بسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت سهامی تولید و انتقال نیروی برق ایران
(توانیر)

معاونت تحقیقات و تکنولوژی
دفتر استانداردها

استاندارد معیارهای طراحی و مهندسی دودکش نیروگاههای بخاری و سیکل ترکیبی

شماره استاندارد ۲۰۱-۶۲

مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی سازه

تدوین کننده : مرکز تحقیقات نیرو

نگارش اول : آذر ماه ۱۳۷۸

آدرس : تهران - میدان ونک - خیابان شهید عباسپور - ساختمان مرکزی

صندوق پستی ۶۴۶۷-۱۴۱۵۵ تلفن : ۲۱۴۲۴۹۶ فاکس : ۸۷۹۷۷۶۷

استاندارد طراحی و مهندسی دودکش نیروگاهها	
شماره استاندارد	مهندسی
* ۶۲-۲۰۱	مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی سازه
۶۲-۲۰۲	محاسبات و تفسیر مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی سازه
۶۲-۲۰۳	مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی فونداسیون
۶۲-۲۰۴	محاسبات و تفسیر و معیارهای طراحی و مهندسی فونداسیون

* گزارش حاضر

پیشگفتار

استاندارد برحسب مورد عبارت است از تعیین تمام یا برخی از خصوصیات و مشخصات هر جوهره (محصول، فرآیند، سازمان یا فرد) و اطمینان از کیفیت آن از قبیل :

کـالا (Material) شامل : اجزاء تشکیل دهنده، ترکیب، مواد اولیه، جنس، منشاء، کمیت، شکل، رنگ، وضع ظاهر، وزن، ابعاد، عیار، فهرست مقادیر، نحوه استفاده، شـرایـط کـاری، شـرایـط مـحیطی و آب و هـوایـی، مشخصات فنی، توانائیها، قابلیت‌ها، فهرست اطلاعات داده شده توسط خریدار، فهرست اطلاعات خواسته شده از سازنده، اطلاعات شرایط محیطی و آب و هوایی، بسته‌بندی، حمل و نقل و نگهداری.

مهندسی (Engineering) شامل : معیارها، مبانی، نیازها و خواسته‌ها، اطلاعات موردنیاز جـهت طـراحـی و انتخاب، نرم‌افزارها، شاخصها و پارامترهای مشخص‌کننده طراحی، روش قدم به قـدم طـراحـی، یک نـمونه طراحی، جداول طراحی، مشخصات فنی و قـابلیتها، خـواص، ایـمنی، بـهداشت، اقـتصاد، نـقشه‌ها، طـرح تفصیلی، محاسبات، دستورالعملها، راهنمای کاربردی، معیارهای طراحی، شرایط محیطی، ضرایب اطمینان.

اجرایی (Construction) شامل : ساخت، نشانه و علامت‌گذاری، بسته بندی، حمل و نقل، نصب، فونداسیون، سازه، ساختمان، تاسیسات، راه‌اندازی، راهبری و بهره‌برداری، ابزار و وسایل خاص، فصل مشترکها، نگهداری و تعمیرات، دستورالعمل نصب، ابزار مخصوص، تنظیمات.

بازرسی (General) شامل : فرمها، نحوه یکنواخت کردن اوراق اداری، اسناد بازرگانی و مالی، اولویتها، روشها، توصیه‌ها، تفسیرها، ملزومات، مقررات و قوانین، سیاستها، استانداردهای مورد استفاده.

ساختار (Structure) شامل : طرح و ساختار گزارش و خلاصه آن، تهیه و تدوین کنندگان مـنابع، مـراجـع و استانداردهای مورد استفاده، عناوین، هدف و دامنه کاربرد، تعاریف، متن اصلی، عبارات، جداول، ... ، نظرات

و پیشنهادات، آمار و اطلاعات، اشکال، جداول، منحنی‌ها، نقشه‌ها، فرمولها، نمودارها، نتیجه، واژگان، پیوستها، سبک نگارش.

این استاندارد جهت استفاده در صنعت برق تهیه و به تصویب مقام محترم وزارت نیرو رسیده است بنابراین رعایت آن برای کلیه شرکتهای تابعه و وابسته وزارت نیرو الزامی می‌باشد.

این استاندارد توسط گروهی مرکب از متخصصین و کارشناسان مجرب در زمینه ***استاندارد طراحی و مهندسی دودکش نیروگاهها - مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی سازه*** که دارای تجارب طولانی در صنعت برق و صنایع دیگر می‌باشند برمبنای استانداردهای معتبر جهانی، مراجع منتشره علمی، مدارک فنی و تجارب کارشناسان، متخصصین و صنعتگران تهیه شده و سپس بمنظور بررسی و اظهارنظر برای اشخاص ذیعلاقه و ذینفع شامل مهندسین مشاور، شرکتهای تابعه و وابسته، صاحبان صنایع و حرف و اساتید دانشگاهها، مراکز علمی و تحقیقاتی ارسال و نظرات و پیشنهادات اصلاحی آنها جمع‌آوری گردیده است.

در مرحله بعدی جلساتی با حضور متخصصین و صاحب‌نظران فوق‌الذکر تشکیل و در نهایت نظرات و پیشنهادات اصلاحی مورد تایید اعضاء جلسه در آن اعمال و بدین ترتیب این استاندارد حاصل شده است.

علیرغم تلاشهای فوق‌الذکر به‌هیچ وجه ادعا نمی‌گردد استاندارد حاضر بدون عیب و کاستی باشد لذا هرگونه نظرات اصلاحی در جهت ارتقاء کیفیت آن، در تجدید نظر بعدی مورد استقبال قرار خواهد گرفت.

فهـرست مطـالب

عنـوان	صفحه
مقدمه	۱
فصل اول ـ کلیات	۴
۱ـ۱ـ هدف	۴
۱ـ۲ـ کاربرد	۴
۱ـ۳ـ تعاریف و اصطلاحات	۴
۱ـ۴ـ محاسبات و نقشه‌ها	۷
۱ـ۵ـ سایر قوانین	۷
۱ـ۶ـ علائم و نشانه‌ها	۸
فصل دوم ـ مصالح مصرفی	
۲ـ۱ـ کلیات	۱۳
۲ـ۲ـ پوسته بتن مسلح	۱۳
۲ـ۳ـ برج فولادی نگهدارنده دودرو	۱۳
۲ـ۴ـ دودروی فولادی	۱۴
۲ـ۵ـ پوسته فولادی دودکش‌های خود ایستا	۱۴
۲ـ۶ـ پیچها و میل مهارها	۱۴
۲ـ۷ـ عایق داخلی	۱۵
۲ـ۸ـ عایق خارجی	۱۷

عنـــوان | صفحه

فصل سوم ـ ضوابط ساخت و نگهداری

۳ـ۱ـ کلیات ۱۹

۳ـ۲ـ پوسته بتنی ۱۹

۳ـ۳ـ دودرو ۲۱

۳ـ۴ـ عایق کاری ۲۶

۳ـ۵ـ جوشکاری ۳۱

۳ـ۶ـ بازرسی و نگهداری ۳۲

فصل چهارم ـ بارهای طراحی

۴ـ۱ـ کلیات ۳۳

۴ـ۲ـ بار مرده ۳۳

۴ـ۳ـ بار باد ۳۳

۴ـ۴ـ بار زلزله ۴۳

۴ـ۵ـ بارهای ناشی از حرارت ۵۰

۴ـ۶ـ بارهای ناشی از اختلاف فشار ۵۳

فصل پنجم ـ طراحی

۵ـ۱ـ دودکش بتنی ۵۴

۵ـ۲ـ دودکش فلزی ۶۳

۵ـ۳ـ دودروی فولادی ۷۵

۵ـ۴ـ برج فولادی نگهدارنده دودرو ۷۵

عنـــوان | صفحه

فصل ششم ـ تنشهای حرارتی در پوسته بتنی دودکش‌ها

۶ـ۱ـ کلیات ۷۷

۶ـ۲ـ تنشهای حرارتی قائم ۷۷

۶ـ۳ـ تنشهای حرارتی حلقوی ۸۰

فصل هفتم ـ مسائل خاص در طراحی دودکش‌های بتنی

۷ـ۱ـ کنترل تغییر مکان ۸۱

۷ـ۲ـ افزایش لنگر قائم در اثر P-Δ ۸۲

۷ـ۳ـ اثرات برش و پیچش در دودکشها ۸۳

۷ـ۴ـ بازشوهای با ارتفاع زیاد ۸۳

۷ـ۵ـ کنترل عرض ترک ۸۴

فصل هشتم مدلسازی تحلیلی دودکش بتنی

۸ـ۱ـ کلیات ۸۷

۸ـ۲ـ تحلیل دودکش بصورت تیر طره ۸۷

۸ـ۳ـ مدلسازی و تحلیل دودکش با استفاده از اجزا محدود ۸۸

فهرست مراجع ۹۰

فهـرست شکلها

عنـوان | صفحه

شکل ۳-۱- دودروی فولادی الف) آویزان از راس ب) تکیه‌گاه در پایین ۲۳

شکل ۳-۲- تعبیه درز انبساط و تکیه‌گاه در ارتفاع برای کاهش اثر ΔT ۲۴

شکل ۳-۳- مهارهای جانبی ۲۵

شکل ۳-۴- گل میخ Y شکل ۲۸

شکل ۴-۱- جهات وزش باد ۳۵

شکل ۴-۲- طیف بازتاب طرح ۴۵

شکل ۵-۱- مقادیر ψ ، μ و τ ۵۷

شکل ۵-۲- نحوه قرار دادن آرماتورها در اطراف بازشو ۶۲

شکل ۵-۳- مقطع دودرو و سخت‌کننده حلقوی ۶۸

شکل ۵-۴- سخت کننده محل اتصال مخروط به استوانه ۶۹

شکل ۵-۵- تقویت کننده‌های قائم دودرو ۷۱

شکل ۵-۶- صفحه زیر سری بدون لچکی ۷۳

شکل ۵-۷- صفحات زیر سری با لچکی ۷۴

شکل ۷-۱- مقدار ارتفاع بحرانی بازشو ۸۴

شکل ۷-۲- نمایش a_{cr} ۸۵

شکل ۸-۱- مدل‌سازی دودکش با استفاده از المان قاب ۸۸

مقدمـه :

انجام پروژه "تدوین استاندارد مبانی و معیارهای طراحی و مـهندسی دودکش نـیروگاههای بـخاری و سیکل ترکیبی" به عنوان الحاقیه پروژه بررسی روشهای موجود جهت تحلیل و طراحی دودکشهای بتنی و فلزی نیروگاههای بخاری و مقایسه فنی و اقتصادی این دو در آذر ماه ۱۳۷۶ مورد تصویب معاونت محترم تحقیقات و تکنولوژی امور برق وزارت نیرو قرار گرفت. این پروژه شامل مراحل زیر است:

۱ـ تهیه چهار جلد گزارش تحت عناوین زیر :

۱ـ۱ـ مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی سازه دودکش نیروگاههای بخاری و سیکل ترکیبی

۱ـ۲ـ مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی فونداسیون دودکش

۱ـ۳ـ محاسبه و تفسیر مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی سازه دودکش نیروگاههای بخاری و سیکل ترکیبی

۱ـ۴ـ محاسبات و تفسیر مبانی و معیارهای طراحی و مهندسی سـازه دودکش نـیروگاههای بـخاری و سیکل ترکیبی

۲ـ بازبینی و اصلاح ـ مرحله الف ـ (با تشکیل جلساتی در سطح شرکتهای تابعه وزارت نیرو)

۳ـ بازبینی و اصلاح ـ مرحله ب ـ (با تشکیل جلساتی در سطح شرکتهای تابعه وزارت نیرو)

گزارش حاضر که جلد اول از مجموعه چهار جلد فوق‌الذکر می‌باشد (بند ۱ـ۱) کوششی است جهت ارائه ضوابط و معیارهای تحلیل و طراحی سازه دودکش نیروگاههای بخاری و سیکل ترکیبی، کـه مـجموعا" شامل هشت فصل می‌باشد.

فصل اول گزارش تحت عنوان کلیات، اشاره‌ای به هدف از تدوین این استاندارد و دامنه کاربرد آن دارد. در این فصل همچنین کلیه اصطلاحات بکار رفته در متن و همچنین علائم و نشانه‌هایی که در روابط مربوط به

بارگذاری، تحلیل و طراحی مورد استفاده قرار گرفته‌اند تعریف شده است.

فصل دوم با عنوان مصالح مصرفی، به ارائه توضیحاتی در مورد مشخصات مصالح مورد استفاده در ساخت پوسته بتنی دودکش‌ها شامل مشخصات بتن و آرماتورها، همچنین مشخصات فولادهای مورد استفاده جهت ساخت پوسته فولادی دودروها و دودکش‌های فلزی خود ایستا، همچنین پیچها و میل‌مهارهای مورد استفاده پرداخته است. در این فصل توضیحاتی نیز در مورد انواع عایق‌های داخلی و خارجی و مشخصات آنها آورده شده است.

در فصل سوم گزارش با عنوان ضوابط ساخت و نگهداری، کلیه شرایط ، ضوابط و نکات اجرایی که در مراحل ساخت، بهره‌برداری و بازرسی می‌بایست مدنظر قرار گیرد، به تفصیل توضیح داده شده‌اند. این توضیحات شامل جزئیات و حداقل‌های اجرایی مورد نیاز در ساخت پوسته بتنی دودروها و ملحقات آنها، همچنین نکات اجرایی لازم در ارتباط با عایق‌کاری و جوشکاری در دودکش‌ها می‌باشد.

در فصل چهارم این استاندارد انواع بارهای طراحی شامل بار مرده، باد، زلزله، بارهای ناشی از اختلاف فشار در دودرو و همچنین بارهای حرارتی و نحوه تاثیر آنها بر دودکش و دودرو توضیح داده شده‌اند. در محاسبات مربوط به بار باد، روابط مربوط به سرعت باد طراحی، بار باد در امتداد طولی شامل بار باد در اثر سرعت میانگین، اثرات مربوط به رفتار دینامیکی بار باد (بار شبه دینامیکی)، ضریب درگ[1] (C_d) برای دودکش‌های فلزی و بتنی، اثر ارتعاشی بار باد در امتداد عرضی شامل بررسی اثرات مد اول و مد دوم آورده شده است. در این قسمت همچنین به اثر گروه دودکشها، ترکیب اثرات باد عرضی و طولی و ممانهای حلقوی در اثر بار باد و پدیده‌بیضی شدن اشاره شده است. در مبحث مربوط به بار زلزله مطالب اساسی و عمده مانند روش تحلیل استاتیکی معادل و روش تحلیل دینامیکی - طیفی برگرفته از استاندارد زلزله ایران (۲۸۰۰)

---

۱) Drag

می‌باشد. لازم به ذکر است که روش ارائه شده جهت توزیع نیروی برشی در ارتفاع و محاسبه لنگر طراحی در هر تراز از استاندارد ACI-307 که خاص طراحی دودکش تدوین شده است آورده شده است.

فصل پنجم این استاندارد تحت عنوان طراحی، به ارائه روش مناسب طراحی، ترکیب بارها و ضرایب مربوطه برای دودکش بتنی، دودکش فلزی، دودرو و برج فولادی نگهدارنده دودرو پرداخته است. در بخش مربوط به دودکش بتنی نحوه طراحی آرماتورهای قائم، حلقوی، پوسته بتنی و محدودیت‌های طراحی ارائه شده است. در قسمت مربوط به دودکش فلزی علاوه بر ترکیبات بارگذاری و ضرایب مربوطه، تنش‌های مجاز فشاری، کششی، خمشی و حلقوی در پوسته فولادی دودرو ودودکش‌های خود ایستا، آورده شده است.

همچنین روش طراحی کلیه ملحقات دودکش فلزی نظیر سخت‌کننده‌های حلقوی و قائم و محدودیت‌های طراحی ذکر گردیده است.

در فصل ششم به بررسی و ارائه روش مناسب جهت درنظر گرفتن اثر درجه حرارت در پوسته بتنی با انواع عایق‌بندی پرداخته شده است. با روش ارائه شده در این فصل تاثیر حرارت بر پوسته بتنی با کاهش تنش تسلیم فولاد و مقاومت فشاری بتن در تنش‌های حرارتی قائم وحلقوی ملحوظ می‌گردد.

فصل هفتم این استاندارد تحت عنوان مسائل خاص در طراحی دودکش‌های بتنی به کنترل تغییر مکان، بررسی افزایش لنگر قائم در اثر P-Δ، اثرات برش و پیچش، بررسی بازشوهای با ارتفاع زیاد وکنترل عرض ترک پرداخته شده است.

در فصل هشتم استاندارد به انواع روشهای موجود جهت تحلیل دودکش و ذکر معایب و محاسن هر روش پرداخته شده است. در این فصل تحلیل دودکش بصورت تیر طره، مدلسازی دودکش با روش اجزاء محدود با استفاده از المان قاب و المان پوسته مورد بحث و بررسی قرارگرفته‌است.

فصل اول
کلیـات

۱ـ۱ـ هدف

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه ضوابط بارگذاری، روشهای تحلیل، طراحی و ضوابط کلی ساخت و اجرای سازه دودکش‌های نیروگاههای بخاری و سیکل ترکیبی می‌باشد.

۱ـ۲ـ دامنه کاربرد

این استاندارد برای دودکش نیروگاههاکه بصورت خود ایستا عمل نموده یا دارای سازه نگهدارنده از نوع پوسته بتن مسلح یا برج فولادی باشد کاربرد دارد.

۱ـ۳ـ تعاریف و اصطلاحات

در این آئین‌نامه واژه‌ها و اصطلاحات با تعاریف زیر بکار برده می‌شود :

۱ـ۳ـ۱ـ دودرو[1] [۸]

دودرو لوله فولادی هدایت کننده دود به ارتفاع مجاز می‌باشد. ارتفاع مجاز با توجه به ملاحظات زیست محیطی تعیین می‌گردد.

۱ـ۳ـ۲ـ دودکش[2]

در این استاندارد لفظ دودکش به مجموعه دودرو یا دودروها و سازه نگهدارنده آن (در دودکش‌های غیر خود ایستا) اطلاق شده است.

1- Flue

1- Chimney

۱ـ۳ـ۳ـ دودکش خود ایستا

به دودکشی اطلاق می‌شود که در آن پوسته فولادی دودرو، به تنهایی قادر به تحمل کلیه بارهای موثر بر دودکش باشد.

۱ـ۳ـ۴ـ سازه نگهدارنده

به بخشی از مجموعه دودکش اطلاق می‌شود که علاوه بر تحمل وزن خود و بارهای جانبی، تمام یا بخشی از بارهای موثر بر دودرو را نیز تحمل می‌کند.

۱ـ۳ـ۵ـ دودکش با چند دودرو

دودکش‌های غیر خود ایستاکه چند دودرو توسط یک پوسته بتنی[۱] یا برج فولادی نگهداری می‌شوند.

۱ـ۳ـ۶ـ پوسته فولادی[۲]

جداره فولادی دودرو که در دودکش‌های خود ایستا کلیه بارهای موثر و در دودکش‌های غیرخودایستا بخشی از بارهای موثر را تحمل می‌کند.

۱ـ۳ـ۷ـ تکیه‌گاههای جانبی

اجزای فولادی که جهت به حداقل رساندن تغییر شکل جانبی و کاهش لاغری[۳] دودروها و یکنواخت کردن تغییر مکان دودرو با سازه نگهدارنده بکار می‌روند.

2- Concrete shell

1- Steel Shell

2- Slenderness ratio

۱ـ۳ـ۸ـ سخت‌کننده حلقوی

۱ـ۳ـ۸ـ۱ـ اجزای فولادی که به منظور مقاوم نمودن پوسته فولادی در برابر اختلاف فشارهای ایجاد شده و ممانعت از وقوع پدیده بیضی شدن، جلوگیری از کمانش، کاهش نقص هندسی پوسته فولادی، افزایش تنش‌های مجاز و افزایش مقاومت در مقابل نوسانات جانبی ناشی از اثر پیچکها[1] که در فواصل معینی به پوسته فولادی متصل می‌شوند، استفاده می‌شوند.

۱ـ۳ـ۸ـ۲ـ اجزای فولادی که به جهت جلوگیری از لهیدگی و به‌منظور توزیع یکنواخت بارهای منتقل شده در محل تکیه‌گاهها به دودرو براساس نیروها و معیارهای مربوطه طراحی و به دودرو متصل می‌گردند.

۱ـ۳ـ۹ـ سخت کننده قائم

در مواردی که به دلیل ابعاد بزرگ دودرو ضخامت آن افزایش می‌یابد، از صفحات فولادی قائم به جهت اقتصادی‌تر شدن طرح استفاده می‌شود.

۱ـ۳ـ۱۰ـ عایق داخلی[2]

پوشش حفاظتی در داخل دودرو که به دلایل زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

الف) حفاظت فلز دودرو در مقابل حرارت

ب) حفاظت فلز دودرو در مقابل خوردگی

ج) حفظ حرارت گاز عبوری

3- Vortex

1- Interior Insulation

۱-۳-۱۱- عایق خارجی[1]

پوشش حفاظتی در خارج دودرو که به‌منظور به حداقل رساندن اتلاف حرارت از دودرو و بالاتر نگهداشتن دمای فلز دودرو مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۴- محاسبات و نقشه‌ها

۱-۴-۱- محاسبات

در محاسبات سازه‌ای می‌بایست کلیه بارهای مرده، باراد یا زلزله، بارهای موضعی، فشارهای مثبت و منفی ناشی از عبور دود و اثرات حرارت را درنظر گرفت.

۱-۴-۲- نقشه‌ها

در نقشه‌ها باید کلیه جزئیات مربوط به دودکش و ملحقات آن مشخص شود. به‌عنوان مثال در دودکش‌های بتنی، این جزئیات شامل مشخصات بتن، ضخامت پوسته بتنی، اندازه و محل قرارگیری آرماتورها، جزئیات و اندازه دودرو، همچنین بازشوها، بالکنها و نردبانهای مربوط به دسترسیها می‌باشد.

۱-۵- سایر قوانین

ارتفاع و قطر دودروها باید براساس مطالعات زیست محیطی و مکانیک سیالات انتخاب گردد. این ارتفاع و قطر باید به نحوی باشد که از لحاظ آلودگی محیط زیست مطابق ضوابط استاندرد ملی.... [2] محیط زیست باشد.

2- Exterior Insulation

۲- تا زمان تدوین استاندارد ملی، استاندارد EPA (Environmental Protection Agency) مورد عمل می‌باشد.

