

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتنی مشخصات فنی عمومی و اجرایی سازه و معماری سیلو

نشریه شماره ۱-۲۳۵

معاونت امور فنی
دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

۱۳۸۲

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۲/۰۰/۲۵



omoorepeyman.ir

فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی
ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتن: مشخصات فنی عمومی و
اجرایی سازه و معماری سیلو/ معاونت امور فنی، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی.
تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و
انتشارات، ۱۳۸۲.

سیزده، ۲۱۰ص: مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر تدوین ضوابط و
معیارهای فنی؛ نشریه شماره ۱-۲۳۵) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛
۸۲/۰۰/۲۵)

ISBN 964-425-423-6

مربوط به بخشنامه شماره ۱۵۱۵۶-۱۰۱ مورخ ۱۳۸۲/۲/۲

۱. سیلوها - استانداردها، ۲. سیلوها - طرح و ساختمان - استانداردها. الف. سازمان مدیریت
و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات. ب. عنوان. ج. فروست.

۱۳۸۲ ش. ۱-۲۵۳ ۲۴س/۳۶۸ TA

ISBN 964-425-423-6

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۴۲۳-۶

ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتن: مشخصات فنی عمومی و
اجرایی سازه و معماری سیلو

تهیه کننده: معاونت امور فنی. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۸۲

قیمت: ۱۵۰۰۰ ریال

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: چاپ زحل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.





بسمه تعالی

ریاست جمهوری

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
دفتر رئیس سازمان

شماره: ۱۰۱-۱۵۱۵۶	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۲/۲/۲	
موضوع: ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتنی مشخصات فنی عمومی و اجرایی سازه و معماری سیلو	
<p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۱-۲۳۵ دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی این سازمان، با عنوان «ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتنی» ، مشخصات فنی عمومی و اجرایی سازه و معماری سیلو» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد تا از تاریخ ۱۳۸۲/۳/۱ به اجرا درآید.</p> <p>دستگاه‌های اجرایی ، مشاوران ، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش‌ها ، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.</p> <p>عوامل یادشده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها ، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی این سازمان، ارسال دارند.</p>	
<p>محمد ستاری فر</p> <hr/> <p>معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان</p>	





پیشگفتار

در کشور ما، آرد و نان مهمترین ماده غذایی در مراکز جمعیت، اعم از شهری یا روستایی است که طبیعتاً مصرف آن رابطه مستقیمی با رشد جمعیت و افزایش درآمد و رونق اقتصادی جامعه داشته و با سطح درآمد خانوار رابطه معکوس دارد. کاهش قدرت خرید خانوار، سبب افزایش مصرف گندم به عنوان یک کالای اساسی و ماده غذایی واحد می‌گردد. از طرف دیگر مهاجرت بی‌رویه از مناطق روستایی به شهرها و اشاعه فرهنگ و الگوی مصرف حاکم بر جوامع شهری، به نحو قابل ملاحظه‌ای بر میزان تقاضای مواد غذایی، به ویژه گندم می‌افزاید. عوامل یادشده سبب می‌گردد آرد و نان به عنوان یک کالای راهبردی، در جامعه مطرح شده و تهیه، ذخیره‌سازی و توزیع به موفع آن اولویت بسیار بالایی را به خود اختصاص دهد.

ذخیره‌سازی گندم به روش‌های متعددی امکان‌پذیر است که متداولترین آنها عبارتند از:

۱- سیلوهای بتنی قائم با مقطع دایره (استوانه‌ای) و چهارگوش (منشوری)

۲- سیلوهای فولادی با پوسته استوانه‌ای

۳- سیلوهای بتنی با پوسته کروی

۴- سیلوهای افقی مسقف

۵- سیلوهای افقی غیرمسقف

ضرورت مکانیزه‌سازی، کاهش سطوح ذخیره‌سازی، بهداشت بهره‌برداری، و مسائل دیگری از قبیل انعطاف‌پذیری در انتخاب شکل و ابعاد لازم برای حصول ظرفیت مورد نیاز و ملاحظات از قبیل استحکام و افزایش عمر مفید سازه و تجهیزاتی که در داخل آنها استقرار می‌یابند، ساخت سیلوهای نوع ۱ را توجیه‌پذیر می‌نماید. بدیهی است در طراحی و ساخت تأسیساتی با این درجه اهمیت، باید از ضوابط و معیارهای فنی به نحو مطلوبی استفاده نمود. به خصوص که در سالهای اخیر این وظیفه مهم به متخصصان و مهندسان مجرب ایرانی محول گردیده که ضمن بهره‌گیری از معیارهای فنی و مهندسی، می‌بایست پارامترهای عمده طراحی را با عنایت به ملاحظات ژئوتکنیکی، لرزه‌خیزی، زیست‌محیطی، اقلیمی و ... انتخاب نمایند که



ضمن رعایت جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی، اطمینان کافی نسبت به عملکرد صحیح تأسیسات در طول عمر مفید آنها حاصل گردد.

در این نشریه، سعی شده است با توجه به تجربیات مفیدی که در سالهای اخیر در طراحی و اجرای سیلوهای بتنی کسب گردیده است، معیارهای سازه‌ای و ضوابط طرح و اجرای سیلوهای بتنی تدوین و در اختیار علاقمندان و مهندسان محاسب که در این زمینه تخصصی فعالیت می‌نمایند، قرار گیرد.

با توجه به موارد یادشده و بر اساس ماده ۲۳ قانون برنامه بودجه، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی اقدام به تهیه این آیین‌نامه نموده است، به این امید که با افزایش آگاهی مهندسان، طراحان و مجریان در مورد طرح و اجرای سیلوهای بتنی و رعایت ضوابط یادشده، شاهد اجرای مناسب‌تر باشیم.

معاونت امور فنی از آقای مهندس شاپور ملاحونی به خاطر زحمات و کوشش‌های فراوان ایشان در تهیه و تدوین آیین‌نامه حاضر، قدردانی و تشکر می‌نماید. همچنین لازم است از اساتید محترم دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز به ویژه آقایان دکتر زرین‌چنگ و دکتر سیدیان که در تهیه پیش‌نویس نشریه با این دفتر همکاری نموده‌اند، تشکر شود. از مدیرکل دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی، سرکارخانم مهندس بهناز پورسید، مدیرکل دفتر امور فنی، جناب آقای مهندس سیداکبر هاشمی و آقایان مهندس میرمحمود ظفری و مهندس علی تبار که در تنظیم مطالب نشریه در راستای اهداف دفتر تلاش نموده‌اند، نیز سپاسگزاری می‌شود.

معاونت امور فنی توفیق روزافزون این عزیزان را در خدمت به جامعه مهندسی کشور از درگاه ایزد منان مسئلت دارد.

معاون امور فنی

بهار ۱۳۸۲



فهرست مندرجات

..... (۱ تا ۱۰)	فصل ۱. کلیات
۱	۱-۱ معرفی
۶	۲-۱ مشخصات هندسی
..... (۱۱ تا ۲۶)	فصل ۲. مبانی طراحی هندسی و مکان یابی سیلوها
۱۱	۱-۲ مجموعه تأسیسات ذخیره سازی
۱۶	۲-۲ معیارها و استانداردهای مکان یابی، طراحی و اجرای سیلوهای بتنی در ایران
۱۶	۱-۲-۲ مکان یابی سیلوها
۱۶	۲-۲-۲ جاده های اصلی و راه های دسترسی
۱۶	۳-۲-۲ خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه
۱۷	۴-۲-۲ دسترسی به آب
۱۷	۵-۲-۲ دسترسی به برق دائمی و خطوط مخابراتی
۱۷	۶-۲-۲ تأمین مصالح ساختمانی در محل
۱۷	۷-۲-۲ تأمین ماشین آلات سنگین و پرسنل فنی
۱۷	۸-۲-۲ ترافیک منطقه
۱۸	۹-۲-۲ مطالعات هیدرولوژیکی و کلیماتولوژیکی منطقه
۱۸	۱۰-۲-۲ سهولت صادرات و واردات
۱۸	۱۱-۲-۲ سهولت توزیع گندم
۱۸	۱۲-۲-۲ امکان توسعه آتی
۱۸	۱۳-۲-۲ مالکیت زمین در محل سیلو
۱۸	۱۴-۲-۲ هماهنگی با طرح جامع شهر با استان
۱۹	۱۵-۲-۲ نکات متفرقه در انتخاب محل
۱۹	۱۶-۲-۲ حفظ محیط زیست
۱۹	۳-۲ انتخاب طرح معماری و سازه ای
۲۰	۴-۲ تقسیم بندی سیلوها از نظر کاربری

هفت



فصل ۳. مصالح بتن و فولاد (۲۷ تا ۴۸)

قسمت الف: مصالح بتن

۲۷	۱-۳ انتخاب و تأیید مصالح
۲۷	۱-۱-۳ ملاحظات طراحی
۲۷	۲-۱-۳ ویژگی‌های مصالح مصرفی
۲۸	۲-۳ آزمایش‌های مصالح
۲۸	۳-۳ سیمان
۲۹	۴-۳ سنگدانه‌ها
۲۹	۵-۴-۳ مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها
۳۲	۵-۳ آب
۳۴	۶-۳ مواد افزودنی
۳۴	۱-۶-۳ تعریف
۳۴	۲-۶-۳ کلیات
۳۵	۳-۶-۳ افزودنی‌های شیمیایی
۳۷	۴-۶-۳ افزودنی‌های معدنی
۳۸	۵-۶-۳ مواد افزودنی متفرقه
۳۹	۷-۳ انبار کردن و نگهداری مصالح بتن
۳۹	۸-۳ کنترل و بازرسی

قسمت ب: فولاد

۴۱	۹-۳ علائم اختصاری
۴۲	۱۰-۳ کلیات
۴۲	۱۱-۳ انواع فولاد
۴۲	۱-۱۱-۳ روش تولید
۴۲	۲-۱۱-۳ شکل رویه
۴۲	۳-۱۱-۳ جوش‌پذیری
۴۳	۴-۱۱-۳ شکل‌پذیری
۴۳	۱۲-۳ قطر اسمی
۴۴	۱۳-۳ مشخصات مکانیکی
۴۴	۲-۱۳-۳ طبقه‌بندی میلگردها
۴۴	۳-۱۳-۳ آزمایش‌ها
۴۵	۴-۱۳-۴ نمونه‌برداری



۴۵	۳-۱۳-۵ تواتر نمونه برداری
۴۵	۳-۱۳-۶ ضوابط پذیرش میلگردها (یا فولاد)
۴۶	۳-۱۴ تغییر شکل ها
۴۶	۳-۱۴-۱ نمودار تنش - تغییر شکل نسبی
۴۶	۳-۱۴-۲ مدول الاستیسیته
۴۶	۳-۱۴-۳ ضریب انبساط حرارتی
۴۶	۳-۱۵ شکل پذیری
۴۶	۳-۱۶ جوش پذیری
۴۷	۳-۱۷ انبار کردن، نگهداری و کنترل فولاد

فصل ۴. بارگذاری (۴۹ تا ۶۴)

۴۹	۴-۱ دامنه
۴۹	۴-۲ بار مرده
۵۰	۴-۳ بار زنده و ماشین آلات
۵۰	۴-۴ فشار ناشی از مصالح ذخیره شده
۵۰	۴-۴-۱ کلیات
۵۰	۴-۴-۲ فشار مصالح در سیلو
۵۰	۴-۴-۳ فشار مصالح در بونکرها
۵۸	۴-۵ بار برف
۵۹	۴-۶ فشار باد
۶۱	۴-۷ نیروی زلزله - روش استاتیکی معادل
۶۳	۴-۸ آثار دما
۶۴	۴-۸-۱ افزایش یا کاهش یکنواخت دما
۶۴	۴-۸-۲ تابش یک طرفه آفتاب
۶۴	۴-۸-۳ گرادیان حرارتی

فصل ۵. تحلیل و طراحی (۶۵ تا ۹۶)

۶۵	۵-۱ معرفی
۶۵	۵-۲ تحلیل
۶۵	۵-۳ تحلیل دستی
۶۵	۵-۳-۱ سیلوها با مقطع دایره (سیلوی گرد):
۶۹	۵-۳-۲ سیلوها با مقطع مربع مستطیل و چندضلعی



۶۹	۲-۳-۵	خمش جدار به علت گرادیان حرارتی
۷۱	۴-۳-۵	خمش داخلی صفحه دیوارها
۷۲	۵-۳-۵	فولادهای قائم در جدار سیلوها
۷۲	۶-۳-۵	کف و قیف سیلو
۸۰	۷-۳-۵	پایه‌های سیلو
۸۰	۸-۳-۵	شالوده سیلو
۸۴	۴-۵	تحلیل رایانه‌ای
۸۵	۵-۵	طراحی
۸۵	۱-۵-۵	مقدمه
۸۵	۲-۵-۵	ضرایب و ترکیبات بار
۸۶	۳-۵-۵	ضرایب جزئی ایمنی
۸۶	۴-۵-۵	طراحی برای خمش تنها
۸۷	۵-۵-۵	طراحی برای کشش تنها
۸۷	۶-۵-۵	طراحی برای اثر توأم کشش محوری و لنگر خمشی
۹۰	۷-۵-۵	طراحی برای برش
۹۰	۸-۵-۵	کنترل عرض ترک
۹۱	۹-۵-۵	ضخامت حداقل در جداره سیلوهای گرد
۹۲	۱۰-۵-۵	تنش فشاری حداکثر بتن در پای جداره سیلو
۹۳	۱۱-۵-۵	خمش مقاطع بتن مسلح دایره با جدار نازک
۹۴	۱۲-۵-۵	طراحی برای خمش ناشی از گرادیان حرارتی
۹۶	۱۳-۵-۵	جزئیات متفرقه

فصل ۶. ساخت (۱۰۳ تا ۱۱۶)

۱۰۳	۱-۶	معرفی
۱۰۳	۲-۶	ضوابط عمومی قالب‌های لغزنده
۱۰۵	۳-۶	نمای سطح بتن
۱۰۵	۴-۶	اجزای قالب لغزنده
۱۰۸	۵-۶	بارگذاری
۱۰۸	۱-۵-۶	بارهای قائم
۱۰۸	۲-۵-۶	فشار جانبی
۱۰۸	۳-۵-۶	رواداری‌های کار تمام شده»
۱۰۹	۶-۶	سیستم جک



۱۱۱	۷-۶ ملاحظات اجرایی
۱۱۲	۸-۶ روش نواز کردن قالب
۱۱۳	۹-۶ حمل مصالح
۱۱۴	۱۰-۶ الغزش قالب
۱۱۶	۱۱-۶ جزییات بازشوها

فصل ۷. سیلوهای پیش ساخته بتنی (۱۱۷ تا ۱۲۸)

۱۱۷	معرفی
۱۲۲	۱-۷ فهرست علائم
۱۲۲	۲-۷ دامنه
۱۲۲	۳-۷ پوشش
۱۲۳	۴-۷ رواداری‌های نصب
۱۲۳	۱-۴-۷ انتقال محور سیلو یا دوران درزهای قائم
۱۲۳	۲-۴-۷ شکم دادن دیواره سیلو
۱۲۳	۳-۴-۷ قطر داخلی سیلو
۱۲۳	۴-۴-۷ حلقه‌ها
۱۲۳	۵-۷ طراحی دیوار
۱۲۳	۱-۵-۷ بارها، فشار طرح، و نیروها
۱۲۳	۲-۵-۷ ضخامت دیوار
۱۲۵	۳-۵-۷ خمش حلقوی
۱۲۶۵	۴-۵-۷ فشار و کماتش
۱۲۶	۵-۵-۷ کشش و برش
۱۲۶	۶-۵-۷ بازشو در دیوار
۱۲۷	۶-۷ حلقه‌های کششی
۱۲۷	۱-۶-۷ اندازه فاصله
۱۲۷	۲-۶-۷ قطر مؤثر حلقه‌ها
۱۲۷	۲-۶-۷ پیش کشیدگی
۱۲۷	۷-۷ آزمایش مقاومت فشاری قطعات پیش ساخته

فصل ۸. سیلوهای بتنی پس کشیده (۱۲۹ تا ۱۴۰)

۱۲۹	۱-۸ فهرست علائم
۱۲۹	۲-۸ دامنه

یازده



۱۳۰	۳-۸ سیستم پس کشیدگی
۱۳۰	۴-۸ سیستم تاندون
۱۳۲	۵-۸ تاندون‌های چسبیده
۱۳۳	۶-۸ تاندون‌های نچسبیده
۱۳۴	۷-۸ غلاف‌های پس کشیدگی
۱۳۴	۸-۸ سیستم‌های دورپیچ
۱۳۵	۹-۸ جزئیات و استقرار آرماتورهای معمولی
۱۳۵	۱۰-۸ بازشوی دیوارها
۱۳۶	۱۱-۸ ثبت تنش‌های پیش‌تنیدگی
۱۳۶	۱۲-۸ طراحی
۱۳۸	۷-۱۲-۸ آرماتورهای معمولی
۱۳۸	۹-۱۲-۸ اتلاف‌های پیش‌تنیدگی
۱۳۸	۱۳-۸ برش و خمش نوارهای قائم به علت پس کشیدگی
۱۴۰	۱۴-۸ رواداری‌ها

فصل ۹. ضوابط نگهداری سیلوهای غلات (۱۴۱ تا ۱۴۴)

۱۴۱	۱-۹ معرفی
۱۴۱	۲-۹ عوامل خطر ساز در سیلو
۱۴۲	۳-۹ آفات انبارداری
۱۴۲	۴-۹ حمله حشرات
۱۴۲	۵-۹ دما
۱۴۳	۶-۹ سکون هوا
۱۴۳	۷-۹ افزایش رطوبت
۱۴۳	۸-۹ تشکیل لایه‌های پودر و پوسته
۱۴۳	۹-۹ عوامل جرقه‌زا
۱۴۳	۱۰-۹ خرابکاری

فصل ۱۰. مثال طراحی سیلو به عنوان راهنمای استفاده از آیین‌نامه (۱۴۵ تا ۱۶۴)

۱۴۵	معرفی
۱۴۹	طراحی میلگردهای حلقوی
۱۵۰	انتخاب ضخامت پوسته
۱۵۳	محاسبات نیروی زلزله



۱۵۶	طراحی میلگردهای قائم برای خمش و برش ناشی از...
۱۵۶	طراحی میلگرد قائم در تراز $y' = 22 \text{ m}$
۱۵۸	خمش پوسته
۱۵۸	کنترل برای خمش و برش به علت نیروهای زلزله (ناحیه زیر دال بتنی $(22 < y' < 26/5)$)
۱۶۱	طراحی کف سیلو
۱۶۳	طراحی شالوده
۱۶۴	فهرست منابع

(۱۶۵ تا ۲۰۲)	پیوست - جداول ضرایب تحلیلی دال‌ها
۱۶۶	جداول دال‌های دو طرفه
۱۶۸	جدول دال‌ها با چهار لبه متکی
۱۹۰	جدول دال‌ها با سه لبه متکی
۲۰۳	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۲۰۵	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۲۰۷	نمایه

سیزده





کلیات

۱-۱ معرفی

سیلو^۱ انباره^۱ ایستاده‌ای است که از آن برای ذخیره^۲ مصالح دانه‌ای استفاده می‌شود. در صورتی که ارتفاع سیلو کوچک باشد، اصطلاحاً به آن بونکر^۲ گفته می‌شود. در شکل ۱-۱ انواع بونکر و در شکل ۲-۱ انواع سیلو نشان داده شده است. سیلوها همانند شکل ۱-۲ می‌توانند به صورت تک و یا همانند شکل ۱-۳ به صورت گروهی ساخته شوند. در حالت اخیر کارآیی سیلوها در هنگام بهره‌برداری افزایش می‌یابد. در حالت گروهی، مجموعه ممکن است به صورت یکپارچه و یا با درز انبساط در حد فاصل سیلوها ساخته شود. در اشکال ۱-۴ تا ۱-۷ مثال‌هایی از نمونه‌های واقعی نشان داده شده است.

جنسن^۳ در سال ۱۸۹۵ اولین کسی بود که روابط فشار جانبی ناشی از مواد دانه‌ای انبار شده در داخل سیلو را در حالت استاتیکی تدوین نمود. از روابط جنسن برای طراحی سیلوهای متعددی استفاده شده که نتایج حاصل از آن رضایت‌بخش نیز بوده است. امروزه معلوم شده است که در هنگام پر و یا خالی کردن، فشار جانبی از مقادیر به دست آمده از روابط جنسن تجاوز می‌کند. حال چرا سیلوهای طراحی شده توسط روش جنسن منجر به نتایج رضایت‌بخشی شده است، باید به حساب ضرایب اطمینان نسبتاً بزرگی که در آیین‌نامه‌های طراحی قدیمی استفاده می‌شد، قرار داده شود. پایپر^۴ برای اولین بار رفتار مواد دانه‌ای را در هنگام خالی شدن سیلو مورد بررسی قرار داد. او همانند شکل ۱-۸ مصالح داخل سیلو را در هنگام خالی شدن به سه ناحیه تقسیم کرد. در ناحیه^۳ مصالح انبار شده احتمالاً به صورت یک توده حرکت می‌کنند، اگر چه در هر مقطع ممکن است

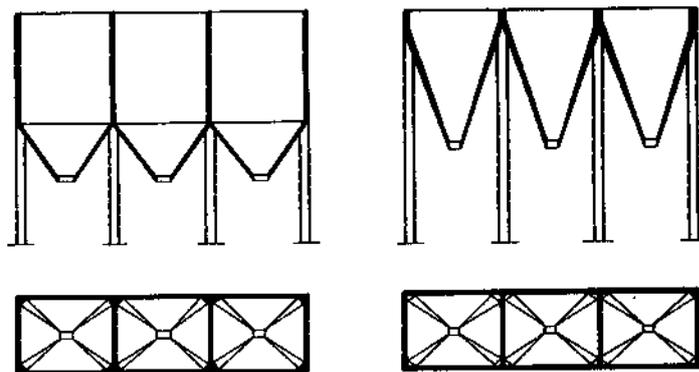
1- Silo

2- Bunker

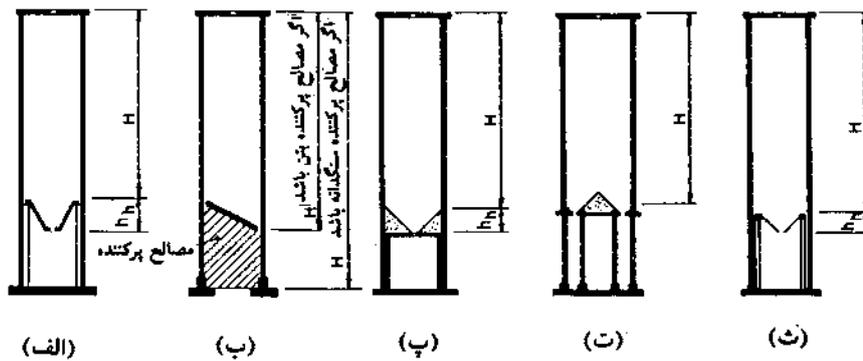
3- Jannsen

4- Pieper



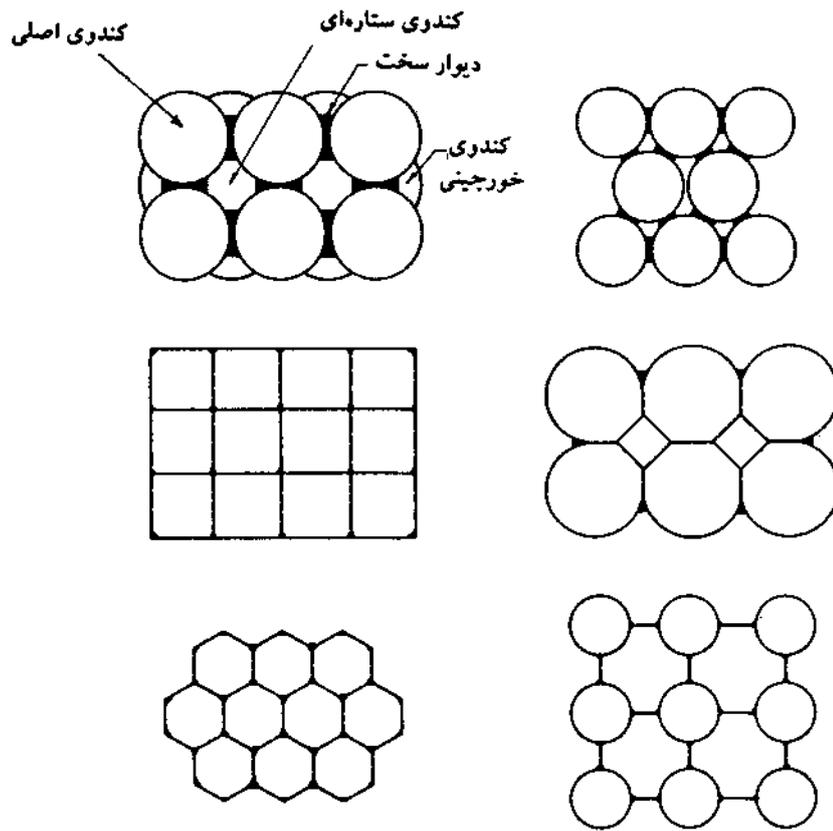


شکل ۱-۱ انواع بونکر.



- (الف) سیلو روی شالوده یکپارچه (رادیه). قیف کف سیلو به‌طور مستقل روی پایه‌هایی قرار دارد که این پایه‌ها به‌جداره سیلو متصل هستند.
- (ب) سیلو روی شالوده نواری. کف سیلو مستقل بوده و روی مصالح پرکننده متکی است.
- (پ) سیلو با کف تخت متکی بر جداره سیلو با ضخامت افزایش یافته. قیف انتهایی توسط مصالح پرکننده ایجاد شده است.
- (ت) سیلو با بازشوهای متعدد و کف تخت متکی بر ستون و قیف ایجاد شده به‌وسیله مصالح پرکننده و شالوده یکپارچه (رادیه).
- (ث) سیلو یا شالوده یکپارچه با کف قیفی متکی بر تیر حلقوی که این تیر نیز به‌نوبه خود متکی بر ستون‌های مستقل می‌باشد.
- شکل ۲-۱ انواع سیلو.

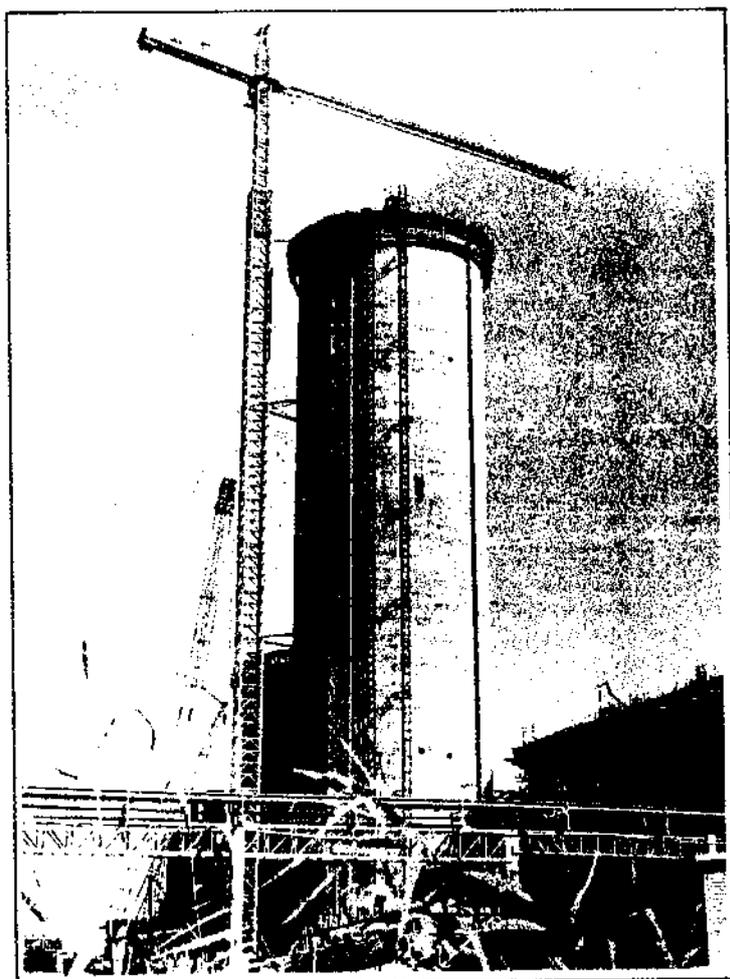
سرعت تمام نقاط یکسان نباشد. در ناحیه ۲، جریان قیفی^۵ شکل می‌گیرد. جریان قیفی سدی در مقابل جریان توده‌ای ناحیه ۳ می‌باشد و در نتیجه آن گنبدهایی در ناحیه A در حد فاصل نواحی ۳



شکل ۱ - ۳ سیلوها در حالت گروهی.

و شکل ۲ می‌گیرد که باعث افزایش فشار جانبی در این ناحیه می‌شود. در واقع در ناحیه A بزرگترین فشارهای جانبی تولید می‌گردد. در ناحیه ۱، جریان قیفی، شکل متمایزتری به خود می‌گیرد و در آن سرعت در توده زیر مخروط قیفی کاملاً صفر است. در ناحیه B قوس‌هایی تشکیل می‌شود که عمر آن کوتاه است و در هنگام شکستن ایجاد شک‌هایی می‌کند که نتیجه آن، ایجاد ضربات چکشی می‌باشد. میزان شکل‌گیری جریان‌های توده‌ای و قیفی بستگی به شیب کف ته سیلو (قیف سیلو) دارد. در صورتی که زاویه شیب بزرگ باشد $\alpha > 70^\circ$ ، جریان توده‌ای بزرگتر خواهد بود، در صورتی که کف‌های تخت و کم‌شیب شرایط جریان قیفی را تقویت می‌نمایند. α در شکل ۱ - ۱۰ نشان داده شده است.

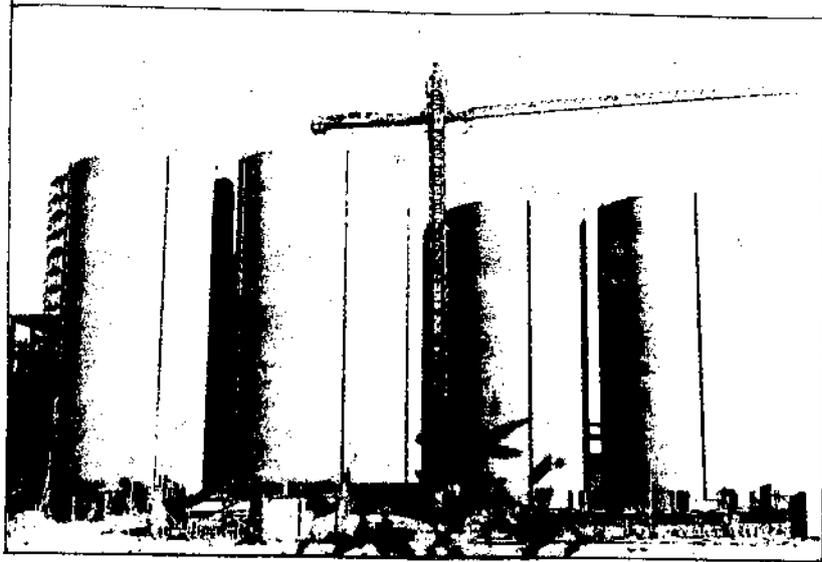




شکل ۱-۴ سیلوی تک.

اختلاف بین سیلو و بونکر
به علت اختلافاتی که در خصوص فشار جانبی مصالح انبار شده در سیلو و بونکر وجود دارد، لازم است طراح به طریقی آن دو را از یکدیگر تمییز دهد. در این مورد روش‌های زیر پیشنهاد شده است:

روش دیشینگر
در صورتی که $H > 1/5\sqrt{A}$ باشد، طرح مورد نظر سیلو می‌باشد. H ارتفاع طبق شکل ۱-۲ و A سطح مقطع می‌باشد.



شکل ۱- ۵ سیلو به صورت گروهی - کندوها مجزا از یکدیگر هستند.

روش آیین نامه شوروی

اگر روابط زیر برقرار باشد، طرح مورد نظر سیلو می باشد.

$$H > 1/5D \dots\dots\dots \text{(برای سیلوهای گرد)}$$

$$H > 1/5a \dots\dots\dots \text{(برای سیلوهای مستطیل)}$$

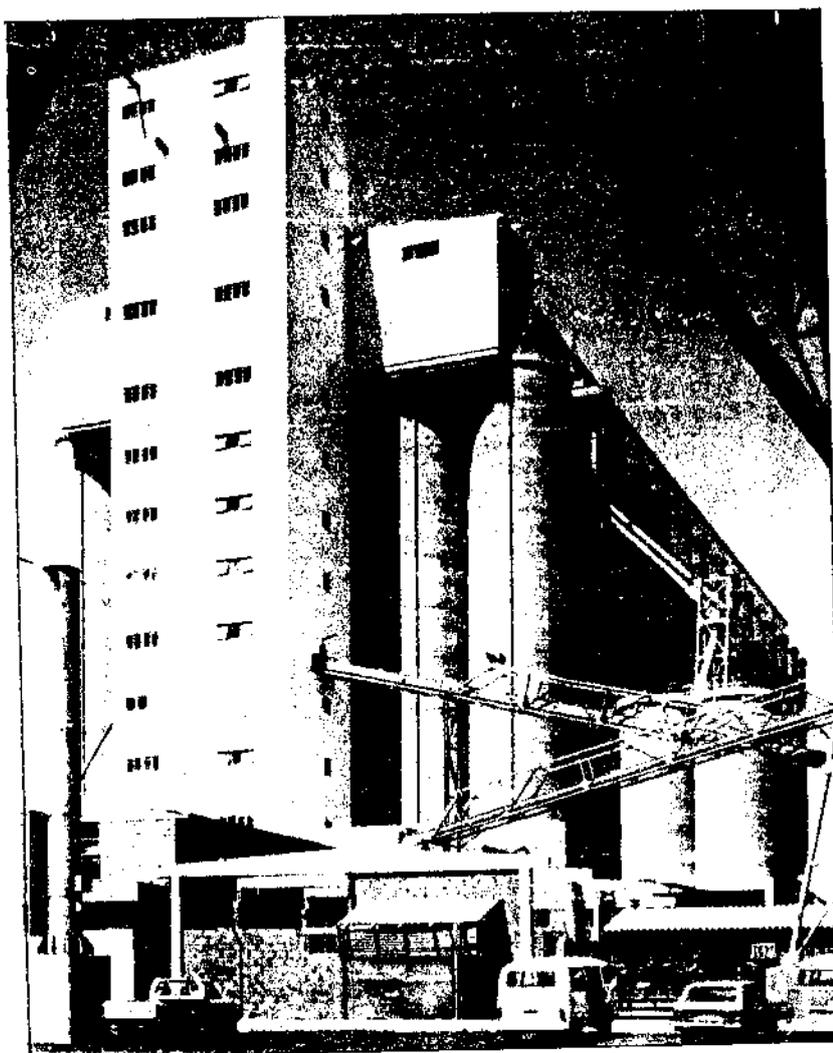
D قطر و a ضلع کوچک مقطع است.

روش ترسیمی

در این حالت از گوشه پایین سیلو خط گسیختگی کولمب با زاویه $45 + \rho/2$ (زاویه اصطکاک داخلی مصالح ذخیره شده است) نسبت به افق رسم می شود (شکل ۱ - ۹ - الف). اگر این حنف تراز فوقانی مصالح را قطع نماید، طرح مورد نظر بونکر و اگر دیوار را قطع کند، طرح مورد نظر سیلو می باشد.

در مورد سیلوهایی که کف آنها به صورت قیفی است، این اختلاف نظر وجود دارد که خط گسیختگی از نقطه C رسم شود یا D (شکل ۱۰ - ۹ - ب).



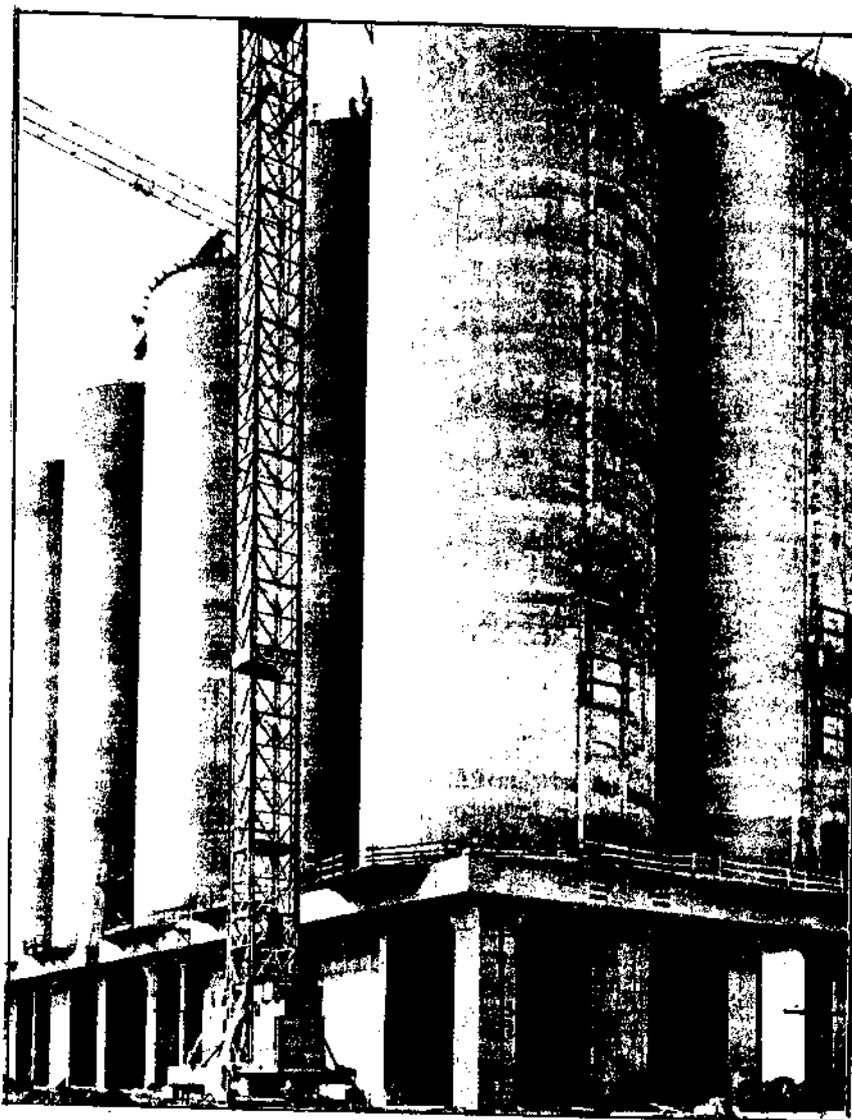


شکل ۱-۶ سیلو به صورت گروهی - کندوها در گروه‌های کوچکتر به صورت یکپارچه عمل می‌نمایند.

۲-۱ مشخصات هندسی

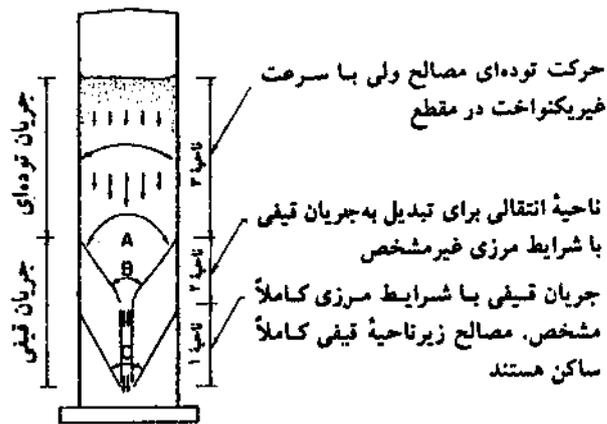
در جدول ۱-۱ مشخصات هندسی مقاطع مختلف که در مسائل مربوطه به سیلو مورد استفاده قرار می‌گیرند، ارائه شده است.



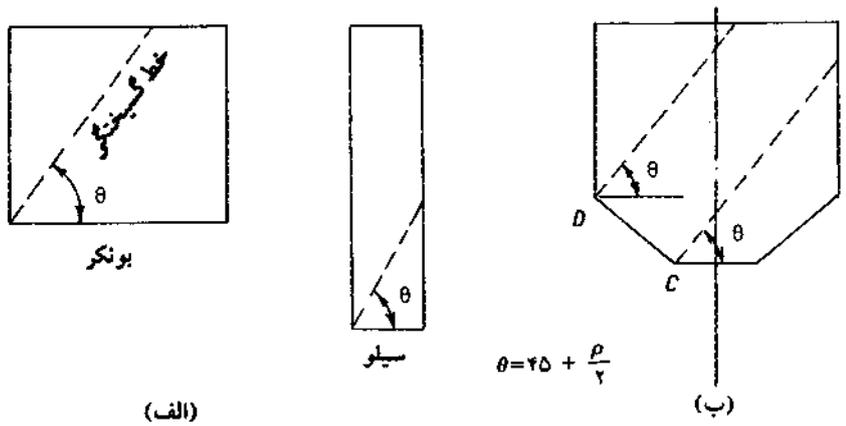


شکل ۱- ۷ سیلوها به صورت گروهی مستقر در روی پایه - کندوها مجزا از یکدیگر هستند.

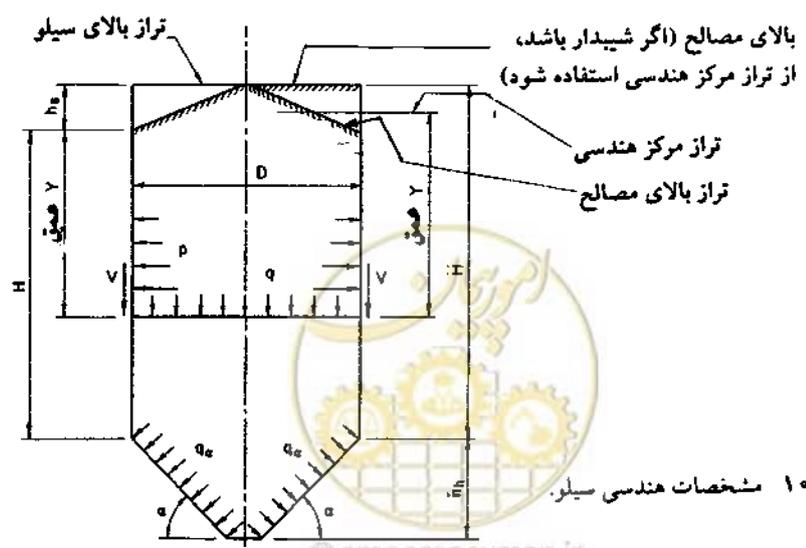




شکل ۸-۱ طرح خطوط جریان در هنگام خالی شدن سیلو.

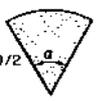
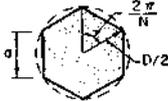
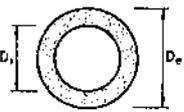
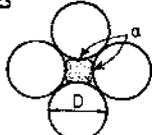


شکل ۹-۱



شکل ۱۰-۱ مشخصات هندسی سیلو.

جدول ۱-۱ خواص هندسی مقاطع

مقطع	مساحت A	محیط L	شعاع هیدرولیکی R
دایره 	$\frac{\pi}{4} D^2$	πD	$\frac{D}{4}$
قطاع 	رادیان، α $\frac{\alpha D^2}{4}$	$(\frac{\alpha}{4} + 1)D$	$\frac{D/4}{1 + \alpha/4}$
	درجه، α $0.00218\alpha D^2$	$(0.0087\alpha + 1)D$	$\frac{D/4}{1 + 0.00218\alpha}$
چندضلعی 	$\frac{ND^2}{4} \sin \frac{\pi}{N}$	$ND \sin \frac{\pi}{N}$	$\frac{D}{4} \cos \frac{\pi}{N}$
	$\frac{ND^2}{4} \cot \frac{\pi}{N}$	Na	$\frac{a}{4} \cot \frac{\pi}{N}$
مستطیل 	ab	$2(a+b)$	ضلع بزرگ، $\frac{ab}{2(a+b)}$ ضلع کوچک، $\frac{a}{4}$
مستطیل بلند 	---	---	$\frac{a}{4}$
حلقه 	$\frac{\pi}{4} (D_e^2 - D_i^2)$	$\pi(D_e + D_i)$	$\frac{(D_e - D_i)}{4}$
کندوی ستاره‌ای 	$(1 - \frac{\pi}{4})D^2$	πD	$\frac{a}{4} = 0.104D$





مبانی طراحی هندسی و مکان یابی سیلوها

۲-۱ مجموعه تأسیسات ذخیره سازی

تأسیسات ذخیره سازی عموماً از ترکیب عناصر سازه‌ای متعددی حاصل می‌گردد که هر کدام از آنها، از زمان ورود غله به محوطه سیلو تا خروج کامل آن به نحوی وارد عمل گردیده و در مراحل مختلف بهره‌برداری وظیفه مشخصی را به عهده می‌گیرند. این عناصر عمدتاً به عنوان سازه‌های اصلی تلقی گردیده و تعداد بسیار محدودی از آنها جزء ساختمان‌های جنبی محسوب می‌گردند. سازه‌های اصلی عبارتند از (اشکال ۲-۱ الی ۲-۵):

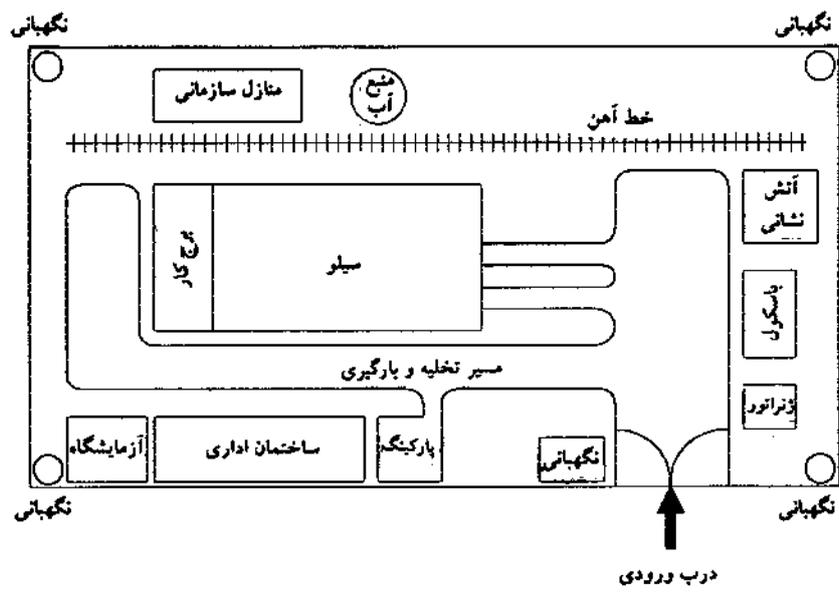
- ۱- کندوها و قیف داخل آنها (هوایی یا زمینی) که محل ورود غله می‌باشد. در بعضی موارد از فضای موجود بین کندوها (موسوم به ستاره‌ای) نیز برای ذخیره غله و در نتیجه افزایش ظرفیت ذخیره سازی استفاده می‌شود.
- ۲- گالری زیر کندوها که رابط بین کندوها و ساختمان برجکار می‌باشد.
- ۳- چاله تخلیه و پوشش آن، که کامیون یا واگن حامل غله، محموله خود را در چاله مزبور تخلیه نموده و از آنجا به کمک سیستم‌های انتقال مناسب به بالا برها منتقل می‌شود.
- ۴- ساختمان برجکار که محل استقرار ماشین‌آلات بوده و عملیات مربوط به الک کردن، بوچاری، توزین و... در داخل آن صورت می‌گیرد.
- ۵- سایه بان مستقر در سقف کندوها که ماشین‌آلات مورد نیاز برای توزیع غله در داخل کندوهای مختلف در داخل آن نصب می‌شوند.
- ۶- ساختمان صادرات که برای بارگیری غله ذخیره شده و تحویل آنها به شبکه حمل و نقل شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- ۷- ساختمان‌های جنبی معمولاً نسبت به سازه‌های فوق از درجه اهمیت کمتری برخوردار هستند.



