۵۰ سال) در ارتفاع بحرانی، z_{cr} به کار رفته در ارزیابی سرعت بحرانی باد، برحسب m/s؛
z	ارتفاع مورد بررسی، برحسب m؛
z_1 و z_2	حدود فوقانی و تحتانی یک مقطع دودکش که در آن قطر تا 30% تغییر می‌کند (یعنی $\pm 15\%$ $\bar{D}$)، برحسب m؛
z_{cr}	برابر با $(1/2)(z_1+z_2)$ یا در دودکش‌های با تغییر کوچکتر از $\pm 10\%$ در طول

یک سوم ارتفاع مساوی با $z_{cr}=5/6H$ بر حسب m؛	
ارتفاع در بیشینه جابه‌جایی شکل مودی (H برای مود اول)، بر حسب m؛	z_M
ضریب تشدید	α
میرایی ایرودینامیکی	β_a
میرایی سازه‌ای	β_s
نسبت ابعادی	λ
جرم مخصوص هوا، بر حسب kg/m^3 ؛	ρ
شکل مودی نرمال شده در ارتفاع z (بدون واحد)؛	$\phi(z)$
بیشینه جابه‌جایی مودی نرمال شده $\phi(z)$ برای مود در ارتفاع $z=z_M$ برای مود اول (بدون واحد)؛	$\phi(z_M)$
بار استاتیکی معادل، بر حسب N.m؛	$\hat{\omega}(z)$
بار خستگی معادل، بر حسب N.m است.	$\omega_s(z)$

پیوست چ

(آگاهی‌دهنده)

استخراج روابط برای مقاومت اسمی مقاطع دودکش بتنی

روابط مقاومت اسمی مقاطع دودکش بتنی با و بدون بازشو، در این پیوست به‌دست آمده است. بار قائم ضریب‌دار، P_u ، و مقاومت خمشی اسمی متناظر آن، M_u ، به صورت بی‌بعد ۵-۸-۵-۲ و به ترتیب توسط روابط (۸۱) و (۹۲) آمده است. تعیین ضریب Q آمده در روابط (۹۴) تا (۹۹) از استخراج کلی حذف گردیده است. روند منظور کردن اثرات دما در راستای قائم و افقی نیز ذکر شده است. نیروها با نشانه‌های زیر در این پیوست معرفی می‌شوند (همچنین به زیربند ۵-۴-۱ مراجعه شود):

M_{DS} مقاومت خمشی طراحی مقطع؛

P نیروی کل در بلوک تنش فشاری بتن؛

$P, S'_1, S'_2, S'_3, S'_4$ به ترتیب لنگرهای P, S_1, S_2, S_3, S_4 حول تار خنثی؛

S_1 نیروی کششی جایی که تنش فولاد کوچکتر از مقاومت تسلیم از α تا ψ است؛

S_2 نیروی کششی جایی که تنش فولاد برابر با مقاومت تسلیم از ψ تا π است؛

S_3 نیروی فشاری در فولاد جایی که تنش فولاد کوچکتر از مقاومت تسلیم از μ تا α است؛

S_4 نیروی فشاری در فولاد جایی که تنش برابر با مقاومت تسلیم از صفر تا μ است.

به مورد الف، شکل ۶ و مورد ب، شکل ۶ مراجعه شود.

θ تابع متغیر α

$$S_1 = 2 \int_{\alpha}^{\psi} \frac{r(\cos \alpha - \cos \theta)}{r(1 - \cos \alpha)} \varepsilon_m E_s \rho_t r t d\theta = \frac{2 \varepsilon_m E_s \rho_t r t}{(1 - \cos \alpha)} (\theta \cos \alpha - \sin \theta)_{\alpha}^{\psi} = \frac{2 \varepsilon_m E_s \rho_t r t}{(1 - \cos \alpha)} [(\psi - \alpha) \cos \alpha - \sin \psi + \sin \alpha]$$

اما

$$E_s \rho_t = E_s \rho_t (\omega_t f_c' / \rho_t f_y) = E_s / f_y \times \omega_t f_c' = K_e \omega_t f_c'$$

بنابراین:

$$S_1 = 2 \varepsilon_m K_e \omega_t r t f_c' \frac{[(\psi - \alpha) \cos \alpha - \sin \psi + \sin \alpha]}{(1 - \cos \alpha)}$$

یا

$$S_1 = 2 \varepsilon_m K_e \omega_t r t f_c' Q$$

$$S_2 = 2(\pi - \psi) \rho_t r t f_y$$

اما

$$\rho_t f_y = \omega_t f_c'$$

$$S_2 = 2(\pi - \psi) r t \omega_t f_c'$$

$$P = 2(\tau - n_1 \beta) r t \times 0.85 f_c' = 1.7 r t f_c' (\tau - n_1 \beta) = 1.7 r t f_c' \lambda$$

که در آن:

$$\lambda = \tau - n_1 \beta$$

$$S_3 = 2 \int_a^{\pi} \frac{r(\cos \theta - \cos \alpha)}{r(1 - \cos \alpha)} \varepsilon_m E_s \rho_t r t d\theta = \frac{2 \varepsilon_m E_s \rho_t r t}{(1 - \cos \alpha)} (\sin \theta - \theta \cos \alpha)^a =$$

$$2 \varepsilon_m K_e \omega_t r t f_c' \frac{[\sin \alpha - \sin \mu - (\alpha - \mu) \cos \alpha]}{(1 - \cos \alpha)} = 2 \varepsilon_m K_e \omega_t r t f_c' \times Q_3$$

$$S_4 = 2 \mu \rho_t r t f_y = 2 \omega_t r t f_c' \times \mu$$

جمع نیروهای قائم باید برابر با صفر باشد، بنابراین:

$$P_u = P + S_3 + S_4 - S_1 - S_2 = 1.70 r t f_c' \lambda + 2 \varepsilon_m K_e \omega_t r t f_c' \times Q_3 + 2 \omega_t r t f_c' \times \mu - 2 \varepsilon_m K_e \omega_t r t f_c' Q' - 2(\pi - \psi) r t \omega_t f_c'$$

$$P_u / r t f_c' = K_1 = 1.70 \lambda + 2 \varepsilon_m K_e \omega_t (Q_3 - Q') + 2 \omega_t [\mu - (\pi - \psi)] = 1.70 \lambda + 2 \varepsilon_m K_e \omega_t Q_1 + 2 \omega_t \lambda_1$$