۱ـ۶ـ علائم و نشانه‌ها

ضریب محاسبه نیروی برش پایه در زلزله = C

پارامترهای مربوط به محاسبه بار باد عرضی = C_2, C_1

ضریب مربوط به محاسبه نیروی باد در امتداد طولی = C_{dr}

قطر خارجی پایین دودکش (m) = d (b)

قطر خارجی راس دودکش (m) = d (h)

قطر متوسط دودکش در رأس (m) = $\overline{d}$ (h)

میانگین قطر خارجی در $\frac{1}{3}$ ارتفاع بالایی دودکش (m) = d (u)

قطر خارجی دودکش در تراز z(m) = d (z)

قطر خارجی دودکش در پایین (m) = $\overline{d}$ (b)

مدول الاستیسیته بتن (Kg/cm^2) = E

مدول الاستیسیته دودرو (Kg/cm^2) = E_L

مدول الاستیسیته فولاد (Kg/cm^2) = E_{st}

مدول الاستیسیته پوشش داخلی دودرو (Kg/cm^2) = E_e

مدول الاستیسیته خاک (Kg/m^2) = E_S

تنش جاری شدن فولاد بر حسب (Kg/cm^2) = f_y

نیروی وارد به قطعه نام در اثر نیروی زلزله (Kg) = F_i

مقاومت فشاری بتن برحسب (Kg/cm^2) = f'c

نیروی قائم ناشی از بارهای موضعی در ارتفاع z (Kg) = F (z)

تنش برشی بر حسب (Kg/cm^2) = f_{QS}

تنش پیچشی بر حسب (Kg/cm^2) = f_{QT}

ضریب اصلاحی فشار باد در پیرامون دودکش در تراز (Z) = G_r (z)

ضریب بار باد شبه دینامیکی = $G_{w'}$

شتاب ثقل برحسب (m/s^2) = g

ارتفاع کل دودکش (m) = h

ارتفاع دودکش در تراز z (m) = h_z

ارتفاع مرکز قطعه iام از تراز فونداسیون (m) = h_i

ممان اینرسی متوسط دودکش (m^4) = I_C

ممان اینرسی دودرو (m^4) = I_L

ضریب اصلاح برش در اثر نیروی زلزله در تراز h_z = J_V^z

ضریب اصلاح ممان در اثر نیروی زلزله در تراز h_z = J_m^z

تعداد دودروها در دودکش = K

ممان تولید شده بوسیله بار باد در امتداد عرضی در تراز Z (Kg - m) = M_a (z)

ممان تولید شده در اثر بار باد در امتداد طولی در تراز Z (Kg - m) = M_L (z)

ممان حلقوی ایجاد شده در دودکش به صورتی که در تارهای داخلی

ایجاد کشش کند ($\frac{Kg - m}{m}$) = M_i (z)

ممان حلقوی ایجاد شده در دودکش به صورتی که در تارهای خارجی

ایجاد کشش کند ($\frac{Kg - m}{m}$) = M_o (z)

ممان حاصله از نیروی زلزله در ارتفاع h_z (Kg - m) = M_z

ممان منتقل شده به دودرو = M_L

ممان کل حاصل از نیروی باد یا زلزله = M_T

مقاومت خمش اسمی مقطع (Kg - cm) = M_n

لنگر ضریب‌دار وارد بر مقطع (Kg - cm) = M_u

ممان در اثر باد یا زلزله در فونداسیون = M_B

لنگر ناشی از $P - \Delta$ در تراز h = $M_{P-\Delta}$

لنگر ناشی از $p - \Delta$ در تراز h برای دودکش دارای دودرو = $M_{TP-\Delta}$

ممان در تراز پی در اثر بار $\bar{w}(z)$ (Kg-m)	$M_{\bar{w}(b)} =$
تعداد باز شوها در منطقه فشاری	$n_1 =$
فشار باد در تراز z برحسب (Kg/m^2)	$\bar{P}(z) =$
توزیع فشار پیرامونی باد در تراز Z (Kg/m)	$P_r(z) =$
بار قائم وارده به دودکش با اعمال ضرایب (Kg)	$P_u =$
فشار بحرانی برحسب (Kg/m^2)	$P_{cr} =$
شعاع میانگین دودکش در ارتفاع Z (m)	$r(z) =$
شعاع متوسط مقطع (cm)	$r =$
فاصله مرکز به مرکز دودکشها (m)	$S =$
پریود مود اول ارتعاش سازه برحسب ثانیه	$T_1 =$
ضخامت دودکش در رأس (m)	$t(h) =$
ضخامت دودکش در پایین (m)	$t(b) =$
ضخامت دودرو در مدل‌سازی (cm)	$t_n =$
ضخامت واقعی دودرو (cm)	$t_o =$
ضخامت پوشش داخلی دودرو (cm)	$t_e =$
اختلاف دمای داخل و خارج پوسته (c^o)	$T_x =$
ضخامت متوسط دودکش در ارتفاع z (cm)	$t(z) =$
ضخامت مقطع (cm)	$t =$
نیروی برش پایه زلزله (Kg)	$V =$
سرعت باد مبنای طراحی (Km/h)	$V_R =$
سرعت باد بحرانی برای امتداد عرضی (m/s)	$V_{cr} =$
سرعت باد طراحی میانگین در تراز z - (m/s)	$\bar{V}(z) =$
سرعت میانگین باد در تراز Zcr	$\bar{V}_{(Zcr)} =$

برش طراحی در ارتفاع h_z (Kg)	V_{jz} =
بار باد در امتداد طولی بر حسب (Kg/m)	$W(z)$ =
بار باد در اثر سرعت میانگین (Kg/m)	$\overline{W}(z)$ =
مولفه دینامیکی بار باد (Kg/m)	$W'(z)$ =
نیروی باد عرضی برحسب (Kg/m)	$w_a(z)$ =
مقدار بار باد کاهش یافته در امتداد طولی (Kg/m)	$W_L(z)$ =
نیروی باد عرضی در رأس دودکش برحسب (Kg/m)	$w_a(h)$ =
میانگین وزن واحد طول برای $\frac{1}{3}$ بالایی دودکش (Kg/m)	$w_1(u)$ =
وزن کل دودکش با احتساب وزن آستر (Kg)	W_1 =
وزن کل دودکش بدون احتساب وزن آستر (Kg)	W =
وزن قطعه iام از دودکش (Kg)	W_i =
خروج از مرکزیت بار جانبی در بازشوها	x =
نسبت سطح مقطع آرماتور در جداره داخلی به سطح مقطع آرماتور در جداره خارجی	Y_1 =
نسبت فاصله بین جدار داخلی دودکش تا لایه خارجی آرماتورگذاری به ضخامت پوسته بتنی	Y_2 =
پارامتر ارتفاع دودکش از سطح زمین (متر)	z =
ضریب منطقه در محاسبه نیروی زلزله	Z =
ارتفاع متناظر با V_{cr} (متر) (m)	Z_{cr} =
محل محور خنثی بر حسب درجه	α =
نصف زاویه باز شو بر حسب رادیان	β =
ضریب میرائی	β_s =
نصف زاویه بین دو باز شو بر حسب رادیان	γ =

چگالی وزنی پوسته $\gamma =$

نسبت قطر خارجی در راس دودکش به قطر خارجی در پایه $\gamma_d =$

کرنش ماکزیمم بتن $\varepsilon_m =$

ضریب انبساط حرارتی بتن و فولاد$(1/^oc)$ $\lambda =$

زوایایی که محدوده کرنشهای جاری شدن بتن و فولاد را مشخص می‌کنند $\mu, \psi, \tau =$

نسبت آرماتور قائم در جداره خارجی به کل سطح مقطع بتن $\rho =$

نسبت آرماتور حلقوی در جداره خارجی به کل سطح مقطع بتن $\rho' =$

جرم حجمی هوا برحسب (Kg/m^3) $\rho_a =$

جرم حجمی بتن برحسب (Kg/m^3) $\rho_{ck} =$

نسبت کل آرماتور موجود در مقطع به سطح مقطع بتن $\rho_t =$

نسبت پواسون $\nu =$

ضریب اصلاح مقاومت فشاری بتن $\varphi =$

تغییر مکان افقی در ارتفاع z $\Delta (z) =$

فصل دوم
مصالح مصرفی

۲ـ۱ـ کلیات

انتخاب مصالح مصرفی باید با توجه به تنش‌های مکانیکی، حرارتی و اثرات شیمیایی موجود صورت گیرد.

۲ـ۲ـ پوسته بتن مسلح

۲ـ۲ـ۱ـ بتن مورد استفاده باید با ضوابط آئین‌نامه بتن ایران مطابقت داشته باشد.

۲ـ۲ـ۲ـ سیمان

در تمام بتن ریزیهای یک دودکش باید از یک نوع سیمان استفاده شود. سیمان مورد استفاده می‌تواند سیمان تیپ III, II, I یا V باشد. این سیمانها باید مطابق استاندارد ASTM-C150 باشد.

۲ـ۲ـ۳ـ مصالح سنگی

۲ـ۲ـ۳ـ۱ـ مصالح سنگی باید از ASTM C33 پیروی کند.

۲ـ۲ـ۳ـ۲ـ ماکزیمم اندازه مصالح سنگی نباید از $\frac{1}{8}$ فاصله قالبها یا $\frac{1}{2}$ فاصله باز بین آرماتورها بیشتر گردد.

۲ـ۲ـ۴ـ آرماتورها

آرماتورها باید مطابق ASTM A615, ASTM A617 یا ASTM A706 باشد.

۲ـ۳ـ برج فولادی نگهدارنده دودرو

۲ـ۳ـ۱ـ صفحاتی که برای ساخت لوله‌ها (به‌عنوان پایه‌های اصلی برج فولادی) بکار می‌روند، صفحات اتصال و وصله‌ها و لوله‌های اعضای اصلی، مورب و افقی باید با مشخصات فولادهای DINST-37 و DINST-52 مطابقت داشته باشد.

۲ـ۴ـ دودروی فولادی

۲ـ۴ـ۱ـ بخشی از بالای دودرو به ارتفاع حدود ۱/۵ برابر قطر دودرو باید با مشخصات فولادهای ضدزنگ 316 یا 316L یا کرتن‌استیل[1] مطابقت داشته باشد.

۲ـ۴ـ۲ـ فولاد مصرفی برای سایر قسمتهای بدنه دودرو، همچنین سخت‌کننده‌های حلقوی و قائم و سایر تقویت کننده‌ها، صفحات زیر سری، اتصال پوسته دودرو به صفحات زیر سری باید با مشخصات فولادهای DINST-37 یا A242 یا A36 یا 43A از BS4360 مطابقت داشته باشد.

۲ـ۴ـ۳ـ مشخصات انواع فولادهای مورد استفاده در دودرو و ملحقات آن در دماهای مختلف در جدول ۲ـ۱ آورده شده است.

۲ـ۵ـ پوسته فولادی دودکش‌های خود ایستا

۲ـ۵ـ۱ـ صفحات فولادی که در ساخت بدنه دودکش‌های خود ایستا استفاده می‌شود، باید مطابق ضوابط ارائه شده در بند ۲ـ۴ باشند.

۲ـ۶ـ پیچها و میل‌مهارها

پیچهای با مقاومت بالا با ضوابط ASTM-A325، پیچهای معمولی و میل مهارها با ضوابط ASTM-A307 مطابقت داشته باشند.

1- Cor-ten Steel

جدول ۲-۱- مشخصات فیزیکی انواع فولاد مصرفی در دودکش در دماهای مختلف

10^{-3} × مدول الاستیسیته (MPa)								
مواد / دما بر حسب °C	۲۱/۱	۹۳/۴	۱۴۸/۹	۲۰۴/۴	۲۶۰	۳۱۵/۶	۳۱۷/۱	۳۲۶/۷
Ferritic Steel	۱۹۹/۹	۱۹۵/۶	۱۹۲/۳	۱۸۹/۰	۱۸۵/۷	۱۸۲/۴	۱۷۹/۰	۱۷۵/۷
فولاد ضد زنگ تیپ ۳۱۶ و ۳۰۴	۱۹۳/۱	۱۸۶/۸	۱۸۴/۸	۱۸۲/۰	۱۷۹/۳	۱۷۵/۴	۱۷۱/۷	۱۶۶/۹

مقاومت تسلیم (MPa)									
مواد / دما بر حسب °C	۳۷/۸	۹۳/۴	۱۴۸/۹	۲۰۴/۴	۲۶۰/۴	۳۱۵/۶	۳۴۳/۳	۳۱۷/۱	۳۹۸/۹	۴۲۶/۷
A283-Gr.C	۲۰۶/۸	۱۸۸/۲	۱۸۳/۴	۱۷۷/۲	۱۶۶/۹	۱۵۳/۱	۱۵۰/۳	۱۴۸/۹	۱۴۴/۱	۱۳۷/۲
A 36	۲۴۸/۲	۲۲۶/۲	۲۲۰/۴	۲۱۲/۴	۲۰۰/۶	۱۸۳/۴	۱۸۰/۰	۱۷۸/۶	۱۷۳/۱	۱۵۲/۸
A 242	۳۲۴/۷	۳۰۲/۱	۲۷۹/۲	۲۵۸/۶	۲۴۲/۷	۲۳۳/۷	۲۲۷/۵	۲۲۱/۳		
A 240 تیپ 316L	۱۷۶/۴	۱۴۵/۵	۱۴۵/۵	۱۱۸/۶	۱۰۹/۶	۱۰۳/۴	۱۰۰/۷	۹۸/۶	۹۶/۳	۹۲/۵

10^{6} × ضریب انبساط حرارتی (m/m/°c)													
مواد / دما بر حسب °C	۲۱/۱	۳۷/۸	۶۵/۵	۹۳/۴	۱۲۱/۱	۱۴۳/۹	۱۷۶/۷	۲۰۴/۴	۲۳۲/۲	۲۶۰/۰	۲۸۷/۸	۳۱۵/۵	۳۴۳/۳	۳۷۱/۱	۳۹۸/۹	۴۲۶/۵
کربن استیل	۳/۳۷	۳/۴۱	۳/۴۷	۳/۵۴	۳/۶۱	۳/۶۷	۳/۷۳	۳/۷۹	۳/۸۴	۳/۹۰	۳/۹۶	۴/۰۲	۴/۰۷	۴/۱۲	۴/۱۹	۴/۲۵
فولاد ضد زنگ	۵/۰۶	۵/۰۹	۵/۱۲	۵/۱۹	۵/۲۳	۵/۲۶	۵/۲۹	۵/۳۳	۳/۳۶	۵/۳۹	۵/۴۲	۵/۴۶	۵/۴۸	۵/۵۲	۵/۵۵	۵/۵۸

۲-۷- عایق داخلی

۲-۷-۱- کلیات

در استفاده از عایق‌های داخلی علاوه بر موارد ذکر شده در این بخش باید به توصیه‌های ذکر شده در بخش ۳-۴-۱ نیز توجه شود.

۲-۷-۲- آجر نسوز

این نوع آجرها حاوی ۲۸ تا ۳۲ درصد آهک هستند و تا دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد کاربرد دارند. این نوع آجرها دارای مشخصات زیر می‌باشند:

قابلیت هدایت حرارت ۱/۲۵ W/m .°k[1]

چگالی حجمی ۲۰۰۰ kg/m3

۱- درجه کلوین × متر / وات

ضریب انبساط حرارتی $۳/۳ \times ۱۰^{-۶}/°k$

مقاومت فشاری (در حالت سرد) $۱۴\ N/mm^2$

مقاومت بالا و سطح سخت این نوع عایق‌ها، حفاظت زیادی را برای پوسته فولادی در مقابل سائیدگی و فرسایش ایجاد می‌کند.

ملات این نوع آجرها باید از پودر رس نسوز یا سیمان نسوز ساخته شود.

در شرایطی که آستر در معرض دمای تراز ۱۲۰۰°c باشد باید درصد بیشتری آهک در ساخت آن بکار رود.

۲-۷-۳- آجرهای ضد اسید[1]

بطور کلی آجرها و سیمان‌های ضد اسید باید بگونه‌ای انتخاب شوند که در مقابل اسیدهایی که انتظار می‌رود در گازهای عبوری از دودکش وجود داشته باشند مقاومت کنند.

این نوع آجرها در مواردی که گاز عبوری خاصیت اسیدیته زیاد داشته باشد یا مواردی که درجه حرارت به کمتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد (نزدیکی نقطه شبنم اسید) می‌رسد باید مورد استفاده قرار گیرند.

در شرایطی که هدف ایجاد یک عایق غیرقابل نفوذ باشد باید از تغییرات شدید دما جلوگیری شود، به بیان دیگر سختی آجر ممکن است سبب ترک و شکستگی شده و کارآیی عایق را کاهش دهد. این نوع آجرها قابلیت کاربرد تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد را دارند. آجرهای ضد اسید باید با ملات سیمان ضد اسید به هم متصل شوند.

۲-۷-۴- آجرهای دیاتمه[2]

این نوع آجرها در ضخامت‌های بین ۷۶ تا ۱۱۴ میلیمتر ساخته می‌شوند و دارای خواص زیر می‌باشند.

قابلیت هدایت حرارت $۰/۲۳\ W/m.°k$[3]

چگالی حجمی $۷۰۰\ kg/m^3$

---

1) Acid resisting bricks

2) Solid Grade Diatomaceous Bricks

۳- درجه کلوین × متر / وات

مقاومت فشاری (در حالت سرد)	۴/۶ N/mm2
ضریب انبساط حرارتی	$(۲ \pm ۰/۱) \times ۱۰^{-۶} / k$
مدول گسیختگی	۰/۹ N/mm2

ملات این آجر با ترکیبی از پودر مواد سازنده آجر و سیمان پرتلند یا سیمان آهکی قوی (مطابق با حرارت گاز عبوری) تهیه می‌شود.

این نوع عایق در حالت خشک دارای ضریب انبساط حرارتی پایینی بوده و در مقابل تغییر دما مقاوم است.

۲ـ۷ـ۵ـ بتـن دیاتمه[1]

مصالحی که برای ساخت این نوع بتن استفاده می‌شود ترکیبات مناسبی از مصالحی است که در ساخت آجرها استفاده می‌شود که با سیمان آهکی قوی ترکیب می‌شوند.

این نوع عایق‌ها را می‌توان بصورت پیش‌ساخته و با اشکالی که مورد نیاز است ساخت و یا با قالب‌بندی اجرا کرد.

۲ـ۷ـ۶ـ بتن نسوز[2]

این نوع عایق‌ها خواصی مشابه آجرهای نسوز داشته لذا موارد استفاده آنها نیز مشابه می‌باشد.

۲ـ۸ـ عایق خارجی

۲ـ۸ـ۱ـ کلیات

نوع و ضخامت عایق باید طوری انتخاب شود که درجه حرارت گاز عبوری را بالاتر از نقطه شنبم نگاه دارد و سرعت گاز عبوری در حد مناسب باشد.

1- Solid Grade Diatomaceous Concrete

2- Refractory Concrete

۲ـ۸ـ۲ـ پوشش آلومینیومی

این پوشش‌ها باید از یکسری صفحات آلومینیومی از رده NS3 تا H4 که در BS1470 به مشخصات آنها اشاره شده است تشکیل شوند.

۲ـ۸ـ۳ـ عایق پشم معدنی

پوشاندن صفحات فولادی دودرو یا پوسته فولادی دودکش‌های خود ایستا با نوع مناسبی از لایه‌های پشم معدنی با ضخامت کافی و یا استفاده توام پوشش آلومینیومی و پشم معدنی با مشخصات ذکر شده در بند ۳ـ۴ـ۲ ، مناسب‌تر از استفاده پوشش آلومینیومی به تنهایی می‌باشد.

۲ـ۸ـ۴ـ دودکش‌های با چند دودرو

۲ـ۸ـ۴ـ۱ـ استفاده از دودکش‌های با چند دودرو که به لحاظ اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرند، روش مناسبی جهت حفظ سرعت دود در محدوده موردنظر و فراهم کردن عایق‌بندی مناسب می‌باشد.

۲ـ۸ـ۴ـ۲ـ جهت نگهداشتن درجه حرارت سطح داخلی دودروها در محدوده موردنظر می‌بایست سطح خارجی آنها با پشم معدنی یا مصالح مناسب عایق‌بندی شوند.

۲ـ۸ـ۴ـ۳ـ تکیه گاههای فولادی دودروها به نگهدارنده‌ها باید بطور مناسبی عایق‌بندی شوند.

فصل سوم
ضوابط ساخت و نگهداری

۳ـ۱ـ کلیات

در انتخاب ضوابط ساخت کلیه شرایط و نکات اجرایی بخصوص تنش‌های حرارتی، مکانیکی و اثرات شیمیایی موجود باید مدنظر قرار گیرد.

تمهیدات لازم جهت ایجاد بازشوهای دسترسی در دودرو و پوسته نگهدارنده (که ابعاد آن به اندازه کافی بزرگ باشد) باید درنظر گرفته شود.

۳ـ۲ـ پوسته بتنی

۳ـ۲ـ۱ـ کلیات

مقاومت فشاری بتن، روشهای تعیین مقاومت فشاری بتن، نحوه مخلوط کردن و بتن ریزی، نحوه قالب بندی و جزئیات آرماتورگذاری باید مطابق آئین نامه بتن ایران باشد، مگر مواردی که در اینجا تصریح شده‌اند.

۳ـ۲ـ۲ـ کیفیت بتن

حداقل مقاومت فشاری بتن Kg/cm^2 ۲۱۰ می‌باشد.

۳ـ۲ـ۳ـ آزمایشهای کنترل کیفیت

حداقل مقاومت ۲۸ روزه از آزمایش مقاومت دو نمونه بتنی که هر کدام شامل دو استوانه استاندارد می‌باشد بدست می‌آید، این نمونه‌ها باید در هر ۸ ساعت کاری و یا یک نوبت بتن ریزی گرفته شوند.

۳ـ۲ـ۴ـ قالبها

۳ـ۲ـ۴ـ۱ـ قالبها می‌توانند از جنس فلز ـ چوب ـ پلاستیک و یا هر ماده مناسب دیگری باشند. در صورتی که از قالب چوبی بدون روکش استفاده می‌شود، این قالبها باید مرطوب بوده و به صورت پیوسته به هم درگیر باشند

تا از ریزش و اعوجاج بتن جلوگیری کند. در صورت لزوم می‌توان از یک روغن فاقد آلودگی برای قالب‌بندی استفاده نمود، این روغن باید اثر سوئی بر بتن نداشته باشد.

۳ـ۲ـ۴ـ۲ـ قالبها باید به نحوی به هم بسته شوند که از تراوش ملات به خارج جلوگیری کنند.

۳ـ۲ـ۴ـ۳ـ هنگامی که بارهای در حین ساخت به سازه بتنی وارد می‌شوند این بارها باید توسط تکیه‌گاههای مناسب انتقال یابند تا زمانی که بتن مقاومت لازم خود را بدست آورد.

۳ـ۲ـ۴ـ۴ـ قالبها موقعی باز می‌گردند که بتن مقاومت خود را بدست آورده باشد و در اثر بازکردن قالبها دچار تغییر شکل نگردد.

۳ـ۲ـ۴ـ۵ـ قالبهای داخل و خارج پوسته نباید به یکدیگر بسته شوند.

۳ـ۲ـ۵ـ جایگذاری آرماتور

۳ـ۲ـ۵ـ۱ـ آرماتورهای دایره‌ای در بیرونی‌ترین قسمت دودکش قرار داده شوند و به آرماتورهای عمودی بسته شوند. آرماتورها باید به نحوی بسته شوند که فاقد بیرون زدگی باشند به صورتی که پوشش حداقل لازم برای بتن را تأمین کنند.

۳ـ۲ـ۵ـ۲ـ آرماتورهای انتظار قائم باید به نحوی محکم شوند که سبب تضعیف چسبندگی بتن تازه نگردند.

۳ـ۲ـ۵ـ۳ـ بیشتر از ۵۰٪ آرماتورها نباید در هر مقطعی وصله گردند، مگر در شرایطی که مهندس طراح با توجه به شرایط خاص در نظر گرفته باشد.

۳ـ۲ـ۶ـ بتن ریزی

۳ـ۲ـ۶ـ۱ـ در پوسته دودکش نباید درز اجرایی عمودی وجود داشته باشد و درزهای اجرایی افقی هم سعی گردد در فواصل مساوی تقسیم گردند. (در دودکشها بهتر است از روش قالب لغزنده استفاده شود تا دودکش فاقد درز اجرایی باشد)

۳ـ۲ـ۶ـ۲ـ بتن ریزی حداکثر تا لایه‌های به عمق ۴۰ cm انجام پذیرد. برای پوسته‌های نازک دارای دو لایه آرماتورگذاری بتن ریزی با دقت بیشتری انجام گیرد.

۳ـ۲ـ۷ـ عمل آوردن بتن

۳ـ۲ـ۷ـ۱ـ پس از باز کردن قالبها تمام مراحل کار مربوط به عمل آوردن بتن باید انجام پذیرد. عمل آوردن بتن مطابق ASTM C309 انجام شود.

۳ـ۲ـ۸ـ تولرانس‌های ساخت

۳ـ۲ـ۸ـ۱ـ مرکز دودکش نباید در امتداد شاقولی بیش از $\frac{1}{1000}$ ارتفاع یا ۲/۵ سانتیمتر (هرکدام که بزرگتر باشد) از محل خود جابجا شود. همچنین مقدار جابجایی در هر ۳ متر نباید بیشتر از ۲/۵ سانتیمتر باشد.

۳ـ۲ـ۸ـ۲ـ قطر خارجی دودکش نباید از (۰/۰۱D ± ۲/۵) سانتیمتر نسبت به مقدار محاسبه شده اختلاف داشته باشد که در این رابطه D قطر طراحی به سانتیمتر می‌باشد.

۳ـ۲ـ۸ـ۳ـ برای پوسته بتنی با ضخامت ۲۵ سانتیمتر یا کمتر مقدار ضخامت نباید بیشتر از ۰/۶۵ ـ سانتیمتر تا ۱/۲۵+ سانتیمتر و برای ضخامت بیشتر از ۲۵ سانتیمتر نباید بیشتر از ۱/۲۵ـ سانتیمتر تا ۲/۵+ سانتیمتر نسبت به مقدار محاسبه شده تفاوت داشته باشد.

۳ـ۲ـ۸ـ۴ـ ضخامت پوسته اجرا شده برابر میانگین ۴ ضخامت اندازه‌گیری شده به فاصله حداقل ۶۰ درجه از یکدیگر می‌باشد.

۳ـ۳ـ دودرو

۳ـ۳ـ۱ـ کلیات

دودرو باید به‌گونه‌ای طراحی و اجرا شود که قابلیت انبساط در امتداد عمودی و افقی را دارا بوده، بدون اینکه اثر مضری بر روی سازه‌نگهدارنده داشته باشد، در صورتی که دودکش دارای چند دودرو باشد، انبساط عمودی و افقی هر یک باید مستقل بوده و هیچگونه نیرویی بر دودروی مجاور اعمال ننماید.

۳ـ۳ـ۱ـ۱ـ اتصالات لب به لب

اتصالات لب به لب در دودرو باید به نحوی پوشش داده شود که مواد مضر در فضای بین دودرو و پوسته

نفوذ نکند.

۳ـ۳ـ۱ـ۲ـ تکیه گاهها

تکیه‌گاههای افقی دودرو باید بطور یکنواخت در پیرامون محیط دودرو توزیع شود و تکیه‌گاههای عمودی نیز باید به نحوی طراحی شود که نیروهای ناشی از تغییر مکان نسبی بین تکیه‌گاه و پوسته را تحمل و جذب نماید. در شرایطی که اثرات شیمیایی شدید باشد، تکیه‌گاههای افقی و عمودی باید به نحوی پوشش داده شوند که کاملا" در مقابل اثرات اسیدی مقاوم باشند و غیرقابل نفوذ در مقابل مایعات باشند.

۳ـ۳ـ۱ـ۳ـ بازشوهای ورودی دود

ابعاد بازشوها که وظیفه هدایت دود به داخل دودرو را به‌عهده دارند نباید بیشتراز ۲/۳ قطر دودرو باشد.

۳ـ۳ـ۱ـ۴ـ دریچه‌های بازرسی

در قسمت پایین دودرو دریچه‌های بازرسی باید با حداقل ابعاد ۵۰ سانتیمتر × ۵۰ سانتیمتر تعبیه شود.

۳ـ۳ـ۱ـ۵ـ فضای تهویه بین دودرو و پوسته نگهدارنده

ابعادی که برای این فضا درنظرگرفته می‌شود باید به‌گونه‌ای باشد که دمای آن در شرایطی که دمای هوای بیرون ۲۵ درجه سانتیگراد است به حداکثر ۵۰ درجه سانتیگراد برسد.

۳ـ۳ـ۱ـ۶ـ داکت‌های[1] انتقال دود به دودرو

در صورتی که هر دودرو شامل چند داکت ورودی دود باشد، این داکتها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که امکان اختلاط کامل دود در محل ورودی دود فراهم شود.