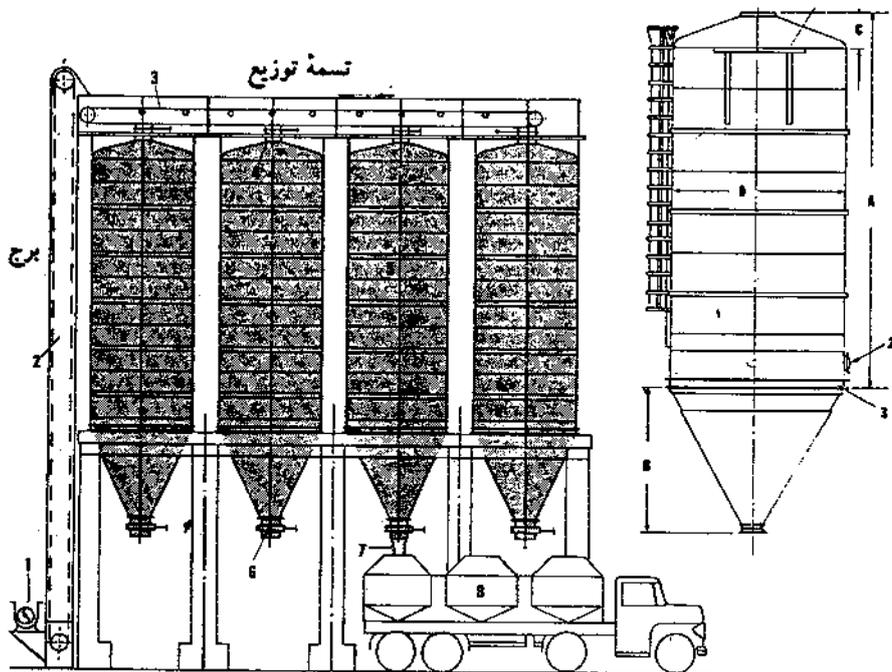
و در اجرای آنها می‌توان از همان ضوابط و مشخصات موجود برای ساختمان‌های تجاری یا اداری یا مسکونی استفاده نمود. این ساختمان‌ها عبارتند از: ساختمان نگهبانی و حراست، ساختمان‌های محل سکونت کارکنان سیلو، ساختمان‌های اداری برای پرسنل مستقر در سیلو، انبارها، کارگاه‌های برقی و مکانیکی، تأسیسات برق اضطراری، موتورخانه، مخازن آب زمینی و هوایی، پست برق و ترانسفورماتور، جاده‌های دسترسی در داخل و خارج از محوطه سیلو و بالاخره محوطه‌سازی و سیستم‌های زهکش و تخلیه آب‌های سطحی (شکل ۲ - ۱).

همان‌گونه که قبلاً نیز بیان گردید در طراحی ساختمان‌های فوق می‌توان از معیارهای مربوط به ساختمان‌ها و ابنیه فنی و صنعتی که توسط سازمان‌های ذیصلاح تهیه و منتشر گردیده است استفاده نمود. لیکن طرح و محاسبه ساختمان‌های اصلی باید به گونه‌ای صورت پذیرد که پارامترهای طراحی و مشخصه، عواملی نظیر تفاوت‌های رفتاری اجزای متشکله این نوع تأسیسات با سایر ساختمان‌های صنعتی را به‌خوبی منعکس نماید. پارامترهایی نظیر تعدد و تکرار بارگذاری و باربرداری فونداسیون‌ها، افزایش تدریجی دما به‌واسطه انباشته شدن غله در داخل کندو و احتمال بروز انفجار، امکان نشست غیریکتواخت و غیرهمگن در فونداسیون‌ها و اختلال در عملکرد منظم ماشین‌آلات که در ساختمان‌های مختلف نصب گردیده‌اند و بالاخره امکان برخورد ساختمان‌هایی با ارتفاع بیش از ۵۰ متر (کندوها و برجکار) و خرابی ناشی از ضربه وارده بر آنها، همه از جمله عواملی هستند که این نوع ساختمان‌ها را کاملاً از سازه‌های مشابه متمایز می‌نمایند و لذا ضرورت تدوین مقررات خاص و ارایه پیشنهادات طراحی مناسب بیش از هر زمان دیگری احساس می‌گردد. نکات عمده‌ای که به‌لحاظ سازه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و به‌ذکر آنها پرداخته می‌شود عبارتند از:

- ۱ - ملاحظات مربوط به انتخاب محل مناسب برای احداث سیلو (مکان‌یابی).
- ۲ - تهیه طرح معماری مناسب که بتواند کلیه نیازها و اهداف اصلی طرح را برآورده نموده و تداخل قسمت‌های مختلف را به‌حداقل میزان ممکن برساند.
- ۳ - مطالعه منابع نیرویی مختلف یا منشأ ژئوفیزیکی یا مصنوعی که به‌نحوی در مقاطع مختلف سازه‌ها، ایجاد تنش یا تغییر شکل می‌نماید. تشخیص انواع بارهای وارده در طول عمر مفید تأسیسات، نحوه ترکیب آنها و مشخص نمودن مقاطع که حالت بحرانی داشته و در نهایت کنترل‌کننده پارامترهای انتخاب شده برای طراحی می‌باشد.
- ۴ - استفاده از آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های معتبر و شناخته شده برای آنالیز تنش ناشی از بارگذاری‌های مذکور در بند ۳. در این زمینه سعی می‌شود ضمن معرفی روش‌های تحلیل و

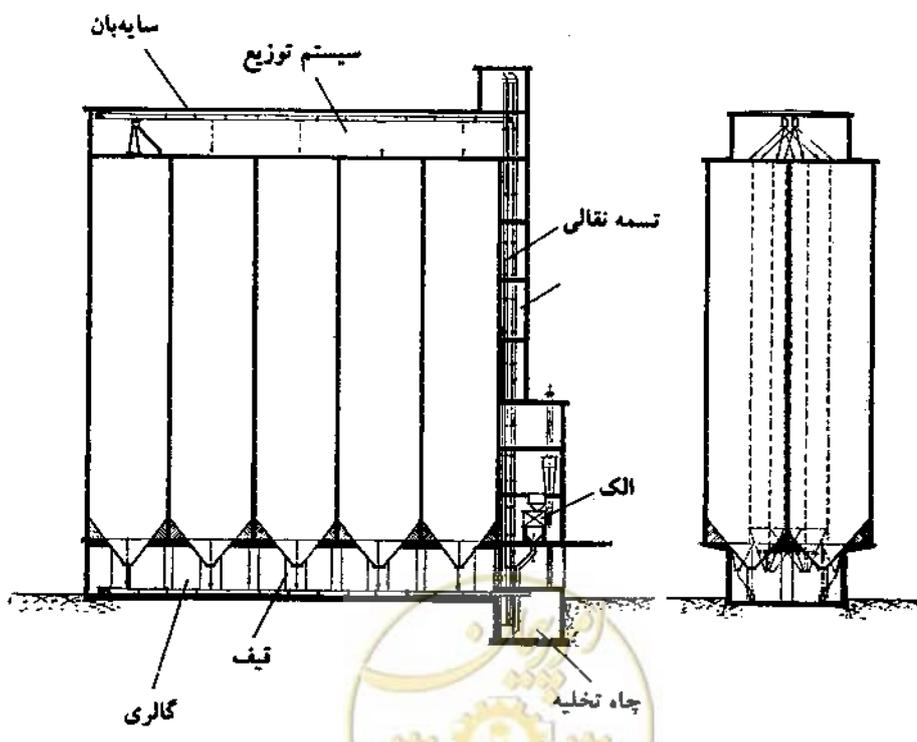
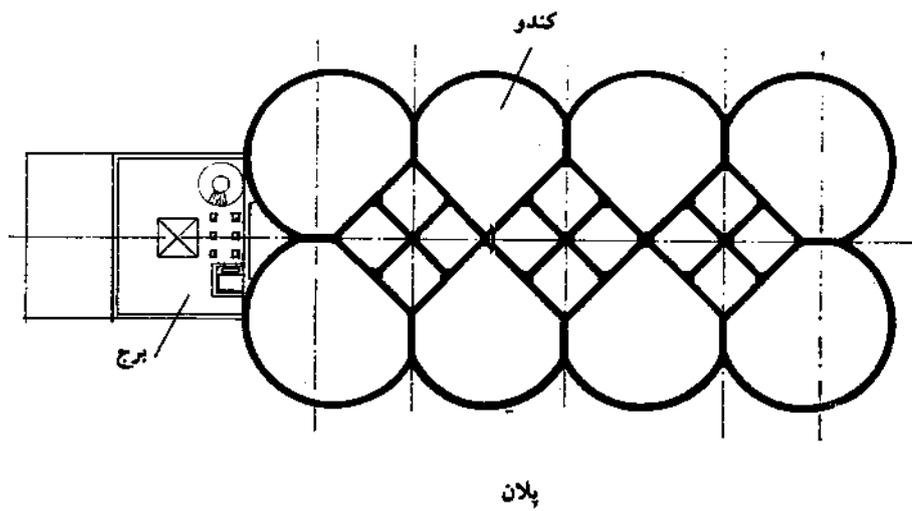


شکل ۱-۲ پلان محوطه سیلو (حداقل ۵ هکتار، حداکثر ۳۰ هکتار).

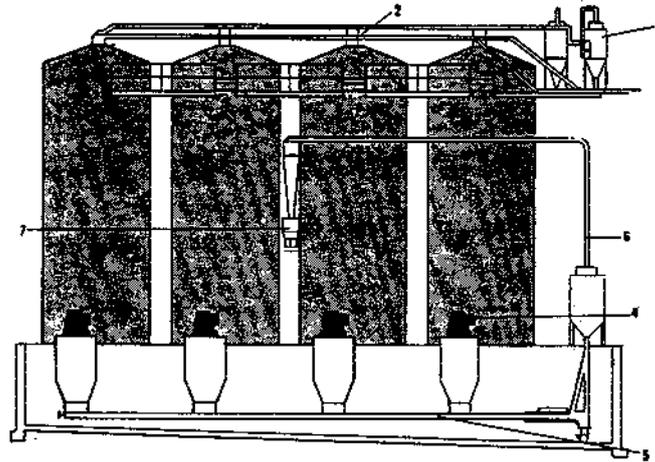


شکل ۲-۲ سیستم تخلیه از زیر.

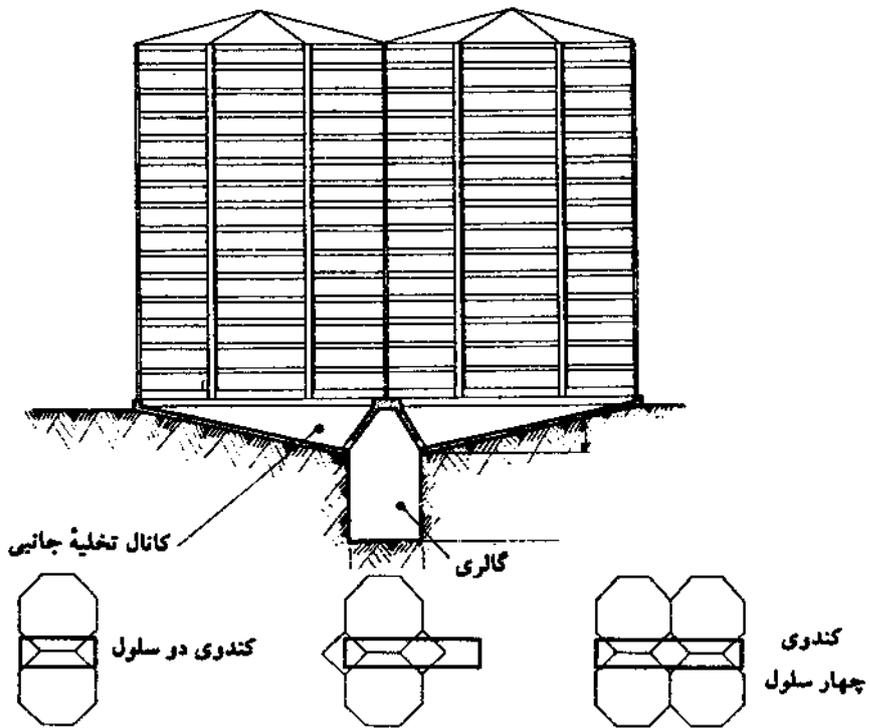




شکل ۲-۳. پلان، مقطع طولی و عرضی سیلو.



شکل ۲-۴ سیستم تخلیه از زیر به کمک نسمه نقاله.



شکل ۲-۵ سیستم تخلیه توسط گالری مرکزی.



مدل‌های سازه‌ای مناسب، نرم‌افزارهای موجود در طراحی قسمت‌های مختلف سیلو نیز معرفی شوند.

۲-۲ معیارها و استانداردهای مکان‌یابی، طراحی و اجرای سیلوه‌های بتنی در ایران

۲-۲-۱ مکان‌یابی سیلوه‌ها

نکاتی که در مکان‌یابی یک سیلوی غله با ظرفیت بالا باید مورد توجه قرار گیرد به‌اختصار به‌شرح زیر است:

۲-۲-۲ جاده‌های اصلی و راه‌های دسترسی

شبکه‌های حمل و نقل اصلی و راه‌های آسفالت‌نا نزدیکی محل احداث سیلو، قبلاً احداث گردیده باشد. محل سیلو حتی‌الامکان به‌شبکه‌ی راه‌آهن که ارزانترین وسیله‌ی انتقال کالا است نزدیک باشد. کلیه‌ی پل‌ها و ابنیه‌ی فنی که در مسیر کامیون‌های حامل غله به‌محل سیلو قرار می‌گیرند از مقاومت کافی برخوردار باشند.

۲-۲-۳ خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه

زمین محل احداث سیلو باید فشارهای وارد در مرحله‌ی بهره‌برداری را به‌خوبی تحمل نماید. انتخاب ساختگاه در مکان‌هایی که لایه‌های سست بستر سنگی بر روی هم قرار گرفته باشند مجاز نیست. در محل مورد نظر، می‌بایست زمین نسبتاً هموار باشد. وجود پستی و بلندی‌های زیاد، هزینه‌ی تسطیح و خاکبرداری و خاکریزی قابل ملاحظه‌ای به‌پروژه تحمیل می‌کند. خاک محل باید همگن باشد. وجود املاح و ترکیبات شیمیایی نظیر کلرورها و سولفات‌ها جزو عوامل نامطلوب بوده و از انتخاب محل در مجاورت گنبد‌های نمکی و زمین‌های شوره‌زار باید اجتناب گردد. سفره‌آب‌های زیرزمینی نباید نزدیک به‌سطح زمین باشد تا خطر روانگرایی به‌هنگام وقوع زلزله تأسیسات ذخیره‌ای را تهدید نماید. به‌علاوه در مکان‌هایی که تأسیسات صنعتی دیگری قبلاً احداث گردیده و یا در آینده ساخته خواهد شد و به‌خصوص در مواردی که پساب این واحدها در مجاورت سیلو عبور می‌نمایند اجرای پروژه‌های ذخیره‌سازی مجاز نیست. قرار گرفتن سیلو در مکان‌هایی که نزدیک به‌گسل‌های فعال باشند و تکان‌های قوی هر چند وقت یک‌بار منطقه را به‌لرزه در می‌آورد هزینه‌ی پروژه را به‌طور فزاینده‌ای افزایش خواهد داد. همچنین عبور قنات‌های قدیمی از زیر فونداسیون و مسائل ناشی از نشست موضعی، اختلال در عملکرد ماشین‌آلات و تجهیزات مکانیکی را به‌دنبال خواهد داشت.

۴-۲-۲ دسترسی به آب

تأمین آب تمیز و با کیفیت مطلوب برای تهیه بتن، مصالح بهداشتی، آشامیدنی و مصارف دوره بهره‌برداری باید با کمترین زمینه مقدور باشد. آب قابل دسترسی بهتر است در صورت امکان بدون انجام عملیات تصفیه و بدون استفاده از سیستم‌های انتقال تأمین گردد.

۵-۲-۲ دسترسی به برق دائمی و خطوط مخابراتی

محل احداث سیلو باید در نزدیکی شبکه برق‌رسانی واقع گردیده و جریان برق با ولتاژ بالا که در هنگام ساخت و بهره‌برداری مورد نیاز است قابل حصول باشد. انتقال جریان از محل انشعاب به محل کارگاه نباید مستلزم احداث دکل‌های فلزی و تأسیسات جانبی با هزینه زیاد باشد. دسترسی به شبکه مخابراتی کشور و استفاده از خطوط فاکس و تلفن در مراحل ساخت و بهره‌برداری، الزامی است.

۶-۲-۲ تأمین مصالح ساختمانی در محل

وجود کارخانه‌های تهیه سیمان و نزدیک بودن منابع قرضه برای تهیه شن و ماسه از عوامل بسیار مؤثر در اقتصاد پروژه‌های ذخیره‌سازی است. حمل مصالح از فواصل دور، علاوه بر هزینه‌های اجرایی، زمان ساخت را نیز به‌طور قابل ملاحظه افزایش خواهد داد.

۷-۲-۲ تأمین ماشین‌آلات سنگین و پرسنل فنی

قرار گرفتن شهرهای بزرگ و مراکز سکونت عمده در نزدیکی محل احداث سیلو، امکان تهیه ماشین‌آلات سنگین نظیر کامیون، کمپرسی، تریلی، بتونیز، جرثقیل و... را به‌طور کرایه‌ای فراهم می‌نمایند. تأمین پرسنل فنی و ماده نظیر تکنسین آزمایشگاه، راننده، جوشکار، برقکار، آرمان‌توربند و... و نیز تأمین پرسنل فنی و اداری در مرحله بهره‌برداری باید امکان‌پذیر باشد.

۸-۲-۲ ترافیک منطقه

محل سیلو نباید به گونه‌ای باشد که موجب ترافیک و برهم زدن نظم راه‌های اصلی و یا مسیرهای حمل و نقل درون‌شهری در زمان فصل خرید بشود. امکان توقف کامیون‌ها به مدت چندین ساعت و چندین روز باید در انتخاب محل سیلو در نظر گرفته شود.



۲-۲-۹ مطالعات هیدرولوژیکی و کلیاتولوژیکی منطقه

وزش بادهای با سرعت زیاد، علاوه بر انتقال گرد و خاک به مراکز سکونت مجاور، نیروهای طراحی را افزایش داده و پایداری سازه‌ها را به‌مخاطره می‌اندازد. در شرایط اضطراری می‌بایست جهت وزش باد در منطقه تعیین و سپس جهت استقرار سازه‌ها در پلان مشخص گردد. احداث سیلو در محل‌هایی با طوفان‌های شنی، فرسایش ماشین‌آلات و تأسیسات مکانیکی را سرعت می‌بخشد. بارش باران‌های سیل‌آسا و قرار گرفتن سیلو در مسیر، هزینه احداث سیستم‌های تخلیه آب‌های سطحی را به‌عملیات اجرایی اضافه می‌نماید. همچنین عدم دفع سریع آب‌های ناشی از بارش برف و باران می‌تواند خسارات قابل ملاحظه‌ای را به‌مواد ذخیره‌ای فراهم سازد. سطح آب‌های زیرزمینی در فصول بارانی نباید به‌سطح زمین نزدیک شود.

۲-۲-۱۰ سهولت صادرات و واردات

محل احداث سیلو بهتر است حتی‌الامکان در فواصل نزدیک به بنادر و مراکز صادراتی کشور انتخاب شود و انتقال گندم‌های وارداتی در کوتاهترین فاصله زمانی و مکانی به سیلو صورت پذیرد.

۲-۲-۱۱ سهولت توزیع غلات

حتی‌الامکان سیلو به مرکز استان و نقاط پرمصرف غلات نزدیک باشد.

۲-۲-۱۲ امکان توسعه آتی

محل سیلو باید به نحوی باشد که جهت احداث آسیاب، کارخانجات وابسته به آن، احداث خانه‌های سازمانی و ادارات وابسته و نیز احداث انبارهای مکانیزه در نزدیکی سیلو در آینده مشکل عمده‌ای موجود نباشد.

۲-۲-۱۳ مالکیت زمین در محل سیلو

مالکیت زمین و نوع آن باید مشخص باشد. اکتیاف زمین‌های زراعی و بعضاً مسکونی با توجه به اینکه محوطه وسیعی به این نوع تأسیسات اختصاص داده می‌شود قسمت تمام شده و هزینه ذخیره‌سازی را بالا می‌برد. همچنین تصرف زمین‌های اوقافی، دولتی، منابع طبیعی و تخریب باغات اکثراً مسائل حقوقی و مشکلات قانونی به‌دنبال خواهد داشت.

۲-۲-۱۴ هماهنگی با طرح جامع شهر یا استان

محل سیلو باید به گونه‌ای باشد که با طرح جامع استان یا شهر هماهنگ بوده و در مسیر توسعه آتی

شهر قرار نگیرد.

۲-۲-۱۵ نکات متفرقه در انتخاب محل

برخورداری از امنیت نسبی به‌هنگام ساخت و بهره‌برداری - نزدیکی به پایگاه‌های انتظامی - نزدیک به آزمایشگاه فنی جهت کنترل کیفیت و آزمایش مصالح - امکان استفاده از تسهیلات ایاب و ذهاب شهری برای پرسنل شاغل و پرسنل فنی به‌هنگام ساخت - نزدیک بودن به خطوط انتقال گاز - نزدیک بودن به جایگاه‌های توزیع سوخت (بنزین و گازوئیل و...) - قابلیت زمین برای احداث فضای سبز و درختکاری و ایجاد جنگل‌های طبیعی.

۲-۲-۱۶ حفظ محیط زیست

برای احداث سیلو باید کمترین تعداد درخت قطع گردد. محل سیلو حتی‌الامکان از هجوم کبوترها و سایر پرندگان مصون بوده و از تجمع آنها می‌بایست جلوگیری شود. امکان رشد و تکثیر موش و جانوران ناقل میکروب در محل موجود نباشد.

۲-۳ انتخاب طرح معماری و سازه‌ای

۲-۳-۱ قبل از ارایه طرح معماری و سازه‌ای نهایی، می‌بایست طرح مقدماتی براساس شناسایی و بررسی فاکتورهای اصلی زیر تهیه گردد.

- انجام مطالعات لرزه‌خیزی و زمین‌شناسی محل
- تغییر نتایج نهایی ژئوتکنیک
- انتخاب ماشین‌آلات لازم با مشخصات فنی و هندسی کامل آنها
- استقرار اولیه ماشین‌آلات در سیلو
- تهیه طرح کنترل
- بررسی تأمین آب و نحوه آبرسانی و دفع فاضلاب در سیلو
- بررسی اقتصادی و برآورد قیمت برای گزینه بهینه
- تعیین ابعاد هندسی ساختمان‌های اصلی و جنبی طرح
- تهیه طرح محوطه
- بررسی کامل و جامع در رابطه با مصالح مورد استفاده جهت ساختمان‌ها و تأسیسات
- بررسی روش‌های مختلف اجرای ساختمان و پیش‌بینی روش مناسب (با توجه به هزینه، مدت اجرا و محل اجرا)



- تهیه گزارش توجیهی از نظر اقتصادی، اجرایی و سایر موارد در خصوص طرح پیشنهادی
- تهیه مشخصات اصلی و ضروری اجرای طرح و برآورد اوزان، احجام و...
- تهیه و تنظیم برآورد هزینه اجرای کار
- تهیه نقشه‌های مربوط به طرح مقدماتی
- تهیه برنامه زمان‌بندی اجرایی مراحل مختلف طرح
- تهیه گزارش نهایی مطالعات مقدماتی مرحله اول

۲-۳-۲ بعد از تکمیل مطالعات و تدوین گزارشات فوق‌الذکر، لازم است بررسی‌های اولیه‌ای در رابطه با طرح به عمل آید که اهم آنها از این قرار است:

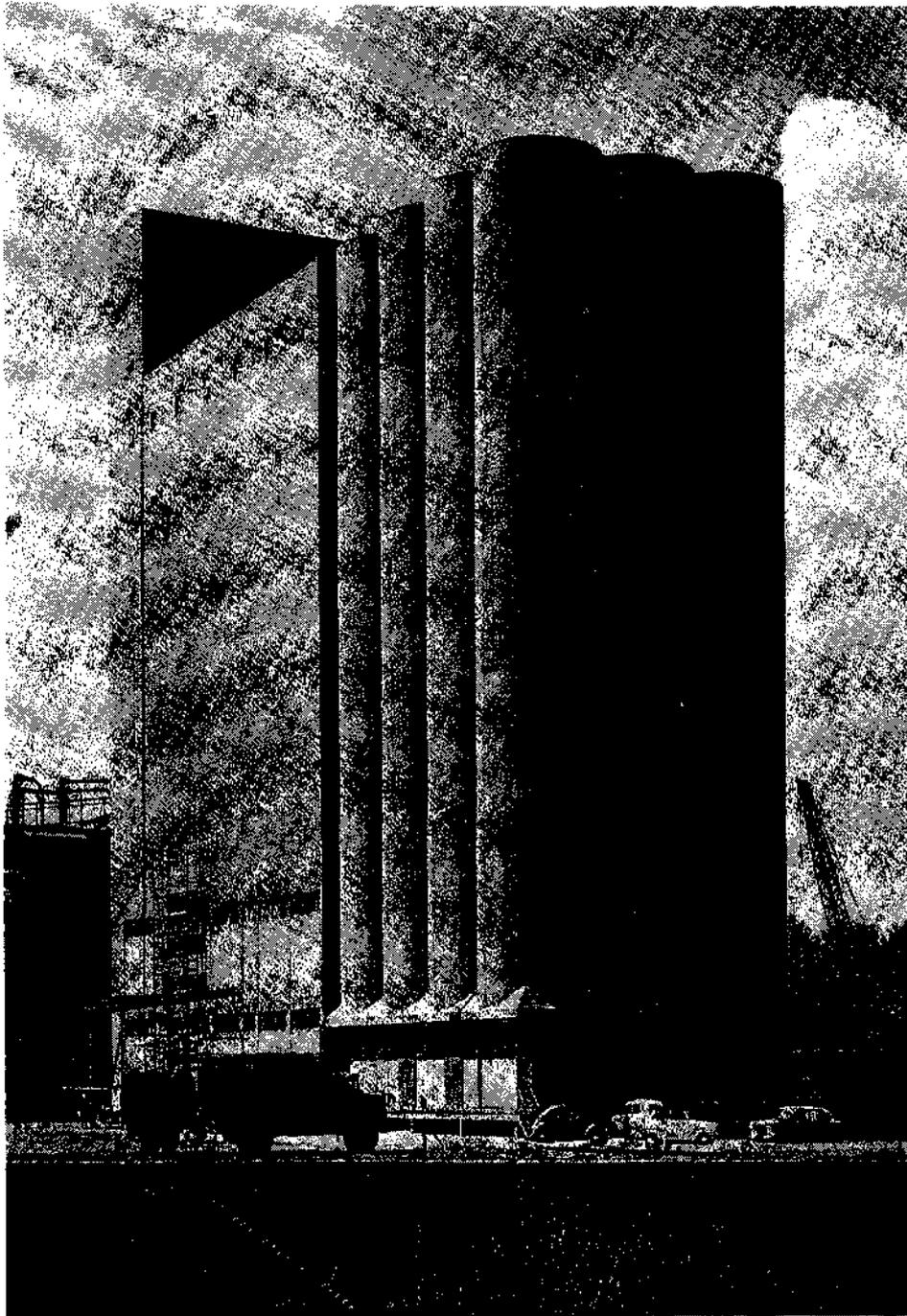
- مذاکره و تبادل نظر با کارفرما پیرامون نیازهای طرح و تعیین ظرفیت استاتیکی و دینامیکی سیلو
- جمع‌آوری و دریافت اطلاعات لازم مرتبط با طرح
- بازدید از محل و کسب اطلاعات لازم از موقعیت زمین
- انجام مطالعات و بررسی‌های همه‌جانبه در مورد نیازهای حال و آینده طرح
- پیگیری عملیات ژئوتکنیک و اعلام نیازها به مشاور خاک
- بررسی سیستم ماشین‌آلات و کنترل سیلو بر تهیه فلوچارت (نمودار جریان) مربوطه
- بررسی نتایج آزمایشات خاک، آب و مصالح ساختمانی محل
- تحقیق و بررسی درباره مصالح ساختمانی در محل و پیش‌بینی‌های لازم جهت تهیه آنها

۲-۴ تقسیم‌بندی سیلوها از نظر کاربری

از نظر کاربری سیلوها را می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود:

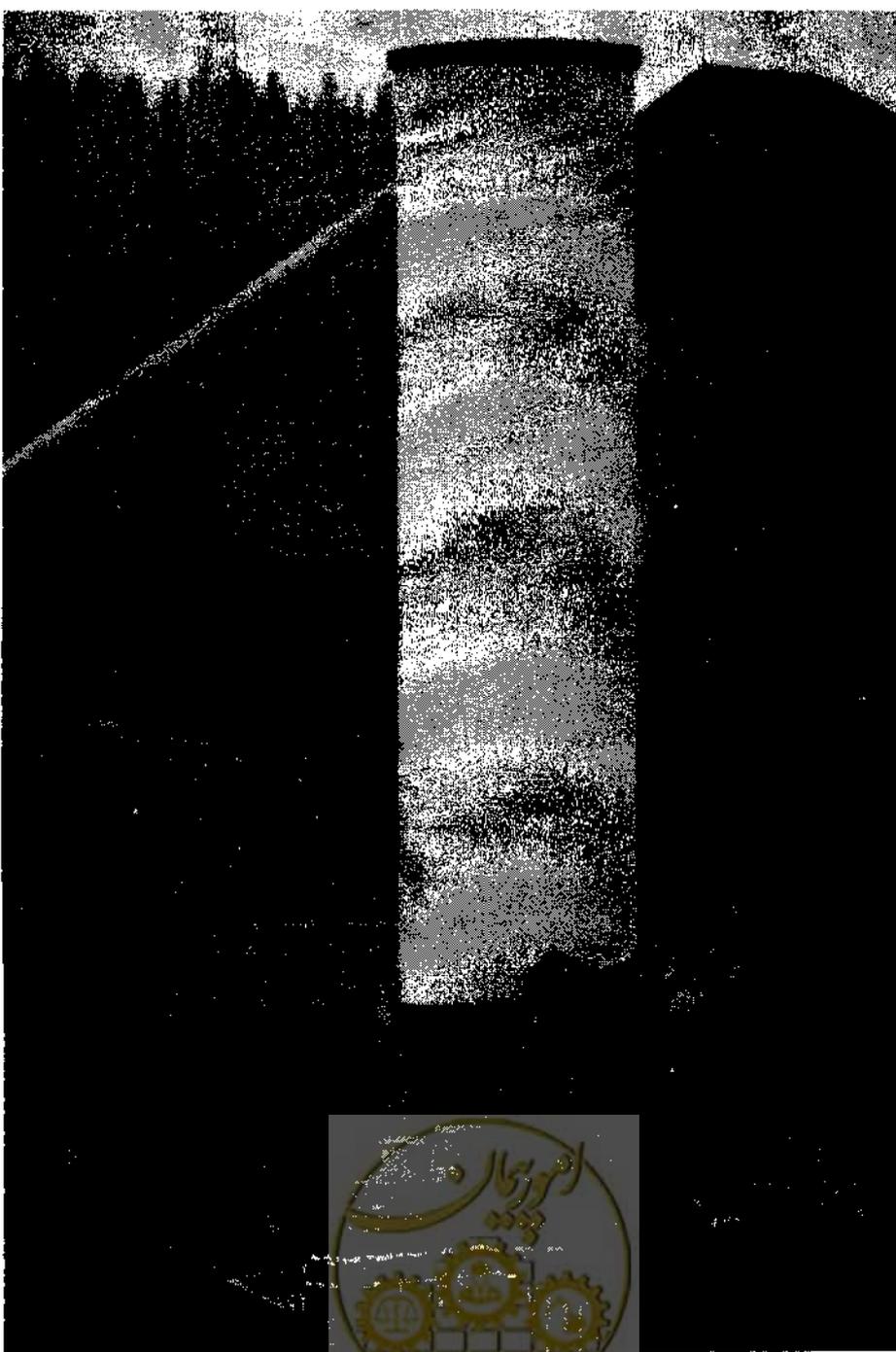
- ۱- سیلوی ذخیره غلات (شکل ۲-۶).
- ۲- سیلوی ذخیره مواد اولیه صنعتی مثل سنگ آهن، سیمان، ذغال سنگ، کلینکر، کک و موارد مشابه (شکل ۲-۷).
- ۳- سیلوی ذخیره‌سازی آرد (شکل ۲-۸).
- ۵- سیلوهای اسکله‌ای برای صادرات و واردات (سیلوهای ترازیت) (اشکال ۲-۹ و ۲-۱۰).

اشکال ارائه شده می‌تواند مبنای مقایسه‌ای برای انتخاب نمای ظاهری سیلو برحسب موقعیت قرارگیری آن در فضای شهری و غیره باشد.

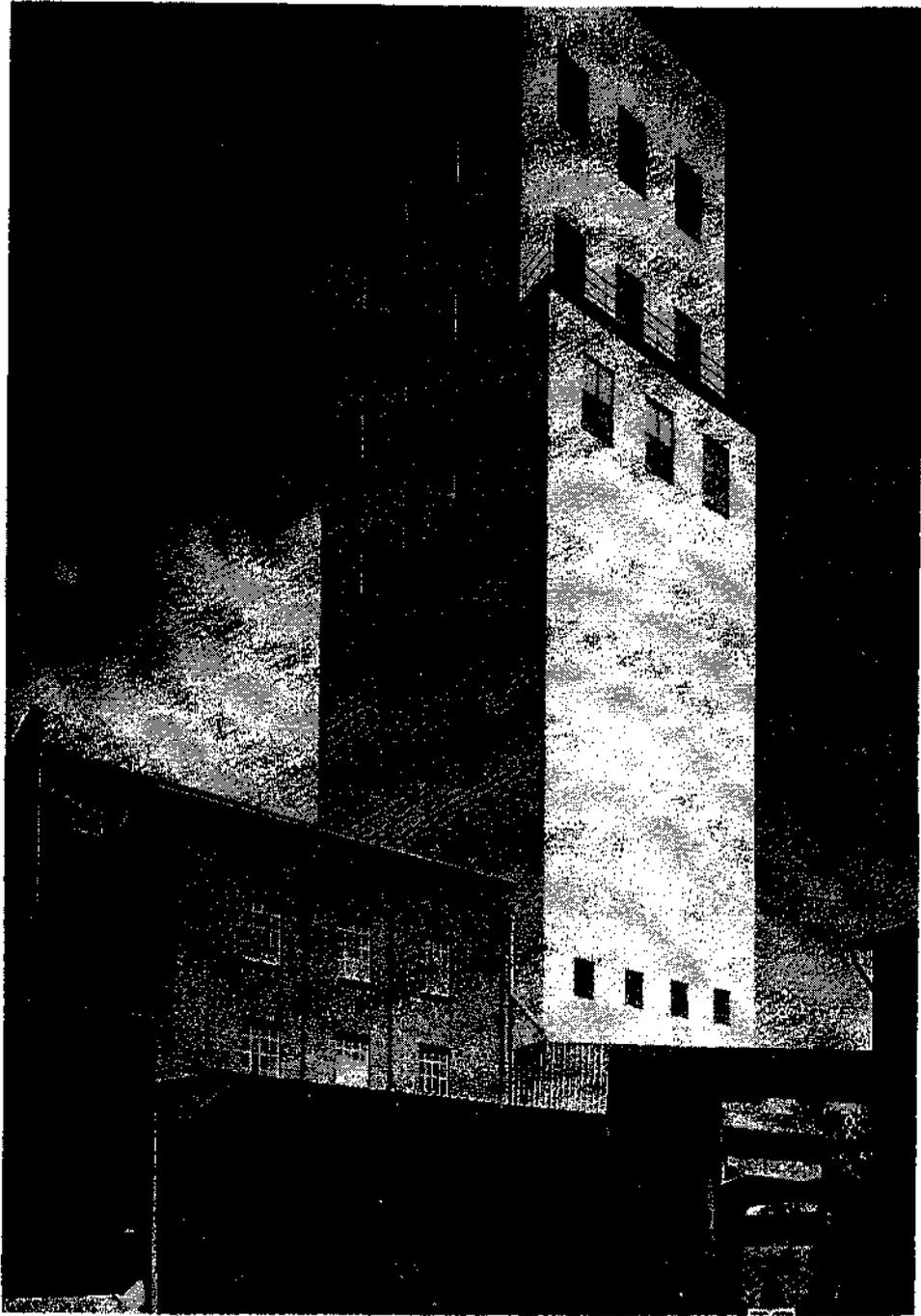


شکل ۲-۶ سیلوی ذخیره غلات.





شکل ۲-۷. سیلوی سنگ آهن.



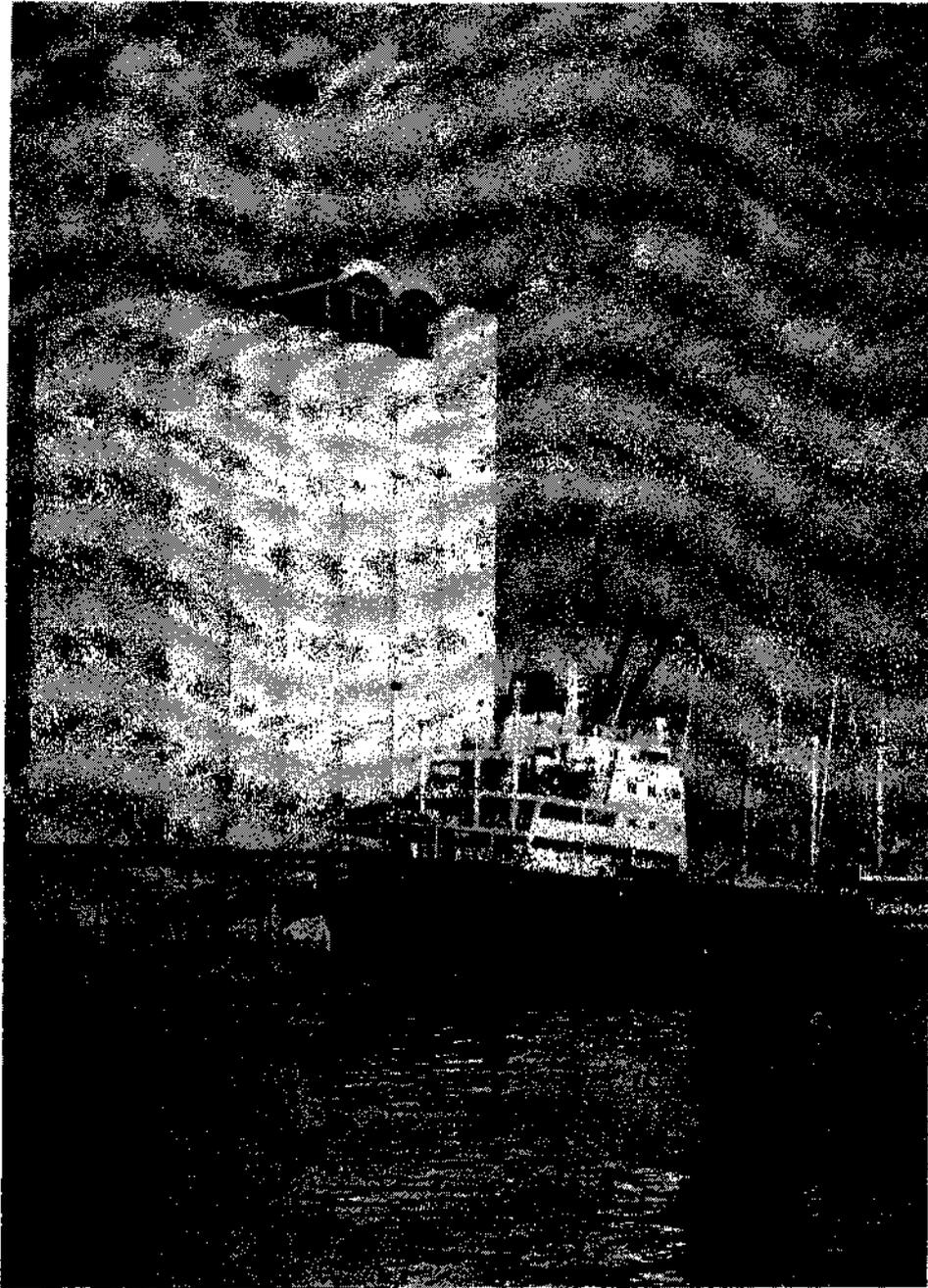
شکل ۲-۸ سیلوی ذخیره‌سازی آرد.





شکل ۹-۳: ستبری اسکله‌ای برای صادرات و واردات در چین ساخته شده





شکل ۲-۱۰. سیلوی اسکله‌ای در حین بهره‌برداری.





مصالح بتن و فولاد

قسمت الف: مصالح بتن

۳-۱ انتخاب و تأیید مصالح

۳-۱-۱ ملاحظات طراحی

مصالح مصرفی در ساخت بتن باید طوری انتخاب شوند که ضوابط طراحی از نظر ایمنی، عملکرد سازه‌ای، پایداری و شکل ظاهری سازه، با توجه کافی به شرایط محیطی، تأمین شوند. درصد مواد زیان‌آور در مواد تشکیل‌دهنده بتن نباید از مقادیر تعیین شده به‌عنوان حداکثر مجاز تجاوز کنند (به‌بند ۳-۴-۵ رجوع شود).

۳-۱-۲ ویژگی‌های مصالح مصرفی

۳-۱-۲-۱ به‌طور کلی مصالح مصرفی در ساخت بتن باید مطابق ویژگی‌های تعیین شده در استانداردهای مربوط به این آیین‌نامه باشند (به‌بند ۳-۲-۲ رجوع شود). در صورت لزوم باید گواهی تطابق مصالح مصرفی با ویژگی‌های استاندارد ارائه شود.

۳-۱-۲-۲ مصالحی را که در فهرست استانداردهای آزمایش‌ها درج نشده‌اند می‌توان در ساخت بتن به‌کار برد مشروط بر آنکه اثر این نوع مصالح بر ضوابط طراحی به‌طور کامل مورد بررسی قرار گیرد، اطلاعات کافی و قابل قبول در مورد مناسب بودن این گونه مصالح در دست باشد، و از کنترل کیفیت اطمینان حاصل شود. تجربه‌های قبلی همراه با نتایج حاصل از آزمایش‌های این گونه مصالح را باید با توجه به مشخصات خصوصی و نظر دستگاه نظارت در پروژه، منظور داشت. در صورت



استفاده از این نوع مصالح باید سوابق مربوط به جزییات و عملکرد آنها همراه با نقشه‌های اجرا شده نزد کارفرما نگهداری شود.

۳-۲-۲ آزمایش‌های مصالح

۳-۲-۲-۱ دستگاه نظارت می‌تواند علاوه بر آنچه در مدارک مربوط به مشخصات فنی اجرایی پیش‌بینی شده انجام آزمایش‌های دیگری را برای هر یک از مصالح مصرفی در ساخت بتن درخواست کند تا از تطابق کیفیت این مصالح با ویژگی‌های فنی مقرر اطمینان یابد.

۳-۲-۲-۲ آزمایش‌ها باید طبق استانداردهای تعیین‌شده به‌وسیله دفتر امور فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به‌عمل آید.

۳-۲-۲-۳ دستگاه نظارت باید تا خاتمه دوره تضمین و حداقل تا یک سال پس از پایان کار هر پروژه، سابقه کامل نتایج آزمایش‌های انجام‌شده روی مصالح را نگهداری و سپس به‌صاحب‌کار تحویل دهد. ضبط و نگهداری این اطلاعات به‌صورت رایانه‌ای برای ساختمان‌های مهم الزامی است.

۳-۳-۳ سیمان

۳-۳-۳-۱ سیمان مصرفی در ساخت قطعات باربر باید با یکی از مشخصات مشروح زیر یا هر استاندارد دیگری که قبلاً به‌تأیید دستگاه نظارت رسیده مطابقت داشته باشد:

- (الف) «مشخصات انواع سیمان پرتلند» (دت ۱۰۱).
- (ب) «مشخصات سیمان‌های پرتلند آمیخته روپاره‌ای» (دت ۱۰۲).
- (پ) «مشخصات سیمان‌های پرتلند آمیخته پوزولانی» (دت ۱۰۳).
- (ت) «مشخصات سیمان پرتلند آمیخته آنکی» (دت ۱۲۹).