که در آن:

$$\lambda = \tau - n_1 \beta$$

$$Q_1 = \frac{\sin \psi - \sin \mu - (\psi - \mu) \cos \alpha}{(1 - \cos \alpha)}$$

$$\lambda_1 = \mu + \psi - \pi$$

$$K_e = E_s / f_y$$

$$\omega_t = \rho_t f_y / f_c'$$

$$S_1' = 2 \int_a^{\psi} r^2 \frac{(\cos \alpha - \cos \theta)^2}{r(1 - \cos \alpha)} \varepsilon_m E_s \rho_t r t d\theta = \frac{2 \varepsilon_m E_s r^2 \rho_t r t}{(1 - \cos \alpha)} -$$

$$\int_a^{\psi} (\cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha \cos \theta + \cos^2 \theta) d\theta = \frac{2 \varepsilon_m K_e \omega_t r^2 t f_c'}{(1 - \cos \alpha)} (\theta \cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha \sin \theta + \frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2 \theta}{4})_a^{\psi} =$$

$$\frac{2 \varepsilon_m K_e \omega_t r^2 t f_c'}{(1 - \cos \alpha)} [(\psi - \alpha) \cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha (\sin \psi - \sin \alpha)] + (1/2)(\psi - \alpha) + (1/4)(\sin 2\psi - \sin 2\alpha)]$$

$$J = (\psi - \alpha) \cos^2 \alpha + 2 \sin \alpha \cos \alpha - 2 \cos \alpha \sin \psi + (1/2) \sin \psi \cos \psi - (1/2) \sin \alpha \cos \alpha + (1/2)(\psi - \alpha)$$

یا

$$2J = 2(\psi - \alpha) \cos^2 \alpha + 3 \cos \alpha \sin \alpha - 4 \cos \alpha \sin \psi + \sin \psi \cos \psi + (\psi - \alpha)$$

بنابراین:

$$S'_1 = \varepsilon_m r^2 t f_c^i K_\varepsilon \omega_t J_1$$

که در آن:

$$J_1 = 2J / (1 - \cos \alpha)$$

یا

$$J_1 = [2(\psi - \alpha) \cos^2 \alpha + 3 \sin \alpha \cos \alpha - 4 \cos \alpha \sin \psi + \sin \psi \cos \psi + (\psi - \alpha)] / (1 - \cos \alpha)$$

$$S'_2 = 2 \int_{\psi}^{\alpha} \rho_t r t f_y \times r (\cos \alpha - \cos \theta) d\theta = 2r^2 \rho_t t f_y (\theta \cos \alpha - \sin \theta)_{\psi}^{\alpha} = 2r^2 \rho_t t f_y [(\pi - \psi) \cos \alpha - \sin \psi]$$

اما

$$\rho_t f_y = \omega_t f_c^i$$

بنابراین:

$$S'_2 = 2r^2 t f_c^i \omega_t J_2$$

که در آن:

$$J_2 = (\pi - \psi) \cos \alpha + \sin \psi$$

$$S'_3 = 2 \int \frac{r^2 (\cos \theta - \cos \alpha)^2}{r(1 - \cos \alpha)} \cdot \varepsilon_m E_s \rho_t r t d\theta = \frac{2\varepsilon_m K_\varepsilon \omega_t r^2 t f_c^i}{(1 - \cos \alpha)} \int^{\alpha} (\cos^2 \theta - 2 \cos \theta \sin \alpha + \cos^2 \alpha) d\theta =$$

$$\frac{2\varepsilon_m K_\varepsilon \omega_t r^2 t f_c^i}{(1 - \cos \alpha)} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{\sin 2\theta}{4} - 2 \cos \alpha \sin \theta + \theta \cos^2 \alpha \right)_{\mu}^{\alpha} = \frac{2\varepsilon_m K_\varepsilon \omega_t r^2 t f_c^i}{(1 - \cos \alpha)} [(1/2)(\alpha - \mu) + (1/4)(\sin 2\alpha - \sin 2\mu) - 2 \cos \alpha (\sin \alpha - \sin \mu) + (\alpha - \mu) \cos^2 \alpha]$$

$$J_3 = 2 / (1 - \cos \alpha)$$

یا

$$J_3 = [\alpha - \mu + \sin \alpha \cos \alpha - \sin \mu \cos \mu - 4 \cos \alpha (\sin \alpha - \sin \mu) + 2(\alpha - \mu) \cos^2 \alpha] / (1 - \cos \alpha)$$

بنابراین

$$S'_3 = \varepsilon_m r^2 t f_c^i K_\varepsilon \omega_t J_3$$

$$S'_4 = 2 \int_0^{\alpha} \rho_t r t f_y \times r (\cos \theta - \cos \alpha) d\theta = 2r^2 \rho_t t f_y (\sin \theta - \cos \alpha)_0^{\alpha} = 2r^2 \rho_t t f_y (\sin \mu - \mu \cos \alpha)$$

بنابراین

$$S'_4 = 2r^2 t f'_c \omega_t J_4$$

که در آن:

$$J_4 = \sin \mu - \mu \cos \alpha$$

برای P' با یک بازشو در ناحیه تحت فشار (بخش الف از شکل ۶):

$$P' = 2rt \times 0.85 f'_c \left[t \left(\frac{r \sin \tau}{\tau} - r \cos \alpha \right) - \int_0^\beta r (\cos \theta - \cos \alpha) d\theta \right] = 1.70 r^2 t f'_c (\sin \tau - \tau \cos \alpha - \sin \beta + \beta \cos \alpha)$$

بنابراین:

$$P' = 1.70 r^2 t f'_c [\sin \tau - (\tau - \beta) \cos \alpha - \sin \beta]$$

برای P' با دو بازشو در ناحیه تحت فشار (بخش ب از شکل ۶)

$$P' = 2rt \times 0.85 f'_c \left[t \left(\frac{r \sin \tau}{\tau} - r \cos \alpha \right) - \int_{\gamma-\beta}^{\gamma+\beta} r (\cos \theta - \cos \alpha) d\theta \right] = 1.70 r^2 t f'_c [\sin \tau - \tau \cos \alpha - \sin (\gamma + \beta) + \sin (\gamma - \beta) + 2\beta \cos \alpha]$$