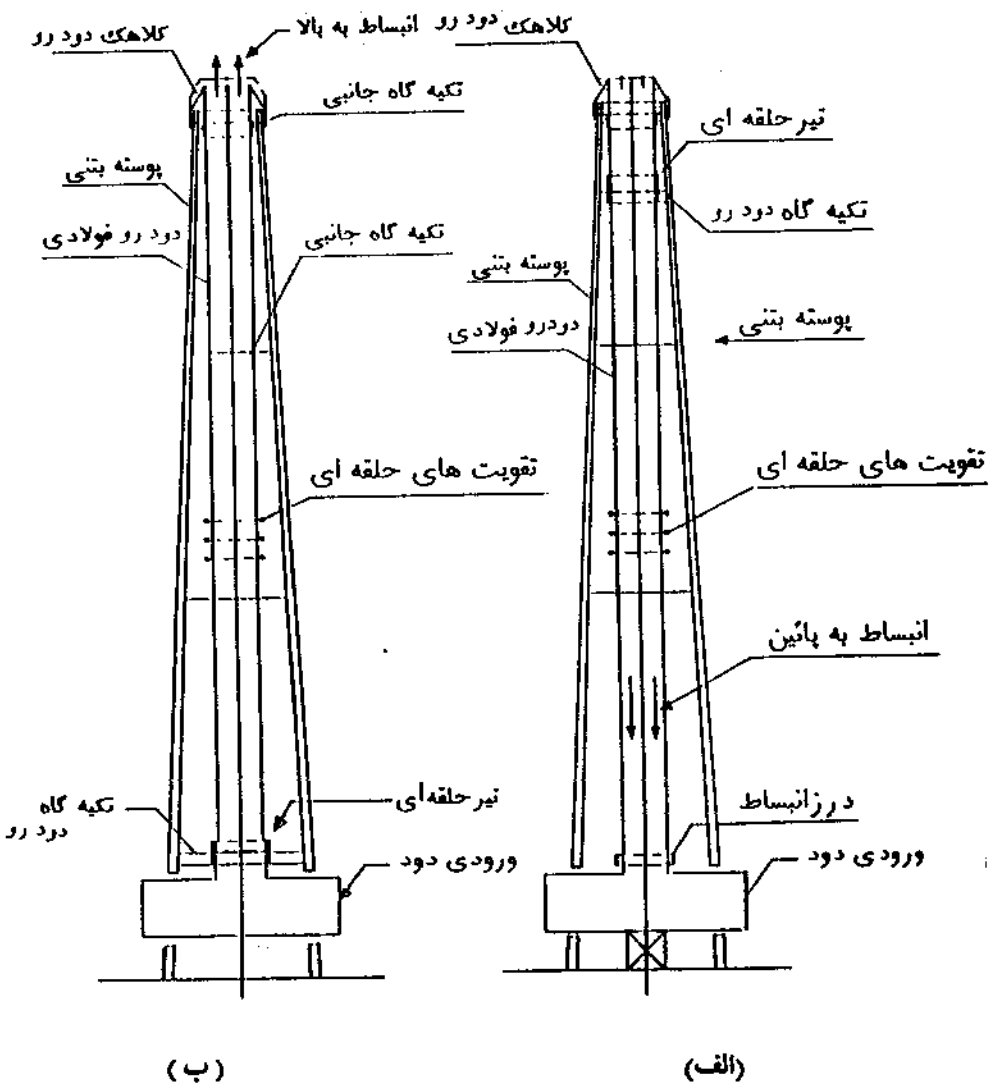
همچنین داکت‌های انتقال دود به‌گونه‌ای در مجاورت دودکش نصب شده باشند که جابه‌جایی و تعویض آنها هیچگونه اثر نامناسبی بر روی دودرو و قسمت ورودی دود نداشته باشد.

۱- Duct

۳ـ۳ـ۲ـ دودروی فولادی

۳ـ۳ـ۲ـ۱ـ *دودروی فولادی آویزان از راس*[۱]

یکی از تصمیم‌گیریهای اولیه در طراحی دودروی فولادی انتخاب نوع تکیه‌گاه دودرو و ارتفاع آن است. در نوع آویزان از راس، به دلیل انقباض و انبساطی که در پایین دودرو بوجود می‌آید، در قسمت پایین دودرو می‌بایست درز انبساط تعبیه شود. (شکل ۳ـ۱ـ الف)



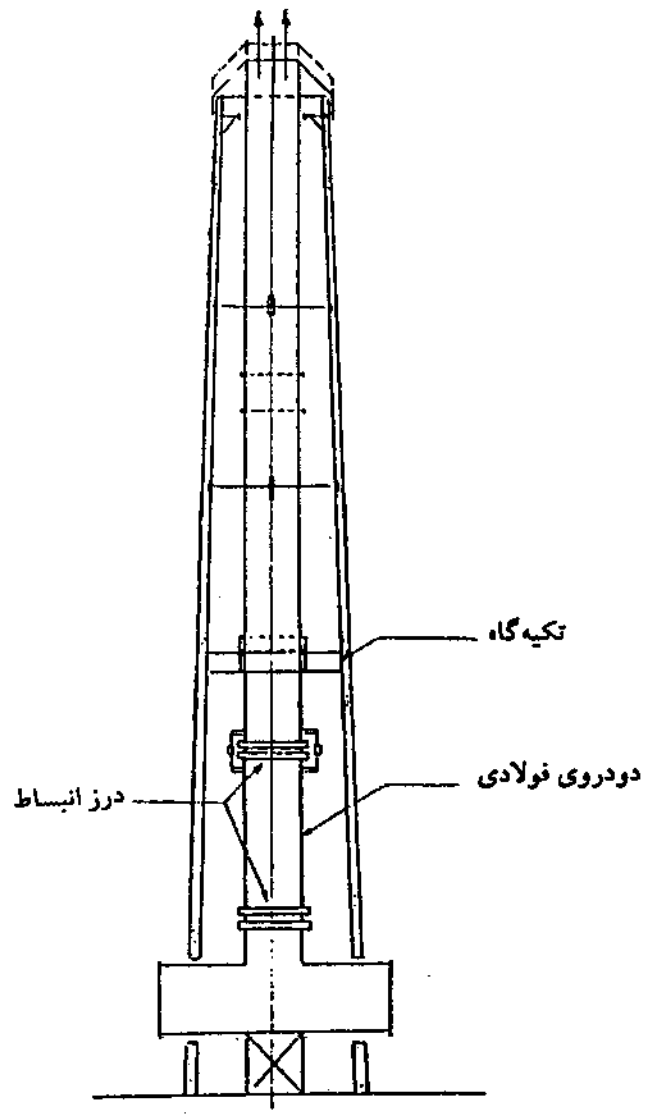
شکل ۳ـ۱ـ دودروی فولادی الف) آویزان از راس ب) تکیه‌گاه در پایین

۱- Top Suspended

۳ـ۳ـ۲ـ۲ـ دودروی فولادی با تکیه‌گاه در پایین

اینگونه دودروها بصورت فشاری عمل خواهند کرد و به دلیل انبساط و انقباض دودرو در راس، استفاده از درز انبساط ضرورتی ندارد. (شکل ۳ـ۱ـ ب)

در شرایطی که اثرات دمای ناهمسان گاز قابل توجه باشد، تعبیه تکیه‌گاههایی در ارتفاع ۵ تا ۸ برابر قطر دودرو از قسمت ورودی دود توصیه می‌شود که در این فاصله (فاصله ورودی دود و تکیه‌گاه) وجود درزهای انبساط ضروری می‌باشد. (شکل ۳ـ۲)

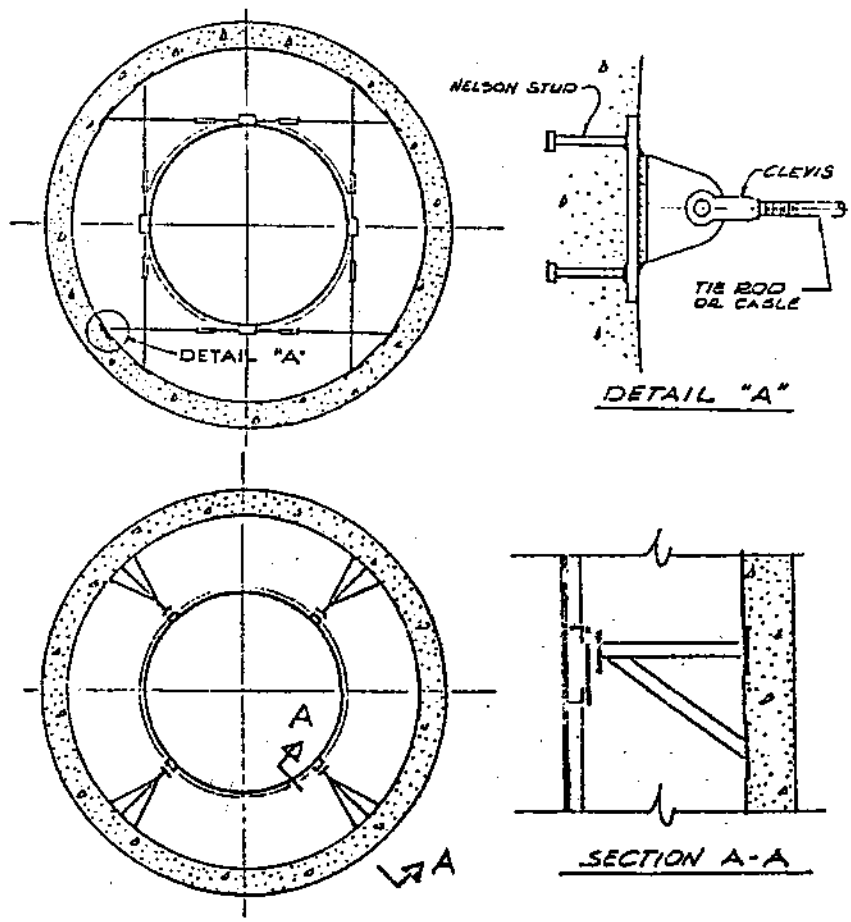


شکل ۳ـ۲ـ تعبیه درز انبساط و تکیه‌گاه در ارتفاع برای کاهش اثر ΔT

۳ـ۳ـ۲ـ۳ـ تکیه‌گاههای جانبی

به‌منظور به حداقل رساندن تغییر شکل جانبی و کاهش لاغری تعبیه تکیه‌گاههای جانبی ضروری است. دودروها باید در محل این تکیه‌گاهها توسط سخت‌کننده‌های حلقوی شکل تقویت شود تا نیروی متمرکز وارد شده در بدنه دودکش توزیع شود. شکل (۳ـ۳)

این عناصر باید به‌گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که مانع از حرکت قائم دودرو نشوند.



شکل ۳ـ۳ـ مهارهای جانبی

۳ـ۳ـ۲ـ۴ـ سخت کننده‌ها

۳ـ۳ـ۲ـ۴ـ الف) سخت‌کننده‌های حلقوی

بمنظور تقویت بدنه دودرو در برابر اختلاف فشارهای ایجاد شده، کاهش نقص هندسی بدنه دودرو و افزایش تنش مجاز فشاری دودرو و توزیع یکنواخت بارهای منتقل شده از سازه نگهدارنده استفاده از این تقویت‌ها لازم می‌باشد.

۳ـ۳ـ۲ـ۴ـب) *سخت کننده‌های قائم :*

به‌منظور افزایش پایداری و مقاومت دیواره دودرو، به تشخیص طراح در مواردی استفاده از این تقویت‌ها لازم می‌باشد.

۳ـ۳ـ۲ـ۴ـج) تقویت‌های اطراف بازشوها ـ در پیرامون بازشوها می‌بایست تقویت‌های افقی و عمودی تعبیه شود.

۳ـ۳ـ۲ـ۴ـد) به‌منظور به‌حداقل رساندن اختلاف دمای محل اتصال سخت‌کننده به دودرو با طرف دیگر آن، توصیه می‌شود که این اجزا بطور کامل عایق‌بندی شوند.

۳ـ۳ـ۲ـ۵ـ *حداقل فواصل مجاز*

به‌منظور ایجاد فضای کافی جهت دسترسی و امکان انبساط دیواره دودرو، حداقل فاصله بین وجه داخلی پوسته بتنی و وجه بیرونی عایق خارجی دودرو باید ۷۵cm باشد. این فاصله همچنین بین دودروهای مجاور در دودکش‌های با چند دودرو لازم می‌باشد. همچنین ضابطه بخش ۳ـ۳ـ۱ـ۵ باید رعایت شود.

۳ـ۴ـ عایق کاری

۳ـ۴ـ۱ـ عایق کاری داخلی

۳ـ۴ـ۱ـ۱ـ *انبساط حرارتی*

امکان انبساط حرارتی باید برای عایق فراهم شود. عایق‌های ضد اسید و نسوز باید به قطعاتی تقسیم شوند، ارتفاع مناسب برای هر قطعه حدود ۶ متر توصیه شده است. هر قطعه باید به‌وسیله حلقه‌های فولادی که به پوسته فولادی متصل است نگهداری شود. درزهای انبساط در بالای هر قطعه (زیر حلقه‌های فولادی) باید تعبیه شود و این درزها توسط پرکننده‌های قابل انعطاف و نسوز پر شوند.

۳ـ۴ـ۱ـ۲ـ *عایق‌های آجری*

عایق‌های آجری برای دودکش‌هایی که قطر داخلی آنها کمتر از ۴ متر است مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل و تعداد آجرها با توجه به انحنای دودکش بدست می‌آید.

در اجرای این نوع آجرها، درزها باید بطور مناسب پر شوند و تا حدامکان باریک باشند. ملات نباید به

فاصله بین پوسته فولادی و عایق نفوذ کند و در عین حال هیچگونه فضای خالی در این فاصله نباید وجود داشته باشد. ضخامت عایق‌های آجری باید بیشتر از ۱۱۴ میلیمتر باشد.

۳-۴-۱-۲-الف) حلقه‌های فولادی

در جایی که از حلقه‌های نگهدارنده فولادی استفاده می‌شود، اولین ردیف آجرها در قسمت بالای حلقه باید حداقل ۱۰ میلیمتر پیش آمدگی داشته باشد که ضمن حفاظت حلقه فولادی امکان سقوط آزاد قطرات مایع ناشی از میعان گازها فراهم باشد. حلقه‌های نگهدارنده باید به نحوی باشند که حداقل ۶/۰ ضخامت آستر را به سمت مرکز دودکش دربرگیرند.

۳-۴-۱-۳- عایق‌های بتنی

در اینگونه پوشش‌ها، برای اطمینان از اتصال خوب پوشش به بدنه از زائده‌هایی نظیر گل میخها و شبکه‌های فولادی استفاده می‌شود.

حداقل پوشش روی وسایل اتصال باید ۲۵ میلیمتر باشد.

۳-۴-۱-۳-الف) شبکه فولادی

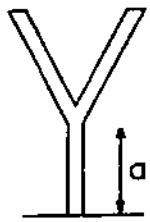
در مواردی که ضخامت پوشش از ۷۵ میلیمتر تجاوز می‌کند، باید از یک شبکه فولادی که از سیمهای به قطر ۲/۳ تا ۳/۷ میلیمتر ساخته می‌شوند و به فواصل ۷۵ تا ۱۰۰ میلیمتر از یکدیگر قرار دارند، استفاده شود. شبکه فولادی توسط بست‌هایی در وسط عایق داخلی ثابت می‌شود و سپس قشری از عایق روی آن را می‌پوشاند. فاصله بست‌های نگهدارنده شبکه فولادی در محل خود نباید از ۵۰۰ میلیمتر بیشتر و از ۳۰۰ میلیمتر کمتر باشد.

۳-۴-۱-۳-ب) گل میخهای V شکل

در حالتی که ضخامت عایق داخلی بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلیمتر باشد، به‌منظور اتصال بین پوسته و عایق داخلی از گل‌میخهای V شکل استفاده می‌شود که در ردیفهای منظم به فواصل ۲۵ ± ۳۰۰ میلیمتر از یکدیگر در سطوح قائم و فواصل ۲۰۰ میلیمتر در سطوح افقی قرار می‌گیرند. قطر این گل میخها معمولا" بین ۸ تا ۱۲ میلیمتر است.

۳-۴-۱-۳-ج) *گل میخهای Y شکل*

در مواردی که ضخامت پوشش داخلی از ۱۵۰ میلیمتر تجاوز می‌کند از گل میخهای Y شکل استفاده می‌شود (شکل ۳-۱)



شکل ۳-۴-گل میخ Y شکل

طول a نباید کمتر از ۵۰ میلیمتر و بیشتر از ۱۰۰ میلیمتر باشد.

۳-۴-۱-۴-*قسمت مخروطی شکل پایین*

در دودکش‌هایی که بخش مخروطی شکل در پایین دارند، ضخامت عایق نباید کمتر از ۲۲۹ میلیمتر بوده و قطر داخلی پس از اجرای عایق در این قسمت برابر با قطر قسمت استوانه‌ای باشد. فضای بین پوسته دودرو و عایق باید به وسیله، آجر، بتن و یا ترکیب مناسبی از این دو پر شود.

۳-۴-۲- عایق خارجی

۳-۴-۲-۱- *پوشش آلومینیومی*

۳-۴-۲-۱-*الف)* حداقل ضخامت ورقهای آلومینیومی باید ۱/۶ میلیمتر باشد.

۳-۴-۲-۱-ب) سطح خارجی پوسته فولادی مطابق ضوابط بند ۳-۴-۲-۳ آماده و از یک رنگ آلومینیوم مقاوم در برابر حرارت با کیفیت خوب استفاده شود.

۳-۴-۲-۱-ج) ورق‌های تشکیل‌دهنده پوشش باید توسط پرچهایی از آلیاژ آلومینیوم که در فواصل کمتر از ۱۰۰

میلیمتر قرار می‌گیرند به یکدیگر متصل شوند.

۳-۴-۲-۱-د) سطح داخلی پوشش آلومینیومی باید در فاصله حداقل ۶ میلیمتر از سطح خارجی پوسته فولادی دودکش نصب شود. این فاصله می‌تواند توسط نوارهای فایبرگلاس با ضخامت ۶ میلیمتر پر شود. این نوارها می‌توانند به‌وسیله سیلیکات سدیم یا ماده مناسب دیگر به پوسته فولادی متصل شود.

۳-۴-۲-۱-ه) کلیه زائده‌ها و پیش آمدگیهای روی پوسته فولادی همچنین دریچه‌های بازرسی باید پوشش داده شوند.

۳-۴-۲-۱-و) در قسمت راس دودکش، فضای بین پوسته فولادی و پوشش آلومینیومی به‌نحوی پوشانیده شود که از ورود هرگونه رطوبت به داخل آن جلوگیری شود.

۳-۴-۲-۱-ز) جهت دسترسی به پوسته فولادی بدون برداشتن کامل پوشش آلومینیومی باید بازشوهایی در ابعاد ۱۵۰ میلیمتر در ۱۵۰ میلیمتر در محل‌های مناسب بر روی پوشش آلومینیومی نصب شوند. محل‌های مناسب برای ایجاد این دریچه‌ها مقابل محل ورودی دود و همچنین در فاصله حدودا" ۱/۲۵ متر از راس دودکش می‌باشد.

۳-۴-۲-۱-ح) سطح پوشش آلومینیومی پس از نصب باید رنگ زده شود.

۳-۴-۲-۱-ط) پوشش آلومینیومی می‌تواند در محل، پس از نصب پوسته دودکش و یا در کارگاه قبل از نصب پوسته فولادی روی آن نصب شود.

در شرایطی که پوشش آلومینیومی در کارگاه روی پوسته فولادی نصب می‌شود به هنگام حمل و نقل باید توجه بسیار زیادی جهت جلوگیری از آسیب‌دیدگی پوشش به عمل آید و در صورت آسیب دیدگی می‌بایست برداشته شده و پوشش جدید جایگزین شود.

۳-۴-۲-۲- *عایق پشم معدنی* :

۳-۴-۲-۲-*الف)* این نوع پوشش‌ها در صورتیکه در ضخامت بیش از ۵۰ میلمتر مورد نیاز باشد باید در دو لایه جداگانه بکار روند. درزها در دو لایه بیرونی و درونی باید بصورت تناوبی قرارگرفته و روی هم واقع نشوند و لایه خارجی درزهای لایه داخلی را بپوشاند.

۳-۴-۲-۲-ب) برای اتصال پوشش پشم معدنی به پوسته فولادی باید از زائده‌های جوش شده استفاده شود، بطوریکه کمتر از نصف ضخامت لایه عایق نسبت به پوسته فولادی پیش‌آمدگی داشته باشد و در صورت

استفاده از دو لایه عایق باید حداکثر نصف ضخامت عایق بیرونی پیش آمدگی داشته باشد.

در صورتیکه زائده‌ها و تقویت کننده‌های پوسته فولادی خارج از لایه عایق قرار بگیرد باید در فواصل ۷۵ میلیمتر از هر طرف، با لایه جداگانه‌ای عایق‌بندی شوند.

۳ـ۴ـ۲ـ۲ـج) در شرایطی که لازم باشد عایق پشم معدنی در مقابل هوا نیز عایق‌بندی شود، می‌بایست یک لایه پوشش آلومینیوم مطابق موارد بند ۳ـ۴ـ۲ـ۱ روی آن نصب شود که در این شرایط فضای هوای پشت پوشش آلومینیومی حذف خواهد شد.

۳ـ۴ـ۲ـ۳ـ دودکش‌های با چند دودرو

۳ـ۴ـ۲ـ۳ـالف ـ دودروها در این دودکش‌ها می‌توانند توسط پوسته بتنی یا برج فولادی نگاهداری شوند.

۳ـ۴ـ۲ـ۳ـب ـ جهت نگاهداشتن درجه حرارت سطح داخلی دودروها در محدوده موردنظر می‌بایست سطح خارجی آنها با پشم معدنی یا مصالح مناسب عایق‌بندی شوند.

۳ـ۴ـ۲ـ۳ـج ـ علاوه بر استوانه دودرو کلیه ملحقات آن نظیر سخت‌کننده‌های حلقوی و قائم، تکیه‌گاههای جانبی و غیره نیز باید بطور مناسب عایق‌بندی شوند.

۳ـ۴ـ۲ـ۳ـد ـ در مواردی که سازه نگهدارنده پوسته بتنی می‌باشد، استفاده از دودکش‌های با چند دودرو روش مناسبی جهت حفظ سرعت دودرو در محدوده موردنظر و فراهم کردن عایق‌بندی مناسب می‌باشد.

۳ـ۴ـ۳ـ آماده سازی سطوح جهت عایق کاری

۳ـ۴ـ۳ـ۱ـ کلیه سطوح داخلی و خارجی پوسته فولادی قبل از هرگونه پوشش حفاظتی باید با استفاده از برسهای سیمی یا سایر روشها یا ابزارهای موجود تمیز شوند، به نحوی که هرگونه گرد و خاک، روغن و آلودگی را از روی سطح بزداید.

۳ـ۴ـ۳ـ۲ـ در صورتی که سطوح دچار زنگ‌زدگی شده باشند باید به روشهای مناسب، از جمله سند بلاست[1] آن را تمیز کرد.

۳ـ۴ـ۳ـ۳ـ کلیه وسایلی که جهت نصب و اتصال عایق به پوسته فولادی بکار می‌رود باید تمیز و عاری از مواد چرب باشد.

1- Sand blast

۳ـ۵ـ جوشکاری

۳ـ۵ـ۱ـ کلیات ـ جوشکاری باید مطابق ضوابط ارائه شده در استاندارد ملی .....[1] یا صورت گیرد.

۳ـ۵ـ۲ـ دستورالعمل‌های مناسب برای جوشکاری باید قبلاً" آماده شده و در حین جوشکاری مورد استفاده قرار گیرند.

۳ـ۵ـ۳ـ به‌منظور نگاهداشتن کیفیت جوشکاری در حد مطلوب می‌بایست در حین کار و در فواصل زمانی مشخص آزمایشات رادیوگرافی صورت گیرد. هر آزمایش باید بخشی را که شامل حداقل ۳ متر جوش ممتد با حداقل ۴ درز باشد را پوشش دهد.

در صورتی که نتایج رادیوگرافی بیانگر وجود معایب سطحی غیر قابل قبول در قسمتی از جوش باشد، دو جوش بعدی را (در بخشی که مورد آزمایش قرارگرفته است) باید آزمایش نمود. اگر هیچگونه عیب سطحی غیرقابل قبول مشاهده نشد، می‌توان، معایب موجود در جوش را تعمیر و در صورتی که نتایج رادیوگرافی مجدد رضایتبخش باشد کل جوش مورد تایید می‌باشد.

اگر یکی از دو جوش بعدی که مورد آزمایش قرارگرفته است، دارای معایب سطحی غیرقابل قبول باشد، باید کلیه جوشها در بخش موردنظر رادیوگرافی شده و در صورت وجود معایب غیرقابل قبول تعمیر و مجدداً" رادیوگرافی شوند.

۳ـ۵ـ۴ـ برای انجام عملیات جوشکاری در ارتفاع باید یک تکیه‌گاه مناسب بصورت پلت فرم[2] برای جوشکاری فراهم شود به نحوی که جوشکار قادر باشد به راحتی بر روی آن ایستاده یا حرکت کند و بطورکلی موقعیتی مشابه شرایطی که جوشکاری در سطح زمین انجام می‌شود، فراهم شود.

۳ـ۵ـ۵ـ سطح در حال جوشکاری نباید در معرض رطوبت باشد. پیش‌بینی‌های لازم برای جلوگیری از رسیدن رطوبت یا انجام تعریق در سطح موردنظر به‌عمل آید.

۳ـ۵ـ۶ـ بخشهایی که باید به یکدیگر جوش شوند می‌بایست توسط منگنه یا وسیله دیگری بصورت محکم به یکدیگر متصل شوند، تا زمانی که عمل جوشکاری سطح بطور کامل صورت گیرد.