۳-۳-۳-۲ سیمان مصرفی در کارگاه باید دارای مشخصات سیمانی باشد که در تعیین نسبت‌های اختلاط به‌کار رفته است (به‌بند ۶-۲ رجوع شود).



۳-۴ سنگدانه‌ها

۳-۴-۱ سنگدانه‌های مصرفی در بتن، باید دارای چنان کیفیتی باشند که بتوان با آنها بتنی مقاوم و پایا ساخت.

۳-۴-۲ سنگدانه‌های مصرفی در ساخت بتن باید با مشخصات سنگدانه‌های بتن، (دت ۲۰۱) مطابقت داشته باشند.

۳-۴-۳ سنگدانه‌هایی را که برخی از ویژگی‌های آنها مطابق بند ۳-۴-۲ نباشد ولی آزمایش‌های خاص یا سابقه عملکرد واقعی آنها نشان دهد که می‌توان با آنها بتنی با مشخصات مورد نظر بتن تازه و با مقاومت و پایایی کافی به دست آورد، با تأیید دستگاه نظارت در ساخت بتن مصرف می‌شود.

۳-۴-۴ بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌های درشت نباید از هیچ‌یک از مقادیر زیر بیشتر باشد.

(الف) یک پنجم کوچکترین بعد داخلی قالب بتن.

(ب) یک سوم ضخامت دال.

(پ) سه چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگردها.

(ت) سه چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد.

تبصره ۱: اندازه کوچکترین الکی که حداکثر ده درصد وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند، اندازه اسمی سنگدانه نامیده می‌شود.

تبصره ۲: به کار بردن سنگدانه‌های درشت‌تر از ۳۸ میلی‌متر در ساخت بتن آرمه توصیه نمی‌شود، ولی در هیچ حالت اندازه سنگدانه‌ها نباید از ۶۳ میلی‌متر تجاوز کند.

۳-۴-۵ مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها

۳-۴-۵-۱ کلیات

سنگدانه‌های مصرفی در بتن باید سخت و پایا باشند و مواد زیان‌آور موجود در آنها نباید از مقادیر حداکثر مجاز ذکر شده در بندهای ۳-۴-۵-۲ و ۳-۴-۵-۳ تجاوز کنند.

۳-۴-۵-۲ مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز

مقدار مواد زیان‌آور موجود در سنگدانه‌های ریز بتن نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول



۳۰ آیین‌نامه طراحی سیلوه‌های بتن‌آرمه

۳-۴-۵-۲ تجاوز کند، و روش آزمایش برای هر یک از مواد زیان‌آور باید مطابق این جدول باشد. همچنین ارزش ماسه‌ای سنگدانه‌های ریز بتن براساس دت ۲۳۲ نباید کمتر از ۷۵ درصد باشد.

۳-۴-۵-۳ مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت

مقدار مواد زیان‌آور موجود در سنگدانه‌های درشت بتن نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول ۳-۴-۵-۳ تجاوز کند و روش آزمایش برای هر یک از مواد زیان‌آور باید مطابق این جدول باشد.

۳-۴-۵-۴ سنگدانه‌های پولکی و سوزنی

درصد دانه‌های پولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت نباید از مقادیر داده شده در جدول ۳-۴-۵-۴ تجاوز کند.

جدول ۳-۴-۵-۲ حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز بتن و روش‌های آزمایش

نوع ماده زیان‌آور	روش آزمایش	حداکثر درصد وزنی مجاز در کل نمونه
کلر خه‌های رسی و دانه‌های سست	دت ۲۲۱	۳
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر) - بتن تحت سایش - سایر بتن‌ها	دت ۲۱۸	۳۰ ۵۰
زغال‌سنگ، لیگنیت، یاسایر مصالح سبک: - هنگامی که نمای ظاهری بتن حایز اهمیت است - سایر بتن‌ها	دت ۲۱۹	۰/۵ ۱
میکا		۱
سولفات‌ها برحسب (SO_4^{--})	دت ۲۳۰	۰/۴۰۰
کلریدها برحسب (Cl^-)	دت ۲۳۱	۰/۰۴

* در مورد ماسه شکسته، اگر دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ منشکل از پودر سنگ و عاری از رس باشند، می‌توان این مقادیر را به ترتیب به ۵ و ۷۱ درصد افزایش داد. این درصدها براساس دانه‌بندی ماسه گذشته از الک ۴/۷۵ میلی‌متر (شماره ۴) محاسبه می‌شوند.

** مقدار کل سولفات قابل حل در آب برحسب SO_4^{--} در مخلوط بتن و با احتساب SO_4^{--} موجود در سیمان، نباید از ۴ درصد بیشتر باشد و به هر حال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

جدول ۳-۴-۵-۳. مقادیر حداکثر مجاز مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت بتن و روش‌های آزمایش

نوع ماده زیان‌آور	روش آزمایش	حداکثر درصد وزنی مجاز در کل نمونه
کلوخه‌های رسی	دت ۲۲۱	۰/۲۵
دانه‌های نرم*	دت ۲۲۳	۵
چرت به صورت ناخالصی** - در معرض شرایط محیطی شدید - در معرض شرایط محیطی متوسط - در معرض شرایط محیطی ملایم		۱ ۳ ۵
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر)	دت ۲۱۸	۱*
زغال‌سنگ، لیگنیت، یا سایر مصالح سبک: - هنگامی که نمای ظاهری بتن حایز اهمیت است - سایر بتن‌ها	دت ۲۱۹	۰/۵ ۱
دانه‌های سست شامل مجموع کلوخه‌های رسی، دانه‌های نرم، چرت هوازده، شیل‌ها و شیست‌های متورق هوازده: - بتن نمایان - بتن تحت سایش - سایر بتن‌ها	-	۳ ۵ ۷
سولفات‌ها برحسب (SO _۴ ^{-۲})	دت ۲۳۰	۰/۴۰۰
کلریدها برحسب (Cl ⁻)	دت ۲۳۱	۰/۰۲

- * این محدودیت فقط در مواردی حاکم است که نرمی هر یک از دانه‌های درشت به تنهایی با توجه به عملکرد بتن جنبه‌بهرانی دارد، از قبیل کف‌های برتردد یا سایر مواردی که سخنی سطح‌اهمیتی ویژه دارد.
- ** این‌گونه چرت در ۵ سیکل در آزمایش سلامت یا ۵۰ سیکل در آزمایش زدن بیخ و آب شدن (صفر تا ۴ درجه سلسیوس) از هم می‌پاشد، یا چگالی آن در حالت اشباع با سطح خشک، از ۲/۳۵ کمتر است. از هم پاشیدن به شکسته یا تکه شدن واقعی براساس آزمایش‌های عینی اطلاق می‌شود. این محدودیت‌ها فقط در مورد سنگدانه‌هایی حاکم‌اند که چرت به عنوان ناخالصی آنها تلقی شود و در مورد شن‌هایی که بیشتر از چرت تشکیل یافته‌اند قابل اعمال نیست.
- محدودیت‌های مربوط به سلامت سنگدانه‌ها باید بر سوابق بهره‌برداری از آنها در محیط مورد نظر استوار باشد. برای ملاحظه طبقه‌بندی شرایط محیطی به‌آیین‌نامه آبا مراجعه شود.
- + در مورد دانه‌های شکسته، اگر دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ مشکل از پودر سنگ و عاری از رس باشند، می‌توان این درصد را به ۱/۵ افزایش داد.
- ++ مقدار کل سولفات قابل حل در آب برحسب SO_۴^{-۲} مخلوط بتن و با احتساب SO_۴^{-۲} موجود در سیمان، نباید از ۴ درصد بیشتر باشد، و به‌رحال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند.



جدول ۳-۴-۵-۴ مقادیر حداکثر مجاز سنگدانه‌های بولکی و سوزنی در سنگدانه‌های درشت

حداکثر درصد وزنی مجاز	روش آزمایش	نوع سنگدانه
۳۰	دت ۲۲۰	دانه‌های بولکی: سنگدانه‌های مانده روی الک ۶/۳ میلی‌متر ($\frac{1}{4}$ اینچ)
۳۵	دت ۲۲۰	دانه‌های سوزنی: سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۶۳ و یا ۵۰ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{4}$ اینچ)
۴۰	دت ۲۲۰	سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۳۸ و یا ۲۵ و یا ۱۹ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{3}{8}$ اینچ)
۲۵	دت ۲۲۰	سنگدانه‌های با حداکثر اندازه ۱۲/۵ و یا ۹/۵ میلی‌متر ($\frac{1}{2}$ و یا $\frac{3}{8}$ اینچ)

۳-۵-۳ آب

۳-۵-۳-۱ آب مصرفی برای شست و شوی سنگدانه‌ها، ساخت و عمل‌آوری بتن باید تمیز و صاف باشد. باید از مصرف آب حاوی مقادیر زیاد از هر نوع ماده از قبیل روغن‌ها، اسیدها، قلیایی‌ها، املاح، مواد فندی، و مواد آلی که قادر به صدمه زدن به بتن یا میلگرد باشد، خودداری کرد. به‌طور کلی آب آشامیدنی برای مصرف در ساخت و عمل‌آوری بتن رضایت‌بخش تلقی می‌شود. آب غیرآشامیدنی مورد تردید را تنها در صورت مطابقت با بند ۳-۵-۲ می‌توان به کار برد. مواد زیان‌آور در آب مصرفی در بتن نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول ۳-۵-۱ تجاوز کند و روش آزمایش برای هر نوع ماده زیان‌آور باید مطابق همین جدول باشد.

۳-۵-۳-۲ آب غیرآشامیدنی را به شرطی می‌توان در ساختن بتن به کار برد که با ضوابط بندهای ۳-۵-۳-۱ الی ۳-۵-۳-۴ و نیز جدول ۳-۵-۱ مطابقت داشته باشد.

۳-۵-۳-۱-۲ انتخاب نسبت‌های اختلاط بتن باید براساس آبی باشد که در کارگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳-۵-۳-۲-۲ مقاومت‌های ۷ و ۲۸ روزه آزمون‌های ملات ساخته شده با آب غیرآشامیدنی مطابقت دت ۱۱۹، باید حداقل معادل ۹۰ درصد مقاومت‌های نظیر آزمون‌های مشابه ساخته شده با آب مقطر باشند.

۳-۵-۳-۲-۳ تعیین زمان گیرش سیمان با آب غیرآشامیدنی باید مطابق دت ۱۱۳ باشد. نتیجه

جدول ۳-۵-۱ حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان‌آور در آب مصرفی بتن و روش‌های آزمایش

نوع ماده	شرح	روش آزمایش	حداکثر غلظت مجاز (قسمت در میلیون)
ذرات جامد معلق	- بتن آرمه در شرایط محیطی شدید، و بتن پیش‌تنیده - بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و بتن بدون آرماتور	دت ۳۰۵	۱۰۰۰ ۲۰۰۰
مواد محلول	- بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بتن پیش‌تنیده - بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم - بتن بدون آرماتور و بدون افلام فلزی مدفون	دت ۳۰۵	۱۰۰۰ ۲۰۰۰ ۳۵۰۰۰
کلر (Cl ⁻)	- بتن آرمه در شرایط محیطی شدید، بتن پیش‌تنیده، و بتن عرشه پل‌ها - سایر موارد بتن آرمه، در شرایط مرطوب، یا دارای مواد آلومینیومی یا فلزات غیرمشابه، یا دارای قالب‌های گالوانیزه دائمی - بتن بدون آرماتور و بدون افلام فلزی مدفون	دت ۳۰۶	۵۰۰* ۱۰۰۰* ۱۰۰۰۰
سولفات (SO ₄ ²⁻)	- بتن آرمه و بتن پیش‌تنیده - بتن بدون آرماتور و بدون افلام فلزی مدفون	دت ۳۰۷	۱۰۰۰* ۳۰۰۰**
قلیایی‌ها (Na ₂ O+۰/۶۵۸K ₂ O)		دت ۳۰۴	۶۰۰

- * مقدار کل یون کلرید قابل حل در آب در مخلوط بتن، برحسب درصد وزن سیمان، نباید از مقادیر حداکثر مجاز داده شده در جدول ۳-۳-۶ تا ۳-۳-۶ آیین‌نامه آبا تجاوز کند.
- ** مقدار کل سولفات قابل حل در آب برحسب SO₄²⁻ در مخلوط بتن و با احتساب SO₄²⁻ موجود در سیمان، نباید از ۴ درصد بیشتر باشد و به هر حال مقدار کل سولفات موجود نباید از ۵ درصد وزن سیمان تجاوز کند.

آزمایش نباید بیش از یک ساعت زودتر تا ۱/۵ ساعت دیرتر از نتیجه به‌دست آمده با آب مقطر باشد.

۳-۵-۲-۴ آزمایش سلامت سیمان با آب غیرآشامیدنی مطابق دت ۱۲۳ صورت می‌گیرد و نتیجه حاصل نباید بیش از میزان مجاز مربوط به آب مقطر باشد.

۳-۵-۲-۵ آزمایش‌های مربوط به این مقایسه‌ها باید در شرایط یکسان، به غیر از نوع آب مصرفی انجام شوند.



۳-۵-۳ مقدار pH مصرفی در بتن نباید از ۵ کمتر و از ۸/۵ بیشتر باشد. آزمایش تعیین pH آب باید مطابق دت ۳۰۳ صورت گیرد.

۶-۳ مواد افزودنی

۱-۶-۳ تعریف

ماده افزودنی ماده‌ای است به غیر از سیمان پرتلند، سنگدانه، و آب، که به صورت گرد یا مایع، به عنوان یکی از مواد تشکیل دهنده بتن و برای اصلاح خواص بتن، کمی قبل از اختلاط یا در حین اختلاط به آن افزوده می‌شود.

مواد افزودنی به دو گروه مواد افزودنی شیمیایی و مواد افزودنی معدنی تقسیم می‌شوند.

۲-۶-۳ کلیات

۱-۲-۶-۳ استفاده از مواد افزودنی در بتن تنها با تصویب قبلی دستگاه نظارت مجاز است.

۲-۲-۶-۳ عملکرد یا مؤثر بودن مواد افزودنی باید قبل از مصرف و به کمک نمونه‌های مخلوط بتن مورد تأیید قرار گیرد.

۳-۲-۶-۳ مواد افزودنی باید با مشخصات دت ۴۰۱ تا دت ۴۰۴ و دت ۴۰۸ تا دت ۴۱۰ مطابقت داشته باشند.

۴-۲-۶-۳ ماده افزودنی باید با سیمان مصرفی سازگار باشد. اگر بیشتر از یک نوع ماده افزودنی به کار رود، باید سازگاری مواد مصرفی با یکدیگر به تأیید دستگاه نظارت برسد.

۵-۲-۶-۳ اندازه‌گیری مواد افزودنی باید به دقت انجام پذیرد. اگر بیش از یک نوع ماده افزودنی به کار رود، اندازه‌گیری هر یک از آنها باید به طور جداگانه صورت گیرد.

۶-۲-۶-۳ هر ماده افزودنی باید همان ترکیب و عملکردی را که در تعیین نسبت‌های اختلاط بتن در تمام مدت مصرف حفظ نماید.

۳-۶-۲-۷ در ساخت بتن آرمه نباید از کلرید کلسیم استفاده شود.

۳-۶-۳ افزودنی‌های شیمیایی

۳-۶-۳-۱ مواد افزودنی حباب‌ساز

الف - تعریف و کاربرد

مواد افزودنی حباب‌ساز موادی هستند که سبب تشکیل حباب‌های بسیار ریز هوا که به‌طور یکنواخت در حجم بتن یا ملات توزیع شده‌اند، می‌گردند. این حباب‌ها باید پس از سخت شدن بتن یا ملات در آن باقی بمانند.

حباب‌های هوا پایایی بتن را در برابر رطوبت، و یخ زدن و آب شدن‌های مکرر افزایش می‌دهند و مقاومت بتن را در برابر پوسته‌شدگی سطحی ناشی از یخ‌زدهای شیمیایی زیاد می‌کند. همچنین با مصرف این مواد کارایی بتن تازه و نفوذناپذیری بتن سخت شده به‌میزانی قابل توجه بیشتر می‌شود و نیز جدا شدن دانه‌ها و آب انداختن بتن کاهش می‌یابد.

ب - مشخصات

مشخصات مواد افزودنی حباب‌ساز باید با دت ۴۰۲ مطابقت داشته باشد.

۳-۶-۳-۲ مواد افزودنی کاهنده آب

الف - تعریف و کاربرد

ماده افزودنی کاهنده آب به‌منظور تقلیل مقدار آب مصرفی در شرایط یکسان روانی بتن، یا افزایش روانی بتن در شرایط یکسان میزان آب مصرفی به‌کار می‌رود. این مواد به‌دو نوع کاهنده معمولی و کاهنده قوی آب تقسیم می‌شوند.

ب - مشخصات

مشخصات مواد افزودنی کاهنده معمولی و قوی آب باید با دت ۴۰۱ مطابقت داشته باشند.

۳-۶-۳-۳ مواد افزودنی کندگیرکننده

الف - تعریف و کاربرد

ماده افزودنی کندگیرکننده به‌منظور به‌تأخیر انداختن گیرش بتن به‌کار می‌رود و به‌سه نوع



کندگیرکننده، کندگیرکننده و کاهنده معمولی آب، و کندگیرکننده و کاهنده قوی آب تقسیم می‌شود.

ب - مشخصات

مشخصات مواد افزودنی کندگیرکننده باید با دت ۴۰۱ مطابقت داشته باشد.

۳-۶-۳-۴ مواد افزودنی تسریع‌کننده

الف - تعریف و کاربرد

ماده افزودنی تسریع‌کننده به منظور تسریع در گیرش بتن، یا تسریع در کسب مقاومت بتن در سن کمتر، یا به هر دو منظور به کار می‌رود و به دو نوع تسریع‌کننده، و تسریع‌کننده و کاهنده معمولی آب تقسیم می‌شود.

ب - مشخصات

مشخصات مواد افزودنی تسریع‌کننده باید با دت ۴۰۱ مطابقت داشته باشد.

پ - کلرید کلسیم

استفاده از کلرید کلسیم به عنوان ماده افزودنی تسریع‌کننده فقط در بتن بدون آرماتور مجاز است. در این صورت مشخصات کلرید کلسیم باید مطابق دت ۴۰۴ باشد. مقدار کلرید کلسیم نباید بیشتر از حد لازم برای حصول نتیجه مورد نظر باشد، و به هر حال این مقدار نباید از ۲ درصد وزنی سیمان تجاوز کند.

۳-۶-۳-۵ مواد خمیری‌کننده و روان‌کننده

الف - تعریف و کاربرد

مواد خمیری‌کننده و روان‌کننده به منظور بهبود کارایی بتن تازه به کار می‌رود. از این مواد برای بهبود خواص مخلوط‌های خشن، ساخت بتن قابل پرمخت با مالۀ آهنی، بتن‌ریزی قطعات با تراکم زیاد آرماتور، پمپاژ و بتن‌ریزی با لوله استفاده می‌شود. این گروه مواد افزودنی، حباب‌سازها، پوزولان‌ها، سیال‌کننده‌ها و فوق روان‌کننده‌ها را هم شامل می‌شود. با استفاده از فوق روان‌کننده، بتنی فوق‌العاده روان تهیه می‌شود.

ب - مشخصات

مشخصات مواد افزودنی خمیری‌کننده و فوق روان‌کننده‌ها باید با بندهای ۳-۶-۳-۱ ب،

۳-۶-۲ ت، و مشخصات دت ۴۰۸ مطابقت داشته باشند.

۳-۶-۴ افزودنی‌های معدنی

این مواد به شکل ذرات بسیار ریز معدنی موجب بهبود برخی از خواص، و یا تأمین خواص ویژه‌ای در بتن می‌شوند. افزودنی‌های معدنی می‌توانند کارایی و انسجام بتن تازه و همچنین مقاومت و نفوذناپذیری بتن سخت شده را بهبود بخشیده، و رنگ بتن را نیز تغییر دهند. این مواد به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند:

۳-۶-۴-۱ افزودنی‌های معدنی خنثی و رنگدانه‌ها

این مواد، مانند کوارتز آسیاب شده، معمولاً از طریق واکنش شیمیایی موجب افزایش مقاومت بتن نمی‌شوند. مصرف این افزودنی‌ها، موجب بهبود کارایی و چسبندگی بتن‌هایی می‌شوند که کمبود مواد ریزدانه دارند. این مواد در بسیاری از موارد الزامات سنگدانه‌های بتن را تأمین کرده و از آنها به عنوان سنگدانه در بتن استفاده می‌شود.

رنگدانه‌ها نیز به عنوان مواد افزودنی خنثی، برای تولید بتن رنگی به کار می‌روند. این ترکیبات معدنی مانند اکسید آهن که برای رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای، سیاه و زرد، و اکسید کرم که برای رنگ سبز مورد استفاده قرار می‌گیرند باید در مقابل نور و قلیایی‌ها مقاوم باشند و در واکنش‌های آبیگری سیمان دخالت نکنند.

۳-۶-۴-۲ پوزولان‌ها

الف - تعریف

پوزولان‌ها عبارتند از مواد سیلیسی یا سیلیسی و آلومینی که خود به تنهایی فاقد ارزش چسبانندگی بوده و یا دارای ارزش چسبانندگی کم هستند، اما به شکل ذرات بسیار ریز در مجاورت رطوبت طی واکنش شیمیایی با هیدروکسید کلسیم در دمای معمولی ترکیب‌های با خاصیت سیمانی به وجود می‌آورند.

ب - کاربرد

مصرف مواد پوزولانی در بتن می‌تواند برای تأمین یک یا چند خاصیت مشروح زیر باشد:

- کاهش میزان سیمان

- کاهش سرعت و میزان حرارت حاصل از فرآیند آبیگری سیمان



- بهبود کارایی بتن
- افزایش مقاومت بتن
- افزایش پایداری بتن از طریق کاهش نفوذپذیری

عملکرد پوزولان‌ها برای هر یک از خواص فوق، باید قبل از مصرف مورد تأیید قرار گیرد.

پ - انواع

پوزولان‌ها بر دو نوعند:

- پوزولان‌های طبیعی خام و یا تکلیس شده که به‌طور عمده شامل خاکسترهای آتشفشانی است.
- پوزولان‌های صنعتی که به‌طور عمده شامل خاکستر بادی و دوده سیلیسی است.

ت - مشخصات

پوزولان‌هایی که به‌عنوان افزودنی معدنی در بتن یا ملات مصرف می‌شوند باید با یکی از مشخصات مشروح زیر یا هر استاندارد دیگری که قبلاً به‌تأیید دستگاه نظارت رسیده، مطابقت داشته باشند:

- انواع پوزولان‌های خام طبیعی و یا تکلیس شده، و خاکستر بادی مطابق مشخصات دت ۴۰۳
- دوده سیلیسی مطابق مشخصات دت ۴۰۹

۳-۶-۳-۳ افزودنی‌های شبه‌سیمانی

این مواد خاصیت پنهان هیدرولیکی دارند و وقتی که به‌نحوی مناسب فعال شوند خواص سیمانی پیدا می‌کنند. این افزودنی‌ها فقط در محیط قلیایی با آب واکنشی مشابه سیمان پرتلند نشان می‌دهند و ترکیبات شیمیایی آنها در مقایسه با خاکستر بادی و دیگر مواد پوزولانی بیشتر شبیه سیمان‌های معمولی است. متداول‌ترین نوع این مواد روباره، آهنگدازی است که مشخصات آن باید با دت ۴۱۰ مطابقت داشته باشد.

۳-۶-۳-۵ مواد افزودنی متفرقه

برخی از افزودنی‌های متفرقه عبارتند از: مواد ضد رطوبت، کاهنده نفوذپذیری، دوغاب‌ساز، گازساز و ضدیخ‌ها که برای استفاده از آنها تأیید دستگاه نظارت، رعایت مشخصات مربوط و نیز مقررات کلی مواد افزودنی الزامی است.

به‌هنگام مصرف ضد یخ در بتن، علاوه بر رعایت موارد فوق، ضوابط بتن‌ریزی در هوای سرد

باید رعایت شود .

۳-۷-۲ انبار کردن و نگهداری مصالح بتن

۳-۷-۱ سیمان پرتلند نباید در تماس با رطوبت انبار شود، بلکه باید به صورت خشک نگهداری شود تا از خرابی آن جلوگیری به عمل آید. در مناطق خشک حداکثر می توان ۱۲ پاکت سیمان را روی هم انبار کرد، مشروط بر اینکه ارتفاع آنها از ۱/۸ متر تجاوز نکند. سیمان‌ها باید براساس نوع به طور جداگانه در سیلوهای آب بندی و هوابندی شده نگهداری شوند. امکان جمع شدن و راکد ماندن سیمان نباید در سیلو وجود داشته باشد.

۳-۷-۲ سنگدانه‌ها باید طوری انبار شوند که جداشدگی دانه‌ها از یکدیگر در هر توده به حداقل برسد و از آلودگی آنها به مواد زیان‌آور جلوگیری شود. سنگدانه‌ها براساس نوع، اندازه و دانه بندی باید جداگانه نگهداری شوند. در شرایطی که حداکثر اندازه سنگدانه‌ها کمتر از ۳۸ میلی متر باشد، این سنگدانه‌ها باید حداقل به دو گروه سنگدانه‌های ریز و درشت تقسیم شوند. سنگدانه‌های تا حداکثر ۶۳ میلی متر باید حداقل در سه گروه مجزا تقسیم شوند.

سنگدانه‌ها باید به نحوی مناسب انبار شوند تا از یخ زدگی و جمع شدن برف و یخبین دانه‌ها جلوگیری شود و امکان زهکشی فراهم باشد.

در شرایط بتن ریزی در مناطق گرمسیر سنگدانه‌ها باید به نحوی مناسب انبار شوند به ترتیبی که تا حد امکان از تابش مستقیم اشعه خورشید در امان بوده و دمای سنگدانه‌ها افزایش پیدا نکند.

۳-۷-۳ مواد افزودنی باید در شرایط مناسب و با رعایت دستورالعمل‌های اعلام شده از سوی سازنده نگهداری شود. برخی مواد افزودنی به دلیل از دست دادن کیفیت خود نباید به مدت طولانی نگهداری شوند. در صورت تردید باید نسبت به انجام آزمایش مطابق مشخصات ماده افزودنی مورد نظر اقدام شود.

۳-۷-۴ مصالح خراب یا آلوده به مواد زیان‌آور را نباید در ساخت بتن به کار برد.

۳-۸ کنترل و بازرسی

به منظور اطمینان از انطباق ویژگی‌های مصالح مصرفی با استانداردها و ضوابط این آیین‌نامه باید حداقل بازرسی‌ها و آزمایش‌ها مطابق جدول ۳-۸ انجام شود.



جدول ۳- ۸ بازرسی و کنترل کیفیت مصالح بتن

ردیف	نوع مصالح	بازرسی - آزمایش	هدف	دوره بازرسی و آزمایش
۱	سیمان (۱)	بازرسی اسناد تحویل سیمان به کارگاه	انطباق محموله سیمان با سفارش خرید و کنترل مشخصات کارخانه سیمان (۲)	به ازای هر محموله تحویلی به کارگاه
۲	سنگدانه‌ها (۳)	بازرسی اسناد تحویل سنگدانه‌ها به کارگاه	انطباق محموله مصالح با سفارش خرید و کنترل مشخصات کارخانه تولیدکننده	به ازای هر محموله تحویلی به کارگاه
۳		بازرسی وضعیت ظاهری سنگدانه‌ها	بررسی وضعیت ظاهری از لحاظ اندازه، شکل دانه‌ها و ناخالصی‌های آن	به ازای هر محموله تحویلی به کارگاه
۴		آزمایش دانه‌بندی	مقایسه نتایج آزمایش با ضوابط، استاندارد و الزامات مربوط به دانه‌بندی	۱ - اولین محموله از منبع و ها معدن جدید ۲ - در صورت مشکوک بودن پس از هر بازرسی عینی ۳ - روزانه یکبار
۵		آزمایش تعیین ارزش ماسه‌ای	مقایسه نتایج آزمایش با ضوابط، استانداردها و الزامات مربوطه	مطابق موارد ۱ و ۲ بالا در همین ستون و حداقل هفته‌ای یکبار
۶		آزمایش تعیین مواد زیان‌آور	ردیابی مقدار مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها و نوع آنها	مطابق موارد ۱ و ۲ بالا در همین ستون
۷		آزمایش تعیین درصد طویت	تعیین میزان آب در مخلوط بتن	روزانه یکبار و در موارد (۴)
۸		آزمایش وزن مخصوص	اندازه‌گیری وزن واحد حجم	مطابق موارد ۱ و ۲ در همین ستون
۹		افزودنی‌های شیمیایی (۵)	بازرسی اسناد تحویل مواد به کارگاه و برچسب روی بسته‌بندی‌ها و انجام آزمایش‌های استاندارد	اطمینان از انطباق مواد با سفارش خرید و همچنین کنترل علائم و نشانه‌های روی بسته‌بندی‌ها و مقایسه نتایج آزمایش‌ها با ویژگی‌های درج شده در استانداردهای مربوطه
۱۰	بازرسی و مشاهده وضعیت ظاهری افزودنی‌ها	مقایسه با شرایط ظاهری		برای هر محموله و در موارد لازم به تشخیص دستگاه نظارت
۱۱	آزمایش وزن واحد حجم و عدد pH	برای مقایسه با ویژگی اعلام شده توسط تولیدکننده		حداقل هفته‌ای یکبار و در صورت نیاز به تشخیص دستگاه نظارت
۱۲	افزودنی‌های امولسیون (۵)	بازرسی اسناد تحویل مواد به کارگاه	اطمینان از انطباق مواد با سفارش خرید و نام کارخانه تولیدکننده مواد به شرح ثبت شده در سفارش	به ازای هر محموله واردشده به کارگاه
۱۳	آزمایش وزن واحد حجم	اطمینان از یکنواختی مواد		به ازای هر محموله واردشده به کارگاه

جدول ۳-۸ بازرسی و کنترل کیفیت مصالح بتن (ادامه)

ردیف	نوع مصالح	بازرسی - آزمایش	هدف	دوره بازرسی و آزمایش
۱۴	افزونه‌ها (به صورت پودر) (۵)	بازرسی اسناد تحویل مواد به کارگاه	اطمینان از انطباق مواد با سفارش خرید از نظر نوع و کیفیت و نام کارخانه تولیدکننده در ثبت سفارش	به ازای هر محموله وارد شده به کارگاه
۱۵	آب	آزمایش تجزیه شیمیایی براساس استاندارد مربوط	اطمینان از عدم وجود ناخالصی‌های زیان‌آور در آب	فقط وقتی که آب از منابع آب شرب عمومی نبوده و یا وقتی که آب از منابع جدیدی تهیه شده و مورد تردید باشد.
۱۶		آزمایش ملات براساس استاندارد مربوط	برای مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های استاندارد با آب مصرفی و آب مقطر	به شرح مورد بالا در همین ستون

توضیحات :

- ۱ - حداقل ماهی یکبار و یا به ازای هر ۱۰۰ تن سیمان، هر کدام زودتر اتفاق افتاد، به ازای هر نوع سیمان، نمونه‌گیری شده و مورد آزمایش قرار گیرد. در ضمن به ازای هر محموله سیمان تحویل شده به کارگاه لازم است حداقل سه کیلوگرم نمونه تهیه و به نحو مناسب علامت‌گذاری و به مدت ۴ ماه نگهداری شود تا در صورت لزوم مورد آزمایش قرار گیرد.
- ۲ - برای هر محموله وارد شده به کارگاه، مشخصات کارخانه و نوع سیمان باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.
- ۳ - برای هر تغییر معدن یا منبع سنگدانه وارد شده به کارگاه باید اطلاعاتی در مورد حداکثر میزان کلرید (Cl-) و سولفات (SO₄) قابل حل در آب موجود در مصالح و همچنین قابلیت و حساسیت احتمالی سنگدانه نسبت به واکنش‌زایی قلیایی، مشخص شود.
- ۴ - آزمایش از سنگدانه‌های انباشته شده در محل تولید بتن و در زمان تهیه بتن انجام می‌شود.
- ۵ - از هر محموله ماده افزودنی وارد شده به کارگاه، باید نمونه‌گیری شده و ضمن نگهداری نمونه‌ها، در صورت لزوم روی آنها آزمایش‌های لازم به عمل آید.

قسمت ب: فولاد

۳-۹ علایم اختصاری

- E_s = مدول الاستیسیته میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌متر مربع)
- f_{su} = مقاومت کششی میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌متر مربع)



- f_y = تنش تسلیم میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌متر مربع)
- f_{yk} = مقاومت مشخصه میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌متر مربع)
- $f_{y,obs}$ = حدالاستیسیته به دست آمده از آزمایش کششی میلگردهای فولادی، مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌متر مربع)
- f_{ym} = میانگین تنش تسلیم ۱۰ نمونه مورد آزمایش موضوع رابطه ۳-۴
- $s_{1.0}$ = انحراف معیار تنش تسلیم ۱۰ نمونه، موضوع رابطه ۴-۴

۳-۱۰ کلیات

هر نوع فولاد به صورت میلگرد یا سیم که به موجب این آیین‌نامه به عنوان آرماتور در بتن آرمه به کار رود باید مطابق استانداردهای معتبر تولید شده و دارای برگ شناسایی کارخانه سازنده باشد.

۳-۱۱ انواع فولاد

انواع فولادهای مصرفی در بتن آرمه از نظر روش تولید، شکل رویه، جوش پذیری و شکل پذیری به شرح زیر است:

۳-۱۱-۱ روش تولید

- الف - فولاد نورد شده در حالت گرم (گرم نورد شده).
- ب - فولاد اصلاح شده در حالت سرد به وسیله عملیات مکانیکی از قبیل پیچاندن، کشیدن، نورد کردن یا گذراندن از حدیده (سرد اصلاح شده).
- پ - فولاد ویژه که با عملیاتی مانند گرمایش و آبدادگی سخت شده است (گرم عمل آمده).

۳-۱۱-۲ شکل رویه

- الف - میلگرد آجدار
- ب - میگلرد ساده

۳-۱۱-۳ جوش پذیری

فولاد از نظر جوش پذیری به سه رده زیر طبقه بندی می شود:



- الف - فولاد جوش پذیر که با تجهیزات و روش های متداول قابل جوشکاری است.
 ب - فولاد جوش پذیر مشروط که در شرایطی معین با تجهیزات و روش های معین قابل جوشکاری است.
 پ - فولاد جوش ناپذیر که با وسایل متعارف قابل جوشکاری نیست.

۳-۱۱-۴ شکل پذیری

- فولاد از نظر شکل پذیری به سه رده زیر طبقه بندی می شود:
 الف - فولاد نرم که منحنی تنش - تغییر شکل نسبی آن دارای پله تسلیم مشهود است.
 ب - فولاد نیم سخت که منحنی تنش - تغییر شکل نسبی آن دارای پله تسلیم بسیار محدود است.
 پ - فولاد سخت که منحنی تنش - تغییر شکل نسبی آن فاقد پله تسلیم است.

۳-۱۲-۳ قطر اسمی

- ۳-۱۲-۱ آرماتور به صورت کلاف، شاخه و شبکه های جوش شده یا بافته شده در کارخانه، برای مصرف عرضه می شود و تفکیک میلگردها از هم براساس قطر اسمی است.
 ۳-۱۲-۲ قطر اسمی میلگرد ساده قطری است که در برگ شناسایی ذکر می شود و معادل قطر دایره هم مساحت با مقطع عرضی نظری میلگرد برحسب میلی متر است.
 ۳-۱۲-۳ قطر اسمی، سطح رویه اسمی و سطح مقطع اسمی میلگردهای آجدار به ترتیب برابر است با قطر، سطح رویه و سطح مقطع میلگردهای ساده صاف هم وزن آنها.
 ۳-۱۲-۴ در محاسبات وزن، سطح رویه و سطح مقطع میلگرد، قطر اسمی آن و جرم واحد حجم معادل ۷۸۵۰ کیلوگرم در متر مکعب ملاک قرار می گیرد.
 ۳-۱۲-۵ قطرهای اسمی میلگردها از ۵ تا ۵۰ میلی متر با گام های مختلف، و قطرهای اسمی سیم های شبکه های جوش شده از ۴ تا ۱۲ میلی متر با گام ۰/۵ میلی متر می باشند.
 ۴-۳-۶ قطرهای اسمی مرجع مورد مصرف در بتن آرمه برحسب میلی متر به شرح زیر است:
 ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۵، ۳۲، ۴۰، ۵۰



۳-۱۳ مشخصات مکانیکی

۳-۱۳-۱ تنش تسلیم فولاد، f_y ، و مقاومت مشخصه فولاد، f_{yk}

مقاومت مشخصه فولاد براساس مقدار تنش تسلیم آن تعیین می‌شود، و معادل مقداری است که حداکثر ۵ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده برای حد تسلیم ممکن است کمتر از آن باشد. در مواردی که تنش تسلیم فولاد به‌وضوح مشخص نباشد مقدار آن معادل تنش نظیر ۰/۲ درصد تغییر شکل نسبی ماندگار اختیار می‌شود.

با آزمایش کششی هر نمونه باید ثابت شود روابط زیر برقرار است:

$$f_{su} \geq 1/18 f_{y,obs} \quad f_{su} \geq 1/25 f_y \quad (۱-۳)$$

۳-۱۳-۲ طبقه‌بندی میلگردها

میلگردهای فولادی براساس مقاومت مشخصه طبقه‌بندی می‌شوند، طبقه‌بندی میلگردهای مصرفی در بتن آرمه برحسب نوع فولاد به‌شرح زیر است:

S220 S300 S350 S400 S500

اعداد بعد از S بیانگر حداقل مقاومت مشخصه میلگرد برحسب نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشند.

۳-۱۳-۳ آزمایش‌ها

آزمایش‌های مختلف روی نمونه‌های میلگردهای فولادی باید با رعایت بندهای ۳-۱۳-۳ و ۴-۱۳-۳ مطابق استانداردهای زیر به‌عمل آید:

- آزمایش کششی میلگرد (دت ۷۰۱).
- آزمایش تاشدگی به‌زاویه ۱۸۰ درجه (دت ۷۰۳).
- آزمایش خم‌کردن و بازکردن خم‌میلگرد (دت ۷۰۳).
- آزمایش کششی بعد از خم‌کردن و بازکردن خم‌میلگردها و سیم‌های با قطر کمتر از ۹ میلی‌متر (دت ۷۰۲).
- آزمایش پیوستگی میلگرد با بتن (دت ۷۰۴) و (دت ۷۰۵).
- آزمایش وصله‌های جوش شده میلگرد (دت ۷۰۶).
- آزمایش خستگی میلگرد (دت ۷۰۷).

تبصره: آزمایش کششی برای تمامی میلگردها و آزمایش خم‌کردن و بازکردن خم یا آزمایش تاشدگی با زاویه ۱۸۰ درجه برای میلگردهای سرد اصلاح شده الزامی است.

۳-۱۳-۲ نمونه برداری

مقاومت و سایر مشخصه‌های میلگردها براساس نتایج آزمایش آزمونه‌های بریده شده از آنها تعیین می‌شوند. در هر نمونه برداری باید یک نمونه به طول یک متر بریده شود و آزمونه‌ها از این نمونه جدا شوند.

۳-۱۳-۵ تواتر نمونه برداری

تعداد و تواتر نمونه‌ها باید طوری باشد که ارزیابی کیفیت کل آرماتور مصرفی ممکن شود. برای این منظور باید از هر پنجاه تن و کسر آن، از هر قطر و هر نوع فولاد حداقل پنج نمونه برداشته شود. در صورت موافقت دستگاه نظارت می‌توان از هر سه بندل پنج تنی میلگردهای مشابه، یک نمونه انتخاب کرد.

۳-۱۳-۶ ضوابط پذیرش میلگردها (یا فولاد)

مقاومت مشخصه فولاد وقتی منطبق بر طبقه مورد نظر و قابل قبول تلقی می‌شود که علاوه بر تأمین شرایط بندهای ۳-۱۳-۱ و ۳-۱۳-۱۵ یکی از شرایط زیر هم برآورده شود:

۳-۱۳-۶-۱ در میان نتایج آزمایش‌های کششی ۵ نمونه، تنش تسلیم هیچ کدام از آزمونه‌ها کمتر از مقاومت مشخصه فولاد نباشد.

۳-۱۳-۶-۲ در صورت برآورده نشدن بند ۳-۱۳-۶-۱ باید یک سری دیگر شامل ۵ نمونه مورد آزمایش قرار گیرد. در این صورت نتایج به دست آمده از کل ۱۰ آزمونه باید در رابطه زیر صدق کنند:

$$f_{ym} \geq f_y + 0.6 S_{1.0} \quad (2-3)$$

که در آن f_{ym} و $S_{1.0}$ به شرح زیر هستند:

$$f_{ym} = \frac{\sum_{i=1}^{10} f_{yi}}{10} = \frac{f_{y1} + f_{y2} + \dots + f_{y10}}{10} \quad (3-3)$$

$$S_{1.0} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (f_{ym} - f_{yi})^2}{9}} \quad (4-3)$$

در صورت برآورده نشدن شرایط دو بند فوق مقاومت مشخصه فولاد از نظر انطباق با طبقه مورد نظر، قابل قبول نخواهد بود.



۳-۱۴ تغییر شکل‌ها

۳-۱۴-۱ نمودار تنش - تغییر شکل نسبی

برای سهولت محاسبه می‌توان نمودار واقعی تنش - تغییر شکل نسبی فولاد را با نموداری دو خطی جایگزین کرد. نمودار تنش - تغییر شکل نسبی فولاد در کشش و فشار یکسان در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱۴-۲ مدول الاستیسیته

مدول الاستیسیته برای تمامی میلگردهای مصرفی در بتن آرمه برابر با $200/000$ مگا پاسکال (نیوتن بر میلی‌مترمربع) فرض می‌شود.

۳-۱۴-۳ ضریب انبساط حرارتی

ضریب انبساط حرارتی برای تمامی میلگردهای مصرفی در بتن آرمه معادل 1×10^{-5} به‌ازای هر درجه سلسیوس (سانتی‌گراد) است.

۳-۱۵ شکل پذیری

شکل‌پذیری میلگردها براساس آزمایش تاشدگی با زاویه 180° درجه با آزمایش خم‌کردن و باز کردن خم با استفاده از فلکه استاندارد تعیین می‌شود. شکل‌پذیری میلگردها وقتی قابل قبول تلقی می‌شود که ازدیاد طول نسبی گسیختگی در آزمایش کششی از ۸ درصد روی ده برابر قطر و ۱۲ درصد روی پنج برابر قطر میلگرد کمتر نباشد.

۳-۱۶ جوش‌پذیری

جوش‌پذیری میلگردها به‌نحوه تولید و نیز ترکیب شیمیایی فولاد آنها بستگی دارد. تمامی میلگردهای گرم نورد شده با ترکیب شیمیایی متعارف، دارای جوش‌پذیری مطلوب تلقی می‌شوند. میلگردهای سرد اصلاح شده و گرم عمل آمده، به‌حرارت جوش حساسیت بسیار دارند و با روش‌های معمول جوش‌پذیری نیستند. وصله جوشی این‌گونه میلگردها با رعایت ضوابطی خاص میسر است.

۳-۱۷ انبار کردن، نگهداری و کنترل فولاد

۳-۱۷-۱ میلگردهای فولادی را باید در محل‌های تمیز و عاری از رطوبت انبار کرد تا از زنگ‌زدگی و کثیف شدن سطح آنها جلوگیری شود.

۳-۱۷-۲ میلگردهایی که تا حد پوسته‌شدن زنگ‌زده باشند به‌ویژه میلگردهایی که به‌طور موضعی و عمیق دچار خوردگی شده‌اند، بدون انجام آزمایش و حصول اطمینان از انطباق مشخصه‌های آنها با مشخصه‌های مورد نظر و در نظر گرفتن کاهش احتمالی سطح مقطع، قابل مصرف در بتن آرمه نمی‌باشند.





بارگذاری

۴-۱ دامنه

این فصل اختصاص به معرفی حداقل بارهای وارد بر سیلو دارد. بارهایی که در طراحی سیلو باید مورد توجه قرار گیرند، عبارتند از:

- ۱- بار مرده شامل وزن سازه
- ۲- بار زنده بهره‌برداری و وزن ماشین‌آلات و تجهیزات نصب شده روی سیلو
- ۳- فشار ناشی از مصالح ذخیره‌شده در سیلو شامل:
الف: فشار و وزن مصالح انبار شده، در حالت استاتیکی
ب: اضافه فشارها نسبت به بند الف، در هنگام پر و خالی کردن مصالح
- ۴- بار برف
- ۵- بار باد
- ۶- بار زلزله
- ۷- نیروهای حرارتی به علت محیط اطراف و مصالح گرم ذخیره شده در سیلو

۴-۲ بار مرده

بار مرده شامل وزن سازه و تجهیزات ثابت نصب شده در سیلو می‌باشد. بار مرده سازه با توجه به وزن مخصوص مصالح به کار رفته تعیین می‌گردد. وزن مخصوص مصالح از آخرین ویرایش آیین‌نامه حداقل بارهای وارد بر ساختمان* تعیین می‌گردند.

* استاندارد ۵۱۹ یا بحث ششم از مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران



۳-۴ بارزنده و ماشین‌آلات

بار زنده شامل بارهای بهره‌برداری در فضا و راهروهای ارتباطی و دسترسی می‌باشد که مقادیر توصیه شده در آیین‌نامه حداقل بارهای وارد بر ساختمان** باید مورد استفاده قرار گیرند. وزن ماشین‌آلات با توجه به مشخصات ارائه شده از طرف کارخانه سازنده تعیین می‌گردد که باید ضریب ضربه مناسب برای آن در نظر گرفته شود.

۴-۴ فشار ناشی از مصالح ذخیره‌شده

۴-۴-۱ کلیات

فشار مصالح در مقابل جدار قائم سیلو و کف سیلو باید با استفاده از یکی از روش‌های معرفی شده در این قسمت محاسبه شوند. فشار مصالح نه تنها باید در حالت استاتیک مورد توجه قرار گیرند، بلکه باید هرگونه افزایش یا کاهش فشار ناشی از پدیده‌هایی نظیر؛ پر کردن، خالی کردن، قوس‌زدن مصالح، شکست قوس، هوادهی، و تخلیهٔ برون‌محور مورد توجه قرار گیرد. در سیلوهای گروهی، پر و خالی بودن متناوب سیلوها باید مورد توجه قرار گیرد.