بنابراین:

$$P' = 1.70 r^2 t f'_c [\sin \tau - (\tau - 2\beta) \cos \alpha - \sin (\gamma + \beta) + \sin (\gamma - \beta)]$$

و با عمومیت یافتن:

$$P' = 1.70 r^2 t f'_c \bar{R}$$

که در آن:

$$\bar{R} = \sin \tau - (\tau - n_1 \beta) \cos \alpha - (n_1 / 2) [\sin (\gamma + \beta) - \sin (\gamma - \beta)]$$

برای حالت بدون بازشو:

$$n_1 = \gamma = \beta = 0$$

برای یک بازشو در ناحیه تحت فشار:

$$n_1 = 1$$

$$\gamma = 0$$

برای دو بازشو در ناحیه تحت فشار:

$$n_1 = 2$$

جمع لنگرها حول محور خنثی باید برابر با صفر باشد، بنابراین:

$$M_n = P_u r \cos \alpha + P' + S'_1 + S'_2 + S'_3 + S'_4 = P_u r \cos \alpha + 1.70 r^2 t f'_c \bar{R} + \varepsilon_m r^2 t f'_c K_s \omega_t J_1 + 2r^2 t f'_c \omega_t J_2 + \varepsilon_m r^2 t f'_c K_s \omega_t J_3 + 2r^2 t f'_c \omega_t J_4 = P_u r \cos \alpha + 1.70 r^2 t f'_c \bar{R} + \varepsilon_m r^2 t f'_c K_s \omega_t (J_1 + J_3) + 2r^2 t f'_c \omega_t (J_2 + J_4)$$

بنابراین:

$$M_n/r^2 t f_c^i = (P_u \cos \alpha / r t f_c^i) + K_2$$

که در آن:

$$K_2 = 1.70 \bar{R} + \varepsilon_m K_e \omega_t (J_1 + J_3) + 2 \omega_t (J_2 + J_4)$$

یا

$$K_2 = 1.70 \bar{R} + \varepsilon_m K_e \omega_t Q_2 + 2 \omega_t K$$

$$Q_2 = [(\psi - \mu)(1 + 2 \cos^2 \alpha) + (1/2)(4 \sin 2\alpha + \sin 2\psi - \sin 2\mu) - 4 \cos \alpha (\sin \alpha + \sin \psi - \sin \mu)] / (1 - \cos \alpha)$$

و

$$K = \sin \psi + \sin \mu + (\pi - \psi - \mu) \cos \alpha$$

هر دو طرف رابطه ضرب می شود در:

$$1/K_1 = r t f_c^i / P_u \cdot M_n / r^2 t f_c^i = r t f_c^i / P_u \cdot P_u \cos \alpha / r t f_c^i + 1/K_1 \cdot K_2$$

بنابراین:

$$K_3 = M_n / P_u r = \cos \alpha + K_2 / K_1$$

یا

$$M_n = K_3 P_u r$$

و مستلزم

$$M_{Ds} = \phi M_n \geq M_u$$

برای دو بازو متقارن در ناحیه تحت فشار (بخش پ شکل ۶)

$$\gamma + \beta > \tau$$

و

$$\gamma - \beta < \tau$$

$$\delta = \gamma - \beta$$

وضعیت در حالتی که در ناحیه تحت فشار، بازو وجود ندارد مشابه است با:

$$\tau = \delta$$

$$\lambda = \delta$$

$$\bar{R} = \sin \delta - \delta \cos \alpha$$

بقیه مقادیر همانند آن است که قبلاً ذکر گردید.

- بازشوها در ناحیه تحت کشش

به دلیل نادیده گرفته شدن مقاومت کششی بتن، از وجود بازشوها در ناحیه تحت کشش صرف نظر می شود و میلگردهای قطع شده توسط بازشوها در طرفین باز شو قرار می گیرند.

- بازشوها در ناحیه تحت فشار

در محاسبات نیروها در میلگردهای فشاری، بازشوها در ناحیه فشاری نادیده گرفته می شوند زیرا میلگردهای قطع شده در طرفین بازشوها قرار می گیرند.

- تنش های حرارتی قائم در میلگردها؛ تأثیر بر f_y

f_{STV} تنش حرارتی کششی در میلگردهای بیرونی؛

f_{STV}^* تنش حرارتی فشاری در میلگردهای داخلی؛

f_{STV}^* ، f_{STV} تنش تحت بارهای بهره برداری به دست می آیند.

نسبت مساحت میلگردهای بیرونی به مساحت کل میلگردها $\frac{\rho}{\rho(1+\gamma_1)} = \frac{1}{1+\gamma_1}$

نسبت مساحت میلگردهای داخلی به مساحت کل میلگردها $\frac{\gamma_1 \rho}{\rho(1+\gamma_1)} = \frac{\gamma_1}{1+\gamma_1}$

$F_t(v)$ ضریب بار برای دما در ترکیب با W یا E و برابر با ۱/۲ در حد نهایی تأثیر بر f_y در جهت رو به باد.

نیروی تسلیم قابل استفاده برابر است با:

+ نیروی کششی در میلگردهای بیرونی. $F_t(v)$ - نیروی تسلیم = نیروی تسلیم قابل استفاده

نیروی فشاری در میلگردهای داخلی. $F_t(v)$

با تقسیم بر مساحت کل فولاد، A_s

$$f_y'(v) = f_y - \frac{F_t(v) \frac{1}{1+\gamma_1} \cdot A_s \cdot f_{STV}}{A_s} + \frac{F_t(v) \frac{\gamma_1}{1+\gamma_1} \cdot A_s \cdot f_{STV}^*}{A_s}$$

بنابراین:

$$f_y'(v) = f_y - \frac{F_t(v)}{1+\gamma_1} (f_{STV} - \gamma_1 f_{STV}^*)$$

استفاده از مقدار یکسان f_y' در جهت پشت به باد نیز محافظه کارانه و ساده است.