۳ـ۵ـ۷ـ فاصله بین محل جوشکاری و منبع الکتریکی حداقل ممکن باشد و جریان الکتریکی مورد استفاده باید

---

۱ ـ تا زمان تدوین استاندارد ملی، استانداردهای AWS (American Welding Society) و BS5135 مورد عمل می‌باشد.

2- Platform

از جهت آمپر و ولتاژ برای مراحل مختلف جوشکاری مناسب باشد.

۳ـ۶ـ بازرسی و نگهداری

۳ـ۶ـ۱ـ توصیه می‌شود که دودکشها توسط افراد ماهر و با تجربه بازرسی شوند و اولین بازرسی در حدود یک سال پس از تاریخ نصب دودکش صورت گیرد.

۳ـ۶ـ۲ـ بهتر است دودرو و عایق دودکش‌ها هر ۳ سال یک بار مورد بازرسی قرار گیرند.

۳ـ۶ـ۳ـ پوسته فولادی در دودکش‌های خود ایستا باید سالانه مورد بازرسی قرار گیرند و ضخامت آن با روشهای مناسب کنترل شود.

۳ـ۶ـ۴ـ در اتصالات پیچی باید توجه خاصی به وضعیت و شرایط پیچها مبذول داشت. در نواحی بحرانی (از جهت خوردگی و سایر موارد) پیچهایی برداشته شده و پیچهای جدید جایگزین آن شوند و پیچ‌های برداشته شده مورد آزمایش قرار گیرند. در صورتی که آزمایشات بیانگر قابل کاربرد بودن مجدد پیچ باشد نیازی به اقدامات بعدی نیست ولی در صورتی که آزمایشات وجود نقص‌های اساسی را نشان دهد، اقدامات و بررسیهای لازم باید در این زمینه صورت گیرد.

۳ـ۶ـ۵ـ یک صفحه فلزی باید به قسمت خارجی دودکش در ارتفاعی که با چشم غیر مسلح قابل رویت باشد (حداکثر ارتفاع از پایه ۱/۸ متر) نصب شود و اطلاعات زیر بر روی آن موجود باشد :

الف) نام سازنده و نشانی آن

ب) شماره و تاریخ استانداردی که دودکش برمبنای آن طراحی و ساخته شده است

ج) تاریخ نصب دودکش

د) سوختی که دودکش برای آن طراحی شده

ه) حداکثر خوردگی مجاز پوسته فولادی

و) فواصل زمانی که باید بازرسی صورت گیرد

ز) تاریخهایی که بازرسی انجام شده است، شامل تاریخ بازرسی و توضیحات مربوطه

۳ـ۶ـ۶ـ پس از هر بازرسی گزارش کاملی تهیه شود و نتایج آن بر روی صفحه اطلاعات نصب شده روی دودکش (بند ۳ـ۶ـ۵) ثبت شود.

فصل چهارم
بارهای طراحی

۴ـ۱ـ کلیات

بارهایی که برای طراحی دودکش باید درنظرگرفت عبارتند از :

- بار مرده
- بار باد
- بار زلزله
- بارهای ناشی از اختلاف فشار در دودرو
- بارهای حرارتی

۴ـ۲ـ بار مرده

بار مرده‌ای که برای یک دودکش باید درنظرگرفته شود شامل وزن بدنه فولادی دودرو، عایق‌بندی‌های داخلی و خارجی، وزن خاکسترها و موادی که پس از مدتی کارکرد دودکش ممکن است به بدنه آن بچسبد، وزن قطعات الحاقی، نردبانها، آدم‌روها و غیره، وزن سخت کننده‌ها، اتصالات و مصالح تشکیل دهنده سازه نگهدارنده (پوسته بتنی یا برج فولادی) می‌باشد.

از آن جهت که مونتاژکردن دودکشها از مسائل بسیار مهم در ساخت دودکشهاست و از روشهای خاصی برای این منظور استفاده می‌شود، باید با توجه به روش مونتاژ دودکش بارهای اضافی را درنظر گرفت و بار داربستها، بالابرها، کابلهای مهاری و سایر تجهیزات مربوط به نصب را نیز به بار مرده اضافه کرد.

۴ـ۳ـ نیروی باد

۴ـ۳ـ۱ـ کلیات

سرعت‌مبنای طراحی باد که با V_R نمایش داده‌می‌شود در واقع بیشترین سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین با دوره بازگشت ۵۰ ساله برحسب کیلومتر بر ساعت است. این سرعت برای ایران در آئین نامه ۵۱۹

آورده شده است. همچنین می‌توان از آمارهای منطقه‌ای که توسط سازمان هواشناسی کشور ارائه می‌گردد استفاده نمود.

سرعت باد طراحی میانگین (m/s) در ارتفاع z (m) از سطح زمین از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\overline{V(z)} = 0.217 \times V_R \times (\frac{128.74}{V_R})^{0.09} \times (\frac{Z}{10})^{0.14} \qquad (۱-۴)$$

۴-۳-۱-۱-بار باد در امتداد طولی[1]

این بار به صورت بار بر واحد طول در نظر گرفته می‌شود و با W(z) نمایش داده می‌شود و در هر تراز z مقدار آن مجموعی است از $\overline{W}$ (z) که عبارت است از بار میانگین (بار باد در اثر سرعت میانگین) و W′ (z) که اثرات مربوط به رفتار دینامیکی بار باد را در نظر می‌گیرد. مقدار $\overline{W}$ (z) برحسب Kg/m بوسیله رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\overline{W}(z) = C_d \cdot d(z) \cdot \overline{P}(z) \qquad (۲-۴)$$

$\overline{P}$ (z) فشار باد در تراز z بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\overline{P}(z) = 0.0683 [\overline{V(z)}]^2 \qquad (۳-۴)$$

که $\overline{V}$ (z) از رابطه (۴-۱) محاسبه می‌گردد.

C_d ضریبی است که مطابق بند ۴-۳-۱-۱-الف محاسبه می‌شود.

۴-۳-۱-۱-الف) ضریب C_d

الف) ضریب C_d در طراحی دودکش بتنی با استفاده از روابط (۴-۴) و (۴-۵) محاسبه می‌شود

$$C_d = 0.65 \quad \text{برای} \quad Z < h\text{-}1.5d(h) \qquad (۴-۴)$$

۱- هم امتداد با جهت وزش باد

$C_d = 1.0$ برای $Z \geq h\text{-}1.5d(h)$ (۵-۴)

ب) ضریب C_d در طراحی پوسته فولادی دودکش‌های خود ایستا

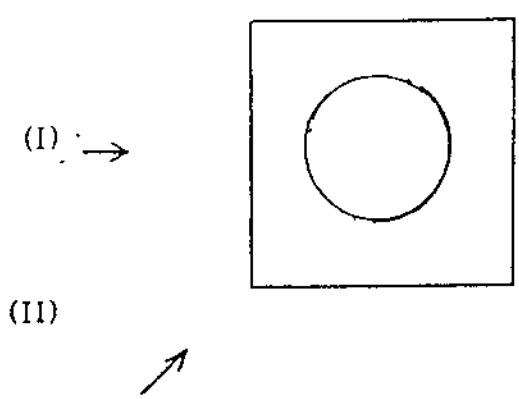
در صورتیکه هیچگونه زائده خارجی روی پوسته نصب نشده باشد $C_d = 0.8$

درصورتیکه سطح خارجی شامل زائده‌هایی باشد، در ارتفاعی از دودکش که زائده نصب شده است:

$C_d = 1.2$

ج) ضریب C_d در طراحی دودکش فلزی (سازه نگهدارنده برج فولادی)

ضریب C_d با توجه به شکل ۴-۱ در دو جهت I و II به‌شرح مندرج در جدول ۴-۱ بدست می‌آید:



شکل ۴-۱- جهات وزش باد

جدول ۴-۱- ضریب C_d در دودکش فلزی

جهت وزش باد	ضریب شکل	
	دودرو	برج نگهدارنده
I	0.8	1.13
II	0.8	1.23

۴-۳-۱-۱-ب - بار شبه دینامیکی $W'(z)$

بار شبه دینامیکی $W'(z)$ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$W'(z) = \frac{3 \cdot Z \cdot G_{w'} \cdot M_{\bar{w}}(b)}{h^3} \qquad (۶-۴)$$

که در این رابطه $M_{\bar{w}}(b)$ لنگر ناشی از بار $\overline{W}(z)$ در تراز پی بوده و $G_{w'}$ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$G_{w'} = 0.3 + \frac{19.227\,[T_1 \cdot \overline{V_{10}}]^{0.47}}{(3.28h + 16)^{0.86}} \qquad (۷-۴)$$

$\overline{V_{10}}$ از فرمول (۴-۱) برای ارتفاع ۱۰ متری محاسبه می‌گردد.

T_1 پریود ارتعاش سازه برحسب ثانیه در مود اول است که با تحلیل دینامیکی یا از رابطه تقریبی (۴-۸) قابل محاسبه می‌باشد.

$$T_1 = 5\, h^2/d_{(b)} \sqrt{\frac{\rho_{ck}}{E_{ck}}} \left[\frac{t(h)}{t(b)}\right]^{0.3} \qquad (۸-۴)$$

که در آن :

T = زمان تناوب اصلی (ثانیه)

h = ارتفاع دودکش (متر)

ρ_{ck} = جرم حجمی بتن (کیلوگرم بر متر مکعب)

E_{ck} = مدول الاستیسیته بتن (نیوتن بر متر مربع)

$t_{(h)}$ = ضخامت دودکش در راس (متر)

$t_{(b)}$ = ضخامت دودکش در پایه (متر)

$\bar{d}_{(b)}$ = قطر متوسط در پایه (متر)

۴-۳-۲- دودکش بتنی

۴-۳-۲-۱- *کلیات*

در دودکش‌های بتنی علاوه بر درنظرگرفتن بار باد در امتداد طولی مطابق بند ۴-۳-۱-۱ موارد زیر می‌بایست درنظرگرفته شود :

- بار باد در امتداد عرضی

- اثر گروه دودکشها

- ممان‌های حلقوی در اثر بار باد

۴-۳-۲-۲- *بار باد در امتداد عرضی*[1]

۴-۳-۲-۲-الف) *بررسی اثرات مد اول*

بر اثر ایجاد پیچکها نیروی متناوبی در امتداد عمود بر وزش باد بر دودکش وارد می‌شود، این نیرو برحسب kg/m از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$W_a(z) = W_a(h) \cdot \left(\frac{Z}{h}\right)^{1.3} \qquad (۹-۴)$$

$W_a(h)$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_a(h) = \frac{C_1 \cdot P_{cr} \cdot d(u)}{\left\{\beta_s - \frac{C_2 \rho_a [d(u)]^2}{\bar{W}_t(u)}\right\}^{0.5}} \qquad (۱۰-۴)$$

که در این رابطه:

ρ_a: برابر $1.2826 \frac{Kg}{m^3}$

$d(u)$: میانگین قطر خارجی در $\frac{1}{3}$ ارتفاع بالایی دودکش (m)

β_s: ضریب میرایی (مقدار ۰/۰۱۵ توصیه می‌گردد مگر اینکه از بررسیهای بیشتر مقدار دیگری بدست آید)

P_{cr}: فشار بحرانی است و از رابطه زیر بدست می‌آید: (Kg/m2)

$\bar{W}_t(u)$: متوسط وزن واحد طول دودکش در $\frac{1}{3}$ ارتفاع بالایی دودکش (m)

$$P_{cr} = 0.068 (V_{cr})^2 \qquad (۱۱-۴)$$

$$V_{cr} = \frac{5\, d(u)}{T_1} \qquad \gamma_d \geq 0.5 \qquad (۱۲-۴)$$

$$V_{cr} = \frac{2.9\, d(b)}{T_1^{2.5}} \qquad \gamma_d \leq 0.5 \qquad (۱۳-۴)$$

$$C_1 = \frac{}{\sqrt{\frac{h}{d(u)}}} \qquad \gamma_d \geq 0.5 \text{ و } \frac{h}{d(u)} \geq 16 \qquad (۱۴-۴)$$

۱- در امتداد عمود بر جهت وزش باد

$$C_1 = 0.63 \qquad \gamma_d \geq 0.5 \text{ و } \frac{h}{d\,(u)} < 16 \qquad (۱۵\text{-}۴)$$

$$C_1 = \frac{2.9}{(1-\gamma_d)^{2.5}\,(1+5\gamma_d)\,\left(\frac{h}{d(u)}\right)^{2/3}} \qquad \gamma_d < 0.5 \qquad (۱۶\text{-}۴)$$

$$C_2 = 0.6 \qquad \gamma_d \geq 0.5 \qquad (۱۷\text{-}۴)$$

$$C_2 = 0.36 + 0.48\,\gamma_d \qquad \gamma_d < 0.5 \qquad (۱۸\text{-}۴)$$

$$\gamma_d = \frac{d_{(h)}}{d_{(b)}}$$

$d_{(h)}$ = قطر خارجی در راس (متر)

$d_{(b)}$ = قطر خارجی در پایه (متر)

در صورتیکه دودکش دارای چند لایه پوشش داخلی باشد مقدار $d_{(b)}$ از رابطه ۴-۱۹ محاسبه می‌شود.

$$d\,(b) = d\,(h) + 3\,(d\,(\frac{2h}{3}) - d\,(h)) \qquad (۱۹\text{-}۴)$$

T_1 پریود مد اول ارتعاش می‌باشد و از تحلیل دینامیکی یا رابطه ۴-۸ قابل محاسبه است.

در صورتی که V_{cr} که از روابط (۴-۱۲) و (۴-۱۳) محاسبه می‌شود از $\overline{V}_{(zcr)}$ 1.45 بزرگتر باشد نیازی به در نظر گرفتن اثرات بار باد عرضی نیست.

$\overline{V}_{(zcr)}$ از رابطه (۴-۱) محاسبه می‌گردد و مقدار Z_{cr} در این رابطه برای $\gamma_d \geq 0.5$ برابر $\frac{5}{6}$ h و برای $\gamma_d < 0.5$ برابر ارتفاعی از دودکش است که در آن $d(z)$ برابر $0.58\,d(b)$ باشد.

در حالتی که V_{cr} بین $\overline{V}_{(zcr)}$ و $\overline{V}_{(zcr)}$ 1.45 باشد بار باد در امتداد عرضی بوسیله ضریب زیر کاهش داده می‌شود:

$$1 - 5\left(\frac{V_{cr} - \overline{V}_{(zcr)}}{\overline{V}_{(zcr)}}\right)^2 \qquad (۲۰\text{-}۴)$$

برای حالتی که V_{cr} کمتر از $\overline{V}_{(zcr)}$ باشد هیچ کاهشی در مقدار بار باد جایز نیست.

۴-۳-۲-۲-ب) بررسی اثرات مد دوم:

در صورتی که V_{cr} که از رابطه زیر بدست می‌آید کوچک‌تر از $\overline{V}(h)$ 1.45 باشد ($\overline{V}(h)$ سرعت میانگین ساعتی در رأس دودکش) اثرات مد دوم باید در نظر گرفته شود.

$$V_{cr} = \frac{5\, d\,(h)}{T_2} \qquad (۲۱-۴)$$

پریود T_2 از رابطه تقریبی ۴-۲۱ یا با تحلیل دینامیکی قابل محاسبه است.

$$T_2 = 0.82\, \frac{h^2}{\bar{d}_{(b)}} \sqrt{\frac{\rho_{ck}}{E_{ck}}} \left[\frac{t_{(h)}}{t_b}\right]^{0.09} \left[\frac{\bar{d}_{(h)}}{d_{(b)}}\right]^{-0.22} \qquad (۲۲-۴)$$

توجه: ضوابط کاهشی که در مداول شرح داده شد برای مد دوم نیز باید تأثیر داده شود. مقدار Z_{cr} در رابطه (۴-۲۰) برابر h در نظر گرفته می‌شود. در صورت نیاز، تخمین پاسخ سازه در مقابل بار باد در امتداد عرضی در مد دوم باید به روش مناسبی انجام گیرد.

۴-۳-۲-۳-اثر گروه دودکشها

هنگامیکه دودکشها در مجاورت یکدیگر ساخته می‌شوند اثر بار باد در امتداد عرضی برای دودکش پایین دست به دلیل تحریک دودکش جلویی افزایش می‌یابد.

در این حالت ضریب C_1 بوسیله روابط زیر به ضریب C_1' اصلاح می‌گردد:

الف) اگر $\frac{S}{d\,(Z_{cr})} > 10 \Rightarrow C_1' = C_1$

ب) اگر $4 < \frac{S}{d\,(Z_{cr})} < 10 \Rightarrow C_1' = [2 - \frac{S}{10\, d\,(Z_{cr})}]\, C_1$

ج) اگر $3 < \frac{S}{d\,(Z_{cr})} < 4 \Rightarrow C_1' = 1.6\, C_1$

S فاصله مرکز به مرکز دودکشهاست. $d_{(zcr)}$ قطر بیرونی دودکش در ارتفاع بحرانی Z_{cr} (هر دو بر حسب متر) می‌باشد.

برای دودکشهای غیر همانند و نیز برای دودکشهای همانندی که $\frac{S}{d_{(zcr)}}$ کوچکتر از ۳ است مقدار C_1 باید بوسیله مراجعه به آزمایشات در تونل باد یا مشاهدات و گزارشهای حالتهای مشابه مشخص شود.

۴-۳-۲-۴-ترکیب *اثرات باد عرضی و باد طولی*

ممانهای تولید شده بوسیله بار باد در امتداد طولی و عرضی بوسیله رابطه زیر با هم ترکیب می‌شوند.

$$M_{w(z)} = \left\{ [M_a (z)]^2 + [M_L (z)]^2 \right\}^{0.5} \qquad (۲۳-۴)$$

M_a (z) : ممان تولید شده بوسیله بار باد در امتداد عرضی در تراز Z

M_L (z) : ممان تولید شده در اثر میانگین بار باد طولی $W_{L(z)}$ که مقدار آن از رابطه (۲۴-۴) بدست می‌آید:

$$W_{L(z)} = \overline{W}(z) \left[\frac{V_{cr}}{V_{(z_{cr})}}\right]^2 \qquad (۲۴-۴)$$

توجه شود که W_L (z) در هر صورت نباید از $\overline{W}$ (z) بیشتر باشد.

۴-۳-۲-۵- ممانهای حلقوی در اثر بار باد

این ممانها در اثر توزیع پیرامونی بار باد در مقطع پوسته بتنی تولید می‌شوند و مقادیر حداکثر آن از روابط زیر محاسبه می‌شود. (برحسب $\frac{Kg - m}{m}$)

$$M_i (z) = 0.31 P_r (z) (r (z))^2 \qquad \text{کشش در تارهای داخلی} \qquad (۲۵-۴)$$

$$M_o (z) = 0.27 P_r (z) (r (z))^2 \qquad \text{کشش در تارهای خارجی} \qquad (۲۶-۴)$$

r (z) شعاع میانگین دودکش در ارتفاع z است و

$$P_r (z) = 0.068 [\overline{V}(z)]^2 . G_r (z) \quad Kg/m^2 \qquad (۲۷-۴)$$

$$G_r (z) = 4.0 - 0.8 \log Z \qquad (۲۸-۴)$$

برای $z \leq 1.0$ مقدار G_r (z) برابر ۴ است.

برای محدوده $h > z > h\text{-}1.5\ d\ (h)$ مقدار فشار $P_r(z)$ به مقدار ۵۰٪ افزایش داده خواهدشد.

۴-۳-۳- دودکش فولادی خودایستا

۴-۳-۳-۱- کلیات

در دودکش فولادی خود ایستا علاوه بر درنظرگرفتن بار باد در امتداد طولی مطابق بند ۴-۳-۱-۱ موارد زیر می‌بایست درنظرگرفته شود :

- بار باد در امتداد عرضی
- اثر گروه دودکشها

- پدیده بیضی شدن

۴-۳-۳-۲-باریاد در امتداد عرضی

نیروی حاصل از پیچکها در امتداد عمود بر وزش باد مطابق رابطه ۴-۹ می‌باشد که در آن

$$W_{a(h)} = \frac{C_1 P_{cr} \cdot d}{\left\{ \beta_s - \frac{C_2 \cdot \rho_a d2}{W_{t(u)}} \right\}^{0.5}} \qquad (۲۹-۴)$$

که در آن :

d : قطر خارجی استوانه پوسته فولادی

$W_{t(u)}$: متوسط وزن واحد طول استوانه پوسته فولادی

β_s: ضریب میرایی (مقدار ۰/۰۰۵ برای پوسته فولادی بدون عایق‌بندی و مقدار ۰/۰۱ برای پوسته فولادی با عایق‌بندی)

P_{cr} از رابطه ۴-۱۱ بدست می‌آید که در آن $V_{(cr)}=\frac{5d}{T_1}$ می‌باشد.

مقدار C_1 از روابط زیر بدست آید.

$$C_1 = \frac{2.5}{\sqrt{h/d}} \qquad \frac{h}{d} \geq 16 \qquad (۳۰-۴)$$

$$C_1 = 0.63 \qquad \frac{h}{d} < 16 \qquad (۳۱-۴)$$

مقدار $C_2 = 0.6$ می‌باشد و سایر پارامترها مطابق بند ۴-۳-۲-۲ می‌باشد.

در صورتی که V_{cr} از $\bar{V}_{zcr}$ 1.45 بزرگتر باشد، نیازی به درنظر گرفتن اثرات بار باد عرضی نیست.

$$V_{zcr} = 1.1466 \left(\frac{24.384}{V_R}\right)^{0.09} V_R \left(\frac{5/6h}{10}\right)^{0.14} \qquad (۳۲-۴)$$

در حالتی که V_{cr} بین $\bar{V}_{zcr}$ و $\bar{V}_{(zcr)}$ 1.45 باشد بار باد در امتداد عرضی با ضریبی که از رابطه (۴-۱۹) بدست می‌آید کاهش داده می‌شود.

برای حالتی که V_{cr} کمتر از $\bar{V}_{(zcr)}$ باشد هیچ کاهشی در مقدار بار باد جایز نیست.

برای کنترل اثرات مد دوم باید (مطابق بند ۴-۳-۲-۲-ب) عمل شود به نحوی که در رابطه ۴-۲۰ به‌جای $d_{(h)}$ قطر خارجی استوانه پوسته فولادی ملحوظ خواهد شد.

۴ـ۳ـ۳ـ۳ـ اثر گروه دودکشها

اثر گروه دودکشها در دودکشهای فولادی خود ایستا باید مطابق بند ۴ـ۳ـ۲ـ۳ـ درنظر گرفته شود که در آن به‌جای $d_{(zcr)}$ قطر خارجی دودکش (d) لحاظ می‌شود.

۴ـ۳ـ۳ـ۴ـ ترکیب اثرات باد عرضی و باد طولی

ممان‌های تولید شده در دو امتداد طولی و عرضی باید مطابق بند ۴ـ۳ـ۲ـ۴ با یکدیگر ترکیب شوند.

۴ـ۳ـ۳ـ۵ـ پدیده بیضی شدن

در شرایطی که ضخامت دودرو از $\frac{۱}{۲۵۰}$ قطر آن کمتر باشد، برای مقابله با پدیده بیضی شدن باید از حلقه‌های تقویتی در پیرامون دودکش استفاده شود. مقطع حلقه‌های تقویتی باید به گونه‌ای انتخاب شود که $V' > \bar{V}_{(Z)}$ باشد.

$$V' = \frac{0.021}{r} \sqrt{\frac{EI_g}{W}} \qquad (۳۳ـ۴)$$

I_g : ممان اینرسی حلقه‌های تقویتی مقاوم در جهت خمش بیضوی (سانتیمتر به توان ۴)

r : شعاع متوسط استوانه پوسته فولادی (سانتیمتر)

W : وزن واحد سطح پوسته دودکش بین دو تقویت‌کننده با احتساب وزن تقویت‌کننده (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)

V' = سرعت بحرانی ارتعاش بیضوی (متر بر ثانیه)

۴ـ۳ـ۴ـ دودروی فولادی

۴ـ۳ـ۴ـ۱ـ کلیات

در شرایطی که سازه نگهدارنده پوسته بتنی باشد، دودروی فولادی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که قابلیت تحمل کلیه نیروها و تغییر مکانهایی راکه در اثر بارهای مطرح شده در بندهای ۴ـ۳ـ۱ و ۴ـ۳ـ۲ (به جز ۴ـ۳ـ۲ـ۵) از پوسته بتنی به آن منتقل می‌شود، داشته باشد.

در صورتی که سازه نگهدارنده برج فولادی باشد، در طراحی دودروی فولادی باید کلیه نیروها و تغییر مکان‌هایی که در اثر بارهای مطرح شده در بند ۴ـ۳ـ۱ از مجموعه دودرو و برج فولادی به آن منتقل می‌شود،

درنظر گرفت، علاوه بر آن ضوابط بند ۴-۳-۲-۵ نیز رعایت گردد.

۴-۴- بار زلزله[1]

۴-۴-۱- کلیات

نیروی زلزله برای دودکشها می‌تواند از دو روش زیر محاسبه گردد.

الف) روش تحلیل استاتیکی معادل

ب) روش تحلیل شبه دینامیکی

ضوابط کاربرد هر یک از روشها بر طبق مندرجات بندهای ۴-۴-۱-۱ و ۴-۴-۱-۲ می‌باشد.

۴-۴-۱-۱- برای دودکش‌های با ارتفاع بیشتر از ۵۰ متر و یا دودکشهایی که زمان تناوب اصلی نوسان آنها از ۰/۵ ثانیه تجاوز نماید اعمال روش تحلیل دینامیکی الزامی است.

۴-۴-۱-۲- برای دودکش‌هایی که محاسبه نیروهای ناشی از زلزله آنها باید با روش تحلیل دینامیکی انجام شود، در صورت وجود شرایط زیر مطالعات ویژه خطر زلزله با توجه به شرایط ساختگاهی[2] برای تعیین ضریب بازتاب ساختمان (ضریب B در بند ۴-۴-۳-۲) الزامی است.