۴-۴-۲ فشار مصالح در سیلو

۴-۴-۲-۱ فشار استاتیکی ناشی از مصالح در حال سکون را می‌توان با استفاده از یکی از روش‌های زیر تعیین نمود:

$$۴-۴-۲-۱-۱ \text{ روش جنسن}^1 (۱-۴)$$

۱- فشار استاتیکی قائم در عمق Y از سطح آزاد مصالح برابر است با:

$$q = \frac{\gamma R}{\mu' k} [1 - e^{-\mu' k Y / R}] = \gamma Y \cdot [1 - e^{-\gamma Y}] \quad (۱-۴)$$

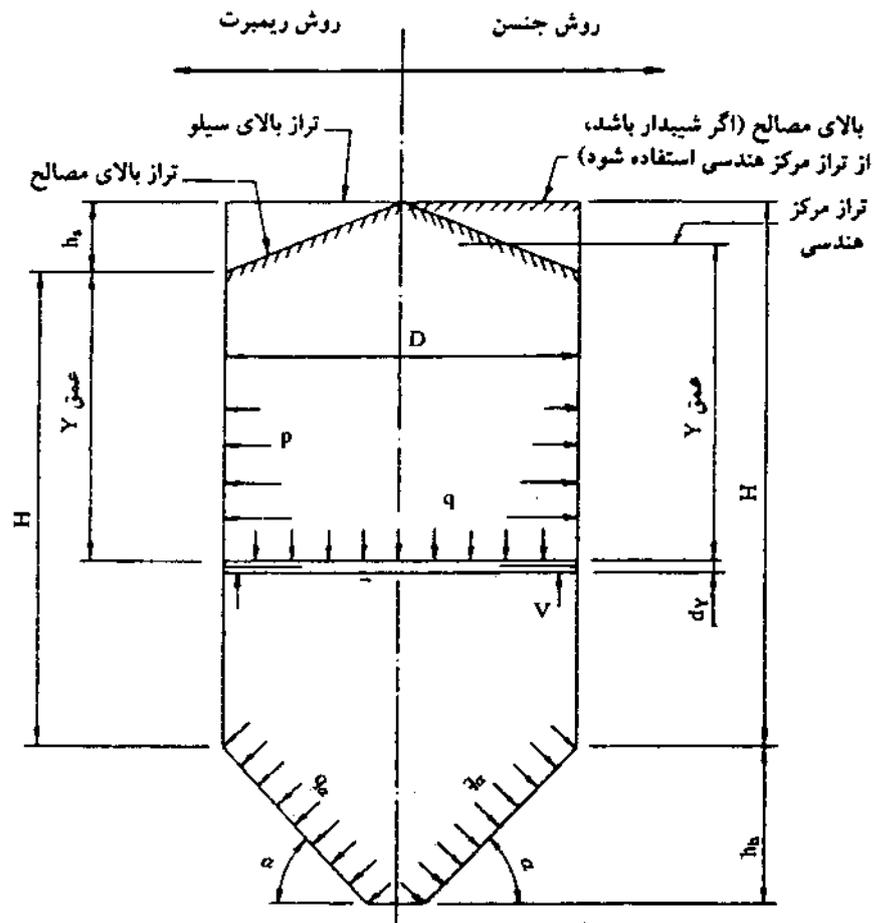
$$Y_c = \frac{R}{\mu' k}$$

که در رابطهٔ فوق:

γ = وزن مخصوص مصالح ذخیره شده (جدول ۴-۱)

** استاندارد ۵۱۹ یا مبحث ششم از مجموعه مقررات ملی ساختمانی ایران

1- Janssen's method



شکل ۱-۴ هندسه سیلو و مصالح داخل آن برای استفاده در روابط جنسن و ریمبرت.

$\mu' =$ ضریب اصطکاک بین مصالح ذخیره شده و جدار سیلو (جدول ۴-۱)
 $R =$ شعاع هیدرولیکی. برای سیلوها با مقطع دایره، $R = D/4$ می باشد که در آن D قطر داخلی دایره است.

برای سیلوها با مقطع چندضلعی منظم، $R = D_e/4$ می باشد که در آن D_e قطر دایره معادل مقطع داخلی چند ضلعی است.

برای سیلوها با مقطع مربع، $R = a/4$ می باشد که در آن a ضلع مربع است.

برای محاسبه فشار در مجاورت ضلع کوچک سیلوی مربع مستطیل، از $R = a/4$ و برای محاسبه فشار در مجاورت ضلع بزرگ سیلو مربع مستطیل، از $R = a'/4$ استفاده نمایید که در آن:



$$a' = \frac{\gamma ab}{a+b} \quad (2-4)$$

a = ضلع کوچک مستطیل

b = ضلع بلند مستطیل

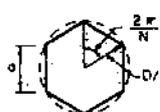
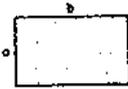
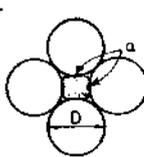
جدول ۴-۱ مشخصات مصالح

نوع مصالح	جرم مخصوص مصالح (kg/m ³)	زاویه ریزش (درجه) ρ	ضریب اصطکاک μ'	
			در مقابل بتن	در مقابل فولاد
سیمان - کلینکر	۱۴۱۰	۳۳	۰/۶	۰/۳
سیمان پرتلند	۱۳۴۴-۱۶۰۰	۲۴ تا ۳۰	۰/۳۶-۰/۴۵	۰/۳۰
رس	۱۷۰۰-۲۲۱۰	۱۵ تا ۲۰	۰/۲-۰/۵	۰/۳۶-۰/۷
ذغال سنگ	۸۰۰-۱۰۴۰	۳۲ تا ۴۴	۰/۵۰-۰/۶۰	۰/۳۰
ذغال سنگ (انتراسیت)	۹۶۰-۱۱۲۰	۲۴ تا ۳۰	۰/۴۵-۰/۵۰	۰/۳۰
کک	۶۰۰	۴۰	۰/۸۰	۰/۵۰
آرد	۶۰۰	۴۰	۰/۳۰	۰/۳۰
شن	۱۶۰۰-۲۰۰۰	۲۵ تا ۳۵	۰/۴۵-۰/۴۰	
گندم	۹۰۰	۳۰	۰/۳۸	۰/۳۴
غلات ریز شامل ذرت، جو، باقلا، برنج	۷۳۶-۹۹۰	۲۳ تا ۳۷	۰/۲۹-۰/۴۷	۰/۲۶-۰/۴۲
گچ (غیرپودری) - سنگ آهک	۱۶۰۰	۴۰	۰/۵	۰/۳
سنگ آهن	۲۶۴۰	۴۰	۰/۵۰	۰/۳۶
آهک شکفته	۸۰۰-۹۶۰	۳۵ تا ۵۵	۰/۵۰-۰/۶۰	۰/۳۰
آهک ریزدانه	۹۱۰	۳۵	۰/۵	۰/۳
آهک درشت‌دانه	۱۲۰۰	۳۵	۰/۵	۰/۳
آهک پودری	۷۰۰	۳۵	۰/۵۰	۰/۳۰
سنگ مغناطیس	۲۰۰۰	۲۰		
ماسه	۱۶۰۰-۲۰۰۰	۲۵ تا ۴۰	۰/۴۰-۰/۷۰	۰/۳۵-۰/۵۰
لوبیا (دانه) - نخود	۸۰۰-۹۶۰	۲۳	۰/۲۵	۰/۲۰
شکر	۱۰۰۰	۳۵	۰/۴۳	

در جدول ۲-۴ مشخصات هندسی مقاطع گوناگون سیلو نشان داده شده است.
 $k =$ ضریب فشار جانبی رانکین طبق رابطه زیر:

$$k = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} \quad (۳-۴)$$

جدول ۲-۴ خواص هندسی مقاطع

مقطع	مساحت A	محیط L	شعاع هیدرولیکی R
دایره 	$\frac{\pi}{4} D^2$	πD	$\frac{D}{4}$
قطاع 	رادیان، α	$\frac{\alpha D^2}{8}$	$(\frac{\alpha}{2} + 1)D$
	درجه، α	$0.0218 \alpha D^2$	$(0.087 \alpha + 1)D$
چندضلعی 	$\frac{ND^2}{8} \sin \frac{\pi}{N}$	$ND \sin \frac{\pi}{N}$	$\frac{D}{4} \cos \frac{\pi}{N}$
	$\frac{ND^2}{4} \cot \frac{\pi}{N}$	Na	$\frac{a}{4} \cot \frac{\pi}{N}$
مستطیل 	ab	$2(a+b)$	ضلع بزرگ، $\frac{ab}{2(a+b)}$ ضلع کوچک، $\frac{a}{4}$
مستطیل بلند 	--	--	$\frac{a}{4}$
حلقه 	$\frac{\pi}{4} (D_c^2 - D_i^2)$	$\pi(D_c + D_i)$	$\frac{(D_c - D_i)}{4}$
کندوی ستاره‌ای 	$(1 - \frac{\pi}{4})D^2$	πD	$\frac{a}{4} = 0.104D$



$$C = \frac{D}{4\mu'K} - \frac{h_s}{3} \quad (9-4)$$

$D =$ قطر داخلی مقطع

$\gamma =$ وزن مخصوص مصالح (جدول ۴-۱)

$\mu' =$ ضریب اصطکاک مصالح با جدار سیلو (جدول ۴-۱)

$h_s =$ مطابق شکل ۴-۱

$k =$ ضریب فشار جانبی طبق رابطه ۴-۳

(ب) برای سیلو با مقطع چند ضلعی (بزرگتر از ۴):

$$P_{\max} = \frac{\gamma R}{\mu'} \quad (10-4)$$

$$C = \frac{L}{\pi} \times \frac{1}{4\mu'K} - \frac{h_s}{3} \quad (11-4)$$

$R =$ شعاع هیدرولیکی طبق توضیحات زیر رابطه ۴-۱

$L =$ محیط داخلی مقطع چندضلعی

(پ) برای سیلوه‌ها با مقطع مستطیلی - فشار روی ضلع کوچک a

$$P_{\max} = \frac{\gamma a}{4\mu'} \quad (12-4)$$

$$C = \frac{a}{\pi\mu'k} - \frac{h_s}{3} \quad (13-4)$$

سیلوه‌ها با مقطع مستطیلی - فشار روی ضلع بزرگ b

$$P_{\max} = \frac{\gamma a'}{4\mu'} \quad (14-4)$$

که در آن a' طبق رابطه ۴-۲ تعریف می‌شود.

$$C = \frac{a'}{\pi\mu'K} - \frac{h_s}{3} \quad (15-4)$$

۳- نیروی اصطکاکی قائم برای عرض واحد محیط دیوار در عمق Y برابر است با:

$$V = (\gamma Y - q)R \quad (16-4)$$

که در آن R همانند روش جنسن تعریف می‌شود.



جدول ۴-۴ ضریب افزایش فشار C_c * ضریب افزایش فشار C_c *

بالای مصالح و سیلو		ضریب افزایش فشار C_c					
		$H/D \leq 4$ یا $H/h \leq 4$		$4 < H/D \leq 6$ یا $4 < H/h \leq 6$		$6 < H/D \leq 10$ یا $6 < H/h \leq 10$	
		چسبن	ریسیرت	چسبن	ریسیرت	چسبن	ریسیرت
$H_1 = D \tan \rho$	$H_1 = H_2 \tan \rho$ یا $H_1 = H_3 \tan \rho$	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
$(H-H_1)/4$		۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
$(H-H_1)/4$		۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
$(H-H_1)/4$		۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
$(H-H_1)/4$	فشار جانبی طرح	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
$(H-H_1)/4$	فشار جانبی استاتیک بربنای روابط چسبن و ریسیرت	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
ارتفاع قیف با قیف یا مصالح پرکننده و ارتفاع مصالح پرکننده که کف را حمل می‌کند	تف سیلو یا قیف یا قیف با مصالح پرکننده	در ناحیه قیف، افزایش فشار ناحیه فوقانی را به‌طور یکنواخت ادامه دهید و یا فشار را بر طبق شعاع هیدرولیکی R کاهش دهید.					
		در قیف‌ها با مصالح پرکننده فشار را می‌توان به‌طور خطی کاهش داد.					
ضریب فشار C_c برای تعیین فشار کف در سیلوه‌ها (به‌پانویس ۶ مراجعه شود)	کف بتنی	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵
	کف فولادی	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵	۱/۳۵

- ۱ - مقادیر C_d ارائه شده برای پایین‌ترین تراز هر ناحیه می‌باشد.
- ۲ - در مناطقی که برای اصلاح جریان وسیله‌ای تهیه شده است، فشار جانبی طرح، ممکن است چندین برابر فشار استاتیک باشد و مقادیر C_c ارائه شده در جدول برای این حالت بسیار ناچیز هستند.
- ۳ - فشار کف لازم نیست از فشار ناشی از وزن ۱۰۰ درصد مصالح بیشتر شود.
- ۴ - اگر $H_1 < H < H_2$ باشد، از مقدار دوم C_c برای کل ارتفاع سیلو استفاده شود.
- ۵ - برای مقادیر بیش از H/D ، می‌توان از درون‌بایی خطی استفاده کرد.
- ۶ - برای مصالح غیرچسبنده، ضریب C_c مربوط به محاسبه فشار کف را می‌توان در ۰/۷۵ ضرب کرد، به‌استثنای سیلوه‌های هموزن‌کننده که در آنها برای تخلیه از هوای فشرده استفاده شود.

* در این جدول برای جریان نودهای بسیار کوچک هستند.

۴-۲-۱-۳ فشار روی سطوح مایل (هر دو روش)

فشار استاتیکی عمود بر هر گونه سطحی در عمق Y که با سطح افق زاویه α می‌سازد، برابر است با:

$$q_{\alpha} = p \sin^2 \alpha + q \cos^2 \alpha \quad (۴-۱۷)$$

۴-۲-۲ فشار طراحی به علت مصالح ذخیره شده

فشارهای طراحی P_{des} ، q_{des} ، و $q_{\alpha,des}$ از ضرب فشارهای استاتیکی محاسبه شده طبق روابط ۴-۱ تا ۴-۱۷ در ضریب افزایش فشار C_d و یا ضریب ضربه C_i هر کدام که نتایج بزرگتری به دست دهد، تعیین می‌شود. برای ضربه، فشار قائم نیز باید در C_i ضرب شود. مقادیر حداقل C_d و C_i در جدول ۴-۴ و ۴-۵ ارائه شده‌اند.

جدول ۴-۵ ضریب ضربه C_i

نسبت حجم مصالحی که در یک نوبت بارگیری می‌شود به حجم کل سیلو					
$\frac{1}{6}$ و کمتر	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	کف بتنی
۱	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۴	کف فولادی
۱/۲۵	۱/۳۵	۱/۵	۱/۶	۱/۷۵	ضریب C_i

۴-۲-۳ فشار در سیلوهای هموزن کننده

سیلوهای هموزن کننده، سیلوهایی هستند که در آنها از فشار هوا برای مخلوط کردن و به حرکت درآوردن مصالح ذخیره شده پودر مانند (دانه‌های بسیار ریز) استفاده می‌شود. در این گونه سیلوها فشار طراحی بزرگترین مقدار دو حالت ۱ و ۲ می‌باشد.

حالت ۱: فشار محاسبه شده طبق روابط جنسن و ریمیرت با صرف نظر از فشار هوا.

حالت ۲: فشار محاسبه شده طبق رابطه زیر:

$$P_{des} = q_{des} = q_{\alpha,des} = 0.6 \gamma Y \quad (۴-۱۸)$$

که در آن γ وزن مخصوص مصالح در حالت عادی (هوا داده نشده) می‌باشد. در واقع رابطه ۴-۱۸، مصالح را همانند سیالی با وزن مخصوص 0.6γ فرض می‌نماید که در آن ضریب 0.6 به علت افزایش فضای بین ذرات به علت ورود هوا می‌باشد.

نیروی اصطکاک قائم برای عرض واحد دیوار، کماکان از روابط ۴-۵ و ۴-۱۶ محاسبه

می‌شود.



۴-۲-۴ افزایش فشار به علت برون‌محوری دهانه تخلیه

در صورتی که دهانه تخلیه چسبیده به دیوار باشد، فشار جانبی در ته سیلو، ۲۵ درصد بزرگتر از حالت استاتیکی در نظر گرفته شود. برای برون‌محورهای کوچکتر، این مقدار را می‌توان به صورت خطی تا مقدار صفر برای برون‌محوری صفر کاهش داد. این افزایش فشار لازم نیست در ضریب افزایش فشار C_d ضرب شود. بنابراین فشار طراحی در عمق Y برابر است با:

$$p_{des} = C_d p + 0.25 p \frac{e}{r} \frac{Y}{H} \quad (۴-۱۹)$$

که در رابطه فوق:

$$p = \text{فشار استاتیکی در عمق } Y \text{ طبق روابط } ۴-۴ \text{ یا } ۴-۷$$

$$C_d = \text{ضرب افزایش فشار طبق جدول } ۴-۴$$

$$e = \text{برون‌محوری دهانه تخلیه}$$

$$r = \text{شعاع سیلو}$$

$$H = \text{ارتفاع کل طبق شکل } ۴-۱$$

$$Y = \text{عمق}$$

توزیع افزایش فشار ناشی از برون‌محوری در حول محیط ثابت نیست و به همین دلیل باعث لنگر موضعی می‌شود. ولی در مورد سیلوهای کوچک و متوسط، این طور استدلال می‌شود که افزایش فولادهای حلقوی با فرض توزیع یکنواخت اضافه فشار جانبی، جبران میلگردهای لازم برای خمش موضعی را می‌نماید.

۴-۳-۴ فشار مصالح در بونکرها

به علت کوچک بودن ارتفاع بونکرها، فشار قائم در هر تراز مساوی وزن مصالح موجود در بالای آن تراز و فشار جانبی طبق رابطه رانکین می‌باشد. اگر برای بونکرها نیز از روابط ۴-۱ تا ۴-۱۶ استفاده شود، خطای حاصله بسیار ناچیز خواهد بود.

۴-۵ بار برف

بار برف وارد بر سطوح برفگیر سیلوها با توجه به آیین‌نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی (استاندارد ۵۱۹) محاسبه می‌گردد.



۶-۴ فشار باد

طبق استاندارد ۵۱۹ ایران، فشار باد بر روی سطوح بادگیر سیلوها از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P = C_e C_q q \quad (۲۰ - ۴)$$

که در رابطه فوق:

q = فشار مبنای باد طبق رابطه زیر

$$q = 0.00005 V^2 \quad (۲۱ - ۴)$$

V = سرعت مبنای باد بر حسب کیلومتر بر ساعت طبق جدول ۴-۶ می‌باشد و نباید کمتر از ۸۰ کیلومتر بر ساعت انتخاب شود.

q = فشار مبنای باد بر حسب کیلو نیوتن بر مترمربع

C_e = ضریب اثر ارتفاع

$$C_e = 2 \left(\frac{Z}{10} \right)^{0.16} \geq 2 \quad (۲۲ - ۴)$$

Z = ارتفاع تراز مورد نظر در ساختمان از تراز زمین

تغییرات ضریب C_e در ارتفاع به صورت زیر می‌باشد.

۱۰۰-۱۲۰	۸۰-۱۰۰	۶۰-۸۰	۵۰-۶۰	۴۰-۵۰	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۰-۱۰	Z
۳/۰	۲/۹	۲/۸	۲/۷	۲/۶	۲/۵	۲/۴	۲/۳	۲/۰	C_e

C_q = ضریب شکل

$$C_q = 1/4$$

سیلو با پلان مربع یا مستطیل

$$C_q = 1/10$$

سیلو با پلان شش یا هشت ضلعی

$$C_q = 0/8$$

سیلو با پلان دایره

نیروی ناشی از باد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F = P.A \quad (۲۳ - ۴)$$

که در آن:

P = فشار باد طبق رابطه ۴-۲۰

A = تصویر سیلو روی سطحی عمود بر امتداد باد



جدول ۴-۶ سرعت مینای باد برای نقاط مختلف کشور

سرعت مینای باد (V) کیلومتر بر ساعت	نام ایستگاه	سرعت مینای باد (V) کیلومتر بر ساعت	نام ایستگاه
۱۱۰	دزفول	۹۰	آبادان
۹۰	رامسر	۱۰۰	آباده
۹۰	رشت	۱۱۰	آبعلی
۱۲۰	زابل	۹۰	اراک
۱۳۰	زاهدان	۱۳۰	اردبیل
۸۰	زنجان	۹۰	ارومیه
۹۰	سیزو	۱۱۰	آغاچاری
۱۱۰	سرخس	۱۱۰	اصفهان
۱۰۰	سقز	۱۱۰	امیدیه
۸۰	سمنان	۱۱۰	اهواز
۹۰	سنندج	۱۱۰	ابراشهر
۸۰	شاهرود	۱۰۰	بابلسر
۸۰	شهرکرد	۱۳۰	بجنورد
۸۰	شیراز	۱۱۰	بم
۹۰	طیس	۱۱۰	بندر انزلی
۹۰	فسا	۱۰۰	بندر عباس
۹۰	فانم‌شهر	۹۰	بندر لنگه
۱۰۰	قزوین	۱۰۰	بوشهر
۹۰	قم	۹۰	بیرجند
۱۰۰	کاشان	۱۰۰	پارس آباد مغان
۱۳۰	کرمان	۱۱۰	نیریز
۹۰	کرمانشاه	۸۰	تربت حیدریه
۸۰	گرگان	۱۰۰	تهران
۱۱۰	مراغه	۱۰۰	چاسک
۹۰	مشهد	۱۱۰	جزیره سبیری
۱۳۰	منجیل	۱۰۰	جزیره کیش
۹۰	نوشهر	۹۰	چابهار
۱۰۰	همدان	۸۰	خرم‌آباد
۱۱۰	یزد	۹۰	خوی

۴-۷ نیروی زلزله - روش استاتیکی معادل

طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰، حداقل نیروی برشی پایه (برش پایه) در هر یک از امتدادهای افقی سازه سیلو برابر است با:

$$V = CW \quad (۴-۲۴)$$

در رابطه فوق:

W = وزن مرده سازه به علاوه مصالح ذخیره شده در آن

C = ضریب زلزله طبق رابطه زیر:

$$C = \frac{ABI}{R} \quad (۴-۲۵)$$

که در آن:

A = شتاب مبنای طرح مساوی ۰/۳۵ برای پهنه با خطر نسبی بالا، ۰/۳ برای پهنه با خطر

نسبی زیاد، ۰/۲۵ برای پهنه با خطر نسبی متوسط، و ۰/۲ برای پهنه با خطر نسبی کم،

نقشه پهنه‌بندی ایران در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران موجود می‌باشد.

I = ضریب اهمیت که برحسب اهمیت سیلو مقدار آن مساوی ۱ یا ۱/۲ است.

R = ضریب رفتار مساوی ۴ برای سیلوه‌ها، قیف‌های متکی بر روی پایه‌های بادبندی شده و یا

نشده و مساوی ۵ برای سیلوهایی که دارای جرم گسترده بوده و رفتارشان مشابه ستون

طره‌ای است.

B = ضریب بازتاب طبق رابطه زیر:

$$B = 2/5 \left(\frac{T_0}{T} \right)^{2/3} \leq 2/5 \quad (۴-۲۶)$$

که در آن:

T_0 = عددی برحسب نوع زمین مساوی ۰/۴ برای زمین نوع ۱، مساوی ۰/۵ برای زمین نوع ۲،

مساوی ۰/۷ برای زمین نوع ۳، و مساوی ۱ برای زمین نوع ۴. طبقه‌بندی انواع زمین در

جدول شماره ۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ ارائه شده است.

T = زمان تناوب اصلی ارتعاش سیلو. در صورتی که ارتعاش سیلو به صورت ارتعاش تیر طره‌ای

با جرم یکنواخت در نظر گرفته شود، زمان تناوب T از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$T = 1/\sqrt{9} h^2 \sqrt{\frac{q}{gEI}} \quad (۴-۲۷)$$

که در آن:

h = ارتفاع سیلو

q = وزن واحد طول سیلو به همراه مصالح آن



$$I = \text{ممان اینرسی مقطع سیلو}$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته مصالح جدار سیلو}$$

$$g = \text{شتاب ثقل}$$

در صورتی که سیلو روی پایه‌ها متکی باشد و ارتفاع پایه‌ها در مقابل ارتفاع سیلو بلند باشد، (این مورد در اغلب موارد برای بونکرها (قیف‌ها) صادق است)، زمان تناوب از رابطه پاندول وارونه قابل محاسبه است:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{P}{gK}} \quad (28-4)$$

که در آن:

$$P = \text{وزن کل سیلو به علاوه } \frac{1}{3} \text{ وزن پایه‌ها}$$

$$g = \text{شتاب کل}$$

$$K = \text{سختی جانبی پایه‌ها}$$

در محاسبه برش پایه‌ها در سیلوها باید به محدودیت‌های زیر توجه نمود:

- ۱ - مقدار $\frac{B}{R}$ نباید کمتر از ۰/۵ منظور شمرد.
- ۲ - سازه‌هایی که زمان تناوب اصلی ارتعاش آنها کمتر از ۰/۰۶ ثانیه است، صلب تلقی شده و مقدار $\frac{B}{R}$ برای آنها ۰/۵ منظور می‌شود.
- ۳ - چنانچه زمان تناوب اصلی نوسان این نوع سازه‌ها از ۰/۵ ثانیه تجاوز نماید، اعمال روش تحلیل دینامیکی الزامی است.

توزیع نیروی زلزله در ارتفاع

برای توزیع نیروی زلزله در ارتفاع، سیلو به قطعات متساوی در ارتفاع تقسیم شده، و نیروی مؤثر بر هر قطعه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (شکل ۲-۴).

$$F_i = (V - F_1) \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \quad (29-4)$$

که در آن:

$F_i =$ نیروی جانبی در تراز قطعه i

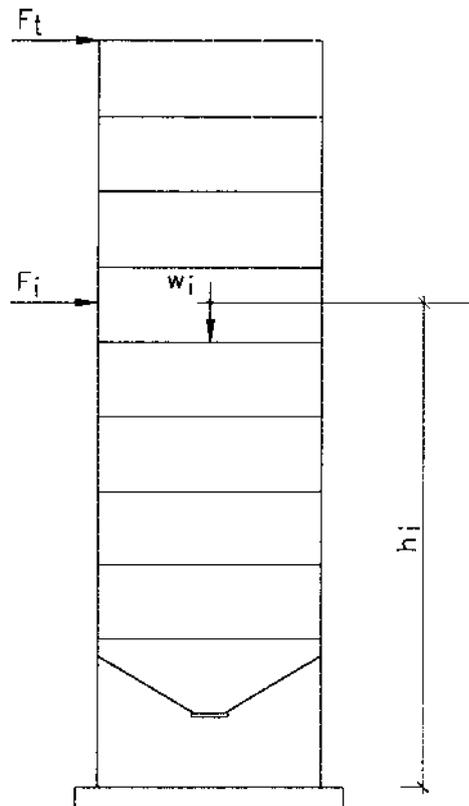
$w_i =$ وزن قطعه i ام به همراه مصالح داخل آن

$h_i =$ ارتفاع قطعه i ام از تراز پی

$V =$ نیروی برشی پایه

$F_1 =$ اثر شلاقی در تراز فوقانی





شکل ۲-۴

$$T > 0.7 \text{ sec} : F_i = 0.7 TV$$

$$T \leq 0.7 \text{ sec} : F_i = 0$$

w_i و h_i = به ترتیب وزن و ارتفاع قطعه زام

کف سیلوها

در هنگام زلزله فرض می شود ۸۰ درصد وزن مصالح ذخیره شده در سیلو، روی کف مؤثر شوند.

۴-۸ آثار دما

در طراحی سیلوها، آثار دما باید در هر یک از حالات زیر ملحوظ گردد:

۱- افزایش یا کاهش یکنواخت دما

۲- تابش یک طرفه آفتاب

۳- گرادیان حرارتی

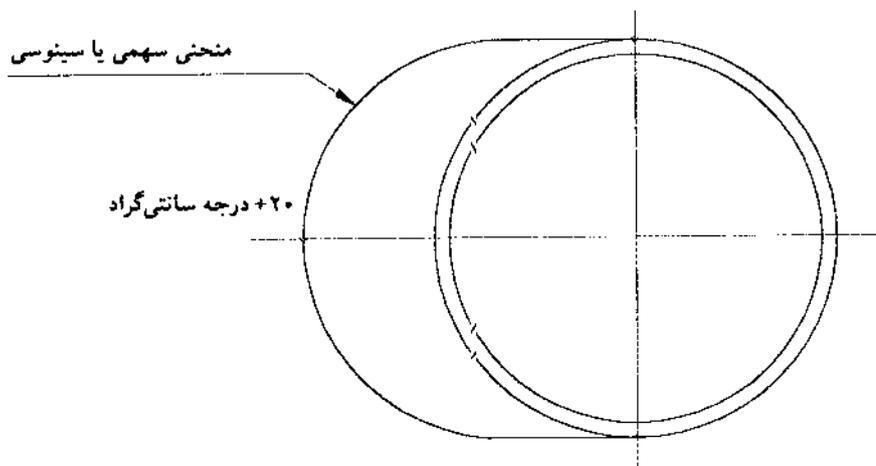


۴-۸-۱ افزایش یا کاهش یکنواخت دما

کل سازه باید برای افزایش یا کاهش دما به مقدار ۳۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای مفروض ساخت، تحلیل گردد.

۴-۸-۲ تابش یک‌طرفه آفتاب

سازه سیلو باید برای تابش یک‌طرفه آفتاب به مقدار ۲۰+ درجه سانتی‌گراد طبق پلان زیر مطالعه گردد:



شکل ۴-۳

۴-۸-۳ گرادیان حرارتی

اختلاف دمای ΔT بین سطوح داخلی و خارجی جدار از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta T = (T_{i,des} - T_o) K_f \quad (۴-۳۰)$$

که در آن:

$$T_{i,des} = T_i - ۴۴$$

T_i = دمای مصالح ذخیره شده (درجه سانتی‌گراد). در صورتی که این دما کمتر از ۴۴ درجه سانتی‌گراد باشد، نیاز به محاسبات گرادیان حرارتی نیست.

T_o = دمای محیط در زمستان

K_f = ضریب انتقال حرارت جدار. در صورتی که مصالح ذخیره شده سیمان باشد، مقدار آن از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$K_f = \frac{۰/۰۰۳۱۵۴}{۴/۰۹ + ۰/۰۰۳۱۵۴} \quad (۴-۳۱)$$

t = ضخامت جدار برحسب میلی‌متر

تحلیل و طراحی

۵-۱ معرفی

این فصل اختصاص به معرفی روش‌های تحلیل و طراحی سیلوهای بتن مسلح دارد. فرض بر این است که کلیه ضوابط مقرر شده در فصول دهم تا بیستم آیین‌نامه بتن ایران (آبا) معتبر می‌باشند، مگر اینکه به نحوی در این فصل اصلاح و یا جایگزین شده باشند.

۵-۲ تحلیل

سیلوها سازه‌های پوسته‌ای با رفتار غشایی، خمشی و یا ترکیبی از آنها می‌باشند. تحلیل این‌گونه سازه‌ها با استفاده از روش‌های خطی امکان‌پذیر است. دو روش جاری برای انجام تحلیل خطی عبارتند از:

- ۱ - تحلیل دستی به کمک روابط تحلیل حاصل از حل صریح معادلات دیفرانسیل تعادل و سازگاری تغییرشکل‌های پوسته‌ها.
- ۲ - تحلیل رایانه‌ای به کمک نرم‌افزارهایی که قابلیت تحلیل اجزای محدود دارند.

۵-۳ تحلیل دستی

۵-۳-۱ سیلوها با مقطع دایره (سیلوی گرد):

الف - کشش حلقوی

نیروی کششی حلقوی F برای ارتفاع واحد جدار سیلوی گرد به‌عنوان شار شعاعی یکنواخت P از



رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = \frac{pD}{\gamma} \quad (۱-۵)$$

افزایش در طول قطر از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta D = \frac{pD^2}{4tE_c} \quad (۲-۵)$$

در روابط فوق:

p = فشار یکنواخت شعاعی

D = قطر میان‌تار جدار

t = ضخامت جدار

E_c = جدول الاستیسیته بتن

F = نیروی کششی حلقوی

ΔD = افزایش قطر

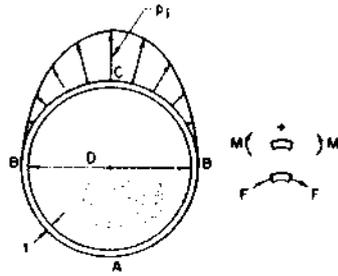
علاوه بر نیروی کششی حلقوی F برای نوارهای افقی، نوارهای قائم جدار سیلو تحت تنش‌های فشاری به‌علت بار سقف و نیروی اصطکاک ناشی از مصالح نیز می‌باشد که طبق اصول استاتیک قابل محاسبه می‌باشند.

ب - خمش موضعی

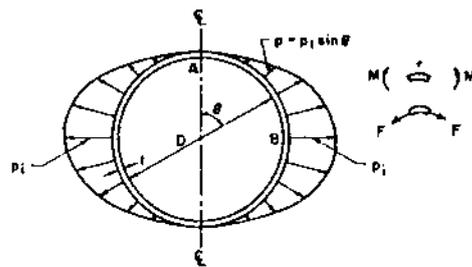
در بعضی از حالات، ممکن است فشارهای موضعی بر جدار سیلو وارد شود که این فشارهای موضعی باعث ایجاد خمش و برش در پوسته سیلو می‌شوند. وجود برون‌محوری در مجرای تخلیه و یا شتاب ناشی از زلزله می‌توانند چنین فشارهایی را در سیلو تولید نمایند. در شکل ۵-۱، روابط لازم برای محاسبه نیروهای داخلی ایجاد شده به‌علت دو حالت بارگذاری موضعی ارائه شده است که از آنها می‌توان در طراحی استفاده نمود.

پ - سیلوهای گرد در حالت گروهی

گاهی مواقع سیلوها همانند شکل ۵-۲ به صورت گروهی و بدون درز و یکپارچه طراحی می‌شوند. طرح اولیه هر کدام از کندوهای اصلی این سیلو، بنا به صورت مجرد و بدون توجه به یکپارچگی آنها انجام می‌شود. سپس حالت مربوط به پُر بودن کندوی ستاره‌ای میانی با فرض خالی بودن کندوهای اصلی محیطی و همچنین حالت مربوط به خالی بودن یک کندوی اصلی و پُر بودن کندوهای اصلی



لنگر خمشی	نیروی حلقوی
$M_A = -0.0182 p_i (D+t)^2$	$F_A = 0.1228 p_i (D+t)$
$M_B = 0.0208 p_i (D+t)^2$	$F_B = 0.1667 p_i (D+t)$
$M_C = 0.0234 p_i (D+t)^2$	$F_C = -0.2905 p_i (D+t)$



لنگر خمشی	نیروی حلقوی
$M = p_i \frac{(D+t)^2}{4} \left[\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2} \right) \cos \theta + \frac{\sin \theta}{2} - \frac{\gamma}{\pi} \right]$	$F = p_i \frac{(D+t)}{4} [(\pi - 2\theta) \cos \theta + \gamma \sin \theta]$
$M_A = 0.0272 p_i (D+t)^2$	$F_A = 0.393 p_i (D+t)$
$M_B = 0.0242 p_i (D+t)^2$	$F_B = 0.250 p_i (D+t)$
حد اکثر برش $\gamma = 0.140 p_i D$, $(\theta = 40/7^\circ)$	

شکل ۵-۱ روابط لازم برای محاسبه نیروهای داخلی به علت فشارهای موضعی.

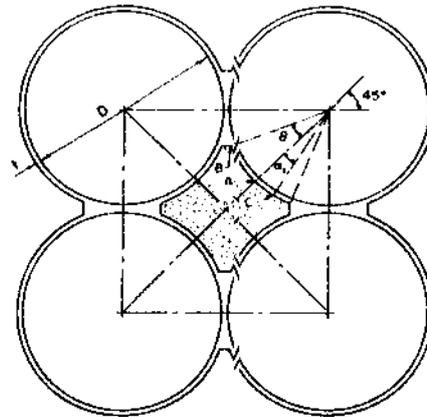
محیطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. روابط لازم برای محاسبه نیروهای داخلی در اشکال ۵-۲، الف و ب، ارائه شده است.

تحلیل مربوط به حالت‌های مختلف بارگذاری را می‌توان با فرض رفتار تمام مقطع افقی به صورت یک قاب صفحه‌ای، انجام داد.

با توجه به سخت بودن نقاط اتصال کسندوها، به عنوان یک روش تقریبی، قوس موجود در حدفاصل دو نقطه اتصال را، می‌توان یک قوس دو سرگیردار فرض کرد و با توجه به فشارهای وارده، نیروهای داخلی را محاسبه نمود.

در طراحی کسندوهای یکپارچه، باید توجه خاصی به نقاط اتصال کسندوها داشت. این نقاط باید





لنگرهای خمشی

$$M_A = \frac{P}{4} (D+2t)(D+t) \sin\theta \left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$$

$$M_B = \frac{P}{4} (D+2t)(D+t) \sin\theta \left(\cos\theta - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$$

$$M_C = \frac{P}{4} (D+2t)(D+t) \sin\theta \left(\cos\alpha_1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)$$

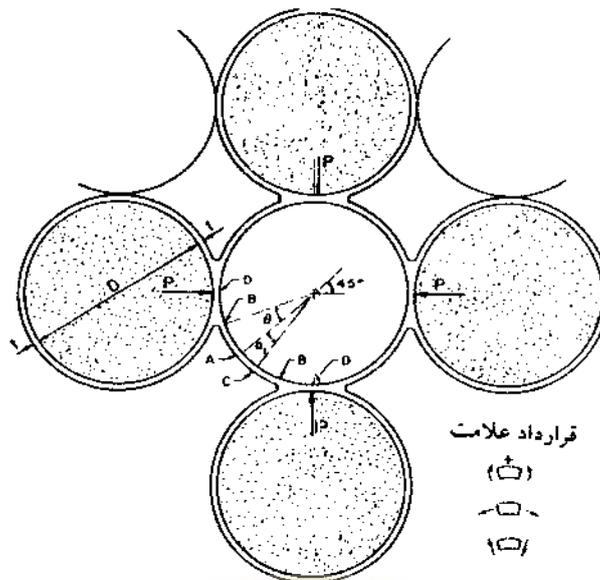
نیروهای حلقوی

$$F_A = \frac{P}{4} (D+2t)(1 - \sin\theta)$$

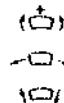
$$F_B = \frac{P}{4} (D+2t)(1 - \sin\theta \cos\theta)$$

$$F_C = \frac{P}{4} (D+2t)(1 - \sin\theta \cos\alpha_1)$$

(الف) روابط لازم برای محاسبه نیروهای داخلی در حالت پر بودن کندوی ستاره‌ای و خالی بودن کندوهای اصلی اطراف



قرارداد علامت



لنگرهای خمشی

$$M_A = -0.0352P(D+t)$$

$$M_B = (0.3183 - 0.3535 \cos\theta)P(D+t)$$

$$M_C = (0.3183 - 0.3535 \cos\alpha_1)P(D+t)$$

$$M_D = 0.0682P(D+t)$$

نیروهای حلقوی

$$F_A = -0.17071P$$

$$F_B = -0.17071P \cos\theta$$

$$F_C = -0.17071P \cos\alpha_1$$

$$F_D = -0.15P$$

نیروهای برشی

$$V_A = 0$$

$$V_B = 0.17071P \sin\theta$$

$$V_C = 0.17071P \sin\alpha_1$$

$$V_D = 0.5P$$

(ب) روابط لازم برای محاسبه نیروهای داخلی در حالت خالی بودن یک کندوی اصلی و پر بودن کندوهای اصلی اطراف

شکل ۵-۲ روابط تحلیلی سیلوهای گروهی گرد.

قادر به انتقال هر گونه نیروی داخلی (لنگر خمشی، نیروی برشی و نیروی محوری) به خصوص به علت نیروهای جانبی باشند.

۵-۳-۲ سیلوها با مقطع مربع مستطیل و چندضلعی

نوارهای افقی سیلوها با مقطع مربع، مربع مستطیل و چندضلعی به علت فشار داخلی ناشی از مصالح ذخیره شده، تحت خمش، برش و نیروی کششی قرار می‌گیرد. همچنین نوارهای قائم جدار به علت بار سقف و نیروی اصطکاکی ناشی از مصالح ذخیره شده، تحت تنش‌های فشاری هستند. در صورتی که نسبت ارتفاع به عرض دیوارهای جدار یک سیلو بزرگتر از ۲ باشد، آن را می‌توان به صورت یک دال یکطرفه در امتداد افق در نظر گرفت. در این صورت رفتار یک نوار افقی از یک سیلو به ارتفاع واحد، همانند یک قاب صفحه‌ای خواهد شد. در شکل ۵-۳ الف، روابط لازم برای محاسبه نیروی برشی، لنگر خمشی و نیروی محوری یک نوار افقی به ارتفاع واحد برای مقطع مربع مستطیل و در شکل ۵-۳ ب، برای مقطع شش ضلعی نشان داده شده است. در صورتی که نسبت اضلاع دیوار کوچکتر از ۲ باشد، در این صورت رفتار آن همانند دال دوطرفه خواهد بود. شرایط مرزی چنین دالی با توجه به وضعیت موجود به یکی از صور گیردار، مفصلی و یا آزاد مدل شده و نیروهای داخلی با استفاده از جداول پیوست فصل پنجم محاسبه می‌شود.

۵-۳-۳ خمش جدار به علت گرادیان حرارتی

تغییرات درجه حرارت ΔT بین سطوح داخلی و خارجی جدار سیلو، باعث گرادیان کرنشی $\alpha_1 \Delta T / t$ در جدار سیلو می‌شود که در آن t ضخامت دیوار جدار و α_1 ضریب انبساط حرارتی بتن می‌باشد. به علت نامعینی استاتیکی سازه جدار، گرادیان کرنشی فوق باعث ایجاد لنگر خمشی داخلی در آن می‌شود که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_t = \frac{E_c t^3 \alpha_1 \Delta T}{(1-\nu) 12} \quad (3-5)$$

که در آن:

$$E_c = 5000 \sqrt{f_c} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

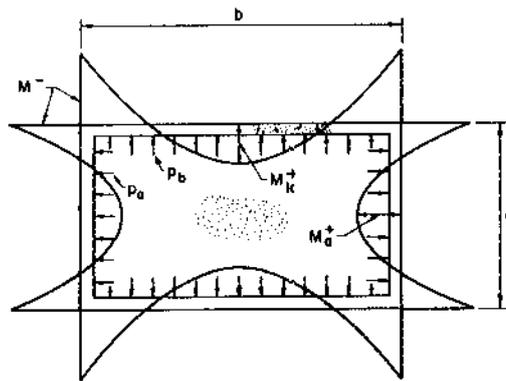
$$\nu = 0.30$$

$$\alpha_1 = 12 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$$

ΔT = اختلاف درجه حرارت بین سطوح داخلی و خارجی جدار (درجه سانتی‌گراد)

t = ضخامت جدار (mm)





$$M^- = \frac{1}{\sqrt{2(1+n)}} (p_a a^2 + n p_b b^2) \text{ که } n = \frac{b}{a} \left(\frac{t_a}{t_b} \right)^2$$

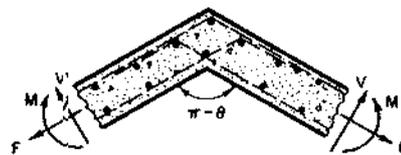
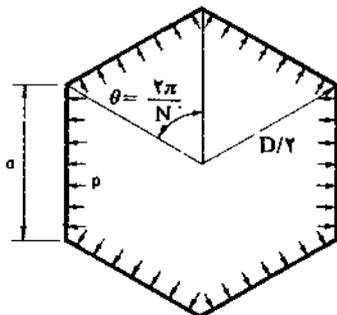
$$M_a^+ = \frac{p_a a^2}{\lambda} - M^-$$

$$M_b^+ = \frac{p_b b^2}{\lambda} - M^-$$

$$F_b = p \frac{a}{\gamma} \quad V_b = p \frac{b}{\gamma}$$

$$F_a = \frac{p b}{\gamma} \quad V_a = p \frac{a}{\gamma}$$

(الف) روابط نیروهای داخلی برای یک حلقه مربع مستطیل تحت فشار داخلی



$$a = D \sin \theta / \gamma$$

(الف) پلان

(ب) جزئیات گوشه

در گوشه

در وسط اضلاع

$$F \quad \frac{pD}{\gamma} \cos \frac{\theta}{\gamma} \quad \frac{pD}{\gamma} \cos \frac{\theta}{\gamma}$$

$$V \quad \frac{pD}{\gamma} \sin \frac{\theta}{\gamma} \quad 0$$

$$M \quad \frac{pD^2}{1\gamma} \sin^2 \frac{\theta}{\gamma} \quad \frac{pD^2}{\gamma\gamma} \sin^2 \frac{\theta}{\gamma}$$

(ب) روابط نیروهای داخلی برای یک حلقه شش ضلعی تحت فشار داخلی

شکل ۳-۵ روابط تحلیلی برای سیلوهای تک با مقطع مستطیل و چندضلعی.

رابطه ۵-۳ بر مبنای مقطع ترک نخورده حاصل شده است. بنابراین نتایج به دست آمده از آن برای حالات معمول که مقطع به صورت ترک خورده می‌باشد، محافظه کارانه و در جهت اطمینان است. توجه شود که لنگر M_1 هم برای نوارهای افقی و هم برای نوارهای قائم اعمال می‌شود.