- تنش های حرارتی قائم در بتن؛ تأثیر بر f_c

f_{CTV}^* تنش فشاری بتن ناشی از حرارت صرفاً در بارهای بهره برداری

در حد نهایی، تأثیر روی f_c' برابر است با:

$$f_c''(v) = f_c' - F_t(v) \cdot f_{CTV}$$

مقاومت اسمی برای خمش پیرامونی (فشار در داخل)

$$\left. \begin{aligned} f_y'(c) &= f_y' - 1.2 f_{STC} \\ f_c''(c) &= f_c' - 1.2 f_{CTC} \end{aligned} \right\} \text{ برای ترکیب با دما}$$

به شکل چ-۱ برای نمودار کرنش و بار مراجعه شود.

ρ' نسبت سطح مقطع میلگردهای بیرونی به کل سطح مقطع؛

γ_1' نسبت سطح مقطع میلگردهای داخلی به سطح مقطع میلگردهای بیرونی؛

ρ_t' سطح مقطع میلگردهای بیرونی؛

$\gamma_1 \rho_t'$ سطح مقطع میلگردهای داخلی.

تنش در میلگرد تحت فشار:

$$f_{CS} = \frac{[(a/\beta_1) - (1 - \gamma_2')]}{a/\beta_1} \cdot 0.003 E_s$$

$$f_{CS} = \frac{a - \beta_1 (1 - \gamma_2')}{a} \cdot 0.003 E_s \leq f_y'(c) \quad (\text{چ-۱})$$

تنش در میلگرد تحت کشش:

$$f_{TS} = \frac{\gamma_2' - (a/\beta_1)}{a/\beta_1} \cdot 0.003 E_s \quad (\text{چ-۲})$$

$$f_{TS} = \frac{\beta_1 \gamma_2' - a}{a} \cdot 0.003 E_s \leq f_y'(c)$$

بار در میلگرد تحت فشار:

$$P_{CS} = f_{CS} \gamma_1 \rho_t' t \quad (\text{چ-۳})$$

بار در میلگرد تحت کشش:

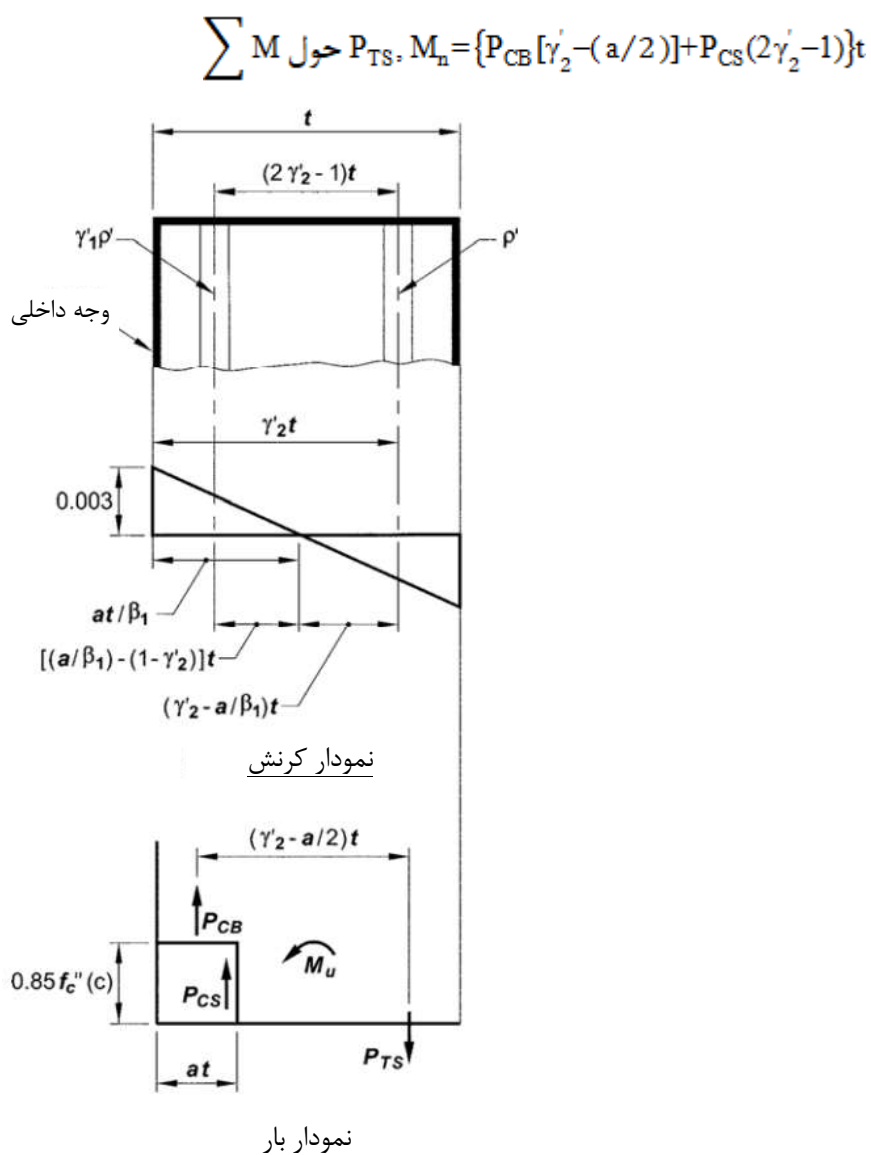
$$P_{TS} = f_{TS} \rho_t' t \quad (\text{چ-۴})$$

بار در بلوک فشاری بتن:

$$P_{CB} = 0.85 f_c'(c) \times t \times a \quad (\text{چ-۵})$$

$$\sum V = 0, P_{CB} + P_{CS} - P_{TS} = 0 \quad (\text{چ-۶})$$

مقدار a به گونه‌ای تعیین می‌شود که این رابطه برآورده شود:



شکل چ-۱- خمشی پیرامونی

$$M_{DS} = \phi M_n \geq M_u \quad (\text{چ-۷})$$

برای فشار در بیرون:

$$f'_y(c) = f_y$$

$$f'_c(c) = f'_c$$

بنابراین با صرف نظر از دما رابطه (چ-۳) تبدیل می شود به:

$$P_{CS} = f_{CS} \rho' t$$

رابطه (چ-۴) تبدیل می شود به:

$$P_{TS} = f_{TS} \gamma'_1 \rho' t$$

پیوست ح

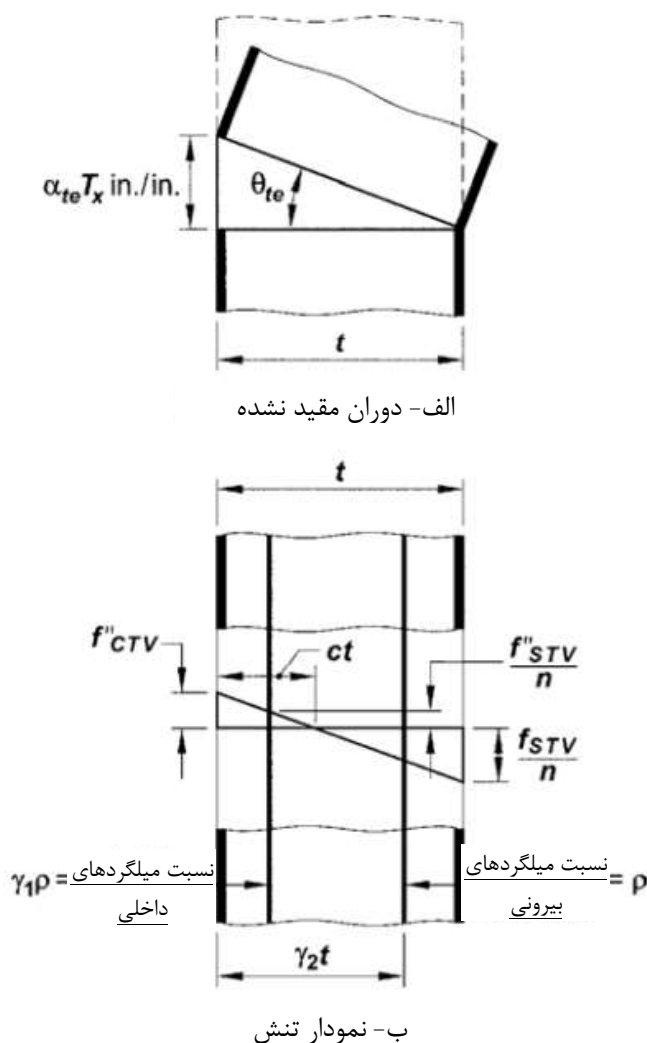
(آگاهی‌دهنده)

استخراج روابط برای تنش‌های حرارتی در دودکش بتنی

روابط بیشینه تنش‌های قائم در بتن و میلگرد به دلیل افت دما، در سراسر دیوار بتنی با دو سفره میلگرد به شرح زیر است. دوران مقید نشده به دلیل اختلاف دما T_x ایجاد می‌شود (بخش الف از شکل ح-۱)

$$\theta_{te} = \alpha_{te} T_x / t$$

از آنجا که از دوران جلوگیری می‌شود تنش‌های متناظر (بخش ب از شکل ح-۱) ایجاد می‌شود.



شکل ح-۱- تنش حرارتی قائم

در داخل بتن:

$$\varepsilon_c = \theta_{te} c t = \alpha_{te} T_x c$$

و

$$f_{CTV}'' = \alpha_{te} c T_x E_c$$

در میلگردهای بیرونی:

$$\varepsilon_s = \theta_{te} (\gamma_2 - c) t$$

و

$$f_{STV} = \alpha_{te} (\gamma_2 - c) T_x E_c$$

ρ نسبت سطح مقطع میلگردهای قائم بیرونی به سطح کل پوسته دودکش بتنی در مقطع مورد بررسی

γ_1 نسبت سطح مقطع میلگردهای قائم داخلی به سطح مقطع کل میلگردهای قائم بیرونی

$$f_{STV}'' = \frac{(c-1+\gamma_2)n}{c} f_{CTV}'' = \alpha_{te} (c-1+\gamma_2) T_x n E_c$$

برای c :

$$\sum V=0, f_{CTV}'' (ct/2) + f_{STV}'' \gamma_1 \rho t = f_{STV} \rho t$$

$$\alpha_{te} c T_x E_c (ct/2) + \alpha_{te} (c-1+\gamma_2) T_x n E_c \gamma_1 \rho = \alpha_{te} (\gamma_2 - c) T_x n E_c \rho t$$

$$c^2 + 2n \gamma_1 \rho c + 2n \gamma_1 \rho (\gamma_2 - 1) + 2n \rho c - 2n \rho \gamma_2 = 0$$

$$c^2 + 2\rho n (\gamma_1 + 1) c + 2\rho n [\gamma_1 (\gamma_2 - 1) - \gamma_2] = 0$$

$$c^2 + 2\rho n (\gamma_1 + 1) c - 2\rho n [\gamma_2 + \gamma_1 (1 - \gamma_2)] = 0$$

$$c = -\rho n (\gamma_1 + 1) + \sqrt{[\rho n (\gamma_1 + 1)]^2 + 2\rho n [\gamma_2 + \gamma_1 (1 - \gamma_2)]}$$

استخراج روابط بیشینه تنش‌های افقی در بتن و میلگرد به دلیل افت دما، در جداره دودکش بتنی با دو سفره میلگرد مشابه با تنش‌های حرارتی قائم است.

پارامترهای زیر باید با هم جابه‌جا شوند:

ρ با ρ'

$$\gamma_1' \text{ با } \gamma_1$$

$$f_{CTC}'' \text{ با } f_{CTV}''$$

$$f_{STC} \text{ با } f_{STV}$$

$$c' \text{ با } c$$

$$\gamma_2' \text{ با } \gamma_2$$

$$f_{CTC}'' = \alpha_{te} c' T_x E_c$$

$$f_{STC} = \alpha_{te} (\gamma_2' - c') T_x E_s$$

$$c' = -\rho' n (\gamma_1' + 1) + \sqrt{[\rho' n (\gamma_1' + 1)]^2 + 2\rho' n [\gamma_2' + \gamma_1' (1 - \gamma_2')]}$$

کتابنامه

الف - مراجع به کار رفته دارای ارجاع با شماره مرجع

- [1] API 537, Flare details for petroleum, petrochemical, and natural gas industries, 3rd ed., Washington D.C.: American Petroleum Institute, 2017.
- [2] API 560, Fired heaters for general refinery service, Washington D.C.: American Petroleum Institute, 2016.
- [3] ASCE, Design & construction of steel chimney liners, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 1975.
- [4] ASCE 40112, The design of air & gas ducts for power stations & industrial boiler applications, Section 3, 2nd ed., Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2020.
- [5] ASCE, Chimney & stack inspection guidelines, Section 10, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2003.