الف) برای دودکش‌هایی که بر روی زمین نوع IV (جدول ۴-۴) واقع شده‌اند.

ب) برای دودکش‌هایی که بر روی زمین نوع (II ـ ب) یا (III ـ ب) با ضخامت لایه خاک بیش از ۶۰ متر واقع شده‌اند.

۴-۴-۲- روش تحلیل استاتیکی معادل

برش پایه یا نیروی جانبی کل زلزله از رابطه ۴-۳۴ محاسبه می‌گردد.

$$V = \frac{ABI}{R} W \qquad (۳۴-۴)$$

V = نیروی برشی

۱- ضوابط ارائه‌شده دراین قسمت تا قبل از انتشار آئین‌نامه نحوه اثر زلزله بر روی سازه‌های نیروگاهها و پستها لازم‌الاجرا بوده و پس از آن ضوابط آئین‌نامه مذکور حاکم می‌باشد.

۲- مطابق بند ۲-۵-۱- ب از آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران

W = وزن کل دودکش

A = شتاب مبنای طرح

B = ضریب بازتاب دودکش که با استفاده از طیف بازتاب طرح بدست می‌آید

R = ضریب رفتار دودکش

I = ضریب اهمیت دودکش برابر با ۱/۲

باید توجه شود که مقدار $\frac{B}{R}$ نباید کمتر از ۰/۵ درنظر گرفته شود.

۴-۴-۲-۱- *نسبت شتاب مبنای طرح* (A)

نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف کشور از جدول ۴-۲ بدست می‌آید.

جدول ۴-۲- نسبت شتاب مبنای طرح در مناطق مختلف

منطقه	توصیف	نسبت شتاب مبنای طرح
۱	با خطر نسبی زیاد	۰/۳۵
۲	با خطر نسبی متوسط	۰/۲۵
۳	با خطر نسبی کم	۰/۲

۴-۴-۲-۲- *ضریب بازتاب* (B)

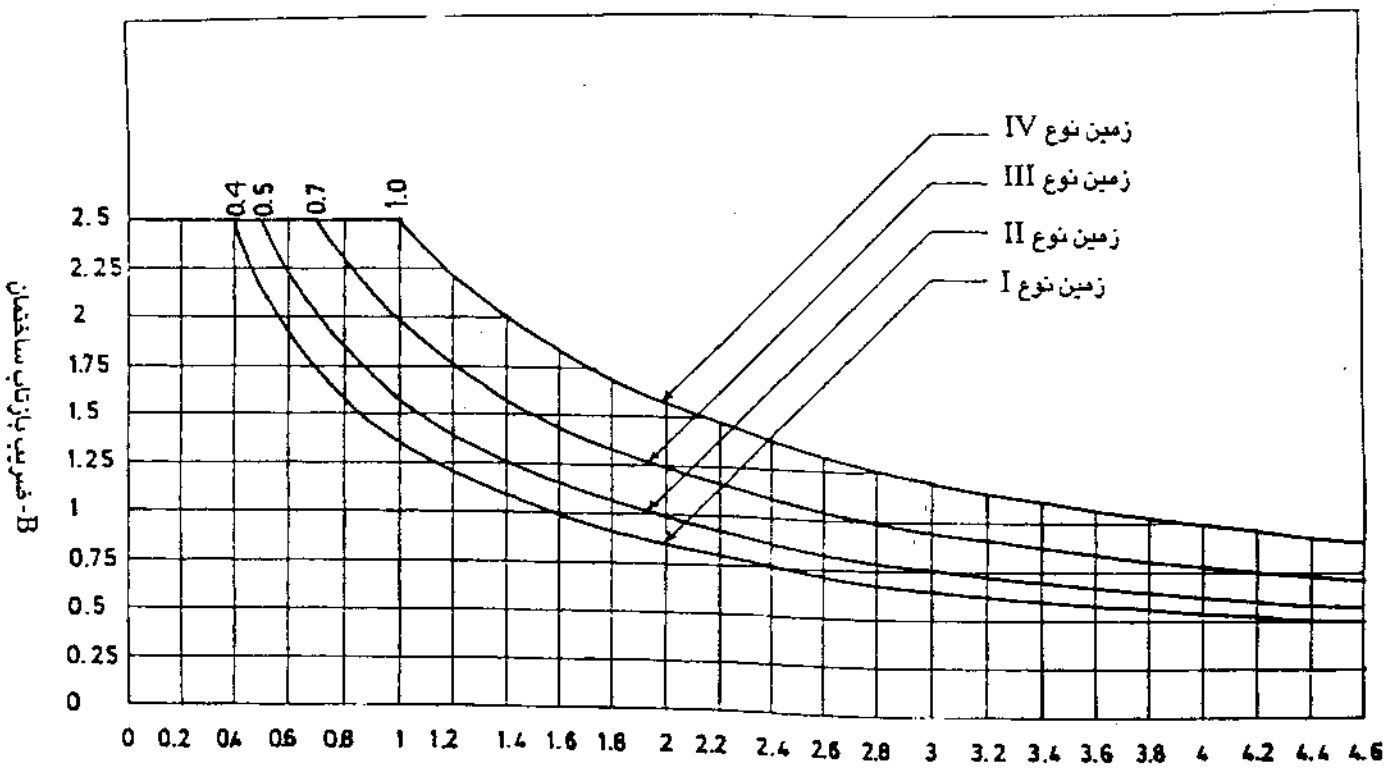
ضریب بازتاب دودکش با استفاده از رابطه ۴-۳۵ یا طیف بازتاب طرح بدست می‌آید.

$$B = 2.5\ (T_0/T)^{2/3} \leq 2.5 \qquad (۴-۳۵)$$

باید توجه شود که برای زمین‌های گروه IV (بند ۴-۴-۲-۴) در مناطق خطر نسبی کم و متوسط ، مقدار B محاسبه شده از رابطه (۴-۳۵) باید ۳۰٪ افزایش یابد ولی مقدار محاسبه شده لازم نیست از ۲/۵ بیشتر باشد.

T = زمان تناوب اصلی نوسان دودکش که در بند ۴-۴-۲-۳ ذکر شده است.

T_0 = عددی است که بر حسب نوع زمین (بند ۴-۴-۲-۴) به شرح جدول ۴-۳ تعیین می‌شود.



شکل ۴-۲-طیف بازتاب طرح (مشخصات انواع زمینها در جدول ۴-۴ آورده شده است)

جدول ۴-۳-مقادیر T_o

نوع زمین*	T_o
I	۰/۴
II	۰/۵
III	۰/۷
IV	۱

* مطابق بند ۴-۴-۳-۴

۴-۴-۲-۳- زمان تناوب اصلی نوسان

زمان تناوب اصلی نوسان دودکش‌ها از روابط ۴-۸ ، ۴-۳۶ یا روشهای تحلیلی قابل محاسبه می‌باشد.

الف) دودکش بتنی -زمان تناوب اصلی دودکش بتنی از رابطه ۴-۸ قابل محاسبه می‌باشد (بند ۴-۳-۱-۱-ب)

ب) دودکش‌های فولادی خود ایستا

$$T = 0.018h^2\sqrt{\frac{q}{gE_{st}I}} \qquad (۴-۳۶)$$

که در آن :

T = زمان تناوب اصلی (ثانیه)

h = ارتفاع دودکش (متر)

q = وزن واحد طول دودکش (کیلوگرم بر متر)

g = شتاب ثقل زمین (متر بر مجذور ثانیه)

E_{st} = مدول ارتجاعی پوسته فولادی (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)

I = ممان اینرسی مقطع دودکش حول محوری که از مرکز دودکش می‌گذرد (متر به توان چهار)

۴-۴-۲-۴- طبقه‌بندی نوع زمین

طبقه‌بندی نوع زمین مطابق جدول ۴-۴ می‌باشد.

جدول ۴-۴- طبقه‌بندی نوع زمین

نوع زمین	توصیف مواد متشکله	حدود تقریبی $\bar{V}_s$ (متر بر ثانیه)
I	الف - سنگهای آذرین (دارای بافت درشت و ریزدانه)، سنگهای رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگهای دگرگونی توده‌ای (گنایس‌ها - سنگهای متبلور سیلیکانه) طبقات کنگلومرایی	بیشتر از ۷۵۰
	ب - خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت کمتر از ۳۰ متر	بیشتر از ۳۷۵
II	الف - سنگهای آذرین سست (مانند توف) ، سنگهای سست رسوبی سنگهای دگرگونی متورق و به طورکلی سنگهایی که در اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده‌اند.	۳۷۵≤ $\bar{V}_s$ ≤۷۵۰
	ب - خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت بیش از ۳۰ متر	۳۷۵≤ $\bar{V}_s$ ≤۷۵۰
III	الف - سنگهای متلاشی شده در اثر هوازدگی	۱۷۵≤ $\bar{V}_s$ ≤۳۷۵
	ب - خاکهای با تراکم متوسط ، طبقات شن و ماسه با پیوند متوسط بین دانه‌ای و رس با سختی متوسط	۱۷۵≤ $\bar{V}_s$ ≤۳۷۵
IV	الف - نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد در اثر بالا بودن سطح آب زیر زمینی	کمتر از ۱۷۵
	ب - هرگونه پروفیل خاک که شامل حداقل ۶ متر خاک رس با اندیس خمیری بیشتر از ۲۰ و درصد رطوبت بیشتر از ۴۰ باشد.	

$\bar{V}_s$ ، سرعت موج برشی می‌باشد که با رعایت اثر ضخامت لایه‌ها در فاصله ۳۰ متری عمق زمین میانگین‌گیری شده است. مثلاً اگر d_i و V_{si} به ترتیب ضخامت لایه i و سرعت موج برشی درآن باشند، می‌توان از رابطه‌ای مشابه زیر $\bar{V}_s$ را محاسبه کرد:

$$\bar{V}_s = \frac{Sd_i}{S(d_i/V_{si})}$$

۴-۴-۲-۵- ضریب رفتار

ضریب رفتار دودکش‌ها از جدول ۴-۵ تعیین می‌شود.

جدول ۴-۵- ضریب رفتار در دودکش‌ها

نـوع دودکـش	R
دودکش بتنی	۴
دودکش فولادی خود ایستا یا مهار شده توسط برج فولادی	۵

۴-۴-۲-۶- توزیع نیروی برشی در ارتفاع

مدل تحلیل دودکش در روش استاتیکی معادل باید بر مبنای حداقل ۱۰ قطعه درنظر گرفته شود که نیروی جانبی زلزله در مرکز هر قطعه اثر می‌کند. نحوه توزیع نیروی زلزله در ارتفاع دودکش برمبنای رابطه ۴-۳۷ خواهد بود.

$$F_i = V \cdot \frac{W_i\, h_i^2}{\sum_{i=1}^{n} W_i\, h_i^2} \qquad (۳۷\text{-}۴)$$

و برش طراحی در ارتفاع h_z از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$V_{jz} = \left(\sum_{i=j}^{n} F_i\right) \cdot J_v^z \qquad (۳۸\text{-}۴)$$

ضریب برش J_v^z وقتی که $0.5 \le \frac{h_z}{h} \le 1.0$ از رابطه

$$J_v^z = 8\,(J_v^{top} - J_v^{0.5h})\,[(h_z / h) - 0.5]^3 + J_v^{0.5h} \qquad (۳۹\text{-}۴)$$

و هنگامی که $\frac{h_z}{h} < 0.5$ باشد از رابطه:

$$J_v^z = 1 - 2\,(1 - J_v^{0.5h})\,(h_z / h) \qquad (۴۰\text{-}۴)$$

محاسبه می‌گردد که در این روابط :

$$J_v^{top} = 0.96 + 0.23\ T_1$$

$$J_v^{0.5h} = 0.43 + 0.5 / T_1^{1.5}$$

لنگر طراحی در هر تراز دودکش از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$M_z = J_m^z \left(\sum_{i=j}^{n} F_i\ (h_i - h_z)\right) \qquad (۴۱-۴)$$

که در این رابطه J_m از روابط زیر تعیین می‌گردند:

$$J_m^z = 2.78\ (J_m^{0.9h} - J_m^{0.3h})\ (h_z / h - 0.3)^2 + J_m^{0.3h} \qquad \text{اگر } 0.3 \le h_z / h \le 1.0 \quad (۴۲-۴)$$

$$J_m^z = 11.1\ (J_m^{base} - J_m^{0.3h})\ (0.3 - h_z / h)^2 + J_m^{0.3h} \qquad \text{اگر } 0 \le h_z / h < 0.3 \quad (۴۳-۴)$$

که در این روابط

$$j_m^{0.9h} = 1.15 + 0.025\ T_1^2$$

$$j_m^{0.3h} = 0.3 + 0.004\ (6 - T_1)^3$$

$$j_m^{base} = 0.4 + (6 - T_1)^3 / 300$$

وقتی که $T_1 > 6$ در آن صورت

$$j_m^{0.3h} = 0.3 \quad \text{و} \quad J_m^{base} = 0.4$$

در دودکشهایی که قطر بالا کمتر از نصف قطر پایین دودکش می‌باشند J_v^z و J_m^z باید در ضرایب مندرج در جداول (۴-۶) ضرب شوند:

جداول (۴-۶) مقادیر ضرایب اصلاح J_m^z و J_v^z

(الف)

h_z / h	ضریب J_m^z
0.90	0.97
0.80	0.87
0.70	0.78
0.60	0.76
0.50	0.82
0.40	0.90
0.30	0.92
0.20	0.89
0.10	0.91
0.00	0.94

(ب)

h_z / h	ضریب J_v^z
0.95	1.01
0.85	0.94
0.75	0.86
0.65	0.92
0.55	0.97
0.45	0.88
0.35	0.83
0.25	0.89
0.15	0.99
0.05	1.03

۴-۴-۳- روش تحلیل دینامیکی - طیفی

برشها، لنگرها و تغییر مکان دودکش در اثر زلزله بایستی با استفاده از طیف پاسخ وابسته به‌محل به روش مدی طیفی تعیین گردد. این طیف برمبنای ۹۰٪ احتمال عدم تجاوز در طول ۵۰ سال و با ۵٪ میرایی تهیه می‌گردد. در صورتی که تهیه طیف پاسخ وابسته به محل مقدور نباشد با استفاده از طیف بازتاب که در شکل ۴-۲ ارائه شده است بیشینه اثر هر مد تعیین می‌گردد.

مدل تحلیلی دودکش بایستی به نحوی انجام شود که تغییرات جرم و سختی دودکش و دودرو و همچنین شرایط تکیه‌گاهی فونداسیون را به نحوی نشان دهد و حداقل ۱۰ عضو در تحلیل بایستی درنظرگرفته شود. کل پاسخ دودکش به روش SRSS با حداقل ۳ مد اول نوسان، یا تمام مدهای نوسان با زمان تناوب بیشتر از ۰/۴ ثانیه و یا تمام مدهای نوسان که مجموع جرم‌های موثر ساختمان در آنها حداقل برابر با ۹۰ درصد جرم کل سازه باشد، (هرکدام که بیشتر باشد) محاسبه گردد.

در صورتیکه برش پایه محاسبه شده در روش طیفی کمتر از روش استاتیکی معادل باشد، کلیه بازتاب‌های دینامیکی سازه باید در ۸۰ درصد نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه دینامیکی طیفی ضرب شود، به شرطی که مقدار حاصل از مقدار برش پایه بدست آمده از تحلیل دینامیکی طیفی کمتر نشود.

در صورتیکه برش پایه بدست آمده از تحلیل دینامیکی طیفی بیشتر از برش پایه استاتیکی معادل باشد، مقدار برش پایه تحلیل دینامیکی طیفی و کلیه بازتاب‌ها را به نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه تحلیل دینامیکی طیفی می‌توان کاهش داد.

۴-۴-۴- اثر مولفه قائم زلزله ناچیز می‌باشد و می‌توان در طراحی از آن صرفنظر نمود.

۴-۴-۵- نیازی به درنظرگرفتن همزمان اثر زلزله در دو امتداد افقی نمی‌باشد.

۴-۵- بارهای ناشی از حرارت

تنشهای حرارتی در طراحی پوسته بتنی و فولادی دودکش و دودرو باید مدنظر قرارگیرد.

۴-۵-۱- پوسته بتنی

نحوه درنظرگرفتن اثر حرارت در پوسته بتنی دودکش‌های بتنی در فصل ششم از این دستورالعمل آورده شده است.

۴-۵-۲- پوسته فولادی دودروها در دودکش‌های غیر خود ایستا

۴-۵-۲-۱- کلیات

تنش حرارتی در پوسته فولادی تحت اثر توزیع غیریکنواخت دمای گاز عبوری ایجاد می‌شود برای محاسبه دمای غیریکنواخت رابطه (۴-۴۴) پیشنهاد می‌شود.

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_B} = \gamma_e \beta^{KL/D} \qquad (۴۴-۴)$$

در رابطه فوق :

ΔT = دمای غیریکنواخت فلز دودرو در ارتفاع L در بالای ورودی دود، (°C)

ΔT_B = دمای غیریکنواخت گاز ورودی ، (°C)

γ = پارامتر مربوط به انتقال حرارت، جدول (۴-۷)

K = پارامتر مربوط به عرض ورودی دود، جدول (۴-۷)

D = قطر دودکش ، (m)

β = پارامتر مربوط به نسبت حجمی جریان، جدول (۴-۷)

$$L = Z - HB \qquad (۴۵-۴)$$

در رابطه فوق

Z = ارتفاع مقطع مورد بررسی (متر)

HB = ارتفاع بازشو (متر)

جدول ۴ـ۷ـ مقادیر β ، γ و K

نسبت جریان **	β	D/W *	K	$\Delta T_{1\beta}$ (°C)	γ
۱	۰/٤	۱	۱	۰	۰/۹۹
۰/۸	۰/٤۸	۱/۲	۱/۰۳	۵۰	۰/۹۵
۰/٦	۰/۵۷	۱/٤	۱/۰۷	۱۰۰	۰/۹
≤ ۰/٤	۰/٦۵	۱/٦	۱/۱	۱۵۰	۰/۸٦
		۱/۸	۱/۱۳	۲۰۰	۰/۸۱
		۲	۱/۱۷	۲۵۰	۰/۷۵
		۲/۲	۱/۲	۳۰۰	۰/۷۰
				۳۵۰	۰/٦۷
				٤۰۰	۰/٦۳
				٤۵۰	۰/۵۹

* W قطر ورودی دود بر حسب متر می‌باشد.
** نسبت جریان، نسبت حجم دود ورودی از هر بازشو به کل حجم دود ورودی

۴ـ۵ـ۲ـ۲ـ تنش قائم ایجاد شده، در دودرو تحت اثر حرارت

$$f_L = \frac{Mx}{\pi R^2 t} + 0.1\ \alpha\ E\Delta T \qquad (۴۶\text{ـ}۴)$$

t = ضخامت دودرو

R = شعاع دودرو

E = مدول الاستیسیته پوسته

α = ضریب انبساط طولی پوسته

Mx = لنگر خمشی حاصل از عکس‌العمل تکیه گاهها که مقدار آن با توجه به تغییر مکان دودرو (در صورت آزاد بودن) در هر ارتفاع مطابق روابط (۴ـ۴۷) تا (۴ـ۴۹) بدست خواهد آمد.

$$d = \theta_0 . H_B \left(\frac{H_B}{2} + L\right) + \frac{\theta_0}{Q}\left(L - \frac{1}{Q}(1\text{-}e^{-QL})\right) \qquad (۴۷\text{ـ}۴)$$

d = تغییر مکان دودرو در ارتفاع L

$$\theta_0 = \frac{0.811\ \alpha\ \Delta T_B\ \gamma}{D} \qquad (۴۸-۴)$$

$$Q = \frac{\beta K}{D} \qquad (۴۹-۴)$$

γ = پارامتر مربوط به انتقال حرارت ، جدول ۴-۷

۴-۶- بارهای ناشی از اختلاف فشار

۴-۶-۱- این بار بر بدنه پوسته فولادی اثر می‌کند و در اثر وجود اختلاف فشار بین داخل و خارج ایجاد می‌شود.

مقدار این فشار از رابطه (۴-۵۰) بدست می‌آید :

$$D_S = 0.488h\ (\gamma_a - \gamma_g) \qquad (۵۰-۴)$$

D_S = مقدار تئوریک فشار منفی برحسب سانتیمتر آب

h = ارتفاع کل دودرو

γ_a = وزن مخصوص هوای خارج در محل ورود گاز به داخل پوسته

γ_g = وزن مخصوص گاز ورودی به پوسته

فصل پنجم
طراحی

۵ـ۱ـ دودکش بتنی

۵ـ۱ـ۱ـ کلیات

طراحی پوسته بتنی به روش الاستو ـ پلاستیک انجام می‌گردد. در این روش تنش در قسمتهایی از دودکش که کرنش آن از حد جاری شدن فراتر رفته است به صورت یکنواخت و در قسمتهایی که کرنش آن از حد جاری شدن کمتر می‌باشد به صورت تابع خطی از کرنش در نظر گرفته می‌شود.

۵ـ۱ـ۲ـ ترکیبات بارگذاری و ضرایب کاهش مقاومت

۵ـ۱ـ۲ـ۱ـ *طراحی آرماتورهای قائم*

$$u = 1.4\ D \qquad (۱\text{ـ}۵)$$

با درنظر گرفتن باریاد فقط در امتداد طولی

$$u = 1.1\ D + 1.4T + 1.7W$$

با درنظر گرفتن ترکیب باریاد در امتداد طولی و عرضی

$$u = 1.1\ D + 1.4T + 1.4\ W$$

$$u = 1.1\ D + 1.4T + 1.87\ E$$

که در این روابط u معرف ترکیب نهایی بارها، D بار مرده، W بار باد، E بار زلزله و T بار ناشی از حرارت می‌باشد.

۵ـ۱ـ۲ـ۲ـ *طراحی آرماتورهای حلقوی*

$$u = 1.05T + 1.3W$$

$$u = 1.05\ T + 1.43\ E \qquad (۲\text{ـ}۵)$$

۵ـ۱ـ۲ـ۳ـ *ضریب کاهش مقاومت*

ضرایب کاهش مقاومت به شرح زیر می‌باشد :

۱ـ برای مقاومت خمشی حلقوی ۰/۹

۲ـ برای مقاومت خمشی قائم ۰/۸

مقاومت برشی محاسبه شده برای مقطع نیز با استفاده از ضریب زیر کاهش داده می‌شود

۳ـ برای برش و پیچش ۰/۸۵

۵ـ۱ـ۳ـ طراحی پوسته بتنی

۵ـ۱ـ۳ـ۱ـ طراحی در مقابل بار و لنگر قائم

روند طراحی دودکش در مقابل بار و لنگر قائم به صورت زیر می‌باشد:

۱ـ در مرحله اول یک مقدار اولیه برای ρ_t فرض می‌شود (ρ_t نسبت کل آرماتور موجود به سطح مقطع پوسته بتنی می‌باشد)

۲ـ با سعی و خطا مقدار α چنان تعیین می‌شود که معادله ۵ـ۳ برقرار گردد.

$$\frac{P_u}{rtf'_c} = 1.7\,\varphi\,\lambda + 2\,\varepsilon_m\,K_e\,\omega_1\,\varphi_1 + 2\,\omega_1\,\lambda_1 \qquad (۳ـ۵)$$

در این رابطه P_u بار قائم با اعمال ضرایب بر حسب Kg می‌باشد، r شعاع متوسط مقطع برحسب cm، f'_c برابر با 0.6 مقدار تنش نهایی نمونه استوانه‌ای برحسب Kg/cm^2 و t ضخامت مقطع بر حسب cm می‌باشد، α نیز محل محور خنثی برحسب درجه می‌باشد (شکل ۵ـ۱). بقیه پارامترها به صورت زیر تعریف می‌گردند.