۵-۳-۴ خمش داخل صفحه دیوارها

در صورتی که دیوار سیلو در فواصل معین بر روی ستون تکیه داشته باشد، به علت بارهای قائم وارد از سقف، و یا اصطکاک جداره و یا از کف، تحت خمش در صفحه خود قرار می‌گیرند. روش طراحی دیوار برای چنین خمشی بستگی به ارتفاع دیوار و فواصل محور به محور ستون‌ها دارد. اگر ارتفاع H دیوار و L فاصله محور به محور ستون‌ها باشد (شکل ۵-۴)، بر حسب نسبت H/L روش طراحی دیوار به شرح زیر است:

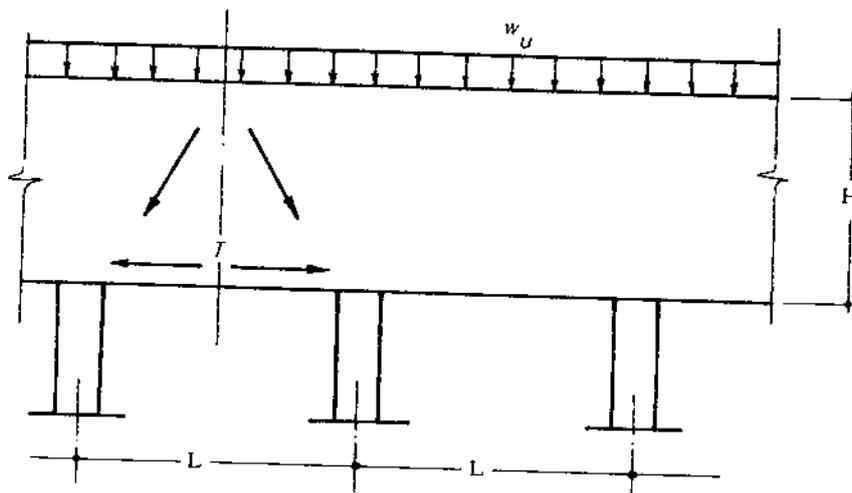
$$\text{الف: } H/L \leq 1$$

در این حالت، دیوار را می‌توان همانند یک تیر بتن مسلح معمولی طراحی نمود.

$$\text{ب: } H/L > 1$$

در این حالت اگر دیوار به صورت یک پانل تنها به طور مساوی در روی ستون‌هایی به فواصل L متکی و تحت بار یکنواخت با ضریب w_u قرار داشته باشد، نیروی کششی T_u که باید برای آن فولاد کششی طراحی شود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T_u = \frac{0.14 w_u L}{\sqrt{H/L}} \quad (4-5)$$



شکل ۵-۴



در صورتی که نسبت $H/L > 2$ باشد، نسبت $H/L=2$ در رابطه فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد. فولادهای کششی باید در ارتفاعی مساوی $L/10$ از پایین دیوار قرار داده شوند. در صورتی که نصف و یا دوسوم فولادهای کششی در حوالی تکیه‌گاه با زاویه ۴۵ درجه به سمت بالا خم شوند، مقاومت برشی V_u پانل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_u \leq 0.54 f_c t^2 \sqrt{H/l} \quad (5-5)$$

در صورتی که نیروی برشی ضریبدار $w_u L/2$ از مقدار فوق تجاوز کند و یا هیچ‌گونه میلگردی به سمت بالا خم نشده باشد، فولاد برشی جان بلیت برای نیروی کششی زیر طراحی شود:

$$T_s = \frac{w_u L/2}{\sqrt{2H/L}} \quad 1 \leq \frac{H}{L} \leq 2 \quad (6-5)$$

فولادهای به دست آمده از رابطه فوق باید با زاویه ۶۰ درجه نسبت به افق قرار داده شوند. البته می‌توان معادل فولادهای فوق را به صورت خامرت قرار داد.

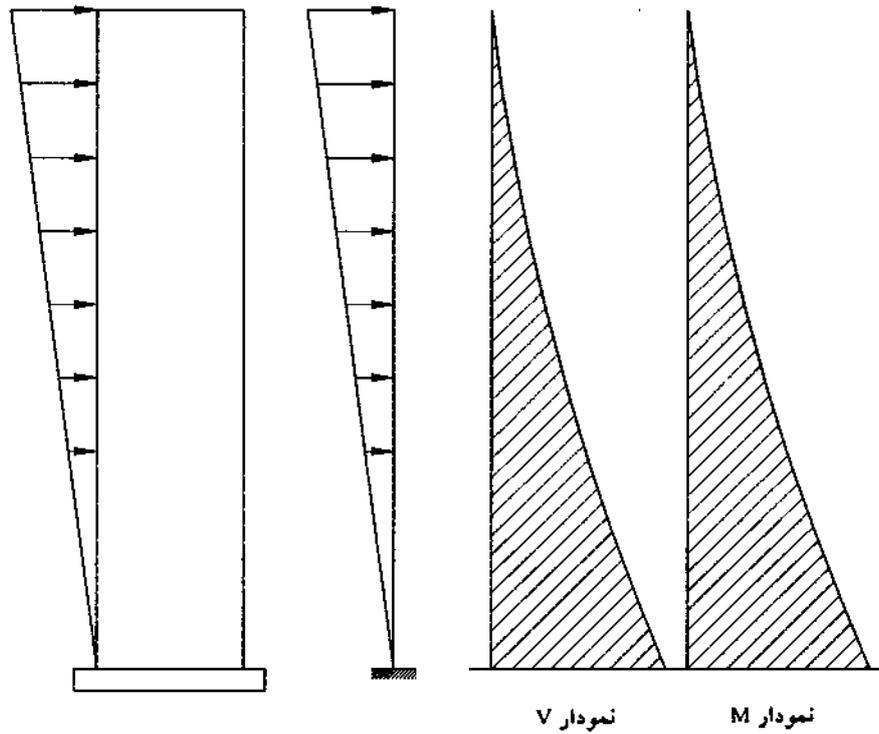
لازم به تذکر است که رابطه ۴-۵ برای دیوارهایی تنظیم شده است که بار یکنواخت آنها در بالای دیوار قرار دارد. لیکن آزمایشات نشان داده‌اند که از آن می‌توان برای حالتی که بار یکنواخت در پایین دیوار اثر می‌کند، نیز استفاده نمود.

۵-۳-۵ فولادهای قائم در جدار سیلوها

بنا به عللی از قبیل توزیع یکنواخت فشار بین میلگردهای افقی، خمش موضعی و خمش ناشی از گرادیان حرارتی، لازم است میلگردهای قائم در جدار سیلوها تعبیه شود. عمده‌ترین نیرویی که میلگردهای قائم برای آنها طراحی می‌شوند، تنش‌های ناشی از خمش کلی ایجاد شده در مقطع ستون به واسطه نیروهای جانبی نظیر باد یا زلزله می‌باشد. تحلیل سیلوها در مقابل بار جانبی همانند یک تیر طره‌ای می‌باشد که پای آن گیردار و بالای آن آزاد است (شکل ۵-۵).

۵-۳-۶ کف و قیف سیلو

کف سیلوها و بونکرها باید برای مقاومت در مقابل فشار قائم ناشی از مصالح ذخیره شده در حالت استاتیکی و در حالت زلزله طراحی شوند. فشار قائم استاتیکی در عمق Y از روابط ۴-۱ و ۴-۶ و در صورت لزوم رابطه ۴-۱۷ و اعمال ضرایب افزایش فشار C_p و C_f به دست می‌آید. در حالت زلزله به علت از بین رفتن اصطکاک مصالح با جدار، فرض می‌شود که حداقل ۸۰ درصد وزن کل مصالح ذخیره شده به روی کف فعال می‌شود. کف سیلوها ممکن است به صورت تخت و یا قیفی شکل باشد که در حالت اخیر بسته به شکل سیلو، قیف ممکن است مخروط یا هرم باشد.



شکل ۵-۵

۱-۶-۳-۵ قیف مخروطی^۱ (شکل ۵-۶-الف)
 قیف‌های مخروطی تحت کشش حلقوی در حول محیط و کشش نصف‌النهاری در امتداد مولد مخروط قرار دارند. برای یک مخروط متقارن، کشش نصف‌النهاری F_m در امتداد مولد برای عرض واحد و کشش حلقوی F_t برای واحد عرض از روابط زیر به دست می‌آیند (شکل ۵-۷-الف).

$$F_m = \frac{qD}{\gamma \sin \alpha} + \frac{W}{\pi D \sin \alpha} \quad (۷-۵)$$

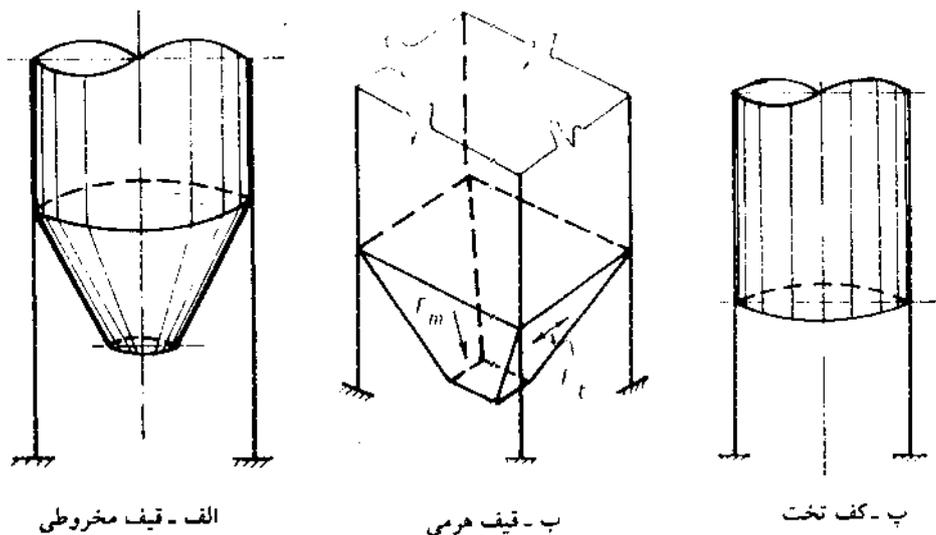
$$F_t = \frac{q_a D}{\gamma \sin \alpha} \quad (۸-۵)$$

در روابط فوق:

D = قطر میان‌تار مخروط در تراز مورد نظر

1- hopper





شکل ۵-۶

q = فشار قائم در تراز مورد نظر طبق رابطه ۱-۴ یا ۶-۴ با اعمال ضرایب افزایش فشار C_H یا C_V

q_α = فشار وارد بر سطح شیبدار در تراز مورد نظر طبق رابطه ۴-۱۷ با اعمال ضرایب افزایش

فشار C_H یا C_V

W = وزن قیف و مصالح داخل آن در زیر تراز مورد نظر

مقادیر F_{1u} و F_{mu} برای طراحی به روش مقاومت نهایی با ضرب q یا q_α در ضریب $1/5$ و محاسبه W رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = 1/25 W_h + 1/5 W_m \quad (9-5)$$

که در آن W_h وزن قیف در زیر تراز مورد نظر و W_m وزن محتویات قیف در زیر تراز مورد نظر می‌باشد که با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$W_h = \frac{\pi(D^2 - d^2) \gamma_h}{4 \cos \alpha} \quad (10-5)$$

$$W_m = \frac{\pi(D^2 - d^2) \gamma_m \tan \alpha}{4} \quad (11-5)$$

که در آن:

d, D = طبق شکل ۵-۷-الف



γ_h = وزن واحد سطح جدار سیلو

γ_m = وزن مخصوص مصالح ذخیره شده

حداقل ضخامت قیف مخروطی ۱۵۰ میلی‌متر است و عرض ترک باید کمتر از مقادیر مجاز باشد.

۵-۳-۶-۲ قیف هرمی (شکل ۵-۶-ب)

مطابق شکل ۵-۶-۷-ب، جدار قیف هرمی تحت تأثیر کشش غشایی نصف‌النهاری F_m در امتداد مولد و کشش افقی F_1 (شکل ۵-۶-۷-ب) و خمش صفحه‌ای قرار دارند. همچنین اگر قیف به‌طور پیوسته در لبه فوقانی خود تکیه نکرده باشد، قیف تحت خمش در صفحه نیز قرار می‌گیرد.

اگر فرض شود که مؤلفه قائم کشش نصف‌النهاری به‌طور یکنواخت در محیط یک مقطع افقی توزیع شده است، برای قیف متقارن یا مقطع مربع‌مستطیل، نیروی کششی نصف‌النهاری F_m را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

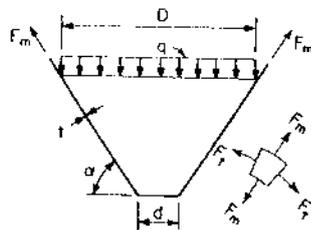
$$F_m = \frac{W + (q_a + q_b)ab/\gamma}{\gamma(a+b)\sin\alpha} \quad (۱۲-۵)$$

که در آن a ضلع کوچک و b ضلع بزرگ مقطع و q_a و q_b به ترتیب فشار قائم در تراز مورد نظر مربوط به اضلاع a و b می‌باشد. به‌علاوه:

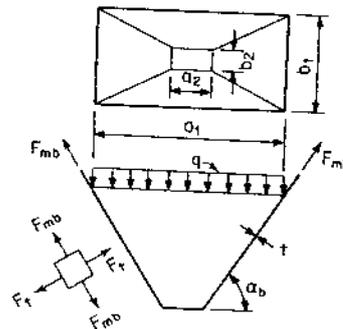
W = وزن قیف و محتویات داخل آن در زیر تراز مورد نظر

α = زاویه جدار قیف با افق

اگر $b > a$ باشد، q_b کوچکتر از q_a خواهد شد که در نتیجه مؤلفه قائم کشش نصف‌النهاری در دیوار a ممکن است بزرگتر از مقدار نظیر در دیوار b شود.



(الف) قیف مخروطی



(ب) قیف هرمی

شکل ۵-۷ نیروهای داخلی در قیف‌ها.



اگر فرض شود هر کدام از دیوارهای قیف، $\frac{1}{\gamma}$ وزن W و فشار قائم موجود در سطح مثلث مجاور آن دیوار را حمل کند*، روابط زیر به دست می‌آید:

$$F_{ma} = \left(\frac{W}{a} + q_a b \right) \frac{1}{\gamma \sin \alpha_a} \quad (\text{الف} - ۱۳ - ۵)$$

$$F_{mb} = \left(\frac{W}{b} + q_b a \right) \frac{1}{\gamma \sin \alpha_b} \quad (\text{ب} - ۱۳ - ۵)$$

نیروی کششی افقی F_t نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F_{ta} = \frac{1}{\gamma} (q_{ab} + \gamma_h \cos \alpha_b) b \sin \alpha_a \quad (\text{الف} - ۱۴ - ۵)$$

$$F_{tb} = \frac{1}{\gamma} (q_{ba} + \gamma_h \cos \alpha_a) a \sin \alpha_b \quad (\text{ب} - ۱۴ - ۵)$$

که در آن:

γ_h = وزن واحد سطح جدار دیوار

q_a = فشار وارد بر سطح شیبدار طبق رابطه ۴ - ۱۷ با اعمال ضرایب افزایش فشار C_d یا C_i .

مقدار F_{mu} و F_{tu} برای طراحی به‌روش مقاومت نهایی از ضرب q در ضریب بار $1/5$ و محاسبه W از رابطه ۵ - ۹ به دست می‌آید. اوزان W_m و W_h نیز از روابط زیر قابل تعیین هستند:

$$W_h = h_h \gamma_h \left(\frac{a_1 + a_2}{\sin \alpha_a} + \frac{b_1 + b_2}{\sin \alpha_b} \right) \quad (۱۵ - ۵)$$

$$W_m = \frac{h_h \gamma_m}{\phi} \left[(\gamma a_1 + a_2) b_1 + \gamma a_2 + (\gamma a_2 + a_1) b_2 \right] \quad (۱۶ - ۵)$$

که در آن مطابق شکل ۵ - ۷ - ب:

a_1 = عرض مقطع در تراز مورد نظر برای محاسبه F

b_1 = طول مقطع در تراز مورد نظر برای محاسبه F

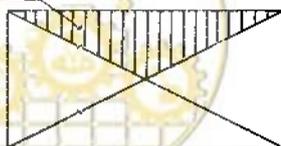
a_2 = عرض باز شوی قیف

b_2 = طول باز شوی قیف

حداقل ضخامت جدار قیف هرمی، ۱۵۰ میلی‌لیتر است و عرض ترک در آن نباید کمتر از

* مثلث مجاور هر دیوار به صورت زیر تعریف می‌شود:

مثلث مجاور هر دیوار



مقادیر مجاز باشد.

خمش صفحه‌ای به علت فشار قائم بر سطح

لنگرهای خمشی در صفحات مثلی را می‌توان با استفاده از صفحه مستطیل معادل به دست آورد (شکل ۵-۸-الف).

صفحات دوزنقه (شکل ۵-۸-ب) با نسبت $a_2/a_1 \geq 4$ را می‌توان همانند یک صفحه مثلث در نظر گرفت. برای این منظور کافی است دو ضلع دوزنقه را امتداد دهیم تا مثلث معادل به دست آید. مثلث معادل را می‌توان همانند شکل ۵-۸-الف به صورت یک صفحه مربع مستطیلی تحلیل نمود. صفحات دوزنقه با نسبت $a_2/a_1 < 4$ را می‌توان با استفاده از صفحه مستطیلی معادل، به دست آورد (شکل ۵-۸-ب). ابعاد این مستطیل معادل از رابطه زیر به دست می‌آید:

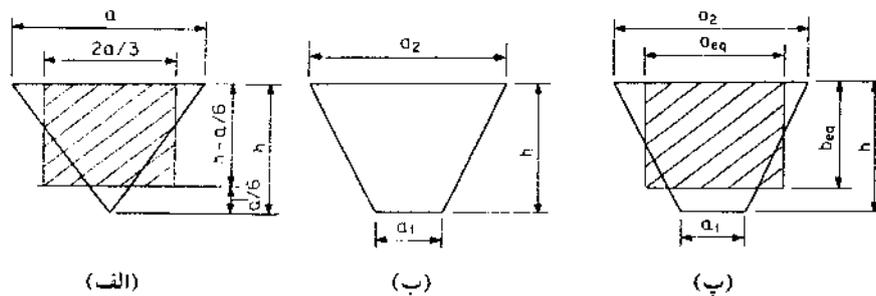
$$a_{eq} = \frac{2a_2(2a_1 + a_2)}{3(a_1 + a_2)} \quad (الف - ۱۷ - ۵)$$

$$b_{eq} = h - \frac{a_2(a_2 - a_1)}{6(a_1 + a_2)} \quad (ب - ۱۷ - ۵)$$

ضرایب لنگر برای صفحات مستطیلی را می‌توان از جداول پیوست کتاب به دست آورد. شرایط مرزی لبه صفحات را برحسب وضعیت موجود، می‌توان به یکی از حالات گیردار، ساده و آزاد فرض نمود.

خمش داخل صفحه قیف‌ها

در صورتی که یک صفحه مثلی تحت خمش در صفحه خودش قرار گیرد (به عبارت ساده، به صورت یک تیر خمشی عمل کند)، مطابق شکل ۵-۹ ارتفاعی معادل $a/5$ (دهانه خمش است) از آن را می‌توان به صورت یک تیر در نظر گرفت و توزیع تنش در ارتفاع آن را خطی فرض کرد. توزیع تنش



شکل ۵-۸



در قسمت تحتانی این ارتفاع را می‌توان به صورت خطی تا رأس مثلث به صفر رساند. لنگر خمشی در تیر فرضی از رابطه $M = F_m a^2 / 8$ به دست می‌آید که در آن کشش نصف‌النهار محاسبه شده توسط روابط ۵-۱۲ و ۵-۱۳ می‌باشد. تنش‌های کششی محاسبه شده به علت این لنگر را می‌توان با نیروی افقی F_t ترکیب کرد و براساس این نیروی حاصل جمع، میلگردهای افقی را محاسبه نمود.

نیروهای متمرکز در تکیه‌گاه‌های قیف‌های هرمی

در صورتی که مطابق شکل ۵-۱۰، قیف در چهارگوشه خود روی ستون تکیه کرده باشد، چهارگوشه آن تحت نیروهای متمرکز قرار می‌گیرد. تحت این بارگذاری، در لبه فصل مشترک صفحات نیروی کششی T به وجود می‌آید که مقدار آن برابر است با:

$$T = \frac{P}{\sin \alpha} \quad (۵-۱۸)$$

که در آن α زاویه بین لبه با سطح افق می‌باشد.

در لبه فوقانی نیز نیروی فشاری به وجود می‌آید که مقدار آن برابر است با:

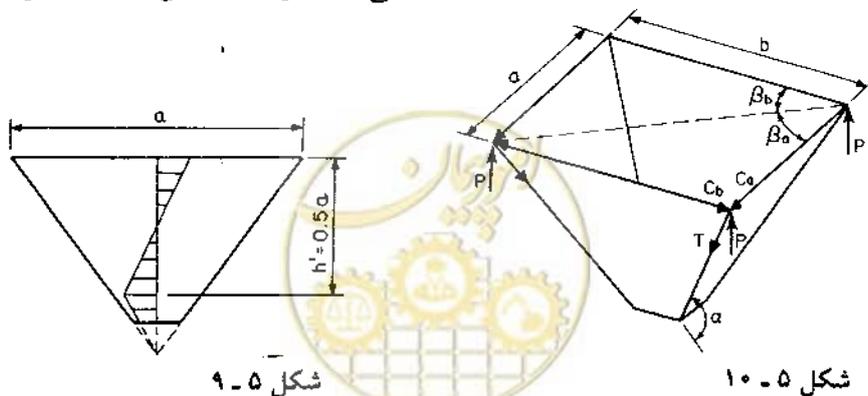
$$C_a = P \cos \alpha \cos \beta_a \quad (۵-۱۹ \text{ الف})$$

$$C_b = P \cos \alpha \cos \beta_b \quad (۵-۱۹ \text{ ب})$$

که در آن β_a و β_b زاویه بین لبه‌های a و b با قطر قیف در یک مقطع افقی می‌باشد. با توجه به اینکه این نیروها متمرکز هستند، لازم است میلگردهای آنها فقط در حوالی ستون تعبیه گردد.

۵-۳-۶-۳ کف‌های تخت

محاسبه کف‌های تخت افقی، همانند دال‌های بتن مسلح معمولی صورت می‌گیرد. فشار طراحی در



شکل ۹-۵

شکل ۱۰-۵

حالت استاتیکی برابر است با:

$$w = g + q_{des} \quad (20-5)$$

که در رابطه فوق:

$g =$ وزن واحد سطح دال

$q_{des} =$ فشار طرح طبق روابط ۱-۴ و ۶-۴ با اعمال ضرایب افزایش فشار C_i و C_d . در طراحی

به روش مقاومت نهایی، برای g ضریب $1/25$ و برای q_{des} ضریب $1/5$ اعمال می‌شود.

$w =$ فشار وارد بر کف

در حالت زلزله فشار طراحی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$w = g + p \quad (21-5)$$

در رابطه فوق:

$g =$ وزن مرده دال

$p =$ فشار کل ناشی از ۸۰ درصد وزن مصالح ذخیره شده توجه شود که در این حالت اصطکاک

مصالح با جداره کلاً در نظر گرفته نمی‌شود.

در طراحی به روش مقاومت نهایی، رابطه ۵ - ۲۱ به صورت زیر در می‌آید:

$$w_u = g + 1/2 p \quad (22-5)$$

فشار طراحی، بزرگترین مقدار به دست آمده از روابط ۵ - ۲۰ و ۵ - ۲۱ می‌باشد. در صورت

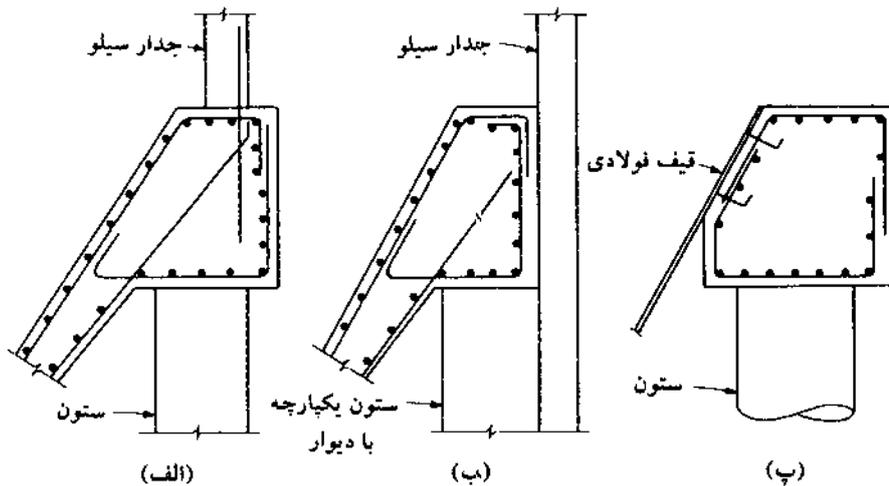
لزوم کف سیلو باید برای آثار حرارتی نیز طراحی گردد.

۵-۳-۶-۴ تیرهای تکیه‌گاهی قیف

قیف‌های بتنی اغلب بر روی تیرهای لیه‌ای قرار دارند که به‌طور یکپارچه با دیوار قیف بتن‌ریزی می‌شوند (اشکال ۵ - ۱۱ - الف و ب). در شکل ۵ - ۱۱ - پ، یک قیف مخروطی فولادی بر روی یک تیر بتن مسلح تکیه کرده است. تیرهای تکیه‌گاهی ممکن است به‌طور پیوسته بر روی دیوار و یا به‌طور نقطه‌ای بر روی ستون‌ها و یا ستون‌های یکپارچه با دیوار^۲ تکیه نمایند.

اگر امتداد میانثار جدار قیف از مرکز هندسی تیر تکیه‌گاهی عبور ننماید، در تیر تکیه‌گاهی ایجاد پیچش می‌شود. در تیرهای حلقوی به‌علت این لنگر پیچشی، ایجاد لنگر خمشی می‌شود. در صورتی که تیر تکیه‌گاهی به‌طور پیوسته بر روی دیوار متکی باشد، از لنگر خمشی و پیچشی فوق می‌توان صرف‌نظر کرد و تیر تکیه‌گاهی را فقط برای نیروی فشاری حلقوی ناشی از مؤلفه افقی نیروی نصف‌النهاری قیف طراحی کرد. مقدار این نیروی فشاری برابر است با:





شکل ۵-۱۱ تیرهای تکیه‌گاهی قیف.

$$P = (F_m \cos \alpha)(D/2) \quad (۵-۲۳)$$

تیرهایی که همانند شکل ۵-۱۱ - الف، در چند نقطه بر روی ستون متکی باشند، به علت نیروی نصف‌النهاری F_m قیف، در آنها نیروی برشی، لنگر خمشی و لنگر پیچشی و نیروی فشار حلقوی ایجاد می‌شود. تحلیل چنین تیری با استفاده از برنامه‌های تحلیل کامپیوتری که توانایی تحلیل قاب فضایی را داشته باشند، امکان‌پذیر است.

در قیف‌های مربع مستطیل، به علت اتصال برون‌محوری قیف به تیر تکیه‌گاهی و پیچش ناشی از آن، هیچ‌گونه لنگر خمشی در تیر تکیه‌گاهی ایجاد نمی‌شود. در این حالت نیز اگر تیر تکیه‌گاهی با دیوار سیلو یکپارچه باشد، از لنگر پیچشی فوق می‌توان صرف‌نظر کرد.

وقتی که از تیر تکیه‌گاهی استفاده نشود و قیف مستقیماً به جدار سیلو وصل شود، در جدار سیلو ایجاد خمش موضعی می‌شود که میلگردهای لازم باید برای آن تعبیه شود.

۵-۳-۷ پایه‌های سیلو

ستون‌هایی که جداره سیلو و به‌خصوص کف سیلو را حمل می‌کنند، تحت تأثیر بار زنده ناشی از مصالح ذخیره شده قرار دارند که به مراتب بزرگتر از بار مرده می‌باشد. پر بودن سیلو برای یک زمان طولانی، باعث ایجاد خزش در بتن پایه‌ها می‌شود. در نتیجه، تنش بتن کاهش و باری که توسط فولادها حمل می‌شود، افزایش می‌یابد. حال اگر پس از این زمان طولانی، مصالح داخل سیلو تخلیه شود، با بازگشت الاستیک فولادها به علت باربرداری، بتن تحت کشش قرار می‌گیرد. اگر تنش‌های

کششی بتن از مقاومت کششی آن تجاوز نماید، ترک‌های عرضی قابل توجهی در ستون ایجاد می‌شود. اگر این ترک‌های عرضی، با ترک‌های طولی ناشی از تنش پیوستگی زیاد در اثنای باربرداری توأم شوند، وضعیت خطرناکی می‌تواند برای ستون‌ها و پایداری سیلو به وجود آید. برای جلوگیری از چنین وضعیتی توصیه می‌شود که نسبت فولادهای طولی در مقطع ستون از ۲ درصد تجاوز نکند. به علاوه سطح مقطع میلگردهای طولی نباید از L/F_y تجاوز نکند که در آن L نیروی محوری ناشی از بار زنده می‌باشد.

در صورتی که پایه‌های سیلو تحت برش و خمش ناشی از بارهای جانبی زلزله قرار گیرند، باید کلیه ضوابط شکل‌پذیری شدید در مورد آنها اعمال شود.

۵-۳-۸ شالوده سیلو

سیلوها سازه‌های بسیار سنگینی هستند که تنش منتقله از آنها به زمین، می‌تواند قابل توجه باشد. لذا در هنگام طراحی شالوده باید دقت زیاد به عمل آید. در این خصوص مطالعات کامل زمین‌شناسی و مکانیک خاک تا عمق مناسب، قویاً توصیه می‌شود. تعیین تنش مجاز باربری زمین با توجه به معیار مقاومت و نشست خاک، از اهم وظایف مشاور خاک می‌باشد. در عمل شواهد بسیاری از خرابی‌های کلی و یا صدمات ناشی از نشست وجود دارد. شکل ۵-۱۲ الف، نشان‌دهنده خرابی کلی یک سیلو به علت لغزش برشی خاک زیر سیلو می‌باشد. از عوامل مهمی که می‌تواند باعث خرابی کلی فونداسیون سیلو شود، بارگذاری نامتقارن یک مجموعه سیلوهای گروهی باشد. بنابراین علاوه بر عوامل طراحی، برنامه بهره‌برداری از سیلوها نیز می‌تواند در ناپایداری فونداسیون سیلو دخیل باشد. در نتیجه ملاحظه می‌گردد که بارگذاری‌های نامتقارن باید در برنامه کنترل شالوده سیلوها قرار گیرد.

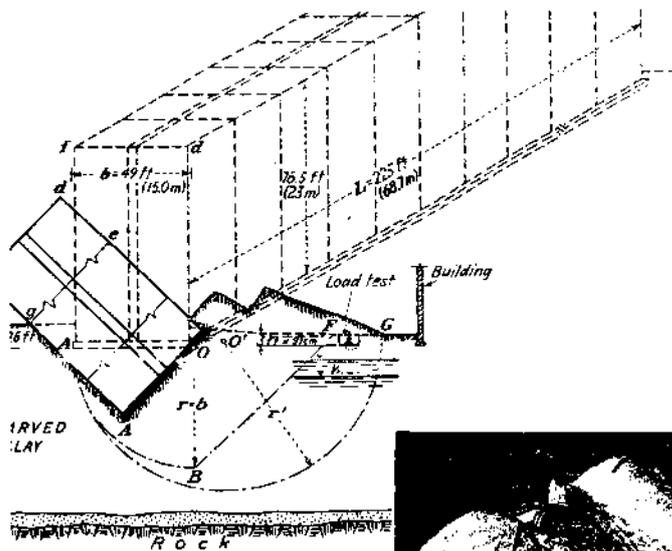
نشست زیاد مجموعه اصلی سیلو نیز می‌تواند باعث کج شدن ساختمان‌های جنبی که فشار منتقله آنها به زمین و در نتیجه نشست آنها به مراتب کوچکتر از مجموعه اصلی است، شود. شکل ۵-۱۲ ب، نشان‌دهنده چنین وضعیتی می‌باشد.

در حالت گروهی، شالوده سیلوها به صورت یک دال یکپارچه صلب (با ضخامت زیاد) می‌باشد که برای ترکیبات مختلف پر و یا خالی بودن سیلو و همچنین نیروی جانبی زلزله، باید تنش‌های فشاری و همچنین واژگونی آن کنترل شود.

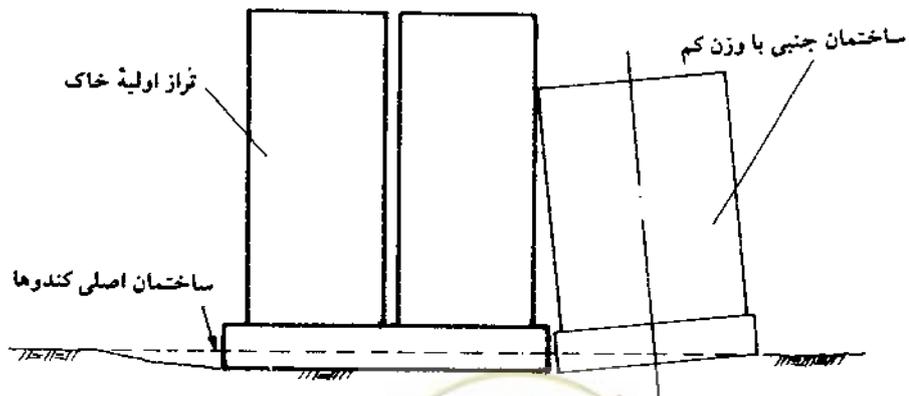
در صورتی که مقاومت زمین کم باشد، باید از شالوده‌های شمعی استفاده نمود. در این حالت نیز باید یک دال یکپارچه به عنوان کلاهک شمع‌ها اجرا شود.

در مورد سیلوهای تک نیز شالوده به صورت یکپارچه است و شکل آن برحسب مورد می‌تواند دایره و یا چندضلعی باشد. در شکل ۵-۱۳ این شالوده‌ها و نحوه آرماتوربندی آنها نشان داده شده





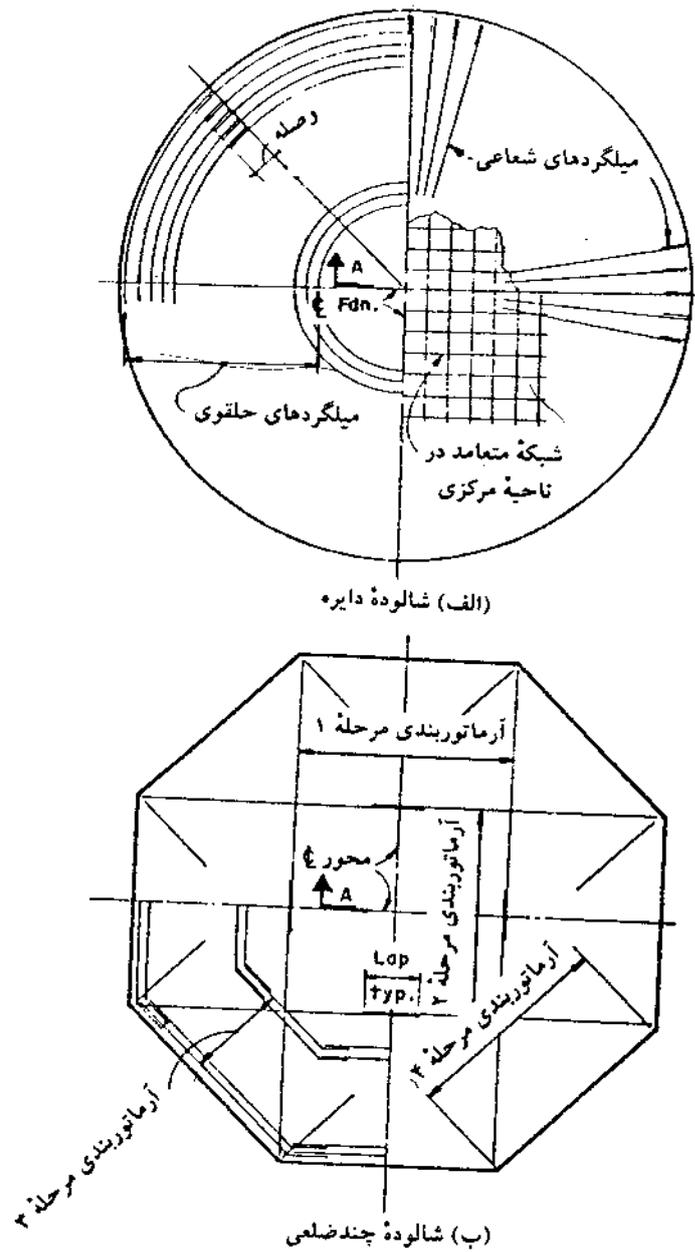
گسیختگی برشی خاک زیر سیلو



شکل ۵-۱۲

است. برای تعیین تنش در زیر یک شالوده دایره می‌توان از شکل ۵-۱۴ و روابط زیر استفاده نمود:

$$p = \frac{W}{A} K_1 \quad (۵-۲۴)$$



شکل ۵-۱۳ شالوده سبیلوهای تک.

$$A = \pi(R^2 - R_0^2) \quad (25-5)$$

$$Z = K_p R \quad (26-5)$$



در روابط فوق و شکل ۵-۱۴:

$$R = \text{شعاع خارجی شالوده}$$

$$W = \text{بار محوری کل}$$

$$M = \text{لنگر واژگونی}$$

$$R_0 = \text{شعاع داخلی شالوده (در مورد شالوده‌های یکپارچه مساوی صفر است)}$$

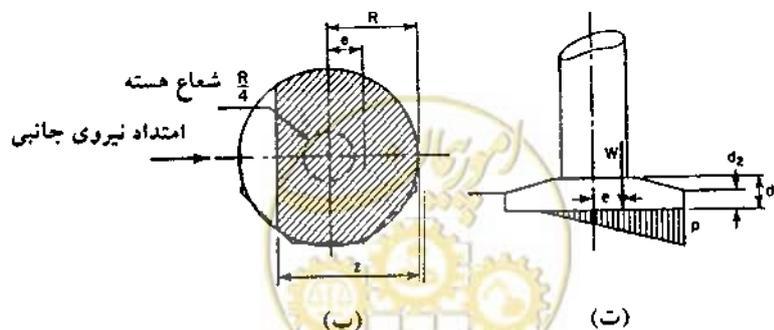
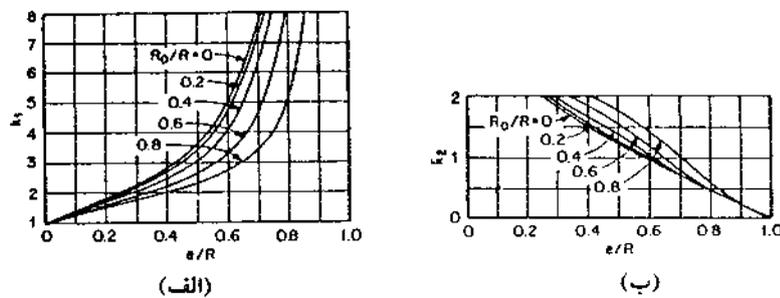
$$c = \text{برون محوری طبق رابطه } c = M/W$$

$$K_1 \text{ و } K_2 = \text{ضرایب طبق اشکال ۵-۱۴ الف و ب}$$

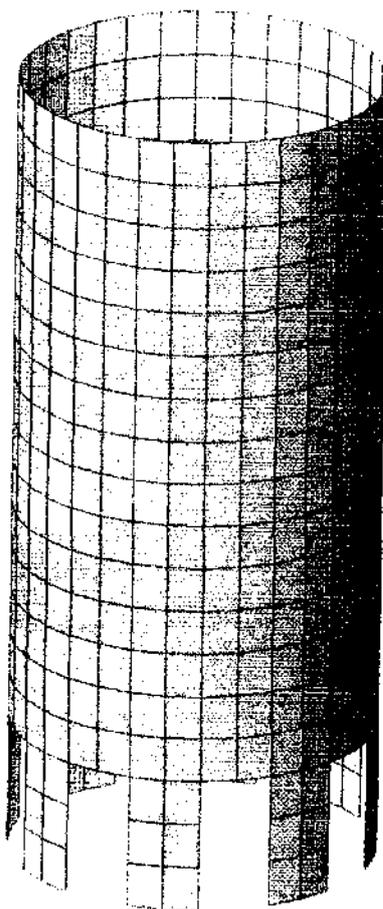
در مورد شالوده‌های هشت ضلعی، می‌توان از یک دایره معادل با شعاعی مساوی متوسط شعاع‌های دوایر محیطی و محاطی استفاده نمود.

۴-۵ تحلیل رایانه‌ای

با توجه به رفتار فضا کار سیلو، برای تحلیل آن به کمک رایانه، لازم است مدل اجزای محدود سه‌بعدی از کل سازه تهیه شده و در مقابل بارهای مختلف مورد تحلیل قرار گیرد. در شکل ۵-۱۵ شمایی از یک مدل سه‌بعدی سیلو نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۴ محاسبه فشار در زیر شالوده دایره.



شکل ۵-۱۵ مدل کامپیوتری برای تحلیل سیلو.

۵-۵ طراحی

۵-۵-۱ مقدمه

طراحی سازه‌های سیلوهای بتنی طبق مفاد آیین‌نامه آبا و بر مبنای ارضای شرایط حالت حدی نهایی مقاومت (بند ۱۰-۵ آبا) و کنترل در حالت حدی بهره‌برداری بند (۱۰-۶ آبا) انجام می‌شود.

۵-۵-۲ ضرایب و ترکیبات بار

در تعیین تلاش‌های ناشی از بارهای وارد بر سیلو، باید ضرایب و ترکیبات زیر به کار رود.



$$\begin{aligned}
 & 1/25D \\
 & 1/25D + 1/5L \\
 & D + 1/2L + 1/2E \text{ (یا } 1/2W) \\
 & 0.85D + 1/2E \text{ (یا } 1/2W) \quad (27-5) \\
 & 1/25D + 1/5L + 1/5H \\
 & 0.85D + 1/5H \\
 & D + 1/2L + T \\
 & 1/25D + 1/25T
 \end{aligned}$$

که در ترکیبات فوق:

D = بار مرده

L = بار زنده

E = بار زلزله

W = بار باد

H = فشار جانبی ناشی از مصالح ذخیره‌شده

T = آثار دما

۵-۵-۳ ضرایب جزئی ایمنی

در تعیین مقاومت نهایی مقطع، ضرایب جزئی ایمنی مقاومت‌های زیر باید در مقاومت‌های مشخصه بتن و فولاد اثر داده شوند.

الف - ضریب جزئی ایمنی مقاومت بتن:

$$\phi_c = 0.6 \quad (28-5)$$

ب - ضریب جزئی ایمنی مقاومت فولاد:

$$\phi_s = 0.85 \quad (29-5)$$

در صورتی که برای اجرای سیلو از قالب لغزنده استفاده شود، علاوه بر اعمال ضرایب ایمنی جزئی فوق، باید ضریب کاهش اصلاحی ۰/۹۵ در ضرایب فوق ضرب گردد.

۵-۵-۴ طراحی برای خمش تنها

در این حالت سطح مقطع فولادهای کششی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A_s = \frac{M_u}{\phi_s F_y (Jd)} \quad (30-5)$$

در رابطه فوق:

$$M_u = \text{لنگر خمشی ضربیدار (N.mm)}$$

$$\phi_s = \text{ضریب کاهش ظرفیت فولاد مساوی } 0.85$$

$$F_y = \text{تنش جاری شدن فولاد مصرفی (N/mm}^2\text{)}$$

$$d = \text{ارتفاع مؤثر مقطع (mm)}$$

$$Jd = \text{بازوی مقاوم داخلی (در تقریب اول مساوی } 0.85d \text{ فرض می شود)}$$

۵-۵-۵ طراحی برای کشش تنها

طراحی برای کشش خالص

سطح مقطع فولاد کششی از رابطه زیر به دست می آید:

$$A_s = \frac{T_u}{\phi_s F_y} \quad (۳۱-۵)$$

در رابطه فوق:

$$T_u = \text{نیروی محوری کششی ضربیدار (N)}$$

$$\phi_s = \text{ضریب تقلیل ظرفیت فولاد مساوی } 0.85$$

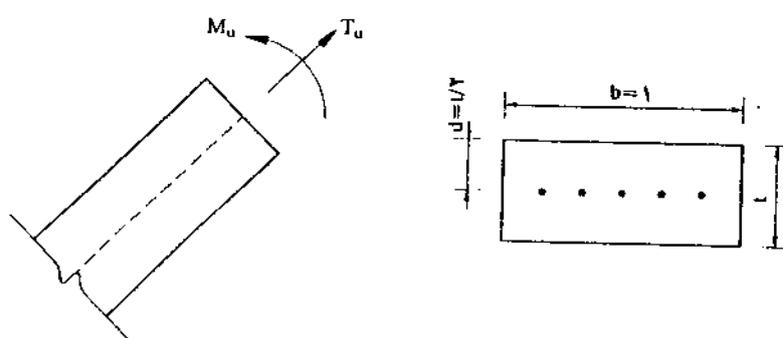
$$F_y = \text{تنش حد جاری شدن فولاد مصرفی (N/mm}^2\text{)}$$

A_s به دست آمده می تواند در یک یا دو لایه در مقطع قرار داده شود.

۵-۵-۶ طراحی برای اثر توأم کشش محوری و لنگر خمشی

الف - در صورتی که یک لایه میلگرد در وسط مقطع تعبیه شده باشد

در شکل ۱۶-۵ مقطعی به عرض واحد تحت تأثیر لنگر خمشی ضربیدار M_u و نیروی کششی



شکل ۱۶-۵



ضریب‌دار T_u با یک لایه میلگرد میانی نشان داده شده است.

در این حالت سطح مقطع فولاد کششی را می‌توان از رابطه تقریبی زیر تعیین نمود:

$$A_s = \frac{T_u}{\phi_s F_y} + \frac{M_u}{\phi_s F_y (Jd)} \quad (۳۲-۵)$$

در رابطه فوق:

T_u و $M_u =$ به ترتیب نیروی محوری و لنگر خمشی ضریب‌دار

$F_y =$ تنش جاری شدن فولاد

$\phi_s =$ ضریب تقلیل ظرفیت فولاد مساوی ۰/۸۵

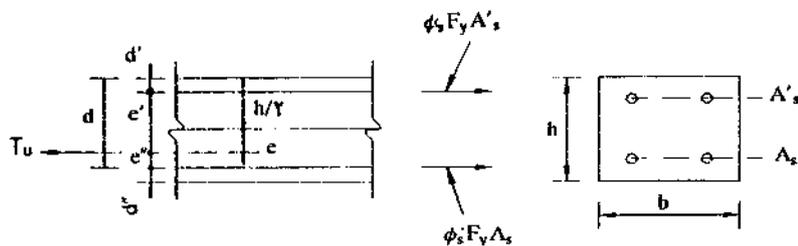
$Jd =$ بازوی مقاوم داخلی (در تقریب اول مساوی $d/۸۵$ فرض می‌شود).