ب - مراجع به کار رفته در استاندارد ASME STS-1

- [6] OSHA, 29 CFR, Part 1910, Occupational safety and health standards code of federal regulations, Occupational Safety & Health Administration (OSHA), U.S. Department of Labor, 200 Constitution Avenue, Washington, DC 20210 (www.osha.gov)
- [7] AC70/7460-1K, U.S. Department of Transportation, 1200 New Jersey Avenue, S.E., Washington, DC 20590 (www.dot.gov)
- [8] ACI 307-08, Code Requirements for reinforced concrete chimneys, American Concrete Institute (ACI), 38800 Country Club Drive, Farmington Hills, MI48331 (www.concrete.org)
- [9] ANSI/NFPA 780, Lightning protection code NEC 70 , National Electrical Code, National Fire Protection Association (NFPA), 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02169 – 7471 (www.nfpa.org)
- [10] ASHRAE Handbook, latest edition Publisher: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (ASHRAE), 1791Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329 (www.ashrae.org)
- [11] ASME Technical Paper, 65WA/ FU5, The American Society of Mechanical Engineers (ASME), Two Park Avenue, New York, NY 10016-5990 (www.asme.org)
- [12] ASTM A20/A20M, Standard Specification for general requirements for steel plates for pressure vessels
- [13] ASTM A36/A36M, Standard specification for carbon structural steel
- [14] ASTM A193/A193M, Standard specification for alloy steel and stainless steel bolting for high temperature or high pressure service and other special purpose applications
- [15] ASTM A203/A203M, Standard specification for pressure vessel plates, alloy steel, nickel
- [16] ASTM A240/A240M , Standard specification for chromium and chromium -nickel stainless steel plate , sheet, and strip for pressure vessels and for general applications

- [17] ASTM A242/A242M, Standard specification for high-strength low-alloy structural steel
- [18] ASTM A247, Standard test method for evaluating the microstructure of graphite in iron castings
- [19] ASTM A264, Standard specification for stainless chromium-nickel steel-clad plate
- [20] ASTM A265, Standard specification for nickel and nickel-base alloy-clad steel plate
- [21] ASTM A283/A283M, Standard specification for low and intermediate tensile strength carbon steel plates
- [22] ASTM A285/A285M, Standard specification for pressure vessel plates, carbon steel, low-and intermediate-tensile strength
- [23] ASTM A307, Standard specification for carbon steel bolts, studs, and threaded rod 60,000 psi tensile strength
- [24] ASTM A325, Standard specification for structural bolts, steel, heat treated, 120/105 ksi minimum tensile strength (withdrawn 2016)
- [25] ASTM A354, Standard specification for quenched and tempered alloy steel bolts, studs, and other externally threaded fasteners
- [26] ASTM A368, Standard specification for stainless steel wire strand
- [27] ASTM A378, Standard specification for flat-rolledelectrical steel (withdrawn 1955)
- [28] ASTM A387/A387M, Standard specification for pressure vessel plates, Alloy Steel, Chromium – Molybdenum
- [29] ASTM A449 , Standard specification for hex cap screws, bolts and studs, steel, heat treated, 120/105/90 ksi minimum tensile strength, general use
- [30] ASTM A463/A463M, Standard specification for steel sheet, Aluminum-Coated, by the Hot-Dip Process
- [31] ASTM A474, Standard specification for aluminum coated steel wire strand
- [32] ASTM A475, Standard specification for zinc-coa ted steels wire strand
- [33] ASTM A490, Standard specification for quenched and tempered alloy steel bolts for structural steel joints (withdrawn 2016)
- [34] ASTM A515/A515M, Standard specification for pressure vessel plates, carbon steel, for intermediateand higher-temperature service
- [35] ASTM A516/A516M, Standard specification for pressure vessel plates, carbon steel, for moderateand lower-temperature service
- [36] ASTM A517/A517M, Standard specification for pressure vessel plates, alloy steel, high-strength, quenched and tempered
- [37] ASTM A527/A527M, Specification for steel sheet, zinc coated (galvanized) by the hot-dip process, lockforming quality
- [38] ASTM A529/A529M, Standard specification for high strength carbon -manganese steel of structural quality
- [39] ASTM A537/A537M, Standard specification for pressure vessel plates, heat-treated, carbon-manganese-silicon steel

- [40] ASTM A554, Standard specification for welded stainless steel mechanical tubing
- [41] ASTM A563, Standard specification for carbon and alloy steel nuts
- [42] ASTM A569/A569M, Standard specification for steel, carbon (o. 15 maximum, percent), hot-rolled sheet and strip commercial quality
- [43] ASTM A570, Standard specification for hot-rolled carbon steel sheet and strip, structural quality
- [44] ASTM A572, Standard specification for high-strength low-alloy columb ium-vanadium structural steel
- [45] ASTM A586, Standard specification for zinc-coated parallel and helical steel wire structural strand
- [46] ASTM A588 , Standard specification for high-strength low-alloy structural steel, up to 50 ksi minimum yield point, with atmospheric corrosion resistance
- [47] ASTM A603, Standard specification for zinc-coated steel structural wire rope
- [48] ASTM A606/A606M, Standard specification for steel, sheet and strip , high-strength, low-alloy, hot-rolled and cold-rolled, with improved atmospheric corrosion resistance
- [49] ASTM A607, Standard specification for steel sheet and strip, hot-rolled and cold -rolled, high-strength, low-alloy columb ium and/ or vanadium
- [50] ASTM A618/A618M, Standard specification for hot-formed welded and seamless high-strength low-alloy structural tubing
- [51] ASTM A666, Standard specification for annealed or cold-worked austenitic stainless steel sheet, strip, plate, and flat bar
- [52] ASTM A687, Standard specification for high-strength nonheaded steel bolts & studs
- [53] ASTM B209, Standard specification for aluminum and aluminum-alloy sheet & plate
- [54] ASTM B221 Standard specification for aluminum and aluminum-alloy extruded bars, rods, wire, profiles and tubes
- [55] ASTM C279, Standard specification for chemical - resistant masonry units a
- [56] ASTM C980, Standard specification for industrial chimney lining brick
- [57] ASTM F436/F436M, Standard specification for hardened steel washers inch and metric dimensions
- [58] ASTM F593, Standard specification for stainless steel bolts, hex cap screws, and studs
- [59] ASTM F1 554, Standard specification for anchor bolts, steel 36, 55 , and 1 05-ksi yield strength permanence of organic coatings (stp-1), American Society for Testing and Materials (ASTM International) , 100 Barr Harbor Drive, P.O. Box C700 , West Conshohocken, PA 1 9428-2959 (www.astm.org)
- [60] AWS A5.1/A5.1M, Specificat ion for covered carbon steel arc welding electrodes
- [61] AWS A5.4/A5.4M, Specification for stainless steel electrodes for shielded metal arc welding
- [62] AWS A5.9/A5.9M, Specification for bare stainless steel welding electrodes and rods