$\beta_1 = 0.85 \qquad f'_c \le 280\ Kg/Cm^2$

$\beta_1 = 0.85 - 0.05\,(f'_c - 168)/42 \ge 0.65 \qquad f'_c \ge 280\ Kg/Cm^2$

$\gamma =$ نصف زاویه ما بین مرکز تا مرکز دو بازشو برحسب رادیان

$\beta =$ نصف زاویه بازشو برحسب رادیان

$n_1 =$ تعداد بازشوها در منطقه فشاری

$\varepsilon_m =$ کرنش ماکزیمم بتن

$$\varepsilon_m = 0.07\ (1 - \cos\alpha) / (1 + \cos\alpha) \leq 0.003 \qquad (۴-۵)$$

$f_y =$ تنش جاری شدن فولاد برحسب Kg/cm^2

$$\cos\tau = 1 - \beta_1\ (1 - \cos\alpha) \qquad (۵-۵)$$

$$\cos\psi = \cos\alpha - [\frac{1 - \cos\alpha}{\varepsilon_m}]\ [\frac{f_y}{E_s}] \geq -1.0 \qquad (۶-۵)$$

$$\cos\mu = \cos\alpha + [\frac{1 - \cos\alpha}{\varepsilon_m}]\ [\frac{f_y}{E_s}] \leq 1.0 \qquad (۷-۵)$$

$$\omega_1 = \rho_t\ f_y / f'_c$$

$$K_e = E_s / f_y$$

$$\lambda_1 = \mu + \psi - \pi \quad \text{(برحسب رادیان)} \qquad (۸-۵)$$

$$\varphi_1 = \frac{\sin\psi - \sin\mu - (\psi - \mu)\cos\alpha}{1 - \cos\alpha} \qquad (۹-۵)$$

$$\lambda = \tau - n_1\beta \quad \text{(برحسب رادیان)} \qquad (۱۰-۵)$$

برای $\alpha \leq 5°$

$$\varphi = (-0.523 + 0.181\ \alpha - 0.0154\ \alpha^2) + (41.3 - 13.2\ \alpha + 1.32\ \alpha^2)\ (t/r) \qquad (۱۱-الف-۵)$$

برای $5° < \alpha \leq 10°$

$$\varphi = (-0.154 + 0.01773\ \alpha + 0.00249\ \alpha^2) + (16.42 - 1.980\ \alpha + 0.0674\ \alpha^2)\ (t/r) \qquad (۱۱-ب-۵)$$

برای $10° < \alpha \leq 17°$

$$\varphi = (-0.488 + 0.076\ \alpha) + (9.758 - 0.640\ \alpha)\ (t/r) \qquad (۱۱-ج-۵)$$

برای $17° < \alpha \leq 25°$

$$\varphi = (-1.345 + 0.2018\ \alpha) - 0.004434\ \alpha^2) + (15.83\text{-}1.676\text{+}0.03994\ \alpha^2)\ (t/r) \qquad (۱۱-د-۵)$$

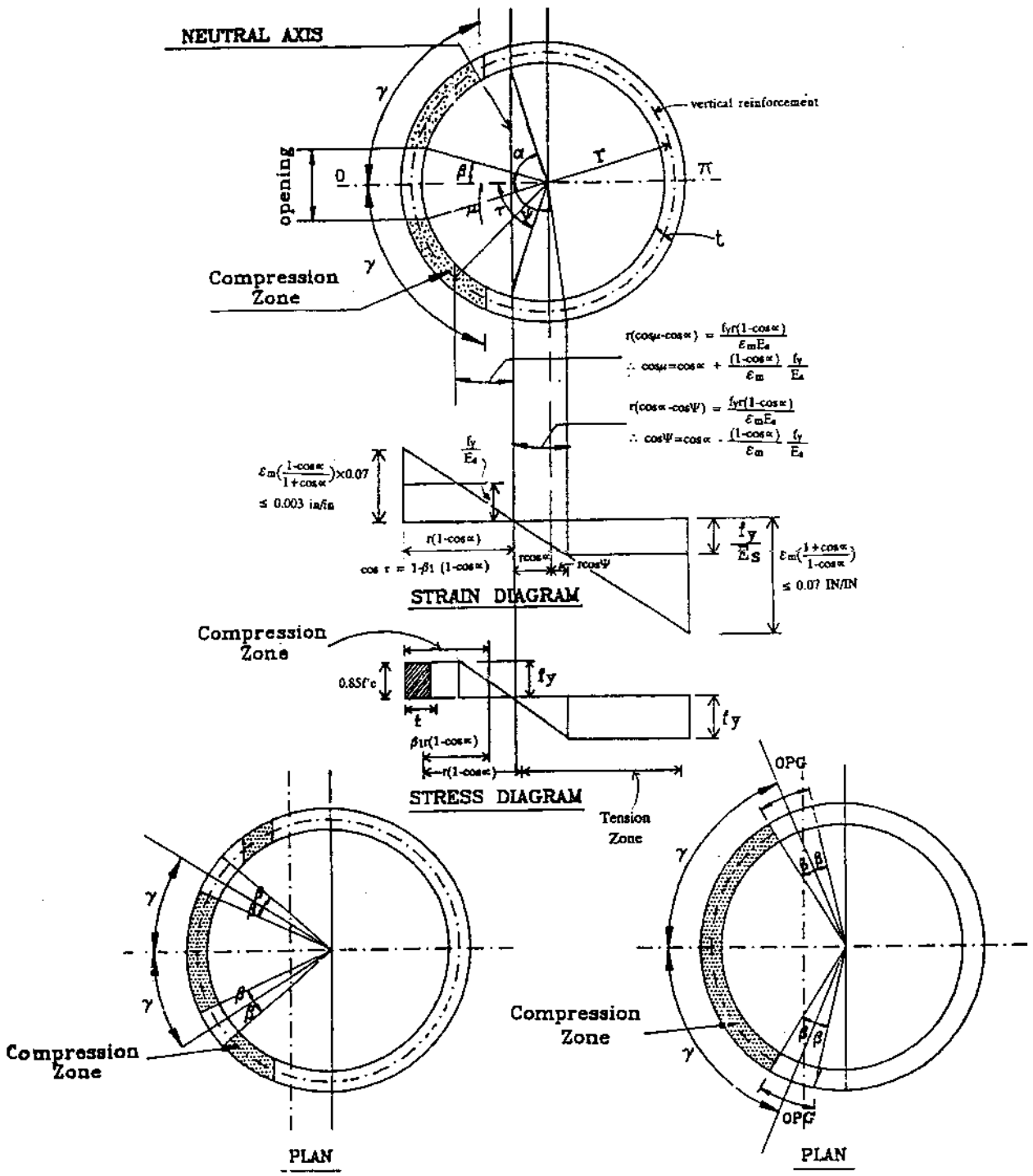
برای $25° < \alpha \leq 35°$

$$\varphi = (0.993 + 0.00258\ \alpha) + (-3.27 - 0.0862\ \alpha)\ (t/r) \qquad (۱۱-ه-۵)$$

برای $\alpha > 35°$

$$\varphi = 0.89 \qquad (۱۱-و-۵)$$

مقادیر Ψ ، μ و τ در روابط بالا جزو مشخصات مقطع بوده و در شکل ۵-۱ نمایش داده شده اند.



TWO OPENINGS IN COMPRESSION ZONE

TWO SYMMETRIC OPENING PARTLY IN COMPRESSION ZONE

برای بدون بازشو $n_1=\gamma=0$ برای یک بازشو $n_1=1$ $\gamma=0$ برای دو بازشو در محدوده فشاری $n_1=2$

شکـــل ۵-۱

۳ـ پس از محاسبه α از معادله بالا با استفاده از معادله زیر مقدار M_n محاسبه می‌گردد:

$$\frac{M_n}{P_u r} = \cos\ \alpha + \frac{K_2}{K_1} \qquad (۱۲\text{ـ}۵)$$

که در این رابطه :

$$K_2 = 1.7\ \varphi\ K' + \varepsilon_m\ K_e\ \omega_1\ \varphi_2 + 2\omega_1\ K \qquad (۱۳\text{ـ}۵)$$

$$K_1 = \frac{P_u}{rtf'_c} \qquad (۱۴\text{ـ}۵)$$

$$K' = \sin\tau - (\tau - n_1\beta)\cos\alpha - (n_1/2)\,(\sin(\gamma+\beta) - \sin(\gamma-\beta)) \qquad (۱۵\text{ـ}۵)$$

$$K = \sin\psi + \sin\mu + (\pi - \psi - \mu)\cos\alpha \qquad (۱۶\text{ـ}۵)$$

$$\varphi_2 = [(\psi-\mu)\,(1 + 2\cos^2\alpha) + (\tfrac{1}{2})\,(4\sin 2\alpha + \sin 2\psi - \sin 2\mu) \qquad (۱۷\text{ـ}۵)$$

$$- 4\cos\alpha\,(\sin\alpha + \sin\psi - \sin\mu)] / (1 - \cos\alpha)$$

۴ـ در صورتی که $0.8\ M_n < M_u$ باشد مقدار ρ_t افزایش داده می‌شود و اگر $0.8\ M_n > M_u$ باشد ρ_t کاهش داده می‌شود (M_u لنگر وارده به مقطع با اعمال ضرایب بار می‌باشد).

۵ـ مراحل ۲ تا ۴ تکرار می‌گردد تا $0.8\ M_n = M_u$ گردد.

هنگامی که قسمتی از دو باز شو متقارن در منطقه فشاری قرار دارند یعنی:

$$\begin{cases}\gamma + \beta > \tau \\ \gamma - \beta < \tau\end{cases}$$

مقادیر α و λ و K' به صورت زیر اصلاح می‌گردند.

$$\tau = \gamma - \beta$$

$$\lambda = \gamma - \beta$$

$$K' = \sin(\gamma-\beta) - (\gamma-\beta)\cos\alpha \qquad (۱۸\text{ـ}۵)$$

بطور کلی آرماتورهایی که توسط بازشو قطع می‌گردند باید در پیرامون بازشو قرار داده شوند که در این صورت می‌توان از اثرات بازشوهایی که در منطقه کششی قرار دارند صرفنظر کرد. همچنین می‌توان در محاسبات نیروی فشاری آرماتور از اثرات بازشوهایی که در منطقه فشاری قرار دارند صرفنظر کرد.

برای در نظر گرفتن اثرات حرارت در طراحی حدی با توجه به روابطی که در فصل ششم ارائه خواهد شد باید f'_c به $f''_{c(v)}$ و f_y به $f'_{y(v)}$ تبدیل شود.

۵-۱-۳-۲-طراحی در مقابل لنگر حلقوی

با توجه به روابط (۴-۲۵) و (۴-۲۶) لنگرهای حلقوی ناشی از نیروی باد محاسبه می‌گردد برای طراحی آرماتور حلقوی کافی است که:

$$R_u = \frac{M_u}{0.9\ d^2} \qquad (۵-۱۹)$$

$$m = \frac{f'_y}{0.85\ f''_c} \qquad (۵-۲۰)$$

$$\rho' = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m\ R_u}{f'_y}}\right) \qquad (۵-۲۱)$$

که در این روابط ρ' درصد آرماتور حلقوی مقطع و M_u لنگر وارد شده در اثر نیروی باد با اعمال ضرایب می‌باشد و f'_y و f''_c با درنظر گرفتن اثر حرارت مطابق روابط ارائه شده در فصل ششم (روابط ۶-۷ و ۶-۸) محاسبه می‌شوند.

۵-۱-۳-۳-طراحی در مقابل برش

با استفاده از جدول (۵-۱) می‌توان مقادیر تنش برشی و پیچشی ماکزیمم در اثر برش V را برای دودکشهای دارای یک یا دو بازشو (که محورهای آنها در امتداد یکدیگر می‌باشد) محاسبه نمود.

جدول (۵-۱) نسبت تنش برشی در مقطع دودکش به برش اعمال شده

β°	μ°	$\frac{f_{QS(max)}}{u}$	γ°	θ°	$\frac{f_{QT(max)}}{u}$	γ°	θ°	$\frac{f_{QS}+f_{QT(max)}}{u}$	γ°	θ°
۰	۰	۰/۴۱۴۷	۴۶	۳۰۴	-	-	-	۰/۴۱۴۷	۴۶	۳۰۴
	۰	۰/۴۸۱۳	۱۳۰	۵۶	۰/۰۶۶۴	۹۷	۷۵	۰/۵۳۰۶	۱۳۰	۶۰
۱۵	۱۵	۰/۵۳۵۲	۱۲۹	۶۳	-	-	-	۰/۵۳۵۲	۱۲۹	۶۳
	۰	۰/۴۹۸۲	۱۳۰	۵۶	۰/۰۸۵۹	۱۰۰	۷۵	۰/۵۶۳۴	۱۳۰	۶۱
۲۰	۱۵	۰/۵۷۵۵	۱۳۰	۶۴	۰/۰۲۲۷	۹۲	۷۵	۰/۵۹۱۱	۱۳۰	۶۵
	۲۰	۰/۵۹۵۳	۱۲۷	۶۵	-	-	-	۰/۵۹۵۳	۱۲۷	۶۵
	۰	۰/۵۱۲۱	۱۳۰	۵۶	۰/۱۰۳۹	۱۰۲	۷۵	۰/۵۹۲۳	۱۳۰	۶۱
	۱۵	۰/۶۱۴۱	۱۳۰	۶۵	۰/۰۴۵۰	۹۵	۷۵	۰/۶۴۵۸	۱۳۰	۶۶
۲۵	۲۰	۰/۶۴۲۷	۱۲۸	۶۶	۰/۰۲۲۸	۹۲	۷۵	۰/۶۵۸۳	۱۲۸	۶۷
	۲۵	۰/۶۷۰۴	۱۲۵	۶۷	-	-	-	۰/۶۷۰۴	۱۲۷	۶۷
	۰	۰/۵۲۳۵	۱۳۰	۵۵	۰/۱۲۰۳	۱۰۵	۷۵	۰/۶۱۷۵	۱۳۰	۶۱
	۱۵	۰/۶۴۹۹	۱۳۰	۶۵	۰/۰۶۶۵	۹۷	۷۵	۰/۶۹۸۲	۱۳۰	۶۷
۳۰	۲۰	۰/۶۸۹۴	۱۲۹	۶۷	۰/۰۴۵۳	۹۵	۷۵	۰/۷۲۰۹	۱۲۹	۶۸
	۲۵	۰/۷۲۷۳	۱۲۶	۶۸	۰/۰۲۳۰	۹۲	۷۵	۰/۷۴۳۱	۱۲۶	۶۹
	۳۰	۰/۷۶۵۸	۱۲۳	۶۹	-	-	-	۰/۷۶۵۸	۱۲۳	۶۹

که در این جدول β و μ نصف زوایای بازشو و f_{QS} تنش برشی، f_{QT} تنش پیچشی و u از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$u = \frac{v}{rt} \qquad (۵-۲۲)$$

که در این رابطه r شعاع متوسط مقطع به سانتیمتر و t ضخامت مقطع به سانتیمتر می‌باشد، پس از محاسبه مقدار تنش ماکزیمم مقدار درصد آرماتور حلقوی مقطع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\rho' = \frac{\eta\,(f_{QS} + f_{QT}\,(max))}{0.85\,f_y} \qquad (۵-۲۳)$$

که در این رابطه η ضریب بار بوده و برای برش وارده در اثر نیروی زلزله $\eta = 1.32$، برای برش در اثر نیروی باد $\eta = 1.2$ می‌باشد.

در صورتیکه تعداد بازشوهای دودکش بیشتر از ۲ عدد باشد، مقدار تنش ماکزیمم در پوسته بتنی از

روشهای مقاومت مصالح محاسبه می‌گردد.

۵-۱-۴- محدودیتهای طراحی

۵-۱-۴-۱- پوسته بتنی

۵-۱-۴-۱-۱- حداقل ضخامت پوسته بتنی ۲۰ سانتیمتر می‌باشد

۵-۱-۴-۱-۲- در صورتیکه قطر داخلی پوسته از ۸/۴ متر بیشتر گردد به ازاء هر متر افزایش قطر یک سانتیمتر به ضخامت حداقل پوسته اضافه می‌گردد.

۵-۱-۴-۱-۳- در صورتیکه در هنگام ساخت احتیاج به بازشوهای دسترسی موقت در پوسته بتنی باشد، این بازشوها باید در طراحی بصورت بازشوهای دائمی درنظر گرفته شوند.

۵-۱-۴-۲- آرماتورگذاری

۵-۱-۴-۲-۱- مقدار آرماتور عمودی نباید از ۰/۰۰۲۵ سطح مقطع بتن کمتر باشد.

۵-۱-۴-۲-۲- هنگامی که از دو لایه آرماتور عمودی استفاده می‌گردد، حداقل ۵۰ درصد آرماتورها در لایه خارجی قرار داده شود.

۵-۱-۴-۲-۳- در پوسته‌های با یک لایه آرماتورگذاری و یا لایه خارجی پوسته‌های با دو لایه آرماتورگذاری، شماره آرماتور عمودی نباید از ۱۴ϕکمتر باشد. همچنین فاصله بین دو آرماتور خارجی نباید از ۳۰ سانتیمتر بیشتر باشد.

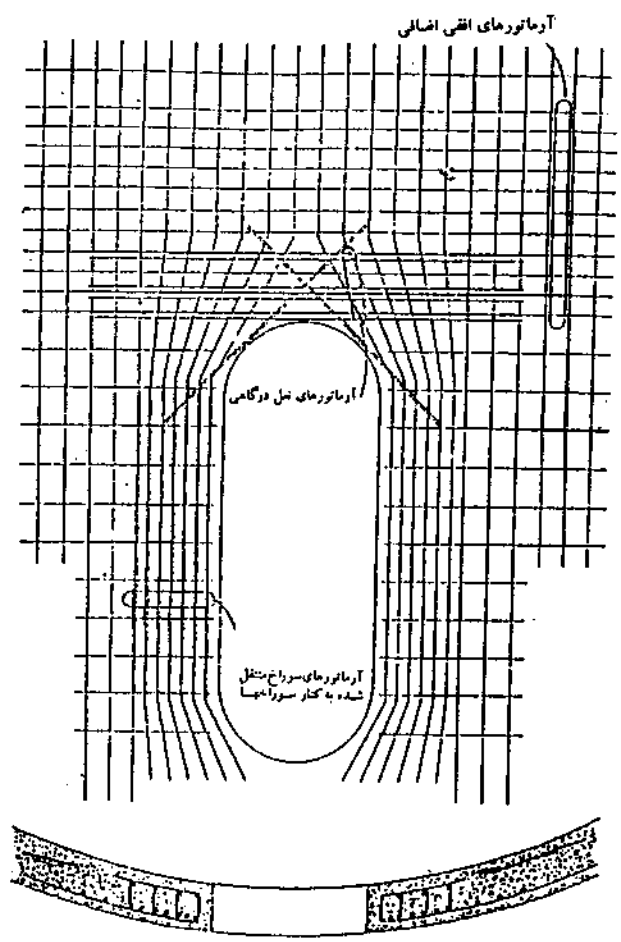
۵-۱-۴-۲-۴- در هنگامی که لایه داخلی آرماتور در پوسته وجود دارد شماره آرماتور نباید از ۱۴ϕکمتر باشد و فاصله بین دو آرماتور نباید بیشتر از ۶۰ سانتیمتر باشد.

۵-۱-۴-۲-۵- مقدار حداقل آرماتور حلقوی ۰/۰۰۲ سطح بتن می‌باشد و هنگامی که از دو لایه آرماتور استفاده می‌شود مقدار آرماتور هر لایه نباید از ۰/۰۰۱ سطح بتن کمتر باشد.

۵-۱-۴-۲-۶- در پوسته‌های با یک لایه آرماتورگذاری و یا لایه خارجی پوسته‌های با دو لایه آرماتورگذاری شماره آرماتورهای حلقوی نباید از ۱۰ϕکمتر باشد. همچنین فاصله بین دو آرماتور نباید بیشتر از ۳۰ سانتیمتر یا ضخامت دودکش (هر کدام که کمتر است) باشد.

۵ـ۱ـ۴ـ۲ـ۷ـ مقدار آرماتور حلقوی در $2d_{(h)}/5$ از بالای دودکش ($d_{(h)}$ قطر دودکش در راس) یا ۲/۵ متری بالای دودکش (هرکدام که بزرگتر است) باید دو برابر مقدار تعیین شده در طراحی آرماتورهای حلقوی باشد.

۵ـ۱ـ۴ـ۲ـ۸ـ در اطراف و گوشه‌های بازشو باید آرماتورهای اضافی قرار داده شود، نحوه قرار دادن آرماتورها در شکل (۵ـ۲) نشان داده شده است.



شکل ۵ـ۲ـ نحوه قرار دادن آرماتورها در اطراف بازشو

در اطراف بازشوها آرماتور عمودی قرار داده می‌شود که مساحتی معادل با حداقل ۵۰٪ آرماتورهای عمودی محاسبه شده برای قسمت قطع شده توسط بازشوها را دارند (کل آرماتور بکار رفته معادل ۱/۵ برابر آرماتور محاسباتی می‌باشد).

۵-۱-۴-۲-۹- در بالا و پایین بازشوها نیز آرماتورهای حلقوی اضافی قرار داده می‌شود که مساحتی معادل با حداقل ۵۰٪ آرماتورهای حلقوی محاسبه شده برای قسمت قطع شده توسط بازشوها را دارند، ولی مساحت مربوط به این فولاد اضافی در قسمت فوقانی و تحتانی نباید از مقدار محاسبه شده توسط رابطه (۵-۲۴) کمتر باشد.

$$A_S = \frac{0.06 f'_c \, t\lambda}{fy} \qquad (۲۴-۵)$$

که در این رابطه f'_c مقاومت فشاری بتن ، f_y تنش جاری شدن فولاد، t ضخامت پوسته به سانتیمتر و λ عرض بازشو به سانتیمتر می‌باشد. از این مقدار آرماتور ۵۰٪ در بالای بازشو و ۵۰٪ در پایین بازشو قرار داده می‌شود.

۵-۱-۴-۲-۱۰- برای بازشوهای بیشتر از ۶۰ سانتیمتر در گوشه بازشو آرماتورهایی بصورت مورب قرار داده می‌شود که مجموع مساحت آنها ۰/۲ ضخامت پوسته می‌باشد.

۵-۱-۵- علاوه بر ضوابط و محدودیتهای ذکر شده در این فصل در طراحی دودکشهای بتنی نکات و مسائلی چند وجود دارد که توجه به آنها بر میزان دقت طراحی خواهد افزود. این مطالب در فصل هفتم از این دستورالعمل ارائه شده است.

۵-۲- دودکش فلزی خود ایستا

۵-۲-۱- کلیات

طراحی پوسته فولادی و برج فولادی نگهدارنده دودرو به روش تنش مجاز و مطابق ضوابط استانداردهای ملی....[1] صورت می‌گیرد، مگر در مواردی که در این استاندارد تصریح شده است.

۱- تا زمان تدوین استاندارد ملی، استانداردهای ASCE و AISC مورد عمل می‌باشد.

۵ـ۲ـ۲ـ ترکیبات بارگذاری و ضرایب اطمینان

الف) $D + T + W/4$	F.S. = 2	
ب) $D + T + W$	F.S. = 1.5	(۲۵ـ۵)
ج) $D + T + E$	F.S. = 1.5	
د) $D + T^* + \frac{W}{4}$	F.S. = 1.33	

T^* = بار حرارتی ناشی از کارکرد غیرعادی دودکش و سایر پارامترها مشابه بند ۵ـ۱ـ۲ـ می‌باشد.

۵ـ۲ـ۳ـ تنش‌های مجاز

۵ـ۲ـ۳ـ۱ـ *تنش مجاز فشاری پوسته فولادی*

$$f_{cl} = \frac{1}{8} E \frac{t}{R} y \left(\frac{1}{F.S.}\right) \qquad 0 \le \frac{t}{R} \le \frac{8F_p}{E}$$

$$f_{cl} = \left[F_y - K_s (F_y - F_p)\right] y \left(\frac{1}{F.S.}\right) \qquad \frac{8F_p}{E} \le \frac{t}{R} \le \frac{20F_y}{E} \qquad (۲۶ـ۵)$$

$$f_{cl} = F_y \cdot y \left(\frac{1}{F.S.}\right) \qquad \frac{t}{R} \ge \frac{20F_y}{E}$$

که در این روابط :

$$K_s = \left[\frac{\frac{20F_y}{E} - \frac{t}{R}}{\frac{20F_y}{E} - \frac{8F_p}{E}} \right]^2$$

$$\begin{cases} y = 1.0 & \frac{L'}{r} \le 60 \quad , \quad F_y \le 350MPa \\ y = \frac{21600}{18000 + (L'/r)^2} & 120 > \frac{L'}{r} > 60 \quad , \quad F_y \le 350MPa \end{cases}$$

f_{cl} : (MPa) تنش مجاز فشاری

f_y : (MPa) تنش جاری شدن فولاد در دمای متوسط پوسته طبق جدول (۲ـ۱)

$F_p = 0.7\ F_y$ (MPa) تنش حد تناسب در دمای متوسط پوسته

E : مدول الاستیسیته فولاد در دمای متوسط پوسته (MPa) (طبق جدول ۲ـ۱)

t : (mm) ضخامت پوسته

R : (mm) شعاع پوسته استوانه‌ای

F.S. : ضریب اطمینان (مطابق بند ۵-۲-۲)

L′ : (mm) فاصله عمودی بین دو تکیه‌گاه جانبی

r : (mm) شعاع ژیراسیون مقطع پوسته استوانه‌ای

۵-۲-۳-۲- تنش مجاز کششی پوسته فولادی

تنش مجاز کششی در پوسته فولادی استوانه‌ای از رابطه ۵-۲۷ قابل محاسبه است :

$$\text{تنش مجاز کششی} = \left(\frac{F_y}{F.S.} \times e\right) \qquad (۵-۲۷)$$

که در این رابطه e ، ضریب کارایی اتصالات جوشی است و برابر است با :

برای جوش نفوذی کامل در حالتی که کیفیت جوش با روشهای پرتونگاری کنترل شود.

$e = 0.85$

برای جوش نفوذی کامل در حالتی که کیفیت جوش با چشم کنترل می‌شود :

$e = 0.70$

۵-۲-۳-۳- تنش مجاز خمشی پوسته فولادی

تنشهایی که در اثر لنگر خمشی بوجود می‌آیند به مولفه‌های کششی و فشاری تبدیل می‌شوند که باید محدود به تنشهای مجاز فشاری یا کششی ارائه شده در قسمتهای قبل باشند.

۵-۲-۳-۴- تنش مجاز حلقوی پوسته

تنش مجاز در جهت حلقوی از روابط ۵-۲۸ قابل محاسبه است

$$f_{cc} = \frac{0.92\ E\ (t/R)^{3/2}}{F.S.\ (L_s/R)} \qquad 0 \le \frac{t}{R} \le \frac{8F_p}{E}$$

(۲۸-۵)

$$f_{cc} = \frac{0.92\ E\ (t/R)^{3/2}}{F.S.\ (L_s/R)}\ K \qquad \frac{8F_p}{E} \le \frac{t}{R} \le \frac{20F_y}{E}$$

$$K = 3.36\ \frac{F_y.R}{E.t} + 0.465 - 0.0116\ \frac{E.t}{F_y.R}$$

f_{cc} = تنش مجاز در جهت حلقوی

L_s = فاصله سخت کننده‌های حلقوی از یکدیگر (بند ۵-۲-۴)

t = ضخامت سخت کننده‌ها یا جداره پوسته، هرکدام کمتر باشد

R = شعاع استوانه دودرو

۵-۲-۳-۵- ترکیب تنشها

ترکیب تنشهای طولی و حلقوی باید با استفاده از رابطه ۵-۲۹ کنترل شود :

$$\frac{f_a}{f_{cl}} + \left(\frac{f_c}{f_{cc}}\right)^2 \le 1 \qquad (۲۹-۵)$$

f_a = تنش طولی فشاری محاسبه شده در بدنه پوسته استوانه‌ای

f_c = تنش محیطی محاسبه شده در اثر اختلاف فشار موجود

f_{cl} = تنش مجاز فشاری طبق بند ۵-۲-۳-۱

f_{cc} = تنش مجاز حلقوی طبق بند ۵-۲-۳-۴

۵-۲-۴- سخت کننده‌های حلقوی

۵-۲-۴-۱- کلیات

تقویتهای حلقوی باید گونه‌ای طراحی شوند که تنش‌های حلقوی ایجاد شده در پوسته فولادی در محدوده تنش‌های مجاز ارائه شده در بند ۵-۲-۳-۴ باشد، همچنین ضوابط بند ۵-۲-۴-۲ را تامین نماید.