در برون‌محورهای بزرگ ($e = M_u/T_u$) که لنگر خمشی بر نیروی کششی غلبه دارد.

تنش فشاری باید در وجه فشاری مقطع به کمک یک روش منطقی کنترل گردد.

ب - در صورتی که دو لایه میلگرد در مقطع تعبیه شده باشد

حالت ۱ - برون‌محوری کوچک " $e \leq h/۲ - d$ "



شکل ۵- ۱۷

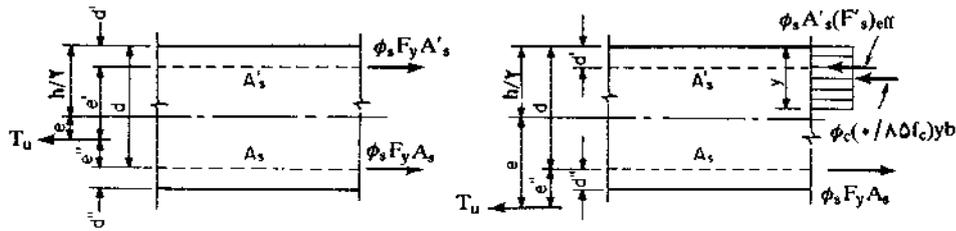
سطح مقطع فولادها برای واحد عرض، طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$A_s = \frac{T_u e'}{\phi_s F_y (d - d')} \quad (\text{فولادهای نزدیک به نیرو}) \quad (۳۳-۵)$$

$$A'_s = \frac{T_u e''}{\phi_s F_y (d - d')} \quad (\text{فولادهای دور از نیرو}) \quad (۳۴-۵)$$

هر دو فولاد A_s و A'_s تحت کشش می‌باشند.

حالت ۲ - برون محوری بزرگ $e > h/2 - d''$



شکل ۱۸-۵

گام ۱ - مقدار حدی y_l برحسب نوع فولاد و نوع بتن از جدول زیر محاسبه می‌گردد:

جدول ۱-۵ مقادیر حدی y_l/d

مقاومت مشخصه بتن f_c (N/mm ²)	تنش جاری شدن فولاد N/mm ²				
	۲۴۰	۲۸۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۲۰
≤ ۳۰	۰/۴۵۲	۰/۴۳۶	۰/۴۲۷	۰/۴۰۵	۰/۳۷۸
۳۵	۰/۴۲۶	۰/۴۱۱	۰/۴۰۲	۰/۳۸۱	۰/۳۵۵
۴۰	۰/۴۰۰	۰/۳۸۶	۰/۳۷۸	۰/۳۵۷	۰/۳۳۳

گام ۲ - با فرض احتیاج به فولاد فشاری، تنش مؤثر فشاری $(f'_s)_{eff}$ از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$(f'_s)_{eff} = 600 \left[\frac{y_l - \beta_1 d''}{y_l} \right] - 0.85 f_c \quad (35-5)$$

که نباید مقدار آن از $F_y - 0.85 f_c$ بزرگتر شود.

اگر از رابطه فوق برای f'_s مقدار منفی به دست آید، باید چنین نتیجه گرفت که فولاد فشاری در جایی قرار دارد که وجودش بی تأثیر است. در چنین حالتی اگر مقطع با فولاد کششی تنها جوابگو نباشد، یا باید d افزایش یابد و یا A'_s به جایی منتقل گردد که مؤثر باشد. اگر مقدار f'_s به دست آمده از رابطه مثبت باشد، در این صورت سطح مقطع فولاد فشاری از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$A'_s = \frac{T_u(e'') - 0.85 \phi_c f_c b y_l (d - 0.5 y_l)}{\phi_c (f'_s)_{eff} (d - d'')} \quad (36-5)$$

(رابطه فوق از نوشتن تعادل لنگرها نسبت به فولاد کششی به دست می‌آید).



گام ۳ - اگر مقدار A'_s به دست آمده از رابطه فوق مثبت باشد، در این صورت مقطع به فولاد فشاری احتیاج دارد و فولاد کششی نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A_s = \frac{T_u + 0.185 \phi_c f_c b y_f + A'_s (\phi_s f'_s)_{eff}}{\phi_s F_y} \quad (37-5)$$

(رابطه فوق از نوشتن تعادل نیروها در امتداد x به دست می‌آید).

گام ۴ - اگر رابطه برای A'_s مقدار منفی نتیجه دهد، در این صورت به فولاد فشاری احتیاج نیست. در این صورت صرف‌نظر از اینکه طراح بخواهد به‌طور اختیاری فولادی در سمت فشاری تعبیه کند یا نه، مقطع بدون در نظر گرفتن هرگونه فولاد فشاری، با فولاد کششی تنها، طراحی می‌شود. در این حالت، سطح مقطع فولاد کششی تنها برابر است با:

$$A_s = \frac{T_u + 0.185 \phi_c f_c b y}{\phi_s F_y} \quad (38-5)$$

که در آن:

$$y \approx d - \sqrt{d^2 - \frac{2 T_u e''}{0.185 \phi_c f_c b}} \quad (39-5)$$

حداقل میلگرد کششی $0.002bd$ است.

اثر مشترک نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی

برای این حالت می‌توان از نمودارهای اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی که در بتن مسلح معمولی به کار گرفته می‌شود، استفاده نمود. در صورتی که مقدار نیروی محوری فشاری ضریب‌دار کوچکتر از $0.1 f_c A_g$ گردد، در جهت اطمینان می‌توان از اثر آن صرف‌نظر نمود. در این عبارت A_g مساحت کلی مقطع می‌باشد.

۷-۵-۵ طراحی برای برش

طراحی برای برش طبق مفاد فصل دوازدهم از آیین‌نامه آبا انجام می‌شود.

۸-۵-۵ کنترل عرض ترک

کنترل عرض ترک در جداره‌های تحت کشش سیلوها طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_{cr} = W_1 - W_T + W_T \quad (40-5)$$

که در رابطه فوق:

$$\begin{aligned}
 W_1 &= \text{عرض ترک به علت تأثیر کوتاه‌مدت فشار جانبی } p_{ucs} \text{ (شامل اثر ضریب افزایش فشار)} \\
 W_2 &= \text{عرض ترک به علت تأثیر کوتاه‌مدت فشار استاتیک } p \\
 W_3 &= \text{عرض ترک به علت تأثیر بلندمدت فشار استاتیک } p
 \end{aligned}$$

$W_1 - W_2$ در واقع عرض ترک به علت تأثیر کوتاه‌مدت اضافه‌فشار می‌باشد. برای محاسبه عرض ترک‌ها می‌توان از روابط زیر استفاده کرد:

$$W_1 = \Psi_1 \frac{A\beta}{\Sigma_0} \frac{f_{s,tot}}{E_s} \quad \Psi_1 = 1 - 0.7 \frac{0.8 A f'_1}{F_{tot}} \geq 0.3 \quad (41-5)$$

$$W_2 = \Psi_2 \frac{A\beta}{\Sigma_0} \frac{f_{s,st}}{E_s} \quad \Psi_2 = 1 - 0.7 \frac{0.8 A f'_1}{F_{st}} \geq 0.3 \quad (42-5)$$

$$W_3 = \Psi_3 \frac{A\beta}{\Sigma_0} \frac{f_{s,st}}{E_s} \quad \Psi_3 = 1 - 0.35 \frac{0.8 A f'_1}{F_{st}} \geq 0.65 \quad (43-5)$$

$0.7 = \beta$ برای میلگرد آجدار و ۱ برای میلگرد ساده (البته استفاده از میلگرد ساده مجاز نیست)

A = سطح مقطع جدار برای ارتفاع واحد

st = اندیس نشان‌دهنده حالت استاتیک (بدون ضریب افزایش فشار)

tot = اندیس برای نشان دادن فشار استاتیک به علاوه اضافه‌فشار

$f'_1 = 0.38\sqrt{f_c}$ = مقاومت کششی بتن (f_c = مقاومت مشخصه برحسب N/mm^2)

Σ_0 = مجموع محیط میلگردهای حلقوی در ارتفاع واحد دیوار

f_s = تنش فولاد

۹-۵-۵ ضخامت حداقل در جداره سیلوهای گرد

برای احتساب لنگرهای غیرقابل محاسبه به علت انتقال فشارهای غیریکساخت در جداره سیلوهای گرد، حداقل ضخامت زیر برای جدار این سیلوها توصیه می‌شود:

$$t_{min} = p \frac{D}{2} \frac{mE_s + f_s - n f_{ct}}{f_s f_{ct}} \quad (44-5)$$

m = ضریب جمع‌شدگی (مساوی ۰/۰۰۰۳)

f_s = تنش کششی مجاز (بین $0.5 F_y$ تا 0.4)

f_{ct} = تقریباً مساوی $0.1 f_c$



$D =$ قطر میان‌تار جدار سیلو

$p =$ فشار جانبی در حالت استاتیک (بدون اعمال ضریب افزایش فشار)

$n =$ نسبت مدول الاستیسیته فولاد به بتن

حداقل ضخامت دیوار در سیلوهای گرد و یا مربع مستطیل با بتن‌ریزی درجا، ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد.

۵-۵-۱۰ تنش فشاری حداکثر بتن در پای جداره سیلو

جداره سیلو در قسمت‌های تحتانی (پای جداره) تحت تنش‌های فشاری زیادی به‌علت نیروهای ثقلی است. میزان تنش فشاری بتن تحت بارهای ضریب‌دار نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید:
الف - وقتی که مسئله کمانش در میان نیست:

$$\sigma_c = 0.55 \phi_c f_c \quad (45-5)$$

$$\phi_c = 0.6$$

ب - سیلوهای با مقطع مربع مستطیلی وقتی در پای جدار بازشو وجود دارد و در نتیجه امکان کمانش مطرح می‌شود:

$$\sigma_c = 0.55 \phi_c f_c \left[1 - \left(\frac{H_0}{40t} \right)^2 \right] \quad (46-5)$$

در رابطه فوق:

$H_0 =$ ارتفاع آزاد بازشو

$t =$ ضخامت جدار

پ - سیلوها با مقطع دایره وقتی که بازشو در پای دیوار وجود ندارد و امکان کمانش موضعی وجود دارد.

$$\sigma_c = 0.55 \phi_c f_c \left[1 - \left(\frac{D}{120t} \right)^2 \right] \quad (47-5)$$

$D =$ قطر میان‌تار جدار (جمله $(D/120t)^2$ کاهش به‌علت کمانش موضعی جداره می‌باشد).

ت - سیلوها با مقطع دایره وقتی که در پای دیوار بازشو وجود دارد.

$$\sigma_c = 0.55 \phi_c f_c \left[1 - \left(\frac{H_0}{40t} \right)^2 - \left(\frac{D}{120t} \right)^2 \right] \quad (48-5)$$

$H_0 =$ ارتفاع بازشو

۵-۵-۱۱ خمش مقاطع بتن مسلح دایره با جدار نازک

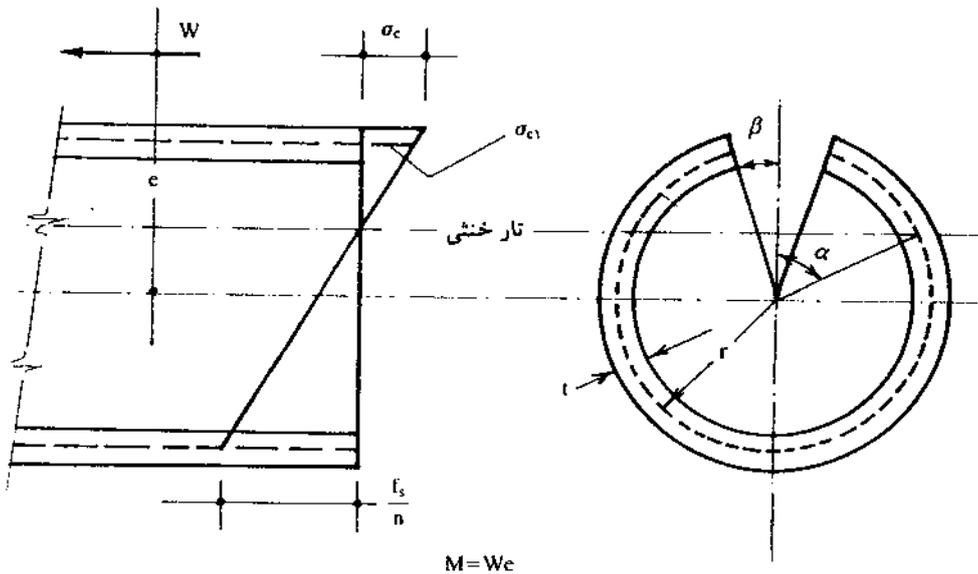
مطابق شکل ۵-۱۹، یک مقطع جدار نازک با ضخامت t و شعاع میاننار r با توزیع یکنواخت فولاد در حول محیط در نظر بگیرد. نیروی فشاری W با برون محوری e بر این مقطع اعمال می شود. همچنین فرض کنید مقطع دارای یک یا دو بازشوی متقارن با زاویه مرکزی 2β می باشد. در سیلوها وقتی از تحلیل ارایه شده در این قسمت استفاده می شود که خمش کلی سیلو همانند تیر طره ای، به واسطه تأثیر نیروهای جانبی باد یا زلزله مورد توجه باشد. در صورتی که $e/r < 0.5$ باشد، در مقطع هیچ گونه کششی ایجاد نمی شود و در نتیجه با استفاده از مقطع تبدیل یافته می توان تنش فشاری را در بتن و فولاد محاسبه نمود. در صورتی که $e/r > 0.5$ باشد، در مقطع کشش ایجاد می شود. در این حالت برای محاسبه تنش ها می توان از روابط ارایه شده در زیر استفاده نمود. این روابط تنش بهره برداری را برای بارهای بدون ضریب به دست می دهند [ترکیب بار (W) یا $(D+L\pm E)$ یا 0.75]

$$\frac{e}{r} = \frac{1}{2} \frac{(1-p)(\alpha - \sin\alpha \cos\alpha) - (1-p+np)(\beta + \sin\beta \cos\beta - 2\sin\beta \cos\alpha) + np\pi}{(1-p)(\sin\alpha - \alpha \cos\alpha) - (1-p+np)(\sin\beta - \beta \cos\beta) - np\pi \cos\alpha} \quad (5-49)$$

در رابطه فوق:

e = برون محوری نیروی فشاری W

r = شعاع میاننار مقطع



شکل ۵-۱۹



$$\begin{aligned} n &= \text{نسبت ضریب الاستیسیته فولاد به بتن} = \frac{E_s}{E_c} \\ \beta &= \text{نصف زاویه مرکزی بازشو (به صورت تنها یا متقارن)} \\ \alpha &= \text{نصف زاویه مرکزی تار خنثی} \\ p &= \text{نسبت فولاد مقطع} \quad (p = A_s / \gamma \pi r^2) \end{aligned}$$

رابطه فوق به صورت آزمون و خطا حل می‌شود تا مقدار α به دست آید. با تعیین α می‌توان تنش‌ها را از روابط زیر محاسبه نمود:

$$\sigma_{c1} = \frac{W(\cos\beta - \cos\alpha)}{\gamma r^2[(1-p)(\sin\alpha - \alpha\cos\alpha) - (1-p+np)(\sin\beta - \beta\cos\beta) - n\pi r\cos\alpha]}$$

(۵۰ - ۵)

تنش بتن در تار خارجی

$$\sigma_c = \sigma_{c1} \left[1 + \frac{t}{\gamma r \cos\beta (\cos\beta - \cos\alpha)} \right] \leq 0.45 f_c \quad (51 - 5)$$

تنش در فولاد

$$\sigma_s = n \sigma_{c1} \left[\frac{1 + \cos\alpha}{\cos\beta - \cos\alpha} \right] \leq 0.6 F_y \quad (52 - 5)$$

به جای استفاده از روابط، می‌توان از نمودار شکل ۵-۲۰ که با $n=15$ رسم شده، برای تعیین تنش‌ها در یک مقطع دایره جدار نازک استفاده نمود.

شکل ۵-۲۲ نیز مجموعه‌ای از نمودارهای اندرکنشی نیروی فشاری و لنگر خمشی را برای حالت وجود بازشو در مقطع و بدون بازشو نشان می‌دهد. در این نمودارها، σ_c تنش فشاری مجاز بتن می‌باشد که مساوی $0.45 f_c$ منظور می‌شود.

۵-۵-۱۲ طراحی برای خمش ناشی از گرادیان حرارتی

پس از تعیین لنگر ناشی از گرادیان حرارتی، مقدار فولاد خمشی لازم که هم در امتداد افقی و هم در امتداد قائم قرار داده می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A_{s,t} = \frac{1/25 M_t}{\phi_s F_y (d - d'')} \quad (53 - 5)$$

که در رابطه فوق:

F_y = تنش جاری شدن فولاد

M_t = لنگر به دست آمده از رابطه (۳-۵)

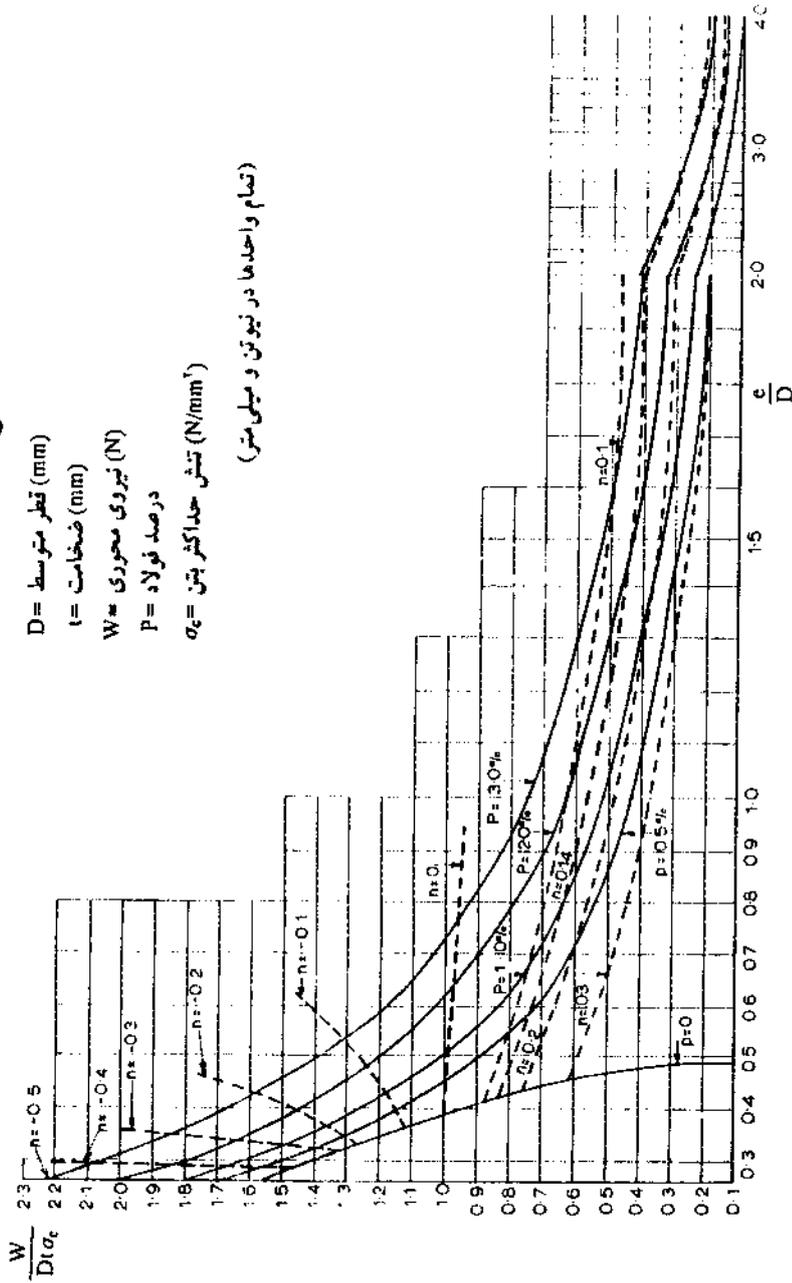
d, d'' = طبق شکل ۱۸-۵



مقطع حلقه‌ای جدار نازک

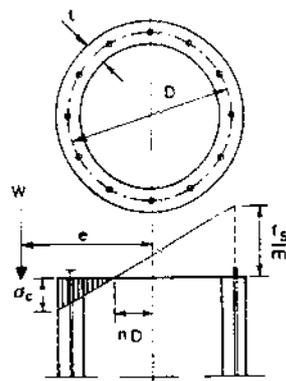
- D = قطر متوسط (mm)
- t = ضخامت (mm)
- W = نیروی محوری (N)
- P = درصد فولاد
- σ_c = تنش حداکثر بتن (N/mm^2)

(تمام واحدها در نیوتن و میلی‌متر)



شکل ۲۰-۵





شکل ۵-۲۱ مقطع دایره بدون بازشو.

فولادهای محاسبه شده از رابطه فوق باید در نزدیکی سطح خنکتر سیلو (غالباً سطح خارجی) قرار داده شوند.

۵-۵-۱۳ جزئیات متفرقه

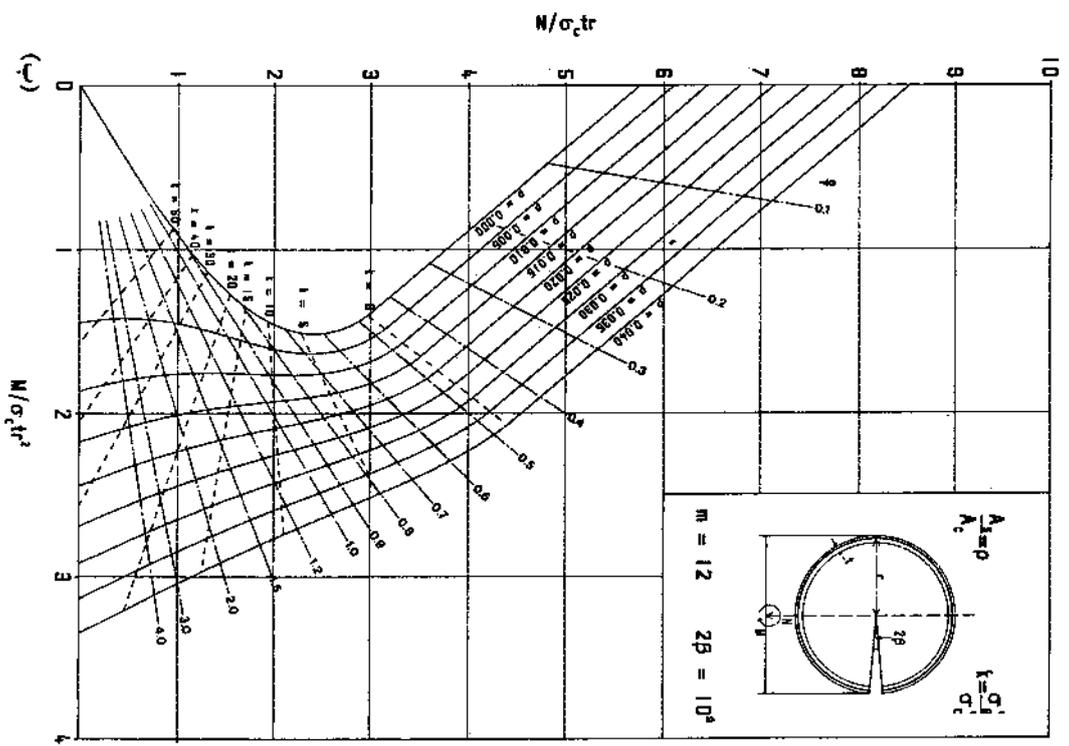
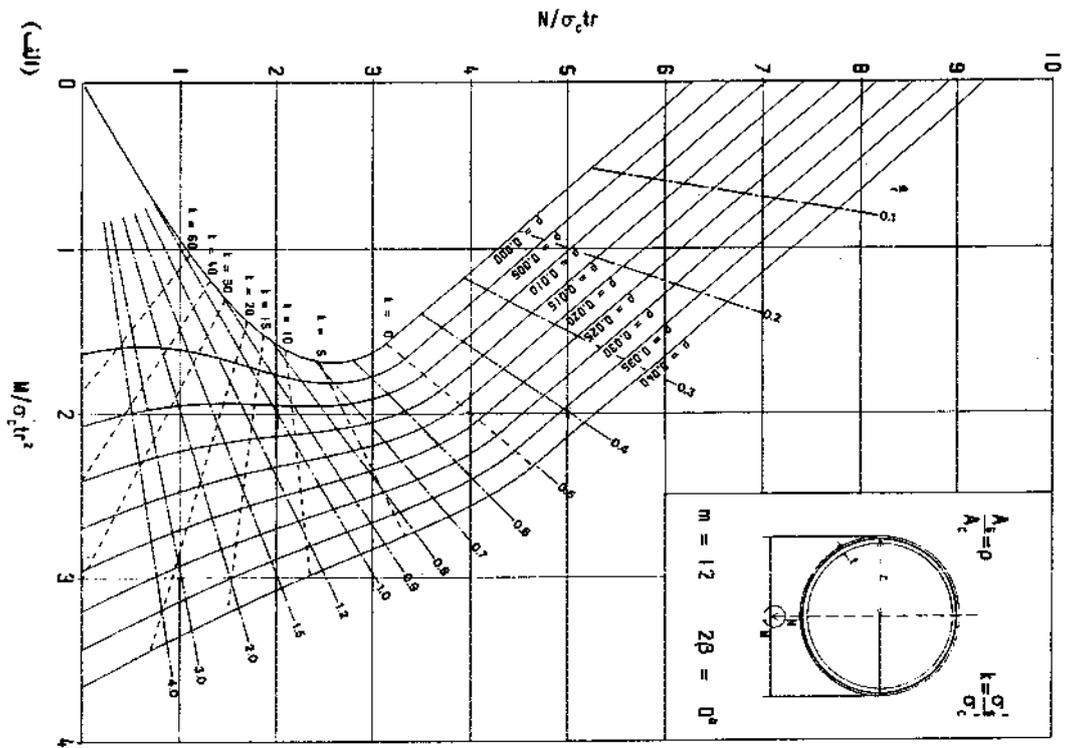
حداقل میلگردهای افقی

میلگردهای افقی محاسبه شده در ناحیه تحت فشار داخلی سیلو، (یعنی ناحیه‌ای که تحت فشار جانبی ناشی از مصالح ذخیره شده است)، باید لااقل تا ارتفاعی مساوی شش برابر ضخامت دیوار، در زیر ناحیه فشاری یعنی در ناحیه بدون فشار داخلی ادامه یابند. در زیر این ناحیه، حداقل میلگردهای افقی مساوی ۰/۲۵ درصد می‌باشد.

حداقل میلگردهای قائم

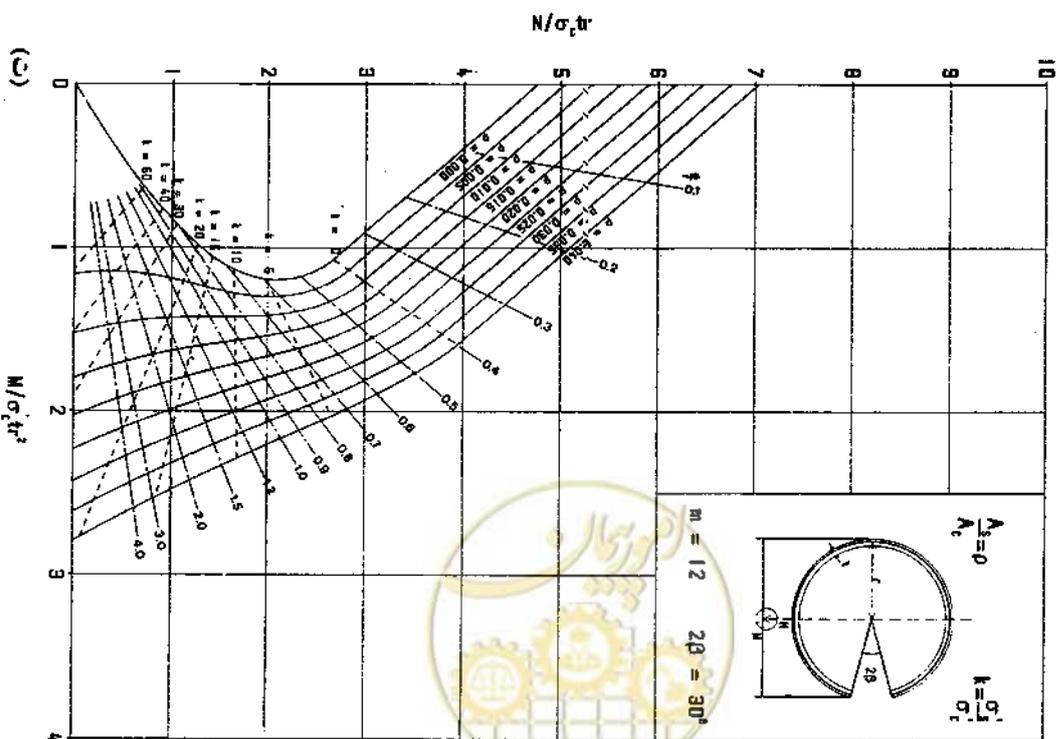
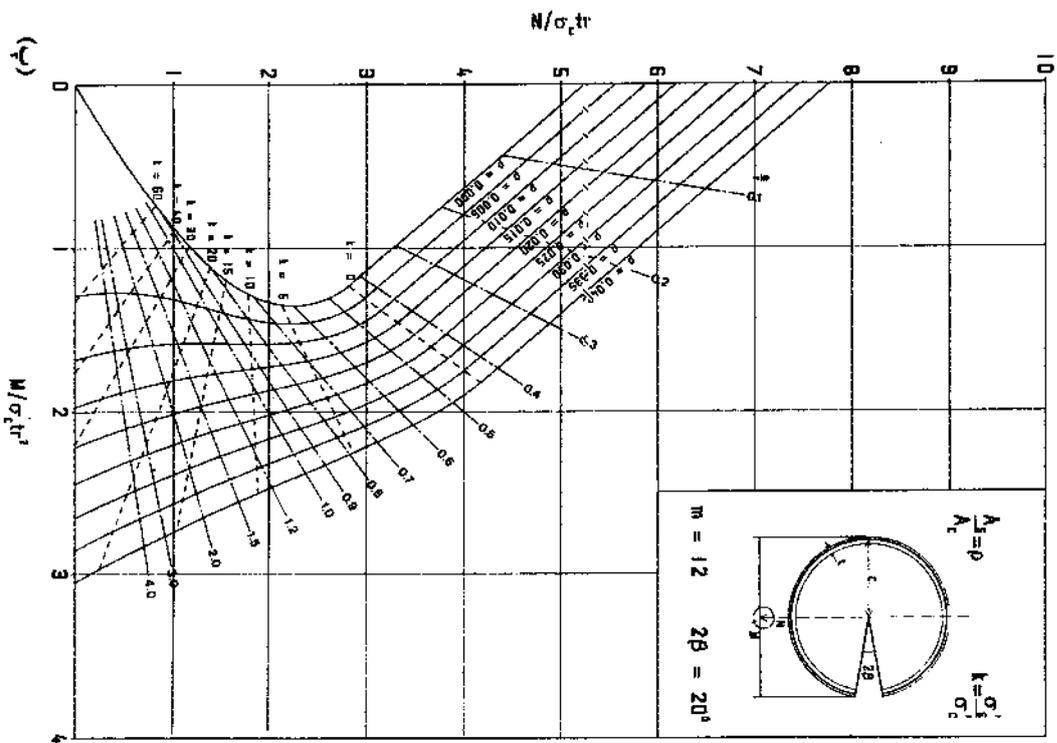
نمره میلگردهای قائم نباید کمتر از ۱۲ میلی‌متر باشد. در ناحیه تحت فشار داخلی سیلو، حداقل نسبت میلگردهای قائم برای جدارهای خارجی مساوی ۰/۱۵ درصد مقطع و برای جدارهای داخلی مساوی ۰/۱ درصد می‌باشد. در ناحیه بدون فشار، این نسبت مساوی ۰/۲ درصد برای کل فولاد مقطع است. حداکثر فاصله میلگردهای قائم در منطقه تحت فشار داخلی مساوی ۳ برابر ضخامت است که برای دیوارهای خارجی نباید بیشتر از ۲۵۰ میلی‌متر و برای دیوارهای داخلی نباید بیشتر از ۳۵۰ میلی‌متر باشد.

مهمترین وظیفه میلگردهای قائم، حمل تنش‌های کششی ناشی از خمش کلی جدار سیلو



شکل ۵-۲۲





شکل ۲۲-۵ دنباله

به علت نیروهای جانبی باد یا زلزله می باشد.

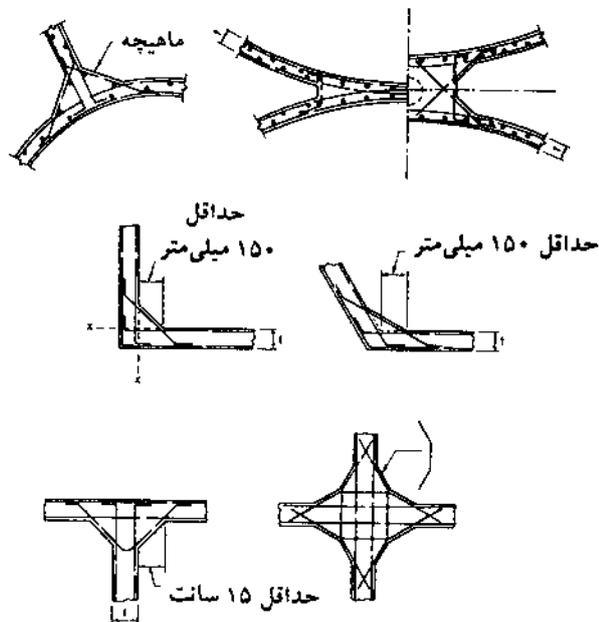
جزئیات آرماتوربندی در گوشه ها و در محل تقاطع در شکل ۵- ۲۳ جزئیات آرماتوربندی در گوشه و در محل تقاطع سیلوها نشان داده شده است.

دسته کردن^۲ میلگردها

در سیلوها و بونکرها، میلگردهای افقی را نمی توان به صورت دوتایی و یا سه تایی دسته کرد.

تعداد سفره های میلگرد

در صورتی که ضخامت جدار مساوی و یا بزرگتر از ۲۵۰ میلی متر باشد، هم میلگردهای افقی و هم میلگردهای قائم باید در دو سفره قرار داده شوند. در ضخامت های کوچکتر، وقتی که از یک سفره میلگرد استفاده می شود، این سفره باید نزدیکتر به سطح خارجی قرار داده شود.



شکل ۵- ۲۳ جزئیات آرماتوربندی در محل گوشه ها.

3- bundling

بازشوها در ناحیه تحت فشار داخلی

لااقل ۶۰ درصد میلگردهای افقی قطع شده توسط بازشو، باید در بالای بازشو و به همین مقدار باید در پایین بازشو قرار داده شود.

لااقل ۵۰ درصد میلگردهای قائم قطع شده توسط بازشو، باید در هر طرف بازشو قرار داده شود. به علاوه در هر طرف بازشو، نواری به عرض چهار برابر ضخامت جدار لازم است به صورت یک ستون با طول آزادی به اندازه ارتفاع بازشو کنترل گردد. این ستون، بار قائم سهم خودش به علاوه نصف بار دیوار را که در بالای بازشو و در ارتفاعی مساوی عرض بازشو به وجود می‌آید، حمل می‌کند. به علاوه لازم است در گوشه‌های بازشو میلگردهای ۴۵ درجه برای جلوگیری از ترک‌های قطری تعبیه گردد. همچنین در مناطق زلزله‌خیز به خاطر رعایت مسائل شکل‌پذیری، توصیه می‌شود که میلگردهای قائم و افقی تعبیه شده در لبه‌های افقی و قائم سوراخ توسط حلقه‌هایی (خاموت‌های بسته) با فواصلی نه بیشتر از ۴ برابر قطر میلگردهای تقویتی دورگیری شوند.

بازشوها در ناحیه بدون فشار داخلی

مقدار میلگردهای افقی اضافه شده در بالا و پایین بازشو، نباید کمتر از میلگردهای افقی قطع شده در عرضی معادل نصف عرض بازشو باشد (توصیه می‌شود این مقدار کمتر از نصف کل میلگردهای قطع شده در ارتفاع نباشد). دیوارهای بالا و پایین بازشو باید برای حمل تمام بارهای قائم وارد بر دیوار در بالا و پایین بازشو طراحی شوند.

میلگردهای قائم در لبه‌های قائم بازشو، براساس روشی محاسبه می‌شود که برای بازشوها در ناحیه فشاری ذکر گردید.

برای این بازشوها نیز تعبیه میلگردهای ۴۵ درجه در گوشه و دورگیری میلگردهای تقویتی توسط خاموت بسته توصیه می‌شود.

مهار میلگردهای تقویتی در اطراف بازشو

میلگردهای تقویتی اضافه شده در لبه‌های بازشو، بعد از لبه بازشو حداقل باید به اندازه بزرگترین طول به دست آمده از شرایط زیر، امتداد یابند.

الف - طول لازم برای مهار فولاد وقتی که تا حد تسلیم تحت تنش قرار می‌گیرد.

ب - ۶۰۰ میلی‌متر

پ - نصف بعد بازشو در امتداد عمود بر میلگرد مورد نظر

بازشوها با فواصل کم

در غالب موارد، به خصوص در نواحی بدون فشار داخلی واقع در پای سیلو، لازم می‌گردد بازشوهایی با فواصل کم تعبیه گردد. حداقل فاصله بین دو بازشو، (در واقع عرض باقیمانده در حدفاصل دو بازشو)، نباید کمتر از ۳ برابر ضخامت دیوار باشد. این دیوارها همانند ستون‌هایی در مقابل کلیه نیروهای قائم و زلزله طراحی شده و ضوابط شکل‌پذیری شدید (فصل ۲۰ آبا) در خصوص آنها اعمال می‌شود.

حداقل فاصله بین میلگردهای افقی

حداقل فاصله آزاد بین میلگردهای افقی در نواحی بدون وصله ۵۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین در حالتی که جدار سیلو توسط قالب‌های لغزنده اجرا می‌شود، فواصل میلگردها باید به قدر کافی بزرگ باشد تا امکان نصب آنها همراه با صعود قالب باشد.

طول وصله

طول وصله میلگردهای افقی جدار سیلو در ناحیه تحت فشار داخلی، در صورتی که اجرا با استفاده از قالب‌های لغزنده انجام شود، نباید کمتر از مقادیر زیر باشد:

برای سیلوهای غیردایروی، با وصله‌های غیرمرحله‌ای^۲، مساوی با طول وصله محاسبه شده طبق بند ۱۸ - ۴ - ۲ آیین‌نامه آبا (مساوی ۱/۳^۱).

برای سیلوهای دایروی، با وصله‌های مرحله‌ای^۳ و نظارت دائم، مساوی با طول مهاریه^۴ به علاوه ۱۵۰ میلی‌متر. در محاسبه طول وصله، وقتی که از قالب‌های لغزنده استفاده شود، میلگردهای افقی، تحتانی فرض می‌شوند و در صورتی که از قالب‌های معمولی استفاده شود، میلگردهای افقی، فوقانی فرض می‌شوند (یعنی در محاسبه طول مهاریه، ضریب ۱/۴ بر آنها اعمال می‌شود). پوشش بتن روی میلگردها در محل وصله نباید کمتر از مقادیر توصیه شده طبق آیین‌نامه آبا و نه کمتر از ۲۵ میلی‌متر برای دیوارهای داخلی باشد.

وقتی که بتن در امتداد عمود بر میلگردهای افقی تحت کشش باشد، در محل وصله باید میلگردهای قائم برای جلوگیری از ترک‌های افقی تعبیه گردد.

در سیلوهای دایروی، وصله میلگردها، چه افقی و چه قائم، باید به صورت مرحله‌ای باشد. یعنی در یک مقطع نمی‌توان تمام میلگردها را با هم وصله کرد. در منطقه تحت فشار داخلی، برای

4- unstaggered

* وصله مرحله‌ای (Staggered) حالتی را گویند که در آن وصله تمام میلگردها در یک مقطع نبوده و در مقاطع مختلف انجام می‌شود.



میلگردهای حلقوی در هر یک متر ارتفاع فقط می‌توان یک میلگرد وصله کرد و برای میلگردها قائم، وصله باید دو درمیان باشد.

قرارگیری آرماتور

در صورتی که جدار سیلو فقط یک سفره آرماتور داشته باشد، محل قرارگیری آن نزدیکتر به سطح خارجی می‌باشد.

درزهای اجرایی

بتن‌ریزی و اجرای جدار سیلو باید پیوسته و بدون درز اجرایی باشد، مگر اینکه محل درز اجرایی در نقشه‌های اجرایی نشان داده شده باشد.



ساخت

۱-۶ معرفی

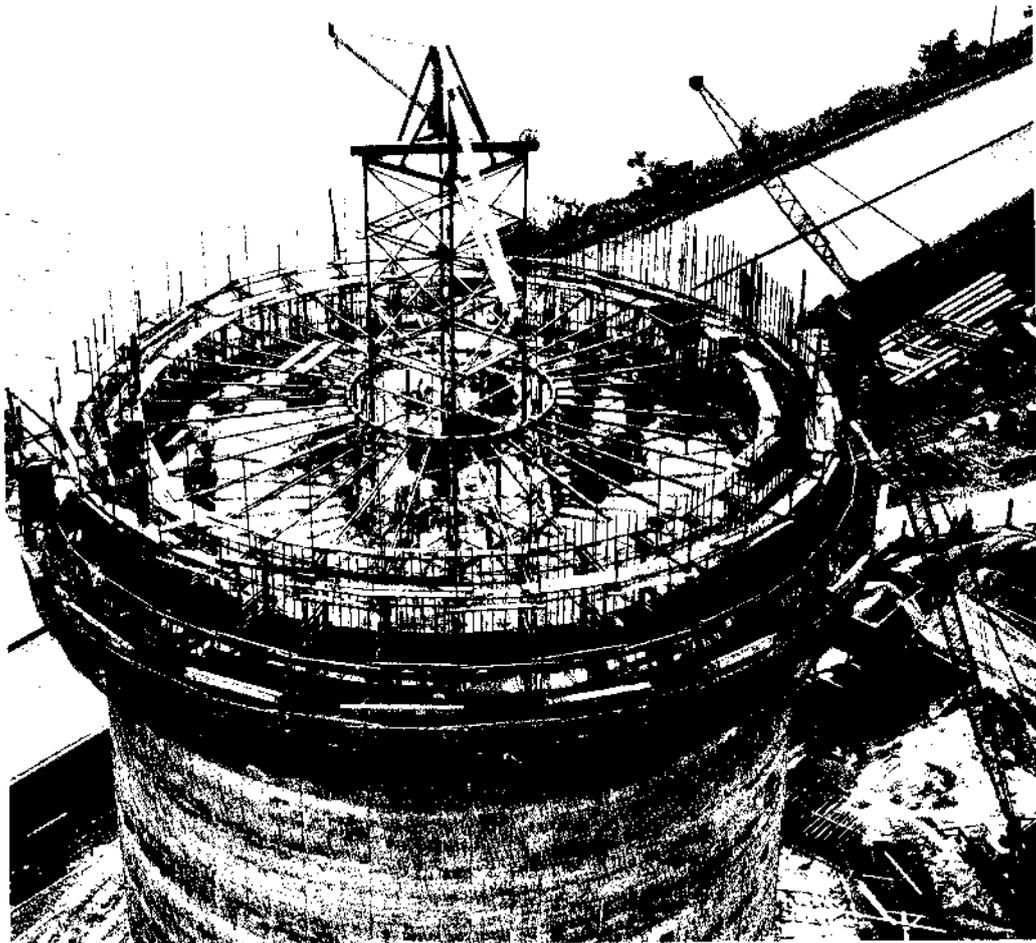
در اجرای سیلوهای بتن آرمه لازم است کلیه ضوابط اجرایی ساختمان‌های بتن آرمه که در فصل ششم آیین‌نامه بتن ایران (آبا) ارایه شده است، مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر ساخت اکثر سیلوها با استفاده از روش قالب لغزنده قائم انجام می‌شود. لذا در این فصل ضوابط اختصاصی این روش اجرایی ارایه می‌گردد. این ضوابط مکملی بر ضوابط اجرایی عمومی سازه‌های بتن مسلح می‌باشند.

۲-۶ ضوابط عمومی قالب‌های لغزنده

۱. سعی گردد که طرح‌ها در ارتفاع سیلو یکسان باشد. این امر امکان انجام قالب‌بندی را فراهم می‌کند که در حین لغزش، نیازی به اصلاح هندسی در مقیاس بزرگ نخواهد داشت. بدین منظور باید ضخامت پوسته را در کل ارتفاع ثابت در نظر گرفت. صرفه‌جویی در بتن مصرفی از طریق کاهش ضخامت یا ابعاد هندسی مقطع، صرف نظر از زمان تلف شده، موجب صعوبت زیادی به جهت اصلاح قالب‌ها در حین اجرا خواهد شد. حداقل ضخامت دیوار هر چند که به اندازه سنگدانه‌های بتن مصرفی وابسته است، لیکن از دیدگاه اجرای قالب لغزنده، نباید از ۱۸۰ میلی‌متر کمتر باشد تا از توقف^۱ قالب که ناشی اصطکاک زیاد بین جداره قالب و بتن تازه می‌باشد، جلوگیری شود.

1- pullup





سیلو در حال اجرا با قالب لغزنده

۲. طراحی آرماتورهای مقطع عامل مهمی است که بر بازده عملیات اجرای قالب لغزنده مؤثر است. از تمرکز زیاد آرماتور در مقطع، آنگونه که در اعضای بتن مسلح با اجرای درجا وجود دارد، باید اجتناب شود، چرا که در چنین حالت‌هایی، آرماتورگذاری در مقطع در حین لغزش قالب، اگر غیر ممکن نباشد، بسیار مشکل خواهد بود.