- [63] AWS A5.11/A5.11M, Specification for nickel and nickel alloy welding electrodes for shielded metal arc welding
- [64] AWS A5.14/A5.14M, Specification of nickel and nickel alloy bare welding electrodes and rods
- [65] AWS A5.18/A5.18M, Specification for carbon steel electrodes and rods for gas shielded arc welding
- [66] AWS A5.20/A5.20M, Specification for carbon steel electrodes for flux cored arc welding
- [67] AWS D10.8 , Recommended practice for welding of chromium-molybdenum steel piping and tubing, American Welding Society (AWS), 8669 NW 36 Street, No. 130 , Miami, FL 331 66 (www.aws.org)
- [68] Chimney Coatings Manual, 1996 Model code for steel chimneys, 1999, Revision 1, Amendment A Publisher : International Committee on Industrial Chimneys (CICIND), Preussenstrasse 11, D-40883 Ratingen, Germany (www.cicind.org)
- [69] Coatings and linings handbook publisher: National Association of Corrosion Engineers (NACE International), 15835 Park Ten Place, Houston, TX 77084-4906 (www.nace.org)
- [70] Design and evaluation guidelines for department of energy facilities subjected to natural phenomena hazards, UCRL-1 5910, 1990, U.S. Department of Energy, Office of Safety Appraisals, 1000 Independence Avenue, S.W. , Washington, DC 20585 (www.doe.gov)
- [71] Entrainment in wet stacks, CS-2520 , 1982, Electric Power Research Institute (EPRI), 3420 Hill view Avenue, Palo Alto, CA 94304 (www.epri.com)
- [72] Formulas for stress and strain, 1965, 5th ed. Mechanical Vibrations, 1 948 , 3rd ed . Structural Engineering Handbook Roark's Formulas for Stress and Strain, 2001, 8th ed . Wind effects on structures, 1978 McGraw-Hill Co., P.O. Box 182605, Columbus , OH 43218 (www.mhprofessional.com)
- [73] Good painting practice, Steel Structures Painting Manual, Vol. 1 Systems and Specifications, Steel Structures Painting Manual, Vol. 2, Publisher: SSPC: The Society for Protective Coatings, 4024th Street, Pittsburgh, PA 1 5222 (www.sspc.org)
- [74] Guide for steel stack and duct design construction publisher: Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association (SMACNA) , 4201 Lafayette Center Drive, Chantilly, VA 20151 (www.smacna.org)
- [75] National building code publisher: Building Officials and Code Administrators (BOCA), 4051 W. Flossmoor Road, Country Club Hills, IL 60478 (www.iccsafe.org)
- [76] National building code of Canada, National Research Council of Canada (NRCC), 1200 Montreal Road, Building M-58, Ottawa, ON, K1A 0R6 Canada (www.nrc-nrc.gc.ca)
- [77] Stack height regulation, 40 CFR Part 51 , 2015, Federal Register, Environmental Protection Agency (EPA) , Ariel Rios Building, 1200 Pennsylvania Avenue, NW, Washington, DC 20004 (www.epa.gov)
- [78] Steam, Publisher: The Babcock & Wilcox Co., 20S. Van Buren Avenue, Barberton, OH 44203-0351 (www.babcock.com)
- [79] UL96A, UL Standard for safety installation requirements for lightning protection systems, publisher: underwriters laboratories, Inc . (UL), 333 Pfingsten Road ,

Northbrook, IL 60062 -2096, Order Address: Comm 2000, 151 Eastern Avenue, Bensenville, IL 601 06 (www.ul. com)

پ- مراجع به کار رفته در استاندارد ACI307

- [80] AC70-7460-1K, 2015, Obstruction Marking and Lighting, Federal Aviation Administration
- [81] ACI Committee 318, 2019, Building code requirements for structural concrete, American Concrete Institute,
- [82] ACI Committee 307, 1969, "Specification for the design and construction of reinforced concrete chimneys (ACI 307-69)," ACI JOURNAL, Proceedings V. 66, No. 8, Aug., pp. 610-611.
- [83] ACI Committee 307, 1979, "Specification for the design and construction of reinforced concrete chimneys (ACI 30779)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 63 pp.
- [84] ACI Committee 307, 1988, "Standard Practice for the Design and Construction of Cast-In-Place Reinforced Concrete Chimneys (ACI 307-88) and Commentary (307R-88)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 16 + 14 pp.
- [85] ACI Committee 307, 1995, "Standard practice for the design and construction of reinforced concrete chimneys (aci 307-95) and commentary (307r-95)," american concrete institute, Farmington Hills, MI, 16 + 14 pp.
- [86] ACI Committee 307, 1998, "Design and construction of reinforced concrete chimneys (aci 307-98) and commentary (307R-98)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 17 + 14 pp.
- [87] ACI Committee 505, 1934, "Proposed standard for the design and construction of reinforced concrete chimneys," ACI JOURNAL, Proceedings V. 30, Mar.-Apr., pp. 367-368.
- [88] ACI Committee 505, 1954, "Standard specification for the design and construction of reinforced concrete chimneys," ACI JOURNAL, Proceedings V. 51, No. 9, Sept., pp. 1-48.
- [89] ACI550R, 2000, Design recommendations for precast concrete structures, American Concrete Institute
- [90] ASCE7/SEI 7, 2016, Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers
- [91] ASCE Task Committee on Steel Chimney Liners, 1975, Design and Construction of Steel Chimney Liners, American Society of Civil Engineers, New York, 226 pp.
- [92] ASCE Task committee on wind forces, 1961, "Wind Forces on Structures," Transactions, ASCE, V. 126, Part II, pp. 1124-1198.
- [93] ASTM A615/A615M, 2020, Standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement, American Society of Testing & Materials
- [94] ASTM A706/A706M, 2016, Standard specification for low-alloy steel deformed and plain bars for concrete reinforcement, American Society of Testing & Materials