۵ـ۲ـ۴ـ۲ـ ضوابط و محدودیت‌های طراحی سخت کننده‌های حلقوی

۵ـ۲ـ۴ـ۲ـ *الف* ـ محدودیت‌های مربوط به فاصله سخت‌کننده‌ها (L_s)

حداکثر فاصله تقویتها از رابطه ۵ـ۳۰ قابل محاسبه است :

$$L_s \le 4.59 \sqrt{\frac{D.t}{\rho_w}} \qquad (۳۰ـ۵)$$

همچنین این فاصله نباید از ۱/۵ برابر قطر دودرو و یا $۷/۶۲^{m}$ بیشتر باشد.

L_s = فاصله تقویت‌های حلقوی (cm)

D = قطر متوسط استوانه فولادی (cm)

t = ضخامت تقویت‌کننده یا جداره دودرو هرکدام که کمتر باشد (cm)

ρ_w = فشار باد وارد بر پوسته (kg/cm^2)

۵ـ۲ـ۴ـ۲ـ ب ـ ممان اینرسی تقویت کننده‌ها نباید از مقدار بدست آمده از رابطه ۵ـ۳۱ کمتر باشد.

$$I = 12 \times 10^6 \times F.S. \times \frac{P_e.L_s.\ \bar{R}^3}{E} \qquad F.S. \ge 4 \qquad (۳۱ـ۵)$$

که در این فرمول

F.S = ضریب اطمینان

I = ممان اینرسی حداقل مقطع (mm^4)

L_s = فاصله بین سخت‌کننده‌های حلقوی (mm)

$\bar{R}$ = شعاع متوسط حلقه تقویتی (mm)

E = مدول الاستیسیته فولاد در دمای موردنظر (MPa)

P_e = فشار خارجی برحسب سانتیمتر آب

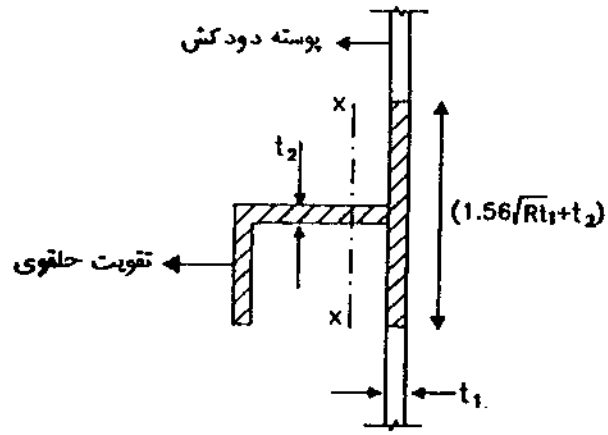
۵ـ۲ـ۴ـ۲ـ ج ـ مساحت حلقه تقویتی باید مساوی یا بیش از مقدار بدست آمده از رابطه ۵ـ۳۲ باشد.

$$A \geq 3.6 \times 10^{-5} \times F.S. \times \frac{H.\ \bar{R}.\ Ls}{F_y} \qquad F.S. \geq 2 \qquad (۳۲-۵)$$

A = سطح مقطع سخت‌کننده و بخشی از پوسته (mm^2) ـ مطابق بند ۵ـ۲ـ۴ـ۲ـد

Fy = تنش جاری شدن فولاد در دمای موردنظر (MPa)

۵ـ۲ـ۴ـ۲ـد ـ در محاسبه مشخصات مقطع سخت‌کننده‌های حلقوی قسمتی از پوسته دودکش بطول $1.56\sqrt{Rt_1} + t_2$ نیز درنظر گرفته شود ـ (شکل ۵ـ۲)



شکل ۵ـ۲ـ مقطع دودرو و سخت کننده حلقوی

۵ـ۲ـ۴ـ۲ـه ـ ضوابط سخت کننده‌های حلقوی در محل اتصال مخروط به استوانه

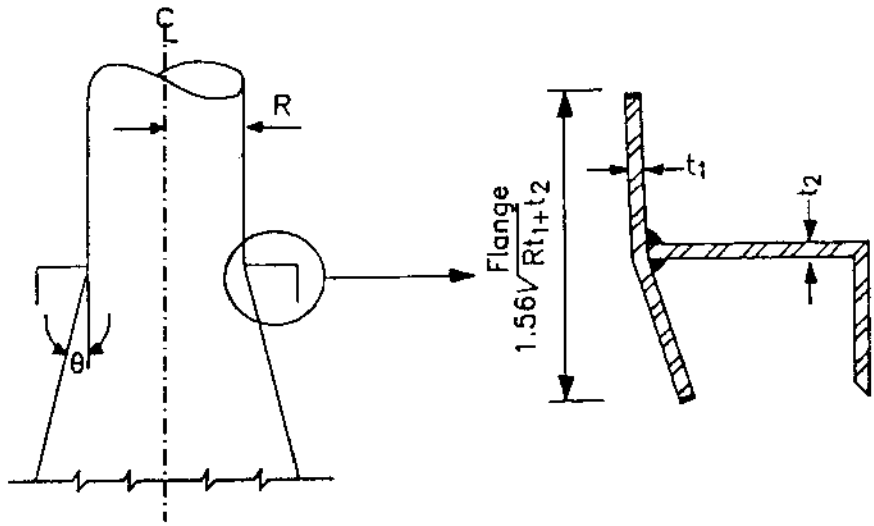
در مواردی که به‌منظور پایداری بیشتر، قسمت پایین را به شکل یک مخروط ناقص می‌سازند وجود نیروهای غشایی باعث می‌شود در حلقه تقویتی تنش فشاری یا کششی بوجود آید. کل نیروی فشاری در حلقه تقویتی برابر است با :

$$Q_c = R\ \left[N_x \tan\theta + 0.78\ P_e\left(\sqrt{Rt_1} + \mathrm{Sec}\,\theta\sqrt{Rt_2\ \mathrm{Sec}\theta}\right)\right] \qquad (۳۳-۵)$$

سطح مقطع مورد نیاز برای تقویت‌ها برای تحمل این نیرو از روابط ۵ـ۳۴ بدست می‌آید :

$$A_x = \frac{2Q_c}{f_y}$$

$$I_x = \frac{4Q_cR^2}{3E} \qquad (۳۴-۵)$$



شکل ۵-۳- سخت کننده محل اتصال مخروط به استوانه

مقدار نیروی برشی در تقویت از رابطه ۵-۳۵ محاسبه می‌شود.

$$Q_t = R\left[N_x \operatorname{tg}\theta + 0.78\, P_i\left(\sqrt{Rt_1} + \operatorname{Sec} P_i R t_2 \operatorname{Sec}\theta\right)\right] \qquad (۳۵\text{-}۵)$$

$$A_x = \frac{Q_t}{eF_y} F.S. \qquad (۳۶\text{-}۵)$$

در فرمول‌های فوق :

N_x : نیروی غشایی در استوانه و در محل اتصال آن با مخروط که حاصل از لنگر خمشی ناشی از باد یا زلزله، حرارت و نیروی محوری ناشی از بار مرده است.

A_x : مساحت مقطع مرکب (شکل ۵-۳)

I_x : ممان اینرسی مقطع مرکب

P_i : فشار داخلی

P_e : فشار وارده از خارج

t_1 : ضخامت پوسته درودرو در قسمت استوانه‌ای

t_2 : ضخامت پوسته درودرو در قسمت مخروطی

R : شعاع متوسط حلقه تقویت

۵-۲-۵- سخت‌کننده‌های قائم

۵-۲-۵-۱- تنش مجاز فشاری در سخت‌کننده قائم

سخت‌کننده‌های قائم مانند یک ستون که تحت اثر بارهای قائم ناشی از وزن پوسته و لنگر خمشی قرار دارد طراحی می‌شود. تنش مجاز فشاری در چنین شرایطی از روابط ۵-۳۷ بدست می‌آید.

$$f_a = \frac{Q_a\,[1-(kl/r)^2/2c_c^2]}{F.S.}\,F_y \qquad \frac{KL}{r} \le c_c$$

(۵-۳۷)

$$f_a = \frac{\pi^2 E}{(kl/r)^2\,F.S.} \qquad \frac{KL}{r} \ge c_c$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q_a.F_y}}$$

$$Q_a = \frac{\text{مساحت موثر}}{\text{مساحت واقعی}}$$

مساحت موثر = $t_1.b_e$ + مساحت تقویت قائم بدون احتساب سطح موثر پوسته

مساحت واقعی = $t_1.b$ + مساحت تقویت بدون احتساب سطح موثر پوسته

$$b_e = 1.9\sqrt{\frac{E}{F.S.f}}\left[1-\frac{44.3}{(b/t)}\sqrt{\frac{E}{F.S.f}}\right]t_1 \le b \qquad (۵-۳۸)$$

b = فاصله بین دو سخت کننده قائم

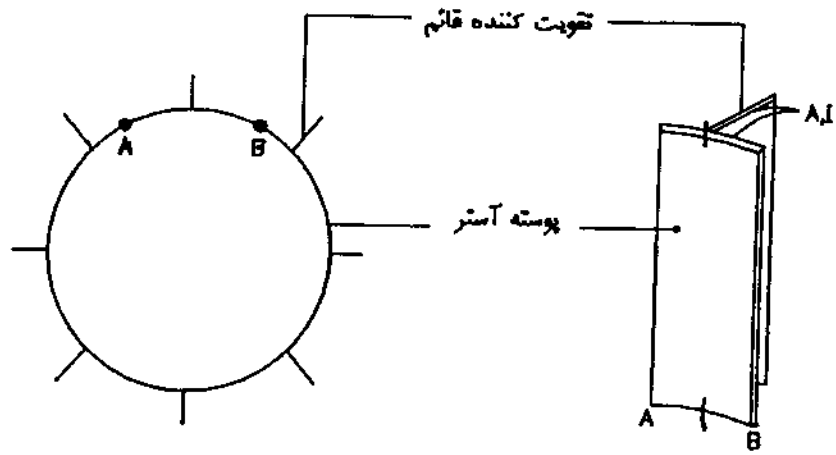
f = تنش‌فشاری قائم در مقطع‌مرکب سخت‌کننده و پوسته‌فولادی با فرض‌اینکه تماما" موثرشود $(b_e=b)$

KL = طول موثر ستون مفروض که بر مبنای فاصله بین دو سخت کننده محیطی بدست می‌آید.

r = شعاع ژیراسیون مقطع مرکب

t_1 = ضخامت پوسته

f_a = تنش مجاز فشاری تقویت کننده قائم



شکل ۵ـ۴ـ تقویت کننده‌های قائم دودرو

۵ـ۲ـ۵ـ۲ـ محدودیت فواصل و ممان اینرسی تقویت‌های قائم

فاصله بین دو تقویت قائم باید بین $4\sqrt{Rt_1}$, $10\sqrt{Rt_1}$ محدود باشد. همچنین نسبت ممان اینرسی مقطع مرکب تشکیل شده توسط سخت‌کننده و پوسته فولادی به ممان اینرسی پوسته بدون سخت‌کننده باید از ۵۰۰ بزرگتر باشد.

۵ـ۲ـ۶ـ تقویت‌های اطراف بازشو

با توجه به اینکه ابعاد بازشوهای ورودی دود قابل توجه می‌باشند، اثر قابل ملاحظه‌ای بر توزیع تنشها در جداره دودرو می‌گذارند. اطراف این بازشوها باید به نحوی تقویت شود که در ظرفیت کلی مقطع دراثر وجود بازشو تغییری حاصل نشود.

۵ـ۲ـ۷ـ محدودیت‌های طراحی

۵ـ۲ـ۷ـ۱ـ حداقل ضخامت

حداقل ضخامت بدنه پوسته، اتصالات و سخت‌کننده‌ها ۶/۴mm می‌باشد. این مقدار شامل اضافه ضخامت مربوط به خوردگی نمی‌باشد.

۵ـ۲ـ۷ـ۲ـ ضخامت اضافی برای قسمتهایی که در معرض خوردگی هستند.

۵ـ۲ـ۷ـ۲ـ الف ـ کلیات

به‌منظور جلوگیری ازکاهش مقاومت تدریجی بدنه دودکش و سایر قسمتهایی که در معرض زنگ‌زدگی و خوردگی قرار دارند، باید یک مقدار ضخامت اضافی درنظر گرفته شود که این مقدار به ضخامتهای حاصل از محاسبات افزوده می‌شود. این ضخامت اضافی باید در محاسبه بار مرده پوسته فولادی درنظر گرفته شود

جدول ۵ـ۲ـ میزان افزایش ضخامت برای درنظر گرفتن خوردگی

درجه خوردگی نوع فولاد	میزان خوردگی (mm)	
خوردگی خارجی (Ce)	پس از ۱۰ سال	پس از ۲۰ سال
۱- فولاد کاملاً رنگ آمیز شده	—	—
۲- فولاد محافظت شده توسط پوشش عایق	—	—
۳- فولاد محافظت نشده	۱/۵	۳/۰
٤- فولاد نسبتاً محافظت شده	۱/۰	۲/۰
۵- فولاد ضدزنگ	—	—
خوردگی داخلی (Ci)	پس از ۱۰ سال	پس از ۲۰ سال
۱- گاز عبوری اثرات خوردگی ندارد	—	—
۲- گاز عبوری اثرات خوردگی متوسط دارد	۱/۵	۳/۰
۳- گاز عبوری اثرات خوردگی نسبتاً بالا دارد	۳/۰	۵/۰

ولی هرگز افزایش ظرفیت باربری بدنه دودکش در اثر این اضافه ضخامت در محاسبات منظور نمی‌شود.

۵ـ۲ـ۷ـ۲ـب ـ میزان‌افزایش ضخامت دراثر خوردگی‌داخلی و خارجی در جدول (۵ـ۲) آورده شده است.

۵ـ۲ـ۷ـ۳ـ میزان انحراف دودکش از حالت شاقولی در هر ارتفاع هنگام نصب، نباید بیشتر از ۲/۵ سانتیمتر یا $\frac{1}{1000}$ ارتفاع (هرکدام بزرگتر است) باشد.

۵ـ۲ـ۸ـ طراحی صفحه زیر سری

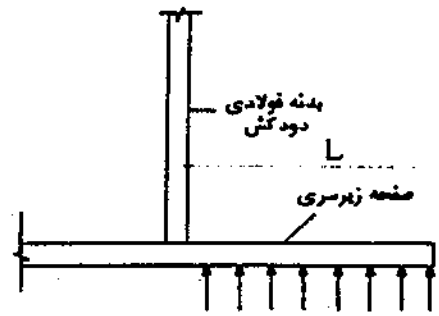
صفحات زیر سری ممکن است به دو شکل کلی زیر طراحی شوند.

۵ـ۲ـ۸ـ*الف ـ صفحه زیرسری بدون لچکی تقویت*

ضخامت ورق زیر سری در این حالت از رابطه ۵ـ۳۹ بدست می‌آید :

$$t_a = L \sqrt{\frac{3f_c}{f_{all}}} \qquad (۳۹ـ۵)$$

که در این رابطه f_c حداکثر تنش در زیر صفحه زیر سری است و f_{all} تنش مجاز خمشی ورق زیر سری و L طول نشان داده شده در شکل ۵ـ۵ می‌باشد.



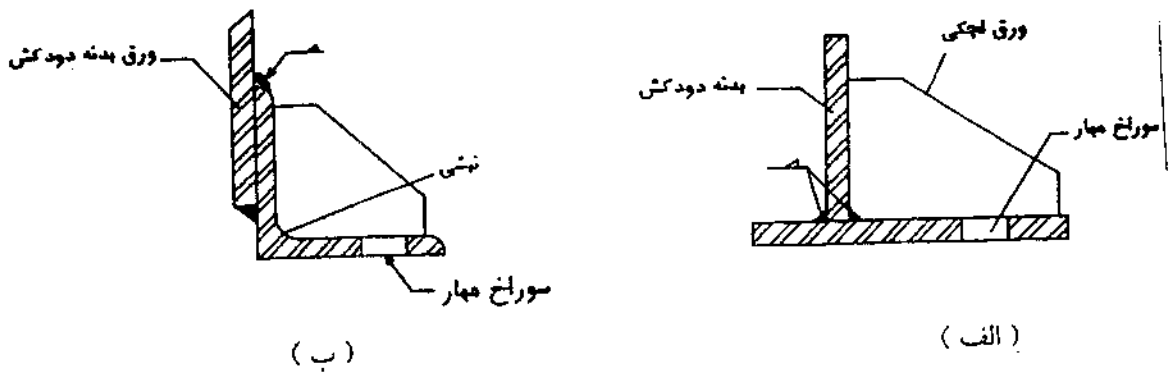
شکل ۵ـ۵ـ صفحه زیر سری بدون لچکی

۵ـ۲ـ۸ـ*ب ـ صفحه زیر سری با لچکی تقویت*

ضخامت ورق زیر سری در این حالت از رابطه ۵ـ۴۰ بدست می‌آید :

$$t_b = \sqrt{\frac{6M_{max}}{f_{all}}} \qquad (۴۰-۵)$$

و مقدار M_{max} از جدول ۵-۳ بدست می‌آید.



شکل ۵-۶- صفحات زیر سری با لچکی

جدول ۵-۳- حداکثر لنگرهای خمشی در صفحات زیر سری با لچکی

$\frac{L}{b}$	$M_x \Big\vert_{y=L}^{x=b/2}$	$M_y \Big\vert_{y=0}^{x=b/2}$
0	0	$-0.500\ f_c L^2$
$\frac{1}{3}$	$0.0078\ f_c b^2$	$-0.428\ f_c L^2$
$\frac{1}{2}$	$0.0293\ f_c b^2$	$-0.319\ f_c L^2$
$\frac{2}{3}$	$0.0558\ f_c b^2$	$-0.227\ f_c L^2$
1	$0.0972\ f_c b^2$	$-0.119\ f_c L^2$
$\frac{3}{2}$	$0.1230\ f_c b^2$	$-0.124\ f_c L^2$
2	$0.1310\ f_c b^2$	$-0.125 f_c L^2$
3	$0.1330\ f_c b^2$	$-0.125\ f_c L^2$
∞	$0.1330\ f_c b^2$	$-0.125\ f_c L^2$

b : فاصله لچکی ها در جهت x (عمود بر شعاع دودکش)

L : طول صفحه زیرسری از محل اتصال دودکش تا لبه آزاد آن در جهت y (در جهت شعاع دودکش)

۵ـ۳ـ دودروی فولادی

۵ـ۳ـ۱ـ کلیات

دودروها در دودکش‌های بتنی و فولادی باید مطابق ضوابط ارائه شده در بند ۵ـ۲ و تحت بارهای ذکر شده در بند ۴ـ۳ـ۴ طراحی شوند.

۵ـ۳ـ۲ـ تکیه‌گاههای جانبی

۵ـ۳ـ۲ـ۱ـ *کلیات*

در دودروهای مهار شده توسط یک سازه جانبی (پوسته بتنی یا برج فولادی)، نحوه انتقال نیروهای جانبی از سازه نگهدارنده به دودرو و بالعکس از اهمیت خاصی برخوردار است. به این منظور لازم است تکیه گاههای جانبی در ترازهای مختلف طراحی شود.

۵ـ۳ـ۲ـ۲ـ در طراحی تکیه گاههای جانبی به‌منظور درنظرگرفتن اثر ضربه و تمرکز بار، عکس‌العمل‌های جانبی دودرو باید با اعمال ضریب ۱/۵ درنظرگرفته شوند. طراحی تکیه گاههای جانبی کلا" براساس ضوابط AISC انجام گیرد.

۵ـ۴ـ برج فولادی نگهدارنده دودرو

۵ـ۴ـ۱ـ کلیات

طراحی برج فولادی نگهدارنده دودرو باید کلا" مطابق ضوابط استاندارد AISC صورت گیرد.

۵ـ۴ـ۲ـ در طراحی برج فولادی می‌بایست کمانش موضعی اعضای تشکیل‌دهنده برج فولادی (پروفیل لوله) مدنظر قرار گیرد.

۵ـ۴ـ۳ـ در طراحی برج فولادی محدودیت‌های لاغری اعضای مختلف مطابق ضوابط استاندارد AISC باید مدنظر قرار گیرد.

۵ـ۴ـ۴ـ در طراحی برج فولادی کلیه اعضا باید قابلیت تحمل بارهایی که بصورت متمرکز یا گسترده حین تعمیرات با ساخت برج فولادی به آنها اعمال می‌شود را داشته باشند.

۵-۴-۵- برای کنترل ارتعاش اعضای تشکیل دهنده برج فولادی، تحت اثر بار باد می‌بایست روابط (۵-۴۱) و (۵-۴۲) برقرار باشد.

$$V_r = \frac{Df}{S} > 20 \text{ m/sec} \qquad (۴۱-۵)$$

$$R_e = \frac{V_r D}{\upsilon} > 4\times10^5 \qquad (۴۲-۵)$$

که در آن :

V_r = سرعت باد تشدید (متر بر ثانیه)

D = قطر لوله (متر)

f = فرکانس طبیعی عضو موردنظر (هرتز)

s = عدد استروهال[1] که برای پروفیل لوله برابر با ۰/۱۸ درنظر گرفته می‌شود

υ = ویسکوزیته هوا که برابر با $۱/۵\times۱۰^{-۵}$ متر مربع بر ثانیه می‌باشد.

R_e = عدد رینولدز

1) Strouhal

فصل ششم
تنشهای حرارتی در پوسته بتنی دودکش‌ها

۶ـ۱ـ کلیات

در این آئین نامه اثرات ناشی از حرارت به صورت کاهش در مقاومت مجاز بتن و فولاد در نظر گرفته می‌شود. این روش باعث حذف مولفه حرارت در ترکیبات بارگذاری خواهد شد.

۶ـ۲ـ تنشهای حرارتی قائم

برای تنشهای حرارتی قائم، مقادیر f_y و f'_c با مقادیر زیر جایگزین می‌شود.

$$f'_y(v) = f_y - \frac{1.4}{1 + Y_1}(f_{stv} - Y_1 f''_{stv}) \qquad (۱ـ۶)$$

$$f'_c(v) = f'_c - 1.4 f''_{ctv} \qquad (۲ـ۶)$$

که در این روابط :

Y_1 = نسبت سطح مقطع آرماتور در جداره داخلی به سطح مقطع آرماتور در جداره خارجی

$$f_{stv} = \lambda (Y_2 - C) \cdot T_c \cdot E_s \qquad (۳ـ۶)$$

Y_2 = نسبت فاصله بین جداره داخلی دودکش تا لایه خارجی آرماتورگذاری به ضخامت پوسته بتنی

λ = ضریب انبساط حرارتی بتن و فولاد ($۶/۵\times۱۰^{-۶}$ به ازای هر درجه فارنهایت و $۱/۱۷\times۱۰^{-۵}$ به ازای هر درجه سانتیگراد می‌باشد)

T_c = اختلاف دمای داخل و خارج پوسته بتنی

$$C = -\rho m (1 + Y_1) + \sqrt{(\rho m (Y_1 + 1))^2 + 2\rho m (Y_2 + Y_1 (1 - Y_2))} \qquad (۴ـ۶)$$

$$m = \frac{E_s}{E_c}$$

$\rho =$ نسبت آرماتور در جداره خارجی به کل سطح مقطع بتن

$$f''_{stv} = \lambda\ (C - 1 + Y_2)\ .\ T_c\ .\ E_s \qquad (۶-۵)$$

$$f''_{ctv} = \lambda\ .\ C\ .\ T_c\ .\ E_c \qquad (۶-۶)$$

مقدار T_c با توجه به نوع و نحوه عایق بندی از روابط (۶-۷) تعیین می‌گردد.