در صورتی که لغزش قالب به صورت پیوسته نباشد، جزییات آرماتورهای قائم باید به گونه‌ای باشد که در حین توقف قالب، عملیات آرماتورگذاری (قائم) انجام گیرد. اگر لغزش قالب به‌طور پیوسته باشد، یک طرح (الگوی) مناسب که مورد رضایت مهندس سازه باشد، باید برای محل

وصله آرماتورهای قائم اتخاذ شود، به گونه‌ای که امکان آرماتورگذاری در حین حرکت قالب، فراهم باشد. البته بهتر است تدابیری اتخاذ شود تا محل همه وصله‌ها در یک تراز نباشد.

۶-۳ نمای سطح بتن

در استفاده از سیستم قالب لغزنده، نوع پرداخت نهایی سطح بتن با توجه به مقتضیات معماری و نمایی باید مورد توجه قرار گیرد. روش معمول در قالب‌های لغزنده، پرداخت سطح بتن با ماله‌های آهنی، چوبی و یا لاستیکی، به روی سطح بتن تر در حین لغزش قالب و یا به روی سطح بتن خشک شده پس از اتمام عملیات لغزش قالب می‌باشد.

بدین منظور یک زیرپایی یا سکو از زیر قالب آویزان شده و کارگران مربوطه سطح بتن تازه را با استفاده از ماله، پرداخت می‌کنند تا سطحی صاف و صیقلی تأمین شود. پس از تکمیل عملیات پرداخت دستی، غشای مراقبت بر روی سطح صاف‌شده بتن پاشیده می‌شود و معمولاً پرداخت مجدد سطح بتن پس از اتمام لغزش قالب لازم نیست. شکل ۶-۱ تجهیزات نماسازی نصب‌شده بر قالب لغزنده را نشان می‌دهد.

۶-۴ اجزای قالب لغزنده

مطابق شکل ۶-۲، اجزای قالب لغزنده عبارتند از:

۱. یوغ^۲
۲. پشت‌بندهای^۳ افقی (کمرکش)
۳. قالب‌بدنه^۴

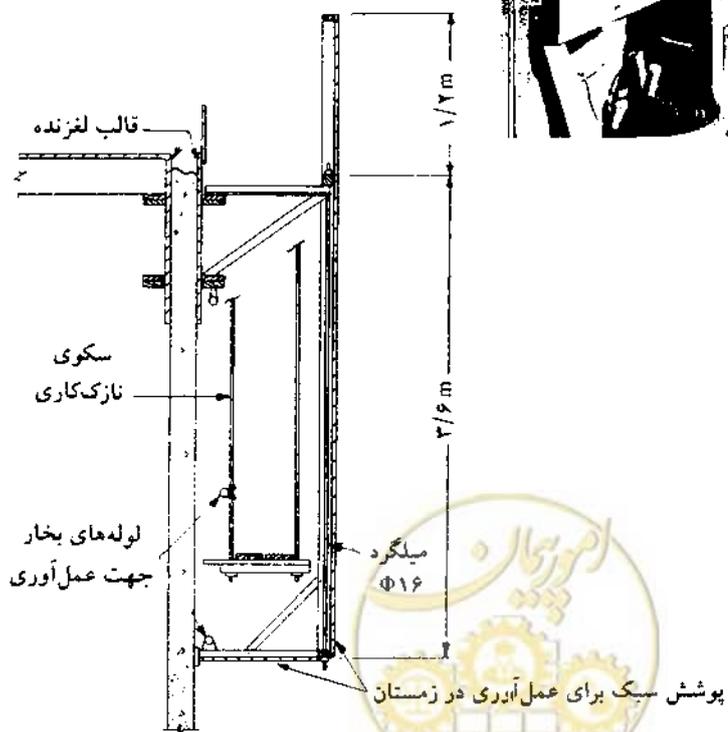
یوغ دو وظیفه اصلی دارد، مقاومت در مقابل فشارهای جانبی بتن، و انتقال بارها به محل میله جک‌ها. وظیفه پشت‌بندها نیز دادن مقاومت خمشی به قالب بدنه و انتقال فشار قالب‌ها به یوغ‌ها می‌باشد. سکوی نازک‌کاری، عرشه اجرایی و سکوی طره‌ای به پشت‌بندهای افقی متصل می‌شوند. اتصال پشت‌بندها به یوغ باید قادر به حمل این بارها باشد. قالب‌بدنه که می‌تواند از الوارهای چوبی، پانل‌های فلزی و یا پانل‌های ساخته شده از چند لایه باشد، مستقیماً به پشت‌بندهای افقی متصل می‌شود.

2- yoke

3- wale

4- sheating





شکل ۱-۶ - ۱-۶ نماسازی و تجهیزات نماسازی در قالب لغزنده.

۶-۵ بارگذاری

۶-۵-۱ بارهای قائم

(الف) بارهای مرده شامل وزن کلیه اجزای قالب

(ب) بار زنده

۳/۵۰ کیلونیوتن بر مترمربع در روی عرشه کار و یا بار متمرکز به‌اندازه وزن فرغون و دستگاه‌های حمل بتن هر کدام که اثر بزرگتری داشته باشند، در طراحی عناصر درجه اول عرشه نظیر تخته کوبی و تیرچه‌های آن. در طراحی بار انتقال یافته به پشت‌بندها این بار را می‌توان به ۲/۵۰ کیلونیوتن بر مترمربع تقلیل داد.

۱/۲۵ کیلونیوتن بر مترمربع برای سکوهایی نازک‌کاری

(پ) بار اصطکاکی

برای قالب‌های لغزنده با ارتفاع قالب بدنه بین ۱ تا ۱/۲ متر، نیروی اصطکاک بین بتن تازه و قالب لغزنده مساوی ۳/۰۰ کیلونیوتن بر متر طول محیط در نظر گرفته می‌شود.

۶-۵-۲ فشار جانبی

فشار جانبی بتن روی قالب‌های بدنه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p = 5 + \frac{53/5 R}{T + 17/80} \quad (1-6)$$

p = فشار جانبی بتن (kN/m^2)

R = سرعت بتن‌ریزی در ارتفاع (متر بر ساعت)

T = درجه حرارت بتن (سانتی‌گراد)

فشار فوق برای حالتی است که هر بار فقط لایه فوقانی بتن‌ریزی مرتعش شود. در صورتی که بخواهیم هر بار ارتعاش داخلی را در تمام ارتفاع قالب بدنه انجام دهیم، عدد ۵ موجود در رابطه فوق باید با ۷ جایگزین گردد.

۶-۵-۳ رواداری‌های کار تمام شده

۱- ضخامت دیوار +۲۰ و -۱۰ میلی‌متر

۲- هر انحراف هر نقطه در بالای سازه نسبت به نقطه نظیر ثابت در پای سازه مساوی ۵۰ میلی‌متر

برای ارتفاع کمتر از ۳۰ متر و مساوی $\frac{۱}{۶}$ ارتفاع (و نه بیشتر از ۲۰۰ میلی متر) برای ارتفاع بزرگتر از ۳۰ متر.

۶-۶ سیستم جک

انواع مختلف جک‌های مورد استفاده در قالب‌های لغزنده عبارتند از:

۱. هیدرولیکی (شکل ۶-۳)

۲. هوای فشرده

۳. الکتریکی

۴. دستی

سیستم جک هیدرولیکی که متداولترین سیستم است، از یک شبکه جک‌های هیدرولیکی که از طریق خطوط لوله روغن به یک مخزن مرکزی متصل بوده و انرژی آنها از یک پمپ الکتریکی تأمین می‌شود، تشکیل می‌یابد. این جک‌ها معمولاً روی لوله‌هایی به قطر ۲۵ میلی متر حرکت کرده و بالا می‌روند. هر جک به گونه‌ای کالیبره می‌شود که با هر بار فعال شدن پمپ، حدوداً ۲۵ میلی متر

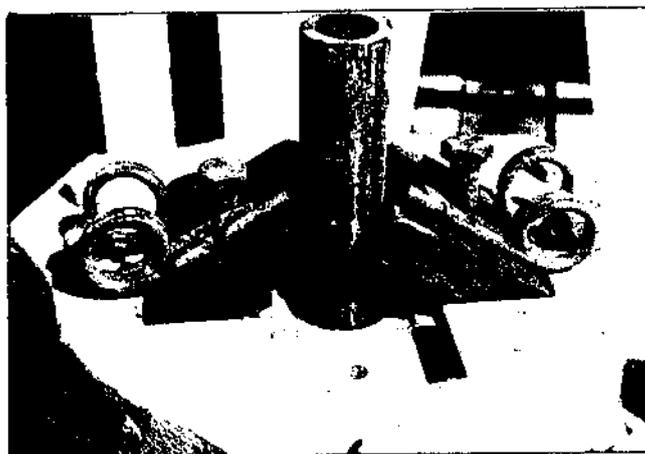


شکل ۶-۳ سیستم جک هیدرولیکی سوار شده بر یوغ فولادی.



بالا بیاید (شکل ۶-۵). لازم است تا فشار پمپ به اندازه کافی باشد به گونه‌ای که از بالا آمدن کلیه جک‌ها قبل از خاموش شدن پمپ اطمینان حاصل نمود. اگر این حالت پیش نیاید و همه جک‌ها یکسان بالا نیایند، کف قالب از تراز خارج شده و قالب از شاقول خارج می‌شود. ظرفیت معمول جک هیدرولیکی حدود ۳ تن می‌باشد، ولی در حالات خاص می‌تواند تا ۲۵ تن نیز باشد. یوغ‌هایی که در این سیستم به کار می‌روند از جنس فولاد است.

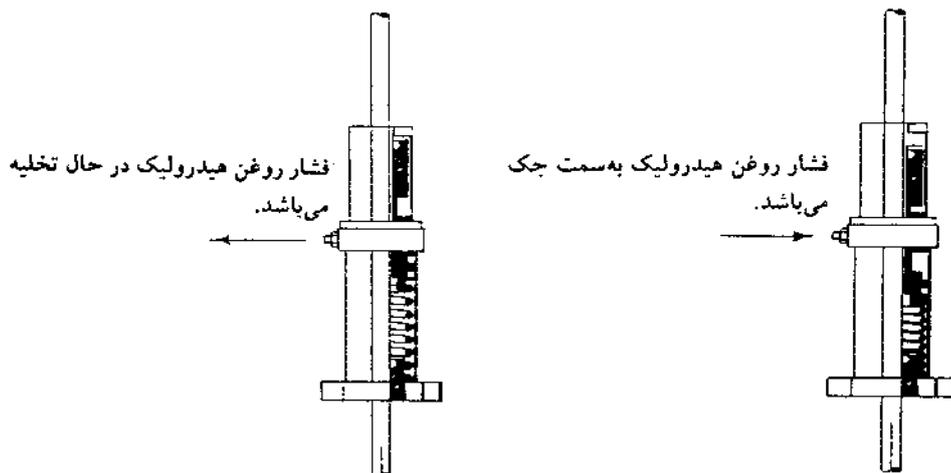
مطابق شکل ۶-۴ جک‌های بالا رونده باید دارای سیستم گیره ایمنی باشند، تا در صورت بروز هر نوع نقص در سیستم جک، از لغزش سیستم به سمت پایین جلوگیری نماید.



شکل ۶-۴ سیستم گیره ایمنی برای جلوگیری از لغزش.

سیستم جک هوای فشرده نیز یک سیستم صنعتی و ابتکاری شامل یک شبکه جک می‌باشد که از طریق لوله‌های هوا به یک مخزن هوای فشرده که معمولاً در نزدیکی پایه قالب لغزنده قرار می‌گیرد، متصل است. سیستم کنترلی یک سوپاپ خروجی هوا می‌باشد که بر روی قالب قرار گرفته و به طور دستی هدایت می‌شود به گونه‌ای که کال قالب بندی را در هر مرحله حرکت ۱۲ میلی‌متر بالا می‌برد. میله‌هایی که این جک بر روی آنها بالا می‌روند، اغلب یک میله توپر با قطر ۲۵ میلی‌متر می‌باشند که در انتها برای اتصال به میله بعدی رزوه شده‌اند. یوغ از جنس چوب بوده و در محل ساخته و نصب می‌شوند. که این امر انعطاف پذیری زیادی در شرایط طراحی ایجاد می‌نماید.

در سیستم‌های جک الکتریکی و دستی، بالاروی سیستم با دوران مهره در روی میله جک حدیده شده انجام می‌شود. سیستم جک دستی تقریباً منسوخ شده و کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم جک‌های الکتریکی نیز نسبت به جک‌های هیدرولیکی کمتر مورد استفاده است.



در این حالت فنر اصلی جک در حال باز شدن بوده و فک بالا به سمت بالا حرکت می کند. فک پایین به همراه کل بدنه جک ثابت می باشد.

در این حالت فنر اصلی جک فشرده، فک بالا درگیر و فک پایین به همراه کل بدنه جک به سمت بالا می روند.

شکل ۶-۵ مراحل بالاروی جک های هیدرولیکی.

۶-۲ ملاحظات اجرایی

ارتفاع قالب های لغزنده برای اجرای متعارف معمولاً بین ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی متر است (شکل ۶-۲). در این شکل مقطعی از یک قالب لغزنده ساده و نحوه استفاده از شابلون جهت کمک به قرار دادن آرماتورها در محل صحیح خود، نشان داده شده است. فاصله یوغ ها باید در فاصله حداکثری معادل ۲ متر البته با اضافه کردن یک نوع مجازی (منفصل از سیستم جک) باشد که اضافه کردن این یوغ برای تأمین تکیه گاه اضافی لازم است.

باید توجه و دقت زیادی در اولین مرحله از نصب و راه اندازی قالب مبذول داشت، چرا که در این مرحله، قالب از لحاظ ابعاد هندسی، و داشتن مقاومت لازم در مقابل تنش های وارده در حین عملیات لغزش و بتن ریزی، کنترل می گردد. قالب های، شیبی در حدود ۱:۴۰۰ در ارتفاع دارند تا در حین لغزش به سمت بالا، خود به خود تمیز شوند. البته در بعضی از انواع قالب ها تنها یک وجه قالب شیب دار ساخته شده وجه دیگر به صورت قائم باقی می ماند. این شیب طوری است که پای قالب قدری از ضخامت دیوار بزرگتر و بالای قالب کمی از ضخامت دیوار کمتر است. قالب بدنه می تواند از جنس چندلایه های ۲۰ میلی متری یا مصالح دیگری نظیر ورق های



فلزی یا الوارهای ۲۵ میلی‌متری باشد، که در هر مورد بسته به جنس و مقاومت، از ۲ یا ۳ ردیف پشت‌بند افقی استفاده می‌شود. اندازه و ابعاد پشت‌بندهای افقی به فاصله بین یوغ‌ها بستگی دارد و معمولاً از چهارتراش‌های ۱۵۰ × ۵۰ یا ۲۰۰ × ۵۰ میلی‌متر و حتی گاهی از نیمرخ‌های فولادی نظیر قوطی، ناودانی و نبشی می‌باشند. در نقاط جک، پشت‌بندهای افقی توسط پشت‌بندهای قائم به یکدیگر یکپارچه می‌شوند و سیستم قالب به یوغ آویزان می‌شود. عرشه یا سکوی عملیات نیز به سیستم پشت‌بندهای پانل متصل می‌گردد.

معمولاً طراحی یوغ‌ها به صورت تیپ انجام می‌شود تا بتوان برای قالببندی دیوارهای با ضخامت‌های متفاوت از یک نوع یوغ استفاده نمود. فاصله‌ای در حدود ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر بین بازوهای قائم یوغ و پشت پانل‌های قالب باید وجود داشته باشد تا بتوان میلگردهای افقی را در این فاصله دپو کرد تا آرماتوربندها به سهولت بتوانند در حین لغزش قالب آرماتورهای افقی را از این محل برداشته و در محل خود ببندند. هر چه مقدار آرماتورهای افقی بیشتر باشد، این فاصله باید بیشتر انتخاب شود.

۸-۶ روش تراز کردن قالب

روش تراز کردن کف قالب که برای تمام سیستم‌های جک قابل استفاده است، شامل یک شبکه شیلنگ تراز آبی متشکل از لوله اصلی و لوله‌های انشعابی است که هر کدام به یکی از نقاط جک‌زنی می‌رسند. لوله اصلی به مخزن آب مرکزی متصل است. در هنگام نصب، کف قالب تراز شده و در این حالت سطح آب در لوله‌های تراز به عنوان سطح مرجع ثبت می‌شود. در حین عملیات لغزش، کف قالب در ترازهای مختلف، با توجه به تراز مرجع قابل تنظیم است. دانستن تراز نسبی قالب در هر مرحله از بتن‌ریزی به جهت کنترل حرکت‌های جانبی قالب بسیار مهم و ضروری است. معمولاً در تنظیم و تراز یابی قالب، از شاقول وزنه‌ای یا شاقول نوری^۵ استفاده می‌شود که در تراز خط مشخص از کف قالب، قرار داده می‌شوند. این شاقول‌ها، مرتباً کنترل و بازبینی می‌شوند و بر این اساس می‌توان میزان انحراف لغزش قالب را با دقت جبران نمود. اصلاح انحراف قالب از مسیر صحیح در حین لغزش با تغییر تراز بخشی از عرشه قالب (بسته به موقعیت موجود) صورت می‌گیرد. این تغییر تراز نیز از طریق ثابت نگه داشتن چند جک مشخص در حین انجام عملیات بالا روی، انجام می‌شود تا خطای حاصله جبران شده و از بین برود. این گونه عملیات اصلاحی در حین بتن‌ریزی و لغزش

قالب بسیار مشکل بوده و باید تحت نظارت دقیق مهندس ناظر و مسئول مربوطه انجام شود. حرکت‌های جانبی و دورانی قالب نیز از طریق بارهای قائم که به صورت طره‌ای بر قالب اعمال می‌شود، انجام می‌گردد تا احیاناً خطاهای ناشی از انحراف‌های جانبی و یا چرخشی قالب تصحیح شود. یک نمونه از بارهای طره‌ای، گیره‌هایی^۶ می‌باشد که بشکه آب ۲۰۰ لیتری از آن آویزان می‌شود. وزن این بشکه با تغییر مقدار آب آن، قابل تنظیم است.

اجزای قالب لغزنده در حین اجرا تمایل به افت خواهند داشت و این حالت با افزایش زمان اجرا بیشتر نیز خواهد شد. بنابراین جزییات اجرایی سکوی کار باید به گونه‌ای باشد تا این سکو به مثابه یک دیافراگم بین واحدهای مختلف عمل نموده و تغییر شکل‌ها را متعادل نماید.

در مواردی می‌توان از میله‌هایی که با بست قورباغه‌ای به هم متصل هستند و در بتن اعضای قالب می‌گیرند، نیز بهره برد. این امر به تنظیم و نگهداری ابعاد در محدوده دلخواه و همچنین عدم ارتباط مستقیم اعضا با یکدیگر کمک می‌کند، در ضمن امکان انجام تنظیمات و تصحیح خطاهای اصلی را نیز فراهم می‌کند.

تراز قالب در هر مرحله از کار توسط یک متر فلزی یا وسیله‌ای مشابه، که به انتهای قالب بسته شده است، نشان داده می‌شود. نقطه قرائت متر نزدیک یک شیلنگ تراز قرار دارد و در نتیجه در هر لحظه می‌توان تراز تمام نقاط را داشت.

۶-۹ حمل مصالح

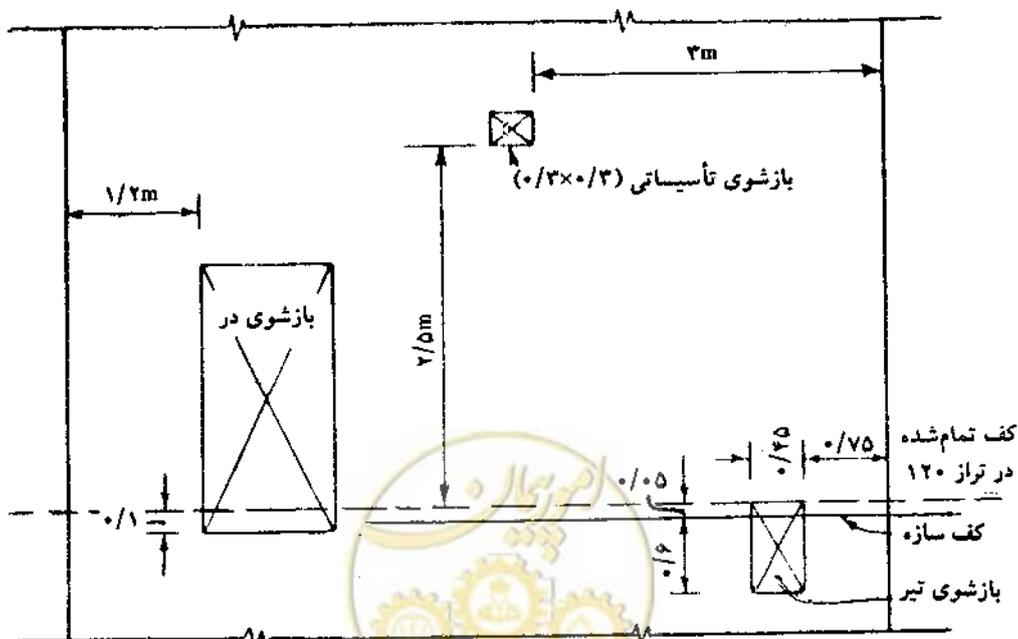
در قالب‌بندی و اجرای بخشی یا کل یک ساختمان به شیوه قالب لغزنده، روشی مناسب برای بالا کشیدن بتن، آرماتور و دیگر مصالح مورد نیاز برای اجرا، باید انتخاب شود. از جمله وسایل مورد استفاده برای این کار جرثقیل‌های متحرک، جرثقیل برجی، دکل‌های خودایستا یا هر روش و وسیله دیگری است که مناسب برای بالا کشیدن امکانات لازم برای قالب‌بندی لغزنده باشد. جرثقیل‌های برجی سال‌های زیادی است که در تسریع اجرای ساختمان‌های بلند مورد استفاده بوده و امروزه بسیار رایج هستند. در قالب‌بندی لغزنده یک جرثقیل برجی همراه قالب به بالا برده شده و می‌تواند در حمل وسایل و تجهیزات لازم یا بخشی و پس از تکمیل عملیات اجرای قالب‌بندی، به کار رود. هر چند روش اتخاذ شده باید بر اساس نقطه نظرات و دیدگاه‌های عملی و با توجه به محدودیت‌های مورد نیاز در مراحل مختلف اجرا باشد.

6- skid

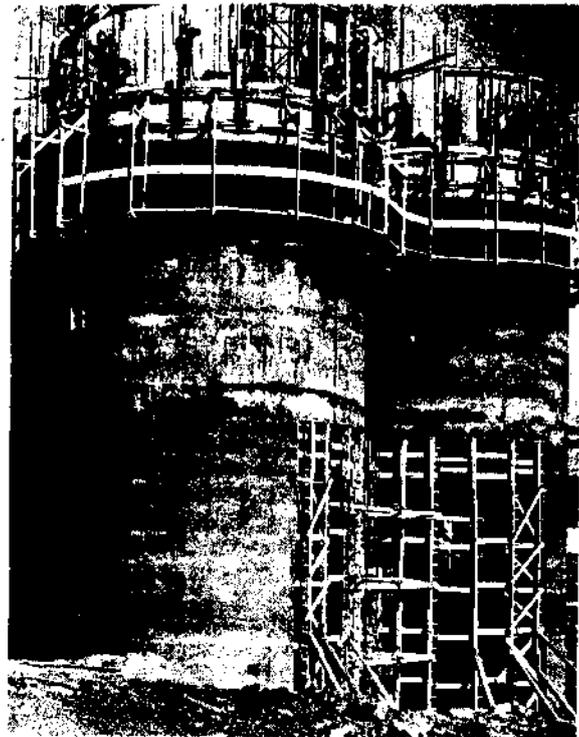


۶-۱۰ لغزش قالب

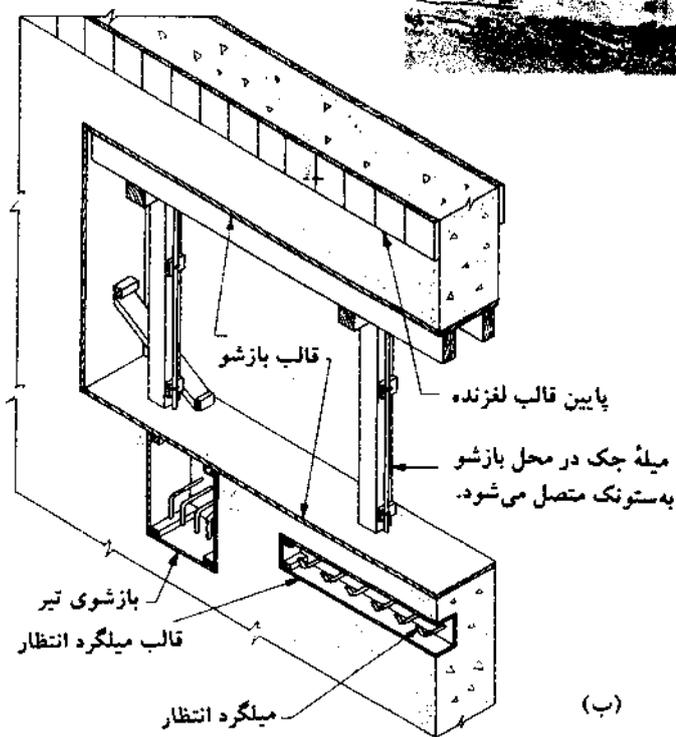
آخرین نکته‌ای که در اجرای قالب لغزنده باید مورد توجه قرار گیرد، عملکرد صحیح قالب در خلال لغزش آن به سمت بالا می‌باشد. کیفیت این بخش از کار بستگی به آماده‌سازی جزئیات صحیح اجرایی قبل از شروع لغزش می‌باشد. برنامه‌ریزی تحویل مصالح، به‌خصوص بتن به‌پای کار، برقراری ارتباط بین پیمانکاران جزء، و داشتن دانش و اطلاعات فنی و اجرایی نسبت به سیستم قالب‌بندی لغزان، از جمله مواردی هستند که در هنگام اجرای این سیستم باید مدنظر قرار گیرند. شکل ۶-۶ نقشه ساده‌ای از جزئیات یک دیوار را نشان می‌دهد که برای اجرای قالب لغزنده آماده شده است. این تیپ نقشه‌ها برای هر دیوار و در حدفاصل هر دو طبقه متوالی یا به عبارتی در هر تراز تهیه شده و کلیه جزئیات قالب‌بندی لازم را نشان می‌دهد. مسئولیت اجرای این جزئیات بر عهده کسی می‌باشد که در حین عملیات بر روی قالب قرار گرفته و صلاحیت لازم را در نظارت کامل و صحیح کار در خلال لغزش قالب دارا می‌باشد. این شخص باید توجه زیادی به خطاهای احتمالی در حین کار نظیر تغییر در ضخامت دیوار، خطا در خواندن تراز، خطا در بستن قالب و موارد مشابه داشته باشد. بتن طبق برنامه و الگوی مشخصی باید ریخته شود که معمولاً هر مرحله به ضخامت ۱۵۰ الی ۲۰۰ میلی‌متر است و هر بار با استفاده از ویرنه حدود ۵۰ الی ۷۵ میلی‌متر از بتن ریخته



شکل ۶-۶ نقشه جزئیات برای اجرای یک تراز از قالب‌بندی لغزان یک دیوار.



(الف)



(ب)

شکل ۶-۷ جزئیات بازشو.



شده در قسمت تحتانی مرتعش می‌شود. با پرشدن کامل قالب، حداکثر سرعت لغزش قالب متناسب با سرعت آماده‌سازی تجهیزات برای مرحله بعدی کار خواهد بود. به‌طور کلی سرعت لغزش قالب به‌سمت بالا، بسته به میزان اسلامپ بتن مصرفی، شرایط آب و هوایی و سرعت نصب تجهیزات در هر مرحله از بتن‌ریزی، متفاوت است، اما به‌طور متوسط چیزی حدود ۳۰۰ میلی‌متر در ساعت و در شرایط خاص تا ۶۰۰ میلی‌متر در ساعت نیز می‌رسد.

۶-۱۱ جزئیات بازشوها

شکل ۶-۷ جزئیات کارگذاری بازشوها و میلگردهای انتظار را در دیواره سیلو نشان می‌دهد. برای جایگذاری بازشو باید چهارچوبی که صلبیت کافی دارد، در دیواره نصب گردد. صلبیت چهارچوب باید طوری باشد که در حین لغزش دچار اعوجاج نگردد. همچنین چهارچوب باید طوری در محل خود تثبیت گردد که با عبور قالب‌های لغزنده از روی آن، دچار جابه‌جایی نگردد. در موارد متعددی لازم است میلگردهای انتظار برای اتصال قطعات الحاقی، در روی پوسته سیلو تعبیه گردد. شکل ۶-۷-ب، جزئیات نصب میلگردهای انتظار را نیز نشان می‌دهد آرماتورهای قطعات الحاقی باید به‌این میلگردهای انتظار جوش شود.



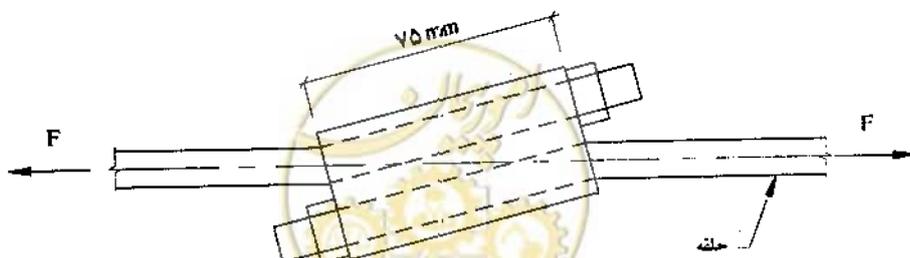
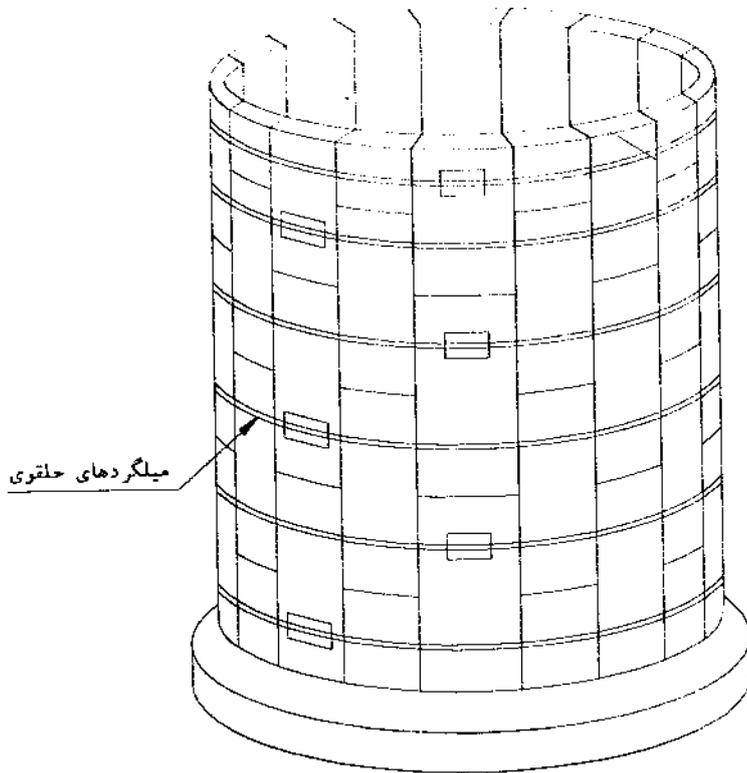
سیلوهای پیش ساخته بتنی

معرفی

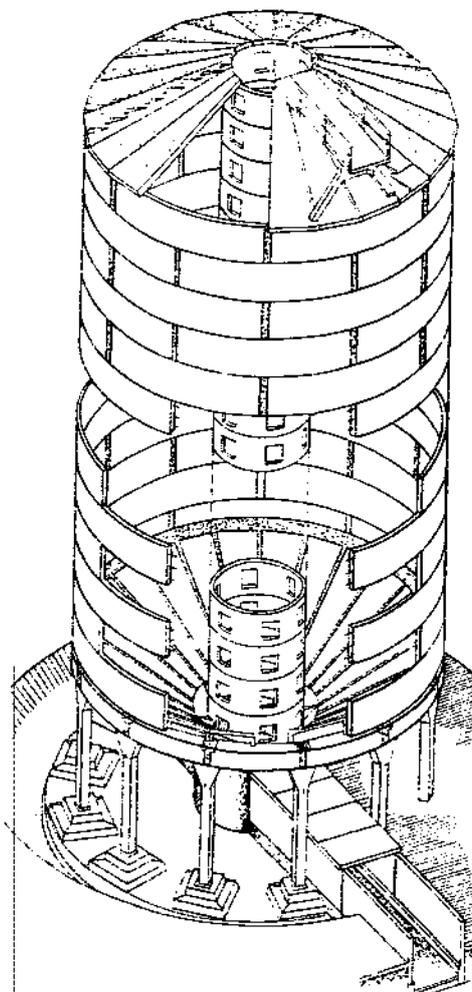
پیش‌ساختگی از روش‌های متداول برای سیلوسازی است، به‌خصوص برای حالاتی که در نظر است از تجهیز کارگاه برای ساخت سیلو به‌صورت درجا بنا به‌هر علتی احتراز کرد. بنابراین کاربرد این روش می‌تواند به‌صورت عمده برای سیلوها در ابعاد کوچک و متوسط و یا در مناطق روستایی برای ساخت سیلوهای روستایی باشد.

روش مورد نظر در این فصل، استفاده از قطعات پیش ساخته‌ای می‌باشد که قسمتی از یک حلقه می‌باشند. این قطعات پیش‌ساخته که در کارخانه با کیفیت خوب قابل ساخت می‌باشند، به‌محل مورد نظر حمل شده و در آنجا به‌صورت آجری روی هم چیده می‌شوند، به‌طوری که درزهای افقی بر یکدیگر منطبق نباشند (به‌صورت یک درمیان) (شکل ۷ - ۱). پس از چیده شدن قطعات، میلگردهای حلقوی به‌دور آنها بسته شده و پیش‌تنیده می‌گردند تا درزها بر روی هم فشرده شده و آب‌بندی در درز به‌وجود آید. هدف پیش‌تنیدگی کامل نیست و فقط ایجاد کشش اولیه به‌منظور ایجاد سختی در آرماتورهای حلقوی است. وظیفه این میلگردها مقابله با کشش حلقوی ناشی از فشار داخلی است. علاوه بر میلگردهای حلقوی، برای مقابله با کشش ناشی از نیروی جانبی باد یا زلزله در نوارهای قائم، ممکن است نیاز به میلگردهای قائم باشد که به‌طور محکم در فونداسیون گیردار شده‌اند. آخرین مرحله ساخت، سیمانکاری سطوح داخلی و خارجی سیلو می‌باشد. در دنباله این فصل استاندارد ساخت این نوع سیلوها ارائه می‌گردد. پیش‌ساختگی سیلوها به‌روش‌های دیگر نیز متداول است اما این روش ساده‌ترین بوده و حمل قطعات آن نیاز به وسایل سنگین ندارد. در دنباله شکل ۷ - ۱ سایر روش‌های پیش‌سازي نشان داده شده است.





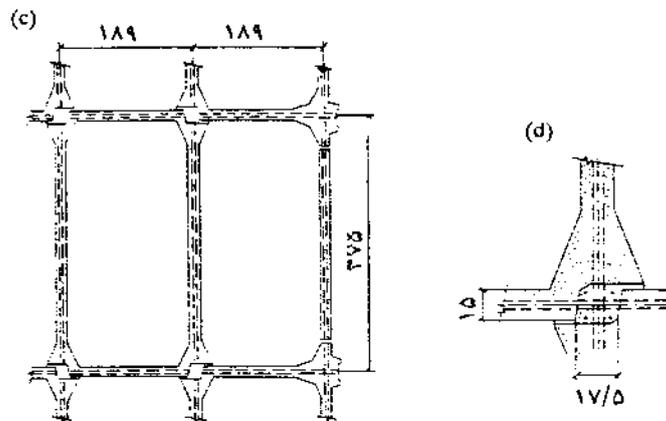
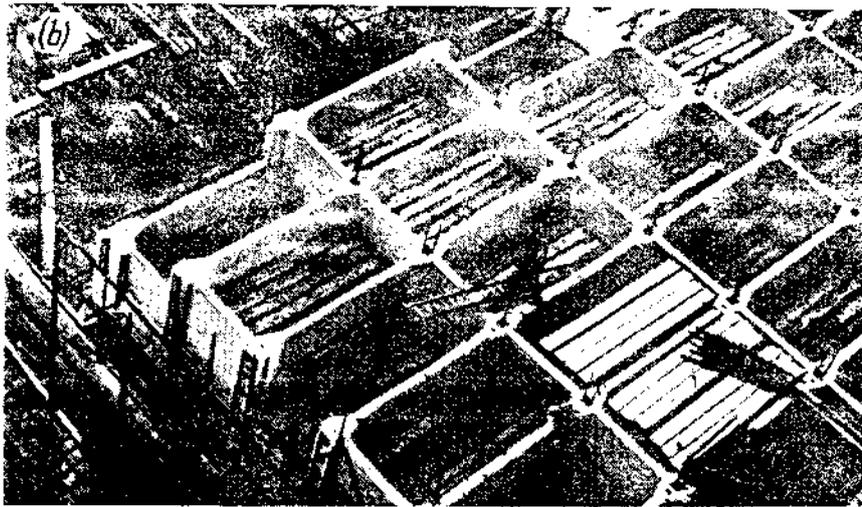
شکل ۱-۷ سیلوهای پیش‌ساخته با قطعات پیش‌ساخته.



سیلوی پیش‌ساخته با قطعات کماتی

شکل ۷-۱ (ادامه).

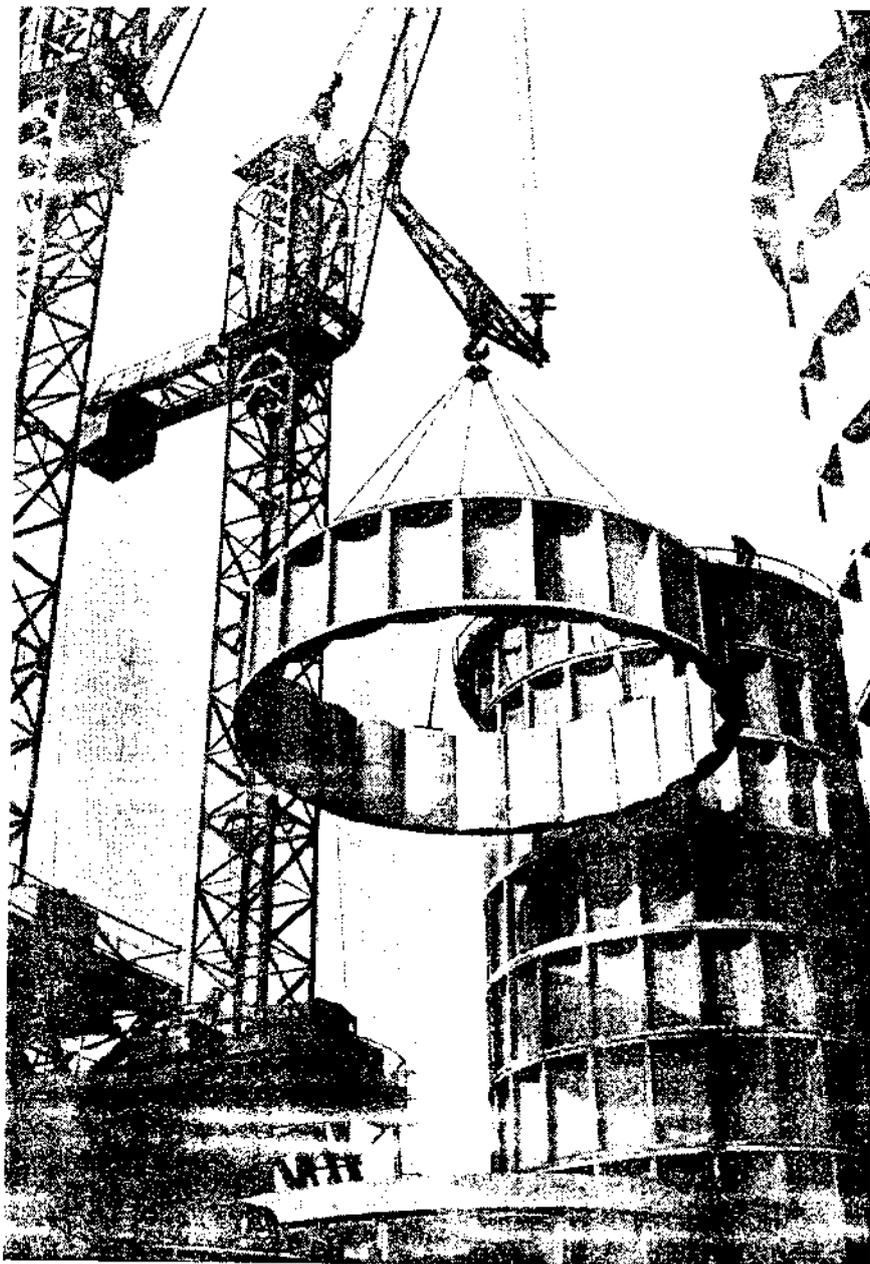




سیلوی پیش‌ساخته با قطعات مستطیلی

شکل ۷-۱ (ادامه)





سیلوی پیش‌ساخته با قطعات دایروی

شکل ۷-۱ (ادامه).



۷-۱ فهرست علائم

- λ_s = سطح مقطع آرماتورهای حلقوی (بر واحد ارتفاع)
 λ_w = سطح مقطع مؤثر یک حلقه مجزا (روی صفحه افقی)
 I_u = مقاومت کششی حلقوی لازم برای ارتفاع واحد دیواره سیلو
 M_{pos} = لنگر خمشی مثبت برای نوار حلقوی (ایجاد کشش در سطح داخلی می نماید)
 M_{neg} = لنگر خمشی منفی برای نوار حلقوی (ایجاد کشش در سطح خارجی می نماید)
 M_0 = مقاومت خمشی حلقوی برای ارتفاع واحد مساوی جمع مقادیر مطلق $M_{0,pos}$ و $M_{0,neg}$
 $M_{0,neg}$ و $M_{0,pos}$ = به ترتیب مقاومت خمشی در ناحیه لنگر خمشی مثبت و منفی
 W = نیروی کششی در امتداد قائم برای نواری به عرض واحد به علت نیروی جانبی
 $f_{c,joint}$ = مقاومت فشاری بتن با توجه به وضعیت درز
 $f_{c,stave}$ = مقاومت فشاری قطعه پیش ساخته ۲۸ روزه
 f_{cr} = مقاومت فشاری کمانشی نوار قائم سیلو
 I_y = تنش تسلیم میلگردهای حلقوی
 h = ضخامت جدار
 w = فشار جانبی باد
 h_{st} = ارتفاع نمونه قطعه پیش ساخته برای آزمایش فشاری

۷-۲ دامنه

این فصل اختصاص به سیلوهای ساخته شده از قطعات پیش ساخته حلقوی دارد که از آنها برای ذخیره سازی مصالح دانه ای استفاده می شود.

۷-۳ پوشش

۷-۳-۱ سطح داخلی سیلو سیمانکاری می شود. سیمانکاری باعث یکپارچگی قطعات پیش ساخته در محل درزها می گردد. سطح لایه رویه باید لیسهای باشد.

۲-۳-۷ در صورتی‌که در مشخصات فنی خواسته شده باشد، سطح خارجی سیلو باید سیمانکاری گردد. سیمانکاری باید طوری باشد که باعث آب‌بندی درزها گردد. سطح سیمانکاری می‌تواند به صورت تخته ماله‌ای یا هر نمای دیگر درآید.

۴-۷ رواداری‌های نصب

۱-۴-۷ انتقال محور سیلو یا دوران درزهای قائم

برای ۳ متر ارتفاع ۲۵ میلی‌متر

۲-۴-۷ شکم دادن دیواره سیلو

برای ۳ متر ارتفاع ۲۵ میلی‌متر
برای تمام ارتفاع سیلو ۷۵ میلی‌متر

۳-۴-۷ قطر داخلی سیلو

برای هر ۳ متر قطر ± 25 میلی‌متر

۴-۴-۷ حلقه‌ها

تعداد حلقه‌ها
فواصل حلقه‌ها ± 25 میلی‌متر

۵-۷ طراحی دیوار

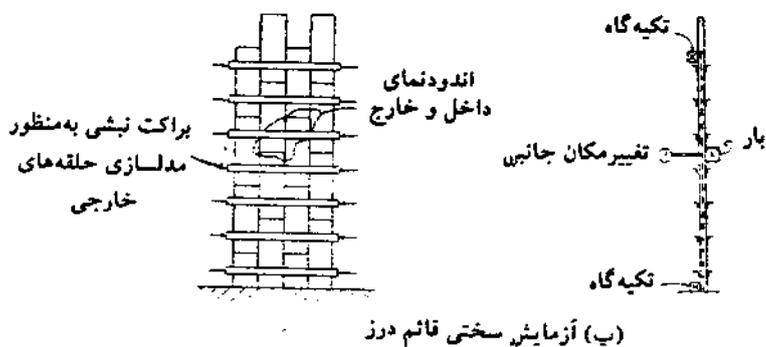
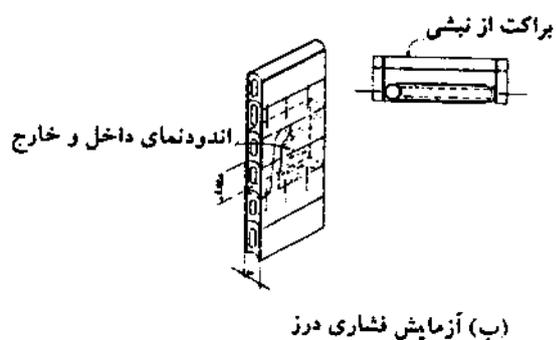
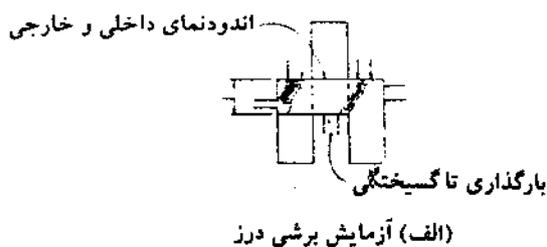
۱-۵-۷ بارها، فشار طرح، و نیروها

بارها، فشار طرح و نیروهای قائم بر سیلوه‌های پیش‌ساخته، مطابق فصول چهارم و پنجم می‌باشد. اضافه فشار، ضربه، تأثیر تخلیه برون‌محور، باد، نیروهای حرارتی، و نیروهای لرزه‌ای باید مورد توجه قرار گیرند.