- [95] ASTM A996/A996M, 2016, Standard specification for rail steel and axle-steel deformed bars for concrete reinforcement, American Society of Testing & Materials
- [96] ASTM C33, 2018, Standard specification for concrete aggregates, american society of testing & materials
- [97] ASTM C150, 2021, Standard specification for portland cement, american society of testing & materials
- [98] ASTM C309, 2019, Standard specification for liquid membrane-forming compounds for curing concrete, American Society of Testing & Materials
- [99] ASTM C595, Standard specification for blended hydraulic cement, American Society of Testing & Materials
- [100] Basu, R. I., 1982, "Across-wind responses of slender structures of circular cross-section to atmospheric turbulence," PhD thesis, Faculty of Engineering Science, University of Western Ontario, London, ON, Canada.
- [101] Canadian commission on building and fire codes, 1995, "National Building Code," National Research Council of Canada, 1167 pp.
- [102] Davenport, A. G., 1967, "Gust loading factors," Proceedings, ASCE, V. 93, No. ST3, June, pp. 11-34.
- [103] Dryden, H. H., and Hill, G. C., 1930, "Wind pressure on circular cylinders and chimneys," Research Paper No. 221, National Bureau of Standards, Washington, D.C. Also, NBS Journal of Research, V. 5, Sept.
- [104] Hognestad, E., 1951, "Study of combined bending and axial load in reinforced concrete members," Bulletin No. 399, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, IL, 128 pp.
- [105] Hollister, S. C., 1969, "Engineering interpretation of weather bureau records for wind loading on structures,"
- [106] Wind loads on buildings and structures, building science series No. 30, National Bureau of Standards, Washington, DC, pp. 151-164.
- [107] Mokrin, Z. A. R., and Rumman, W. S., 1985, "Ultimate capacity of reinforced concrete members of hollow circular sections subjected to monotonic and cyclic bending," ACI JOURNAL, Proceedings V. 82, No. 5, Sept.Oct., pp. 653-656.
- [108] Okamoto, T., and Yagita, M., 1973, "Experimental investigation flow past a circular cylinder of finite length placed normal to a uniform stream," Bulletin, Japan Society of Mechanical Engineers, Tokyo, No. 16, 805 pp.
- [109] PCI, 1977, PCI Manual for Structural Design of Architectural Precast Concrete, Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL.
- [110] PCI, 1985, PCI Design handbook-precast and prestressed concrete, 3rd Edition, Prestressed Concrete Institute, Chicago, IL.
- [111] Rumman, W. S., and Sun, R. T., 1977, "Ultimate strength design of reinforced concrete chimneys," ACI JOURNAL, Proceedings V. 74, No. 4, Apr., pp. 179-184.

- [112] Rumman, W. S., 1985, "Reinforced concrete chimneys," Handbook of Concrete Engineering, second edition, M. Fintel, ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York, pp. 565-586.
- [113] Ruscheweyh, H., 1984, "Problems with in-line stacks: experience with full-scale objects," Engineering Structures, V. 6, No. 4, Guildford, Oct., pp. 340-343.
- [114] Simiu, E.; Marshall, R. D.; and Haber, S., 1977, "Estimation of along-wind building response," Proceedings, ASCE, V. 103, No. ST7, July, pp. 1325-1338.
- [115] Simiu, E., and Scanlon, R. H., 1986, Wind Effects on Structures, 2nd Edition, John Wiley and Sons, 604 pp.
- [116] Vickery, B. J., 1969, "On the reliability of gust loading factors," Wind Loads on Buildings and Structures, Building Science Series No. 30, National Bureau of Standards, Washington, DC, pp. 93-104.
- [117] Vickery, B. J., 1993, "Across-wind loading on reinforced concrete chimneys of circular cross section," Boundary Layer Wind Tunnel Report, BLWT-3-1993, University of Western Ontario, Dec.
- [118] Rumman, W. S., 1985, "Reinforced concrete chimneys," Handbook of Concrete Engineering, second edition, M. Fintel, ed., Van Nostrand Reinhold Co., New York, pp. 565-586.
- [119] Ruscheweyh, H., 1984, "Problems with in-line stacks: experience with full-scale objects," Engineering Structures, V. 6, No. 4, Guildford, Oct., pp. 340-343.
- [120] Simiu, E.; Marshall, R. D.; and Haber, S., 1977, "Estimation of Along-Wind Building Response," Proceedings, ASCE, V. 103, No. ST7, July, pp. 1325-1338. Simiu, E., and Scanlon, R. H., 1986, Wind Effects on Structures, 2nd Edition, John Wiley and Sons, 604 pp.
- [121] UL 96A , 2016, Installation requirements for lighting protection systems, Standard for Safety, 3rd Ed,
- [122] Vickery, B. J., 1969, "On the reliability of gust loading factors," Wind Loads on Buildings and Structures, Building Science Series No. 30, National Bureau of Standards, Washington, DC, pp. 93-104.
- [123] Vickery, B. J., 1993, "Across-wind loading on reinforced concrete chimneys of circular cross section," Boundary Layer Wind Tunnel Report, BLWT-3-1993, University of Western Ontario, Dec.
- [124] Zdravkovich, M. M., 1977, "Review of flow interference effects between two cylinders in various arrangements, Journal of fluids engineering, V.99, p.618