۱- دودکشهای بدون دودرو یا دودکشهای دارای چند دودروی محصور شده در یک پوسته بتنی[1]

$$T_c = \frac{td_{ci}}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{k_i} + \frac{td_{ci}}{C_c d_c} + \frac{d_{ci}}{K_o d_{co}}}\right) \qquad (۶-۷-\text{الف})$$

۲- دودکشهای با دودرو که فضای بین دودرو و پوسته بتنی بطور کامل با عایق پر شده باشد.

$$T_c = \frac{td_m}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{k_i} + \frac{t_b d_m}{C_b d_b} + \frac{t_s d_m}{C_s d_s} + \frac{td_m}{C_c d_c} + \frac{d_m}{k_o d_{co}}}\right) \qquad (۶-۷-\text{ب})$$

۳- دودکشهای با دودرو که فضای بین دودرو و پوسته هواکشی و یا تهویه نشده باشد.

$$T_c = \frac{td_m}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{k_i} + \frac{t_b d_m}{C_b d_b} + \frac{d_m}{k_r d_b} + \frac{td_m}{C_c d_c} + \frac{d_m}{k_o d_{co}}}\right) \qquad (۶-۷-\text{ج})$$

۴- برای دودکشهای با دودرو که فضای بین دودرو و پوسته هواکشی یا تهویه شده باشد.

$$T_c = \frac{td_m}{C_c d_c}\left(\frac{T_i - T_o}{\frac{1}{r_q k_i} + \frac{t_b d_m}{r_q C_b d_b} + \frac{d_m}{k_s d_s} + \frac{td_m}{C_c d_c} + \frac{d_m}{k_o d_{co}}}\right) \qquad (۶-۷-\text{د})$$

۱- فصل ششم تفسیر استاندارد

در فرمول فوق:

r_q: نسبت انتقال حرارت در طول جداره پوسته به انتقال حرارت در طول جداره دودرو دودکش با وجود هوای تهویه شده در فضای بین

t: ضخامت پوسته بتنی (متر)

t_s: ضخامت فضای هوای بین یا ضخامت عایق بین دودرو و پوسته (متر)

t_b: ضخامت دودرو عایق بندی نشده و یا ضخامت عایق احاطه کننده دودرو فولادی (متر)

T_i: در دودکش‌های دارای یک دودرو، حداکثر درجه حرارت گاز عبوری از دودکش و در دودکش‌های دارای چند دودرو حداکثر دمای هوای محصور در پوسته بتنی

T_o: حداقل درجه حرارت فضای محیط بیرونی دودکش (°c)

C_c: قابلیت هدایت حرارت از جداره پوسته بتنی (kcal/m.hr.°c)

C_b: قابلیت هدایت حرارت از جداره دودرو عایق بندی نشده یا عایق احاطه کننده دودروی فولادی (kcal/m.hr.°c)

C_s: قابلیت هدایت حرارت از جداره عایق پرکننده فضای بین دودرو و پوسته (kcal/m.hr.°c)

K_i: ضریب جابجایی حرارت از گاز به سطح داخلی دودرو دودکش (kcal/m.hr.°c)

K_o: ضریب جابجایی حرارت از سطح خارجی پوسته به فضای محیط بیرونی (kcal/m.hr.°c)

K_r: ضریب جابجایی حرارت به صورت تشعشعی[1] بین سطح خارجی دودرو و سطح داخلی پوسته بتنی (kcal/m.hr.°c)

K_s: ضریب جابجایی حرارت بین سطح خارجی دودرو و سطح داخلی پوسته برای دودکشهایی که فضای هوای بین دودرو و پوسته تهویه شود. (kcal/m.hr.°c)

d_m: قطر داخلی دودرو بدون عایق بندی و یا قطر داخلی عایق احاطه کننده دودرو فولادی (متر)

d_b: قطر متوسط دودرو عایق بندی نشده و یا قطر متوسط عایق احاطه کننده دودرو فولادی (متر)

d_s: قطر متوسط فضای بین دودرو و پوسته (متر)

1-Radiational

d_{ci}: قطر داخلی پوسته بتنی (متر)

d_c: قطر متوسط پوسته بتنی (متر)

d_{co}: قطر خارجی پوسته بتنی (متر)

۶ـ۳ـ تنشهای حرارتی حلقوی

برای تنشهای حرارتی حلقوی، مقادیر f_y و f'_c با مقادیر زیر جایگزین می‌شوند:

$$f'_y = f_y - \frac{1.05}{1 + Y'_1} (f_{stc} - Y'_1 f''_{stc}) \qquad (۸ـ۶)$$

$$f''_c (c) = f'_c - 1.05 f''_{ctc} \qquad (۹ـ۶)$$

$$f_{stc} = \lambda (Y'_2 - C') . T_x . E_s \qquad (۱۰ـ۶)$$

$$f''_{stc} = \lambda . (C' - 1 + Y'_2) . T_x . E_s \qquad (۱۱ـ۶)$$

$$f''_{ctc} = \lambda . C' . T_x . E_c \qquad (۱۲ـ۶)$$

$$C' = \rho' m(Y'_1 + 1) + \sqrt{\rho' m(Y'_1 + 1)^2 + 2\rho' m[Y'_2 + Y'_1 (1 - Y'_2)]} \qquad (۱۳ـ۶)$$

که در روابط بالا C' و ρ' و Y'_1 و Y'_2 مانند C و ρ و Y_1 و Y_2 تعریف می‌گردند با این تفاوت که این پارامترها مربوط به طراحی در امتداد حلقوی می‌باشند.

فصل هفتم
مسائل خاص در طراحی دودکش‌های بتنی

۷ـ۱ـ کنترل تغییر مکان

حداکثر تغییر مکان انتهایی دودکش با رابطه زیر محدود می‌شود:

$$Y_{max} = \frac{h^{(1)}}{300} \qquad (۱ـ۷)$$

برای محاسبه تغییر مکان دودکش باید تغییر مکان دودکش در اثر خمش، تغییر مکان دودکش در اثر چرخش فونداسیون و تغییر مکان دودکش در اثر دمای تابش یکطرفه آفتاب با هم جمع گردند. نحوه محاسبه هر یک از تغییر مکانهای فوق به صورت زیر می‌باشد.

۷ـ۱ـ۱ـ تغییر مکان در اثر خمش

نیروی باد یا زلزله باعث ایجاد تغییر مکان در دودکش می‌شوند، این تغییر مکان با استفاده از روش تیر مزدوج یا روشهای اجزاء محدود قابل‌محاسبه می‌باشد که در فصل هشتم ـ(پیوست ۱) توضیح داده شده‌است.

۷ـ۱ـ۲ـ تغییر مکان در اثر چرخش فونداسیون

در اثر وزش باد یا زلزله خاک زیر فونداسیون دچار نشست آنی نامتقارن می‌گردد که نشست موجب می‌شود که تغییر مکان دودکش در اثر باد یا زلزله افزایش یابد و علاوه بر تغییر مکان خمشی، تغییر مکان صلبی نیز انجام دهد. این تغییر مکان با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$\Delta = \frac{hM_B}{K} \qquad (۲ـ۷)$$

که در این رابطه Δ تغییر مکان افقی دودکش، h ارتفاع دودکش هر دو به متر، M_B لنگر در اثر باد یا زلزله در فونداسیون برحسب $Kg - m$ و K سختی خاک زیر فونداسیون که از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$K = \frac{8\, E_s \cdot R^3}{6\,(1 - \nu^2)} \qquad (۳ـ۷)$$

که در این رابطه ν نسبت پواسون، R شعاع فونداسیون به متر، E_s مدول الاستیسیته خاک زیر فونداسیون

۱- پارامترهای Y_{max} و h هم واحد می‌باشند.

برحسب Kg/m^2 می‌باشد.

۷ـ۱ـ۳ـ تغییر مکان در اثر دمای تابش یکطرفه آفتاب

تابش آفتاب اختلاف دمایی در دو وجه دودکش ایجاد می‌کند که باعث ایجاد تغییر مکان در دودکش می‌شود، این تغییر مکان با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\Delta = \frac{\lambda \Delta t}{T} [H + \frac{D_T}{T} \ln (D_T/D_B)] \qquad (۴ـ۷)$$

$$T = (D_B - D_T) / h \qquad (۵ـ۷)$$

که در این روابط D_T قطر متوسط دودکش در رأس برحسب متر، D_B قطر متوسط دودکش در تراز فونداسیون و Δt نیز اختلاف دمای دو وجه دودکش می‌باشد. بقیه پارامترها نیز قبلاً توضیح داده شده‌اند.

۷ـ۲ـ افزایش لنگر قائم در اثر $P - \Delta$

اگر تغییر مکان دودکش به صورت $\Delta(z)$ در نظر گرفته شود اثرات $P - \Delta$ برای دودکش بدون دودرو به شکل زیر ظاهر خواهد شد.

$$M_{P-\Delta} = \int_H^h 2\pi r(z)\, t(z) \,.\, \gamma \,.\, \Delta(z)\, dz + F(z) \,.\, \Delta(z) \qquad (۶ـ۷)$$

که در این رابطه:

$M_{P-\Delta}$: لنگر ناشی از $P - \Delta$ در تراز H می‌باشد (Kg - m)

$r(z)$: شعاع متوسط دودکش در ارتفاع z (m)

$t(z)$: ضخامت متوسط دودکش در ارتفاع z (m)

γ: چگالی وزن پوسته (Kg/m^3)

h: ارتفاع دودکش (m)

H: تراز محاسبه اثر $P - \Delta$ (m)

$F(z)$: نیروی قائم ناشی از بارهای موضعی در ارتفاع z (kg)

$\Delta(z)$: تغییر مکان افقی در ارتفاع z (m)

در شرایطی که دودکش تحت بار زلزله می‌باشد، باید $\Delta'(z)$ که مطابق رابطه ۷ـ۷ بدست می‌آید جایگزین $\Delta(z)$ شود:

$$\Delta'(z) = 0.4R\ \Delta(z) \qquad (۷ـ۷)$$

که در آن R ضریب رفتار دودکش می‌باشد.

مقدار M_{P-D} باید به مقدار لنگر محاسباتی افزوده گردد. مقدار $M_{P-\Delta}$ باید به مقدار لنگر محاسباتی افزوده گردد. در صورتی که دودکش دارای دودرو نیز باشد، اثر لنگر $P - \Delta$ به صورت زیر ظاهر می‌گردد.

$$MT_{P-\Delta} = M_{P-\Delta} + n \int_{H}^{h} 2\pi r'(z)\ t'(z)\ .\ \gamma'.\ (z)\ .\ dz \qquad (۸ـ۷)$$

که در این رابطه n تعداد دودروها و $r'(z)$ و $t'(z)$ و γ' نیز مانند $r(z)$ و $t(z)$ و γ می‌باشند اما برای دودرو تعریف می‌شوند.

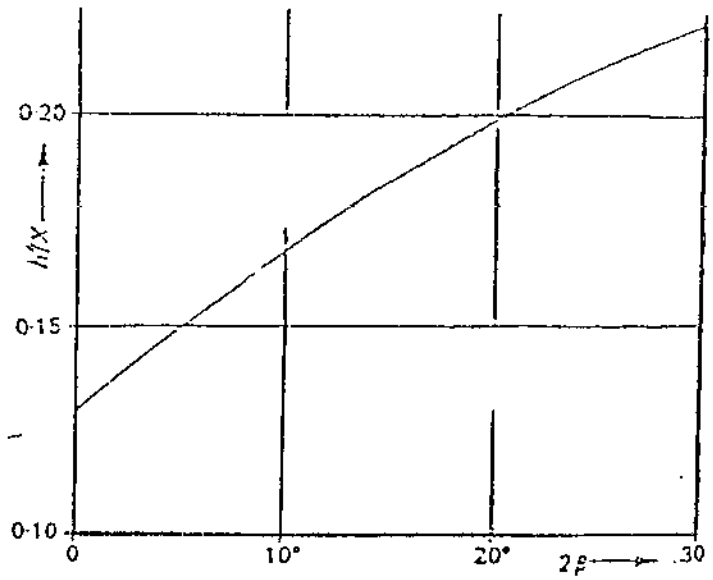
۷ـ۳ـ اثرات برش و پیچش در دودکشها

در قسمتهایی از دودکش که بازشو وجود ندارد، پیچش قابل صرفنظر کردن است اما مقدار برش می‌بایست کنترل شود، همچنین در قسمتهایی از دودکش که بازشو وجود دارد، علاوه بر تنش برشی، برشی ناشی از پیچش نیز وجود دارد که باید کنترل شود[۱]

۷ـ۴ـ بازشوهای با ارتفاع زیاد [10]

برای جلوگیری از اثر لنگرهای ثانویه لازم است که ارتفاع بازشوها از مقادیر تعیین شده در منحنی (۷ـ۱) کمتر باشد و در صورتی که ارتفاع بازشوها از مقادیر بحرانی بیشتر باشد باید با افزایش زاویه بازشو مقدار ارتفاع بحرانی افزایش داده شود، به نحوی که ارتفاع بازشو از ارتفاع بحرانی کمتر گردد. در صورتی که امکان اضافه نمودن زاویه بازشو وجود نداشته باشد باید اثر لنگرهای ثانویه را لحاظ نمود. به

۱- بند ۷ـ۳ـ از تفسیر استاندارد



شکل ۷ـ۱ـ مقدار ارتفاع بحرانی بازشو

این صورت که جهت بحرانی اعمال نیرو، عمود بر محور بازشوها خواهد بود.

$$X = \frac{M}{V}$$

h' = ارتفاع بازشو

β = نصف زاویه بازشو

M = لنگر وارده در محل بازشو

V = برش وارده در محل بازشو

۷ـ۵ـ کنترل عرض ترک

۷ـ۵ـ۱ـ کلیات

حداکثر عرض ترک برای قسمتهایی که قابل بازرسی هستند ۰/۳ mm و برای قسمتهایی که قابل بازرسی نیستند ۰/۱ mm می‌باشد.

۷ـ۵ـ۲ـ نحوه محاسبه عرض ترک

عرض ترک از رابطه ۷ـ۹ محاسبه می‌گردد.

$$C_\omega = \frac{3\, a_{cr}\, \varepsilon_1}{1 + \frac{2\,(a_{cr} - C)}{\eta}} \qquad (۹-۷)$$

که در این رابطه:

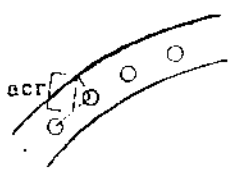
ε_1: کرنش محلی که در آن عرض ترک محاسبه می‌گردد.

C: پوشش بتنی آرماتور

η: پارامتری که با توجه به ترکیب بارگذاری محاسبه می‌شود

a_{cr}: مطابق شکل ۷-۲

t: ضخامت مقطع



شکل ۷-۲- نمایش a_{cr}

اگر در محاسبات بالا مقدار C_ω از حد مجاز تجاوز کرد باید فاصله آرماتورها کاهش داده شود یا مقدار آرماتور موجود در مقطع اضافه گردد، مقادیر ε_1 و η با توجه به ترکیبات مختلف بارگذاری به صورت زیر محاسبه می‌گردند.

الف - ممان و نیروی محوری در جهت قائم

$$\varepsilon_1 = f_{sw}/E_s$$

$$\eta = r\,(\cos\mu + \cos\varphi)$$

که در این رابطه φ زاویه مشخص کننده محل محور خنثی و μ نصف زاویه بازشو (کوچک‌ترین بازشو) در مقطع می‌باشد و f_{sw} حداکثر تنش کششی در آرماتور می‌باشد (مقادیر φ و f_{sw} از منحنی‌های پیوست با توجه به مقادیر ممان و نیروی قائم و نسبت $\frac{E_s}{E_c}$ قابل محاسبه می‌باشد).

ب - ممان و نیروی محوری در جهت قائم به اضافه تنشهای حرارتی

$$\varepsilon_1 = f_{swt}/\varepsilon_s$$

$$\eta = t\,\left(\frac{f_{swt}}{2m\, f_{stv}} + (1 - Y_2)\right)$$

$$f_{swt} = f_{sw} + f_{stv}$$

f_{sw} مانند قسمت الف محاسبه می‌گردد و f_{stv} نیز با استفاده از رابطه (۶ـ۳) بدست می‌آید. بقیه پارامترها نیز در فصل ششم تعریف شده‌اند.

ج ـ تنشهای حرارتی در جهت حلقوی

$$\varepsilon_1 = f_{stc}/E_s$$

$$\eta = t\,(1 - C')$$

f_{stc} با استفاده از رابطه (۶ـ۹) و C' نیز با استفاده از رابطه (۶ـ۱۲) محاسبه می‌گردد.

فصل هشتم
مدلسازی تحلیلی دودکش بتنی

۸-۱- کلیات

بطورکلی دودکش بتنی را می‌توان به دو صورت تحلیل نمود که شامل روشهای زیر می‌باشد:

۱- تحلیل دودکش بصورت تیرطره

۲- مدلسازی و تحلیل دودکش با استفاده از اجزا محدود

هنگامی که دودکش بدون دودرو می‌باشد پریود را می‌توان با استفاده از رابطه (۴-۸) محاسبه نمود. اما هنگامیکه دودکش دارای دودروی متصل به پوسته می‌باشد باید از روش اجزا محدود استفاده نمود. در ذیل موارد استفاده هرکدام از روشهای فوق توضیح داده می‌شود.

۸-۲- تحلیل دودکش بصورت تیرطره

یک دودکش در صورتیکه مانند یک تیرطره در نظر گرفته شود از لحاظ سازه‌ای معین می‌باشد و براحتی می‌توان لنگر و برش در قسمتهای مختلف دودکش را تعیین نمود، همچنین با استفاده از روش تیر مزدوج می‌توان تغییر مکان دودکش را تعیین کرد، لنگرهای حلقوی نیز با استفاده از روابط (۴-۲۴) و (۴-۲۵) و پریود دودکشها نیز با تقریب قابل قبولی از رابطه ۸-۱ قابل محاسبه می‌باشد. برای محاسبه مقدار لنگر منتقل شده از دودکش به دودرو در دودکشهایی که دارای دودروی غیر خودایستا می‌باشند می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.

$$T_1 = \frac{5h^2}{\bar{d}(b)} \left[\frac{\rho_{ck}}{E.g}\right]^{0.5} \left[\frac{t(h)}{t_{(b)}}\right]^{0.3} \qquad (۱-۸)$$

که در این $t_{(h)}$ ضخامت دودکش در راس، $t_{(b)}$ ضخامت دودکش در پایه، $\bar{d}(b)$ قطر متوسط در پایه، ρ_{ck} جرم حجمی بتن برحسب kg/m^3، E مدول الاستیسیته بتن برحسب kg/m^2 و g شتاب ثقل برحسب m/s^2 می‌باشد.

$$M_L = M_T \cdot \frac{E_L I_L}{E I_C + K E_L I_L} \qquad (۲-۸)$$

که در این رابطه M_L ممان منتقل شده به دودرو، M_T کل ممان بوجود آمده در دودکش در اثر باد یا زلزله، K تعداد دودروهای موجود در دودکش، E مدول الاستیسیته بتن، E_L مدول الاستیسیته دودرو، I_L ممان

اینرسی دودرو و I_c ممان اینرسی متوسط دودکش می‌باشد.

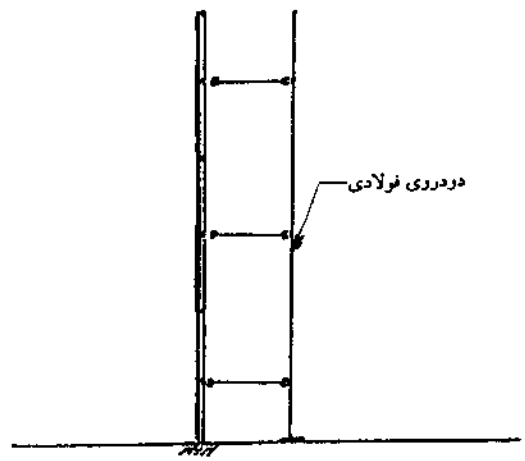
مقدار کاهش ممان در پوسته بتنی ناچیز و قابل صرفنظر کردن است.

اما این روش برای آنالیز شبه دینامیکی و دینامیکی ناشی از نیروی زلزله مناسب نبوده و برای این منظور روشهای اجزا محدود توصیه می‌گردد.

۸-۳- مدلسازی و تحلیل دودکش با استفاده از اجزا محدود

۸-۳-۱- مدلسازی اجزا محدود با استفاده از المان قاب

در این روش مدل سازه دودکش بصورت المان‌های میله‌ای در نظر گرفته می‌شود. برای منظور نمودن تغییر ضخامت پوسته و قطر دودکش، تیرطره به چند قسمت تقسیم شده (حداقل ۱۰ قسمت) و خواص مربوط به آن قسمت بصورت میانگین در نظر گرفته می‌شود، همچنین جرم اعضا بصورت گسترده در نظر گرفته شده و لختی پیچشی (اینرسی جرمی) اعضا بصورت متمرکز در محل اتصال اعضا به یکدیگر در نظر گرفته می‌شود، در صورتیکه دودکش دارای دودرو نیز باشد، این دودرو بصورت المان میله در نظر گرفته می‌شود و تغییر مکان دودکش و دودرو در محلهای اتصال این دو به یکدیگر یکسان می‌گردد. به شکل (۸-۱) توجه کنید. همچنین در صورتیکه بارهای اضافی به دودکشی وارد می‌گردد در مدل در نظر گرفته شود.



شکل (۸-۱)

در صورتیکه دودرو دارای پوشش داخلی باشد سختی این پوشش نیز در محاسبات منظور می‌گردد به این صورت که ضخامت نهایی دودرو با توجه به رابطه زیر اضافه می‌گردد.

$$t_u = t_o + \frac{E_e}{E_L} \cdot t_e \qquad (۲-۸)$$

که در این رابطه t_u ضخامت نهایی (در مدلسازی) دودرو، t_o ضخامت واقعی دودرو، E_e مدول الاستیسیته پوشش داخلی و t_e ضخامت پوشش داخلی می‌باشد.

۸-۳-۲- مدلسازی اجزای محدود با استفاده از المان پوسته

در این روش باید مقطع دایره‌ای شکل دودکش بصورت یک مقطع چند ضلعی منتظم تقریب زده شود و سعی گردد ابعاد المان‌های انتخاب شده تا حد ممکن به مربع نزدیک باشد. در صورتیکه دودرو نیز وجود داشته باشد لازم است که دودرو نیز در مدل سازه‌ای وارد گردد و در نقاطی که دودرو به پوسته بتنی متصل شده است. تغییر مکان افقی پوسته بتنی و دودرو یکی گردد، بالکنها، تراسها و راه پله‌ها نیز بصورت بار و جرم متمرکز در مدلسازی وارد شود. این مدلسازی نسبت به مدلسازی با استفاده از المان قاب دارای دقت بیشتری می‌باشد. اما آماده سازی اطلاعات ورودی و تفسیر نتایج برای این مدل وقت گیرتر می‌باشد. در هر صورت استفاده از هر دو روش ۸-۳-۱ و ۸-۳-۲ در تحلیل نیروهای وارد بر دودکش بصورت دینامیکی و استاتیکی و تعیین پریود دودکش قابل قبول می‌باشد.

فهرست مراجع

۱ـ MCIVT02/T1 مرکز تحقیقات نیرو ـ بخش ساختمان ـ گزارش "مطالعات و جمع‌آوری مطالب پیرامون دودکش نیروگاهها" ـ تابستان ۱۳۷۴

۲ـ MCIVT02/T2 مرکز تحقیقات نیرو ـ بخش ساختمان ـ گزارش "عوامل غیرسازه‌ای موثر در طراحی دودکش نیروگاهها" تابستان ۱۳۷۴

۳ـ MCIVT02/T3 مرکز تحقیقات نیرو ـ بخش ساختمان ـ گزارش "بررسی اثر بار باد، زلزله، حرارت و بارهای موضعی بر روی دودکش نیروگاهها" ـ تابستان ۱۳۷۴

۴ـ MCIVT02/T4 مرکز تحقیقات نیرو ـ بخش ساختمان ـ گزارش "روشهای تحلیل و طراحی دودکشهای فلزی و بتنی نیروگاهها" ـ زمستان ۱۳۷۴

۵ـ MCIVT02/T5 مرکز تحقیقات نیرو ـ بخش ساختمان ـ گزارش "ملاحظات مربوط به اندرکنش خاک و سازه" ـ پائیز ۱۳۷۴

۶ـ MCIVT02/T6 مرکز تحقیقات نیرو ـ بخش ساختمان ـ گزارش "روشهای تحلیل و طراحی فونداسیون دودکش" ـ زمستان ۱۳۷۴

۷ـ MCIVT02/T7 مرکز تحقیقات نیرو ـ بخش ساختمان ـ گزارش "بررسی اثر عوامل مختلف در طراحی دودکش‌های فلزی، بتنی و مقایسه اقتصادی این دو" ـ پائیز ۱۳۷۵

3- ACI 307-88-"Standard Practice for the Design and Construction of Cast-in-place Reinforced concrete chimneys", American Concrete Institue - Committee 307, 1991

9- ACI 307-88. "Commentary on Standard practice for the Design and Construction of Cast-in-place Reinforced chimneys, " American Concrete Institue Committee 307, 1991

10- DIN 1056, "Solid construction, free standing chimneys", Deutsches Institut fur Norming, OCT., 1984.

11- DIN 4133, "Steel stacks", Deutsches Institut fur Norming, Aug. 1973

12- BS 4076, "specification for steel chimneys" , 1989

13- Task Committee on steel chimney Liners, "Design and Construction of Steel Chimney Liners", American Society of civil Engineers, 1975

14- Gaylord E.H and Gaylord ch.N, "Structural Engineering Handbook Section 30-Chimneys ", Mc Graw-Hill, 1990

15- Fintel M. "Handbook of concrete Engineering-section15-Reinforced concrete chimneys", Van Nostranl Reinhold, 1995

16- Manohar S.N. "Tall Chimneys, Design and contruction", TATA Mc Graw-Hill publishing company limited, 1985

17- Pinfold G.M. "Reinforced concrete chimneys and towers", palladian publications LTD, 1984

18- Liu H. "Wind Engineering, A Hand book for structural Engineering", prentice Hall Inc. 1991

19- UBC, "Uniform Building Code", International Conference of Building official, 1990

20- ANSI A58, "Minimum Design Load for Building and other structures".

21- Simiu E and scanlan R.H., "Wind Effect on structures, section 10 slendertowers and stacks with circular cross section"

22- "Workbook of Atmospheric Despersion Estimate", V.S.Environmental protection Agency, 1970

23- Mark, "Mechanical Handbook-chapter 18", 1978

24- Singer J.G. "fossil power system", Combustion Engineering Inc, 1981

25- Deininger S.W & Jackson G.W. "Improve power plant Availibity by protecting Against stack liner failures, power journal/, Mar 1980

26- Cillam E.H & wood G.W. "New operation Modes Broaden Quest for stack / Liner Materials" power Journal / , Sept. 1984