۲-۵-۷ ضخامت دیوار

ضخامت لازم برای جداره سیلو باید با توجه به خمش حلقوی، فشار، کشش، و کمانش طراحی گردد، لیکن نباید از مقادیر توصیه شده در فصول چهارم و پنجم کمتر گردد.





شکل ۷-۲ آزمایش‌های مربوط به سیلوهای پیش‌ساخته.

۷-۵-۳ خمش حلقوی

در غیاب انجام تحلیل‌های دقیق، مقاومت خمشی حلقوی M_0 برای حلقه پیش‌ساخته باید شرایط زیر را اکتان نماید:

(الف) برای حالت تأثیر باد بر روی دیوار مهارنشده:

۱/۲ ضریب بار طبق آبا می‌باشد.

$$M_0 \geq 1/2 D^2 w / \lambda \quad (۱-۷)$$

(ب) برای حالت تخلیه یا پر شدن:

$$M_0 \geq 1/5 (M_{pos} + |M_{neg}|) \quad (۲-۷)$$

$$M_{0,pos} \geq 1/5 M_{pos} \quad (۳-۷)$$

$M_{neg} + M_{pos}$ با استفاده از روش‌های ارایه شده در فصول ۴ و ۵ و یا هر روش تحلیلی دیگر قابل تعیین است. ۱/۵ و ۱ ضرایب بار می‌باشند.

روابط مقاومتی زیر نیز باید اکتان گردند:

$$0.875 (\phi_s A_s f_y - F_u) h \geq M_0 \quad (۴-۷)$$

$$0.375 (\phi_s A_s f_y - F_u) h \geq M_{0,pos} \quad (۵-۷)$$

در صورتی که روابط فوق اکتان نشوند، لازم است آزمایش مقاومت درجا انجام شود.

۷-۵-۴ فشار و کماتش

مقاومت فشاری بتن در امتداد قائم ($f_{c,vert}$) مساوی کوچکترین مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$f_{c,vert} = 0.5 \phi_c f_{c,stage} \quad (۶-۷)$$

$$f_{c,vert} = 0.5 \phi_c f_{c,joint} \quad (۷-۷)$$

$$f_{c,vert} = 0.5 \phi_c f_{cr} \quad (۸-۷)$$

طبق آیین نامه بتن ایران ϕ_c مساوی ۰/۶ می‌باشد.

f_{cr} مقاومت فشاری کماتشی نوار قائمی از سیلو می‌باشد که به کمک آزمایش و یا روابط تحلیلی با منظور کردن ناشاقولی‌ها و غیرهم‌محوری‌ها قابل قبول درحد رواداری‌ها تعیین می‌گردد. ضخامت جدار h باید طوری تعیین گردد که تنش فشاری در امتداد نوار قائم جدار سیلو در هیچ‌کدام از ترکیب‌های بار زیر از $f_{c,vert}$ بیشتر نشود:

$$D + 1/2 L + 1/2 (W یا E) \quad (۹-۷)$$

$$1/25 D + 1/5 M + 1/5 L \quad (۱۰-۷)$$

D بار مرده، L بار زنده، E بار زلزله، W بار باد، و M بارهای ناشی از مصالح ذخیره شده می‌باشد.



۷-۵-۵ کشش و برش

حداقل ضریب اطمینان سیلوهای خالی در مقابل واژگونی ناشی از نیروی باد $1/33$ می‌باشد. به علت لنگر خمشی ممکن است در نوارهای قائم پوسته سیلو کشش ایجاد گردد. برای مقابله با این نیروی کششی لازم است تسمه‌ها و یا ستونک‌های کششی که دارای ریشه در فونداسیون می‌باشند، به صورت قائم تا ارتفاع لازم ادامه یابند. پوسته تنها می‌تواند مقداری نیروی کششی مقاومت نماید. گسیختگی کششی به دو صورت در دیوار سیلو به وجود می‌آید.

(الف) گسیختگی کششی حلقه‌های پیش‌ساخته که برای جلوگیری از آن باید رابطه زیر برقرار باشد.

$$\phi_c A_w \sigma / \sqrt{f_{c, \text{stave}}} \geq 1/5 (2W) \quad (11-7)$$

$f_{c, \text{stave}}$ بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد.

(ب) گسیختگی برشی در محل درزهای قائم قطعات پیش‌ساخته که برای جلوگیری از آن باید رابطه زیر برقرار باشد.

$$\sigma / \phi_c (A_s f_y - F_u) \geq 1/5 (2W) \quad (12-7)$$

در روابط فوق:

$$\phi_c = 0.65$$

W = نیروی کششی ناشی از باد برای عرض واحد

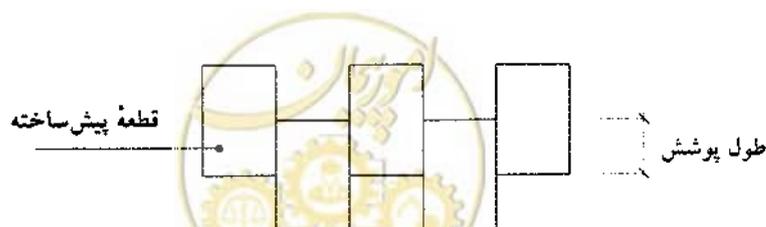
$A_s f_y - F_u$ = بر واحد ارتفاع دیوار

طول پوشش = مطابق شکل ۷-۴

$1/5$ ضریب بار می‌باشد و ضریب ۲ بدان خاطر است که در هر درز افقی اجرایی، ۵۰ درصد قطعات پیوسته می‌باشند.

۷-۵-۶ بازشو در دیوار

وجود سوراخ و بازشو در دیوار باید طوری باشد که از مقاومت خمشی و کششی دیوار نکاهد.



شکل ۷-۳

۶-۷ حلقه‌های کششی

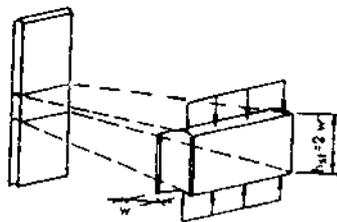
۱-۶-۷ اندازه و فاصله به‌استثنای موارد مذکور در ذیل، سطح مقطع و فاصله‌بندی حلقه‌های مسلح‌کننده خارجی برای سیلوه‌های پیش‌ساخته به‌همان روشی محاسبه می‌شود که آرماتورهای حلقوی در سیلوه‌های درجا. در محاسبات حلقه‌ها می‌توان از متوسط فشار داخلی در ارتفاعی مساوی ۳۰ برابر ضخامت دیوار استفاده نمود. حداقل قطر آرماتورهای حلقوی ۱۲ میلی‌متر و حداکثر فاصله آنها از یکدیگر ارتفاع قطعه پیش‌ساخته و یا ۱۰ برابر ضخامت دیوار (هر کدام که کوچکتر است) می‌باشد.

۲-۶-۷ قطر مؤثر حلقه‌ها در صورتی که برای سفت کردن حلقه‌ها از رزوه و مهره استفاده شود، باید از قطر زیردنده‌ها در محاسبه سطح مقطع آرماتور حلقوی استفاده نمود.

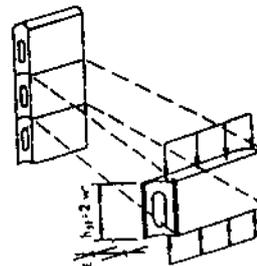
۳-۶-۷ پیش‌کشیدگی: حلقه‌ها باید طوری پیش‌تنیده شوند که بعد از اتلافات ناشی از جمع‌شدگی، خزش، کاهش طول الاستیک و کاهش درجه حرارت، کشیدگی کافی در آنها وجود داشته باشد.

۷-۷ آزمایش مقاومت فشاری قطعات پیش‌ساخته

شکل ۷-۴ نشان‌دهنده روش آزمایش و مقاومت فشاری قطعات پیش‌ساخته می‌باشد. حداقل مقاومت فشاری روی سطح مقطع خالص نباید کمتر از ۲۸ نیوتن بر میلی‌متر مربع روی نمونه ۲۸ روزه باشد. متوسط حاصل روی ۵ نمونه نباید کمتر از مقاومت مقرر باشد، مشروط بر اینکه بیش از ۲۰ درصد نمونه‌ها، مقاومتی کمتر از مقاومت مقرر داشته باشند.



(الف) قطعه پیش‌ساخته توپر



(ب) قطعه پیش‌ساخته توخالی

شکل ۷-۴ آزمایش فشاری قطعات پیش‌ساخته.





سیلوهای بتنی پس کشیده

۸-۱ فهرست علائم

D = قطر سیلو

E = ضریب الاستیسیته

f_c = مقاومت مشخصه نمونه ۲۸ روزه استوانه‌ای بتن

f_{ci} = مقاومت مشخصه بتن در مرحله انتقال (مرحله اعمال نیروی پیش تنیدگی)

f_{pu} = مقاومت نهایی فولادهای پیش تنیدگی

f_{py} = تنش تسلیم فولادهای پیش تنیدگی

f_y = تنش تسلیم آرماتور

h = ضخامت دیوار

h_j = ضخامت دیوار هسته در سیستم‌های پس کشیدگی دورپیچ

۸-۲ دامنه

این فصل اختصاص به سیلوهای بتنی درجاریز دارد که بعد از گرفتن بتن به کمک کابل‌های پرمقاومت تحت پس کشیدگی قرار می‌گیرند. در این فصل سیستم‌های پیش کشیدگی مورد توجه نمی‌باشند. مفاد ارایه شده در فصول دیگر این مجموعه و یا آیین‌نامه بتن پیش تنیده که در تناقض با مفاد این فصل نیستند، معتبر می‌باشند.



۸-۳ سیستم پس کشیدگی

۸-۳-۱ دو سیستم متداول برای سیلوهای پس کشیده، شامل سیستم تاندون^۱ و سیستم دورپیچ^۲ می باشد.

۸-۳-۲ سیستم تاندون^۱ متشکل از کابل^۲، مفتول^۳ و میلگرد^۴ در درون غلاف^۵ می باشد. درون غلاف می تواند بعد از کشیدن تزریق شده و یا نشود. در حالت اول کابل ها چسبیده و در حالت دوم نجسبیده تلقی می شوند. همچنین غلاف ها می توانند درون بتن کار گذاشته شوند و یا به صورت خارجی در محیط خارجی سیلو نصب شوند. غلاف های خارجی در صورتی که از مصالح مناسب و با دوام ساخته شوند می توانند به صورت نما و روپاز باقی بمانند، در غیر این صورت آنها را می توان توسط شات کزیت پنهان نمود.

۸-۳-۳ سیستم دورپیچ متشکل از کابل یا مفتول هایی است که بعد از گرفتن بتن جدار سیلو، با نیروی کششی دور آن پیچیده می شوند. بعد از دورپیچ کردن، توسط شات کزیت لایه ای از بتن روی مفتول ها پاشیده می شود.

۸-۴ سیستم تاندون

۸-۴-۱ ضخامت جدار h در سیلوه با تاندون مدفون، نباید کمتر از ۲۵۰ میلی متر و همچنین کمتر از مجموع h_1 (طبق بند ۸-۸-۱)، و قطر غلاف و پوشش بتن گردد.

۸-۴-۲ فاصله مرکز به مرکز تاندون ها نباید از سه برابر ضخامت دیوار h و یا سه برابر h_1 تجاوز نماید. به علاوه در مورد تاندون های افقی این فاصله نباید از ۱۰۰۰ میلی متر بیشتر شود.

1- tendon system

2- wrapped system

* تاندون به مجموعه ای از میلگردها، کابل ها و یا مفتول ها که با یکدیگر دسته می شوند، اطلاق می گردد. تعداد کابل های یک تاندون به صورت سه تایی، پنج تایی، هفت تایی، یازده تایی و ... برحسب سیستم انتخابی (کارخانه تأمین وسایل پیش تنیدگی) می باشند. میلگرد آلبازدار معمولاً، به صورت تک در تاندون قرار می گیرد ولی می توان آنها را نیز دسته نمود.

3- strand

4- wire

5- bar

6- duct

۸-۴-۳ فاصله خالص بین دو تاندون نباید کمتر از ۲ برابر قطر غلاف (شامل لایه محافظ غلاف) و یا ۱۵۰ میلی‌متر (هر کدام که بزرگترند) گردد. فاصله خالص بین غلاف تاندون‌های غیرمدفون نباید کمتر از قطر غلاف و یا ۲۰ میلی‌متر (هر کدام که بزرگترند)، گردد.

۸-۴-۴ تاندون‌های افقی مدفون باید در سمت داخلی سفره خارجی آرماتورهای قائم جدار سیلو قرار گیرند.

۸-۴-۵ نقاط اعمال نیروهای پیش‌تنیدگی^۷ (محل گیره‌ها) می‌تواند روی لغازهایی در دیواره سیلو^۸، محل تقاطع دو کندوی مجاور و یا حفزه‌هایی^۹ در جدار سیلو قرار داشته باشد. در تعیین تعداد نقاط اعمال نیروی پیش‌تنیدگی، باید به اتلاف ناشی از پیش‌تنیدگی و همچنین تنش‌های متمرکز ناشی از اعمال نیروی متمرکز پیش‌تنیدگی توجه نمود. در صورت استفاده از حفزه برای اعمال نیروی پیش‌تنیدگی باید توجه نمود که تنش ناشی از نیروی پیش‌تنیدگی در این مرحله از $0.55 f_{ci}$ در روی مقطع خالص تجاوز ننماید. در شکل ۸-۱ نحوه یکی در میان کردن محل لغازها، و حفرات نشان داده شده است.

۸-۴-۶ مطابق شکل ۸-۱، برای مقابله با نیروهای متمرکز ناشی از پیش‌تنیدگی باید آرماتورهای کافی در داخل لغازهای گیره‌ها قرار داده شود.

۸-۴-۷ حداقل پوشش بتنی روی غلاف‌های مدفون ۴۰ میلی‌متر می‌باشد. غلاف باید به‌طور محکم در محل خود تثبیت گردد تا حین بتن‌ریزی جابه‌جا نگردد.

۸-۴-۸ محل گیره در ارتفاع سیلوها باید طوری جابه‌جا شوند که محل آنها حداقل به‌صورت دو در میان در یک امتداد قائم قرار گیرند.

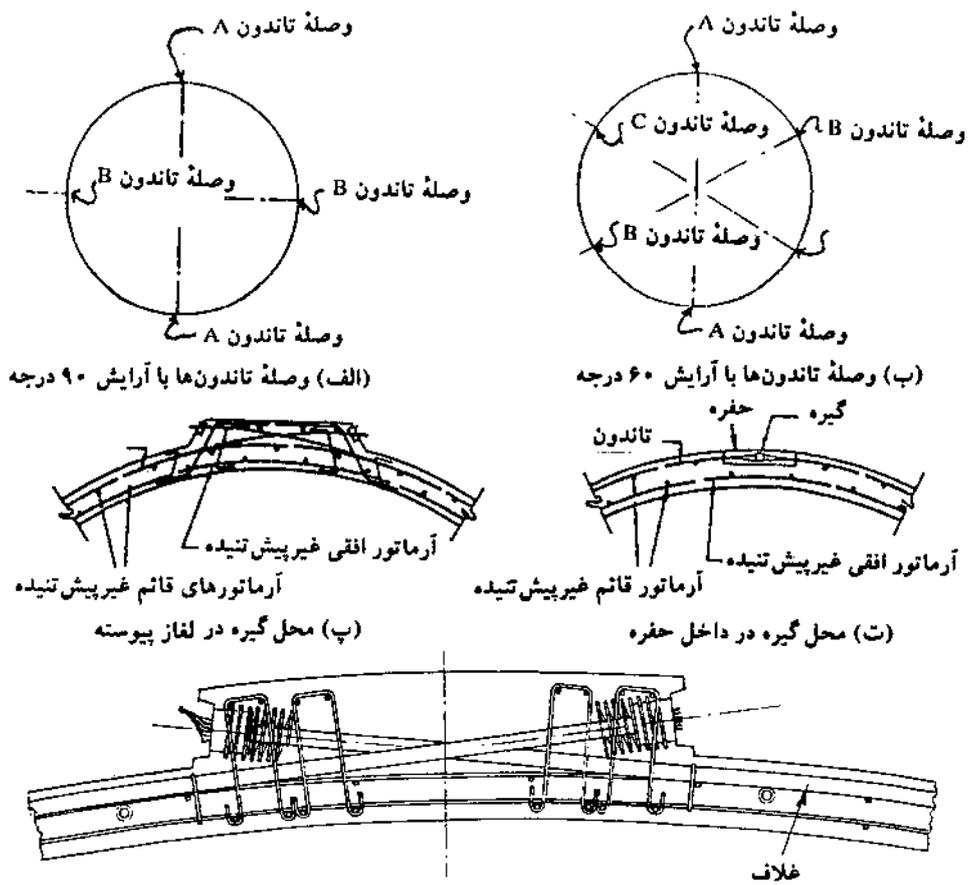
۸-۴-۹ بعد از اتمام پیش‌تنیدگی، گیره‌ها و گوه‌ها باید به‌طور دائم در مقابل خوردگی محافظت گردند. حفرات نیز باید به کمک ملات بدون انقباض پرگردند. مقاومت این ملات نباید کمتر از بتن مجاور بوده و باید با چسبندگی خوب به آن بچسبند.

7- stressing points

8- pilasters

9- blockouts





شکل ۸-۱ محل اعمال نیروهای پیش‌تنیدگی (گیره‌ها).

۸-۵ تاندون‌های چسبیده

۸-۵-۱ گیره‌ها^{۱۱} و کویلرها^{۱۱} باید قادر به حصول مقاومتی مساوی f_{pu} در کابل‌ها و یا مفتول‌ها و یا میلگردهای پیش‌تنیدگی گردند.

۸-۵-۲ گروت (ملات تزریق) می‌تواند شامل ترکیبی از سیمان پرتلند و آب و یا سیمان پرتلند، ماسه (۵ تا ۴) و آب باشد. مواد مضافی که حاوی کلراید، فلئوزر، سولفات، و نیترات هستند، نباید مورد استفاده قرار گیرند، مگر اینکه عدم مضر بودن آنها روی فولاد، ملات و یا بتن به کمک آزمایش ثابت گردد.

10- anchorages

11- coupler (وسایلی برای وصله میلگردهای پیش‌تنیدگی)

۸-۵-۳ مقاومت ۷ روزه نمونه مکعبی ۵۰ میلی‌متر ملات تزریق نباید کمتر از ۱۷ نیوتن بر میلی‌متر مربع گردد. آزمایش طبق ASTM C1019 می‌باشد.

۸-۵-۴ نسبت آب به‌سیمان ملات تزریق نباید بیشتر از ۰/۴۵ گردد و مقدار آن باید در حد حداقل لازم حفظ گردد.

۸-۵-۵ ملات تزریق باید به‌کمک هم‌زمن مناسب به‌حالت متجانس در آمده و توسط پمپ مخصوص با دبی یکنواخت تزریق گردد. ملات بعد از اختلاط باید در حداقل زمان ممکن تزریق گردد. برای جلوگیری از گیر کردن دانه‌های درشت درون غلاف، قبل از تزریق، ملات باید از توری مناسب عبور داده شود. در نقاط انتهایی باید هواکش برای خروج هوای محبوس درون غلاف تعبیه گردد. خروج یکنواخت ملات از درون مجاری هواکش مبین پر شدن غلاف توسط ملات و خروج حباب‌های هوا می‌باشد. در این هنگام مجاری هواکش بسته شده و اجازه افزایش فشار درون غلاف داده می‌شود و در این لحظه فشار تزریق قطع می‌گردد.

۸-۵-۶ دمای غلاف و عضو در حین تزریق باید بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد باشد و این دما تا هنگام رسیدن مقاومت مکعبی ۵۰ میلی‌متر به ۵/۵ نیوتن بر میلی‌متر مربع حفظ گردد. دمای ملات در حین تزریق نباید بیش از ۳۲ درجه سانتی‌گراد گردد. در مناطق گرم برای جلوگیری از گیرش سریع، دمای ملات باید در دمایی پایین‌تر از ۳۲ درجه سانتی‌گراد حفظ گردد.

۸-۶ تاندون‌های نچسبیده^{۱۱}

۸-۶-۱ گیره‌ها و کوپلرها باید قادر به‌حصول مقاومتی مساوی f_{pu} در فولادهای پیش‌تنیدگی شوند. بارگذاری دوره‌ای ناشی از پر و خالی شدن سیلو که ایجاد خستگی در محل گیره‌ها و کوپلرها می‌شود، باید در طراحی دیده شود.

۸-۶-۲ تاندون‌های خارجی و داخلی نچسبیده باید داخل غلاف قرار گرفته و یا دور آن‌ها نوارپیچی^{۱۳} شود به‌طوری‌که پایایی درازمدت آن تأمین شود. کابل‌هایی که درون غلاف قرار دارند، باید توسط ماده روغنی تزریق شوند. گیره‌ها و کوپلرها نیز باید به‌روش مناسب محافظت گردند.



۸-۷ غلاف‌های پس‌کشیدگی

۸-۷-۱ غلاف‌های فولادهای پس‌کشیدگی چسبیده و نچسبیده باید آب‌بند بوده و با بتن، تاندون‌ها، و ملات تزریق واکنش‌های مضر نداشته باشند. حداقل ضخامت ورق غلاف‌های فولادی $\frac{2}{3}$ میلی‌متر است. وصله غلاف‌ها باید یک‌درمیان باشد.

۸-۷-۲ قطر داخلی غلاف برای مفتول، کابل و میلگرد تک تزریق شده باید حداقل ۶ میلی‌متر بزرگتر از قطر تاندون باشد.

۸-۷-۳ سطح مقطع داخلی غلاف برای مفتول، کابل، و میلگردهای دسته (چندتایی) باید حداقل ۲ برابر سطح مقطع خالص تاندون باشد.

۸-۷-۴ علاوه بر قيودات بندهای ۸-۷-۲ و ۸-۷-۳، سطح مقطع داخلی غلاف باید سازگار با هندسه سازه، انحنای جداره، طول غلاف و پتانسیل گرفتگی غلاف به‌منظور اطمینان از عبور سهل فولادهای پیش‌تنیدگی از آن باشد.

۸-۷-۵ غلاف‌ها باید تمیز و خشک و دور از دسترس آب نگهداری شوند. تزریق باید تا حد امکان بلافاصله بعد از کشیدن کابل‌ها انجام شود. در صورتی که برای تزریق تأخیر رخ دهد، باید قسمت‌های روباز سیستم پیش‌تنیدگی در مقابل ورود از آب و مواد مضر محافظت گردند.

۸-۷-۶ چسبندگی غلاف با بتن محیطی و ملات تزریق باید طوری باشد که بتواند چسبندگی بین ملات تزریق و فولاد پیش‌تنیدگی را به بتن محیطی انتقال دهد.

۸-۸ سیستم‌های دورپیچ

۸-۸-۱ ضخامت دیوار هسته (H_z)، در سیستم‌های دورپیچ نباید کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد. همچنین ضخامت دیوار باید طوری انتخاب شود که تنش فشاری در آن در هنگام دورپیچ کردن فولادهای پس‌تنیدگی از $0.55 p_{ci}$ تجاوز ننماید.

۸-۸-۲ قبل از دورپیچ کردن باید هرگونه نقص، حفره و کرم‌شدگی در بتن هسته برداشته شده و

نعمیر گردند. از سطح بتن هسته نیز باید هرگونه آلودگی و گرد و خاک تمیز گردند. سطح بتن باید توسط سندبلاست مضرس گردد تا چسبندگی خوب با بتن پاشیده شده بر روی آن را داشته باشند.

۳-۸-۸ قبل از اجرا، روش پس‌تندگی به وسیله دورپیچ کردن، باید مورد تأیید دستگاه نظارت قرار گیرد.

۴-۸-۸ حداقل فاصله آزاد بین فولادهای دورپیچ نباید کمتر از ۶ میلگرد و یا قطر میلگرد پیش‌تندگی گردد.

۵-۸-۸ در صورتی که از دورپیچ چند لایه استفاده شود، درحد فاصل بین دو لایه باید یک لایه شات‌کریت اجرا گردد.

۶-۸-۸ سطح فولادهای پس‌کشیدگی خارجی باید توسط دو یا چند لایه شات‌کریت پوشیده شود. حداقل ضخامت پوشش ۲۵ میلی‌متر می‌باشد. اجرای شات‌کریت باید منطبق بر مفاد آیین‌نامه مربوطه باشد.

۹-۸ جزئیات و استقرار آرماتورهای معمولی

۱-۹-۸ آرماتورهای قائم جدار سیلو باید برای مقابله با اثر نیروهای جانبی، مولفه قائم وزن مصالح ذخیره شده، نیروهای حرارتی، خمش ناشی از اعمال نیروهای پیش‌تندگی و سایر نیروهای مربوط طراحی شوند. حداقل آرماتورهای قائم نیز منطبق بر مفاد فصول چهارم و پنجم می‌باشد.

۲-۹-۸ آرماتورهای حلقوی باید برای مقابله با لنگرهای خمشی حلقوی ناشی از تغییرات درجه حرارت، اعمال نیروهای پیش‌تندگی و سایر نیروهای مربوطه طراحی گردند. حداقل سطح مقطع کل این میلگردها نباید کمتر از ۰/۰۰۲۵ سطح مقطع دیوار باشد. حداکثر فاصله آرماتورهای حلقوی ۴۵۰ میلی‌متر است.

۱۰-۸ بازشوی دیوارها

۱-۱۰-۸ برای بازشوهایی که در نواحی فشار قرار نگرفته‌اند، نصف آرماتورهای قائم و افقی



قطع شده توسط بازشو، در طرفین (لبه‌های) آن قرار داده می‌شود.

۸-۱۰-۲ بازشوهای دیوار که در ناحیه فشار قرار می‌گیرند، ممکن است چند کابل پیش‌تنیدگی را قطع نمایند. در این حالت کابل‌ها باید نرسیده به بازشو، شیب‌دار شده و از بالا و پایین آن عبور داده شوند. طول ناحیه شیب‌دار که از مرکز بازشو اندازه‌گیری می‌شود، نباید از قطر سیلو بزرگتر و از ۶ برابر ارتفاع بازشو کمتر باشد. تنش‌های قائم و افقی ناشی از این کابل شیب‌دار باید در دو حالت سیلوی خالی و سیلوی پر کنترل شوند. در چنین مناطقی حداقل فواصل آرماتورها باید کنترل شوند.

۸-۱۰-۳ در دو طرف بازشو باید آرماتورهای قائم قرار داده شوند. برای محاسبه آرماتور قائم، عرضی معادل ۴ برابر ضخامت سیلو در لبه جدار همانند ستونی در نظر گرفته می‌شود که بار سهم خود و نصف بار سهم بازشو را تحمل می‌نماید. آرماتورهای اضافی تعبیه شده و در لبه نباید کمتر از نصف آرماتورهای قائم قطع شده توسط بازشو باشد.

۸-۱۱ ثبت تنش‌های پیش‌تنیدگی

مراحل پیش‌تنیدگی باید مستند سازی گردد و اطلاعات ثبت شده حداکثر به مقدار ۲ سال نگهداری شوند. اطلاعات باید شامل اندازه، نوع و محل خرید کابل‌ها و مفتول‌های پیش‌تنیدگی، زمان اعمال پیش‌تنیدگی، فشار جک زدن، توالی کشیدن کابل‌ها، افزایش طول کابل، میزان لغزش در محل گیره‌ها، و نام مهندس ناظر باشد.

۸-۱۲ طراحی

۸-۱۲-۱ طراحی باید بر اساس حالت حدی نهایی و حالت حدی بهره‌برداری از زمان کشیدن کابل‌ها و بهره‌برداری با گذشت زمان باشد.

۸-۱۲-۲ سیلو باید برای بارهای معرفی شده در فصل چهارم و کلیه آثار داخلی ناشی از اعمال نیروی پیش‌تنیدگی در مرحله انتقال و مرحله بهره‌برداری و همچنین تمرکز تنش ناشی از آن در محل نیرو و لبه‌های جدار سیلو با پوسته بام و کف و تقاطع با پوسته‌های مجاور، طراحی شود.

۳-۱۲-۸ تنش‌های مجاز بتن مطابق جدول ۸-۱ می‌باشد.

۴-۱۲-۸ تنش‌های مجاز کششی فولادهای پیش‌تنیدگی در سیستم تاندون به‌قرار زیر می‌باشد:

- (الف) در هنگام جک زدن $0.85 f_{pu}$ یا $0.94 f_{py}$ (هرکدام که کوچکترند)
 (ب) بلافاصله بعد از گیر دادن $0.7 f_{pu}$
 در سیستم دورپیچ تنش‌های مجاز فولادهای پیش‌تنیدگی برابر است با:
 (الف) بلافاصله بعد از اعمال نیرو $0.7 f_{pu}$
 (ب) بعد از کلیه اتلاف‌ها $0.55 f_{py}$

۵-۱۲-۸ سیلوها می‌توانند به‌صورت پیش‌تنیده کامل و پیش‌تنیده نسبی باشند. در پیش‌تنیدگی کامل تمام مقاومت داخلی مقطع توسط فولادهای پیش‌تنیدگی و در پیش‌تنیدگی نسبی مقاومت داخلی ترکیبی از اثر فولادهای پیش‌تنیدگی و آرماتورهای معمولی می‌باشد. در صورتی که از عمل مشترک فولاد پیش‌تنیدگی و آرماتور برای حمل نیروهای داخلی استفاده گردد، مقدار تنش در هر یک از آنها بر مبنای سازگاری هندسی کرنش در مقطع و رابطه تنش - کرنش تعیین می‌گردد.

۶-۱۲-۸ ضریب الاستیسیته فولاد پیش‌تنیدگی باید بر مبنای نتایج آزمایش و گزارش کارخانه

سازنده تعیین گردد. در غیاب اطلاعات دقیقتر می‌توان از مقادیر زیر استفاده نمود:

$$2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

آرماتور پیش‌تنیدگی

جدول ۸-۱ تنش‌های مجاز بتن در حالت بهره‌برداری بعد از وقوع کلیه اتلاف‌ها

پیش‌تنیدگی نسبی	پیش‌تنیدگی کامل	حالت تنش
$0.22 f_c$	$0.3 f_c$	فشار محوری
$0.45 f_c$	$0.45 f_c$	تنش فشاری ناشی از خمش و نیروی محوری در تارهای انتهایی
$0.5 \sqrt{f_c}$	۰	کشش محوری
$\sqrt{f_c}$	$0.5 \sqrt{f_c}$	کشش ناشی از خمش و نیروی محوری در تار انتهایی

f_c = مقاومت مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن



$1/86 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$	کابل
$2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$	مفتول

۸-۱۲-۷ آرماتورهای معمولی

۸-۱۲-۷-۱ مشخصات آرماتورهای معمولی باید منطبق بر مفاد فصل سوم باشد.

۸-۱۲-۷-۲ تنش تسلیم آرماتورها نباید کمتر از ۴۲۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع بیشتر در نظر گرفته شود.

۸-۱۲-۷-۳ ضریب الاستیسیته آرماتور معمولی باید مساوی 2×10^5 نیوتن بر میلی‌متر مربع در نظر گرفته شود.

۸-۱۲-۸ در صورتی که پوسته استوانه‌ای جدار سیلو در ارتفاعی مساوی ۱۰ برابر ضخامت جدار از بام، کف، شالوده و یا هر سطح سازه‌ای متقاطع با آن به‌طور کامل پیش‌تنیده گردد، حداقل تنش فشاری حلقوی اولیه در ارتفاعی از $0/4\sqrt{Dh}$ تا $1/1\sqrt{Dh}$ نباید از مقادیر زیر کمتر گردد:

2 N/mm^2	لبه‌های غیر مقید
1 N/mm^2	لبه‌های مقید

۸-۱۲-۹ اتلاف‌های پیش‌تنیدگی

در محاسبات تنش باید اتلافات پیش‌تنیدگی با استفاده از آیین‌نامه بتن پیش‌تنیده محاسبه شوند. اتلافات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- (الف) اتلافات آنی شامل لغزش در محل‌گیره‌ها، کوتاه شدن الاستیک، و اتلاف اصطکاکی
- (ب) اتلافات تابع زمان شامل اتلافات ناشی از خزش و جمع‌شدگی بتن، وادادگی فولاد
- (پ) اتلاف اصطکاکی در داخل غلاف

۸-۱۳ برش و خمش نوارهای قائم به علت پس‌کشیدگی

به‌علت اعمال نیروهای پس‌کشیدگی، در نوارهایی قائم جدار سیلو خمش و برش به‌وجود می‌آید. باید آرماتورهای کافی برای مقابله با این نیروها تعبیه گردد.

(الف) در صورتی که فاصله بین تاندون‌ها کمتر از π/β_p باشد، لنگر M_y و نیروی برشی V_{hy} در نوار قائم به فاصله y در بالا و یا پایین تاندون از روابط زیر به دست می‌آید:

$$M_y = (F \Psi_f) / 4 \beta_p \quad (۱-۸)$$

$$V_{hy} = -F \theta_f / 2 \quad (۲-۸)$$

که در آن:

$$F = \text{نیروی شعاعی}$$

سایر ضرایب نیز از روابط زیر یا جدول ۸-۲ به دست می‌آیند.

$$\beta_p = [12(1 - \nu^2) / (D^3 h^2)]^{0.25} \quad (۳-۸)$$

$$\Psi_f = e^{-\beta_p y} (\cos \beta_p y - \sin \beta_p y) \quad (۴-۸)$$

جدول ۸-۲ ضرایب حاصل از روابط ۸-۳، ۸-۴ و ۸-۵

$\beta_p y$	Ψ_f	θ_f	$\beta_p y$	Ψ_f	θ_f	$\beta_p y$	Ψ_f	θ_f
۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۲/۴	-۰/۱۲۸۲	-۰/۰۶۶۹	۴/۸	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۰۷
۰/۱	۰/۸۱۰۰	۰/۹۰۰۳	۲/۵	-۰/۱۱۴۹	-۰/۰۶۵۸	۴/۹	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۱۴
۰/۲	۰/۶۳۹۸	۰/۸۰۲۴	۲/۶	-۰/۱۰۱۹	-۰/۰۶۳۶	۵/۰	۰/۰۰۸۴	۰/۰۰۱۹
۰/۳	۰/۴۸۸۸	۰/۷۰۷۷	۲/۷	-۰/۰۸۹۵	-۰/۰۵۰۸	۵/۱	۰/۰۰۸۰	۰/۰۰۲۳
۰/۴	۰/۳۵۶۴	۰/۶۱۷۴	۲/۸	-۰/۰۷۷۷	-۰/۰۵۷۳	۵/۲	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۲۶
۰/۵	۰/۲۴۱۵	۰/۵۳۲۳	۲/۹	-۰/۰۶۶۶	-۰/۰۵۳۴	۵/۳	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۲۸
۰/۶	۰/۱۴۳۱	۰/۴۵۳۰	۳	-۰/۰۵۶۳	-۰/۰۴۹۳	۵/۴	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۲۹
۰/۷	۰/۰۵۹۹	۰/۳۷۹۸	۳/۱	-۰/۰۴۸۹	-۰/۰۴۵۰	۵/۵	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۲۹
۰/۸	-۰/۰۰۹۳	۰/۳۱۳۱	۳/۲	-۰/۰۳۸۳	-۰/۰۴۰۷	۵/۶	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۲۹
۰/۹	-۰/۰۶۵۷	۰/۲۵۲۷	۳/۳	-۰/۰۳۰۶	-۰/۰۳۵۲	۵/۷	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۲۶
۱/۰	-۰/۱۱۰۸	۰/۱۹۸۸	۳/۴	-۰/۰۲۳۷	-۰/۰۳۲۳	۵/۸	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۲۷
۱/۱	-۰/۱۴۸۷	۰/۱۵۱۰	۳/۵	-۰/۰۱۷۷	-۰/۰۲۸۳	۵/۹	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۲۶
۱/۲	-۰/۱۷۱۶	۰/۱۰۹۱	۳/۶	-۰/۰۱۲۴	-۰/۰۲۴۵	۶/۰	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۲۴
۱/۳	-۰/۱۸۹۷	۰/۰۷۲۹	۳/۷	-۰/۰۰۷۹	-۰/۰۲۱۰	۶/۱	۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۲۲
۱/۴	-۰/۲۰۱۱	۰/۰۴۱۹	۳/۸	-۰/۰۰۴۰	-۰/۰۱۷۷	۶/۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۲۰
۱/۵	-۰/۲۰۶۸	۰/۰۱۵۸	۳/۹	-۰/۰۰۰۸	-۰/۰۱۴۷	۶/۳	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱۸
۱/۶	-۰/۲۰۷۷	-۰/۰۰۵۹	۴/۰	۰/۰۰۱۹	-۰/۰۱۲۰	۶/۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۷
۱/۷	-۰/۲۰۴۷	-۰/۰۲۳۵	۴/۱	۰/۰۰۴۰	-۰/۰۰۹۵	۶/۵	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۱۵
۱/۸	-۰/۱۹۳۵	-۰/۰۳۷۶	۴/۲	-۰/۰۰۵۷	-۰/۰۰۷۴	۶/۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۳
۱/۹	-۰/۱۸۹۹	-۰/۰۴۸۴	۴/۳	۰/۰۰۷۰	-۰/۰۰۵۴	۶/۷	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۱۱
۲/۰	-۰/۱۷۹۴	-۰/۰۵۶۳	۴/۴	۰/۰۰۷۹	-۰/۰۰۳۸	۶/۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۰
۲/۱	-۰/۱۶۷۵	-۰/۰۶۱۸	۴/۵	۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۲۳	۶/۹	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۸
۲/۲	-۰/۱۵۴۸	-۰/۰۶۵۲	۴/۶	۰/۰۰۰۹	-۰/۰۰۱۱	۷/۰	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۷



$$\theta_i = e^{-\beta y} (\cos \beta y) \quad (5-8)$$

(ب) در صورتی که فاصله بین تاندون‌ها بیش از $2\pi/\beta_p$ باشد، تاندون‌های مجاور تأثیر در برش و لنگر تاندون مورد نظر ندارند. در این حالت حداکثر لنگر و برش در نوار قائم برابر خواهد شد.

$$M_{\max} = F/\gamma \beta_p \quad (6-8)$$

$$V_{\max} = F/\gamma \quad (7-8)$$

۸-۱۴ رواداری‌ها

۸-۱۴-۱ رواداری نصب غلاف‌ها در نقاط تکیه‌گاهی نسبت به وضعیت نشان داده شده در نقشه در امتداد افق و قائم، ۲۵ میلی‌متر می‌باشد.

۸-۱۴-۲ میزان افتادگی غلاف بین دو نقطه تکیه‌گاهی نباید از ۱۳ میلی‌متر بزرگتر باشد.



ضوابط نگهداری سیلوهای غلات

۹-۱ معرفی

در حین نگهداری دانه‌های غلات در سیلوها حوادث مختلفی می‌تواند به وجود آید که باعث از بین رفتن دانه‌ها و یا حوادث ناگوار برای سازه گردد. تجارب ناگواری از این قبیل حوادث در سیلوهای موجود در کشور و در دنیا به ثبت رسیده است. در چند سال اخیر حادثه انفجار سیلوی ترازیتی بندر امام خمینی از نمونه این موارد می‌باشد که علاوه بر ضایعات اقتصادی، تلفات انسانی نیز در بر داشت. متأسفانه با وجود اتفاقات ناگوار، آیین‌نامه مشخصی برای بهره‌برداری از سیلوها وجود ندارد و در این فصل سعی می‌شود براساس جمع‌آوری اطلاعات قدیمی و تجربیات کارشناسان، رهنمودهایی ارائه گردد.

۹-۲ عوامل خطر ساز در سیلو

عوامل خطر ساز در سیلوها را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- ۱- آفات انبارداری
- ۲- حمله حشرات (به خصوص موربانه)
- ۳- ازدیاد دما
- ۴- سکون هوا
- ۵- افزایش رطوبت
- ۶- تشکیل لایه‌های پودر و پوسته
- ۷- عوامل جرقه‌زا (مثل جرقه حاصل از وسایل الکتریکی)
- ۸- خرابکاری



۹-۳ آفات انبارداری

دانه‌های ذخیره‌شده در سیلو از نظر غذایی بسیار غنی می‌باشند، لذا باید انتظار حمله میکروارگانیسم‌ها را به آنها داشت. میکروارگانیسم‌ها در صورت وجود حرارت و رطوبت مناسب می‌توانند باعث فساد دانه‌های غلات گردند. مثلاً گندم در دمای زیاد می‌تواند فاسد گردد. گندم سالم می‌تواند مورد استفاده خوراک انسان باشد. در فساد کم می‌تواند به مصرف تغذیه دام و در فساد متوسط مورد مصرف تغذیه ماهی‌ها و در فساد زیاد غیرقابل مصرف گردد. گندم غیرقابل مصرف باید آتش زده شود. گندم فاسد می‌تواند موجب مشکلات طولانی مدت در انسان گردد.

برای جلوگیری از وضع فوق، کندوها باید دارای حرارت‌سنج باشند و حرارت کندوها از طریق اتاق فرمان کنترل گردد. در مواقع حساس دانه‌ها را باید درون کندوها هوادهی کرد، و یا آنها را در روی تسمه نقاله‌ها گرداند.

برای گندزدایی دانه‌ها، معمولاً یک کنندری ضد عفونی در نظر گرفته می‌شود که دانه‌های مشکوک را در داخل آن به مدت ۲۴ ساعت تحت گاز ضد عفونی‌کننده قرار داده و بعد از آن تحت آزمایش قرار می‌دهند. در صورت وجود آلودگی، مجدداً گاز ضد عفونی‌کننده به داخل کندو دمیده می‌شود.

برای ضد عفونی کردن می‌توان از قرص‌های ضد عفونی‌کننده (مثل فوستوکسین) و دستگاه قرص‌گذار استفاده نمود.

سطوح داخلی سیلوها باید کاملاً صاف و صیقلی بوده و کاملاً تمیز نگه داشته شود تا از وجود فضاهای ریز برای تکثیر میکروب‌ها جلوگیری شود.

۹-۴ حمله حشرات

در صورت حمله حشرات موزی مثل موربانه، کل محتویات سیلو در معرض نابودی قرار می‌گیرد، لذا باید محوطه سیلو از فضای اطراف کاملاً قرنطینه گردد. غالباً حتی بین فضای سبز محوطه سیلو و کندوها عمداً فاصله‌ای در نظر گرفته شده و این فاصله کاملاً توسط آسفالت و یا بتن روکش می‌گردد تا امکان زاد و ولد حشرات و انتقال آن به کندوها گرفته شود.

۹-۵ دما

دمای داخل کندوها باید از نظر جلوگیری از دمای مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها و همچنین

ایجاد پتانسیل مناسب برای وقوع انفجار، کنترل گردد. در صورت افزایش دما، باید از طریق دمیدن هوا و هوادهی، دمای داخل کندو به مقدار مناسب کاهش داده شود.

۹-۶ سکون هوا

سکون هوا در داخل کندو می تواند پتانسیل لازم را برای رشد میکروارگانیسم ها و همچنین گازهای قابل اشتعال حاصل از تخمیر دانه ها به وجود آورد. لذا هوای درون کندوها باید به طور مناسب تحت چرخش قرار گیرد.

۹-۷ افزایش رطوبت

علاوه بر کنترل دما، رطوبت داخل کندوها نیز می تواند باعث تکثیر میکروارگانیسم ها و یا تخمیر دانه ها گردد. چرخش هوای داخل کندو، عامل بسیار مهم در کاهش خطرات ناشی از افزایش رطوبت می باشد.

۹-۸ تشکیل لایه های پودر و پوسته

در اثر حرکت دانه ها در روی تسمه نقاله های انتقال، ایجاد پودر و پوسته در فضای سیلوها می شود که بعد از مدتی در روی سطوح موجود رسوب می نمایند. پودر و پوسته قابلیت اشتعال زیادی دارند. با افزایش ضخامت لایه پودر و پوسته در روی سطوح، انبار باروتی درون سیلو به وجود می آید که یک جرقه کوچک می تواند آن را به آتش بکشد. لذا لازم است به طور مرتب سطوح به منظور جلوگیری از تشکیل لایه های پودر و پوسته، گردگیری شوند.

۹-۹ عوامل جرقه زای

تمام کابل ها و روشنایی مورد استفاده در داخل سیلو باید از نوع ضد انفجار باشند تا ایجاد جرقه ننمایند.

از هر نوع جوشکاری در فضای داخل سیلو باید اجتناب گردد. و در صورت لزوم جوشکاری باید با احتیاطات کامل ایمنی انجام شود.



۹-۱۰ خرابکاری

با توجه به استراتژیک بودن سیلوها، سیستم امنیتی مناسب در نگهداری سیلوها باید به کار گرفته شود. خرابکاری در سیلو هم می‌تواند به صورت میکروبی و شیمیایی و هم به صورت انفجار انجام شود که با حفظ تدابیر امنیتی باید با آن مقابله شود. علاوه بر جلوگیری از دخول و نفوذ افراد و عناصر مشکوک، هرگونه ذخیره‌سازی باید بعد از انجام آزمایشات لازم روی مواد صورت پذیرد.



مثال طراحی سیلو به عنوان راهنمای استفاده از آیین نامه

معرفی

به منظور نشان دادن اصول معرفی شده در این آیین نامه، یک مثال طراحی با استفاده از روابط و روش های نشان داده شده در فصول مختلف ارایه و حل می گردد.

مطلوب است طراحی یک سیلو با هندسه نشان داده شده در اشکال ۱۰-۱ و ۱۰-۲. مشخصات مصالح ذخیره شده در این سیلو به شرح زیر می باشد:

$$\gamma = 16/5 \text{ kN/m}^3 \text{ وزن مخصوص}$$

$$\rho = 35^\circ \text{ و } \mu' = 0/4$$

مشخصات بتن و فولاد مصرفی به شرح زیر می باشد:

$$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y = 400 \text{ N/mm}^2$$

حل:

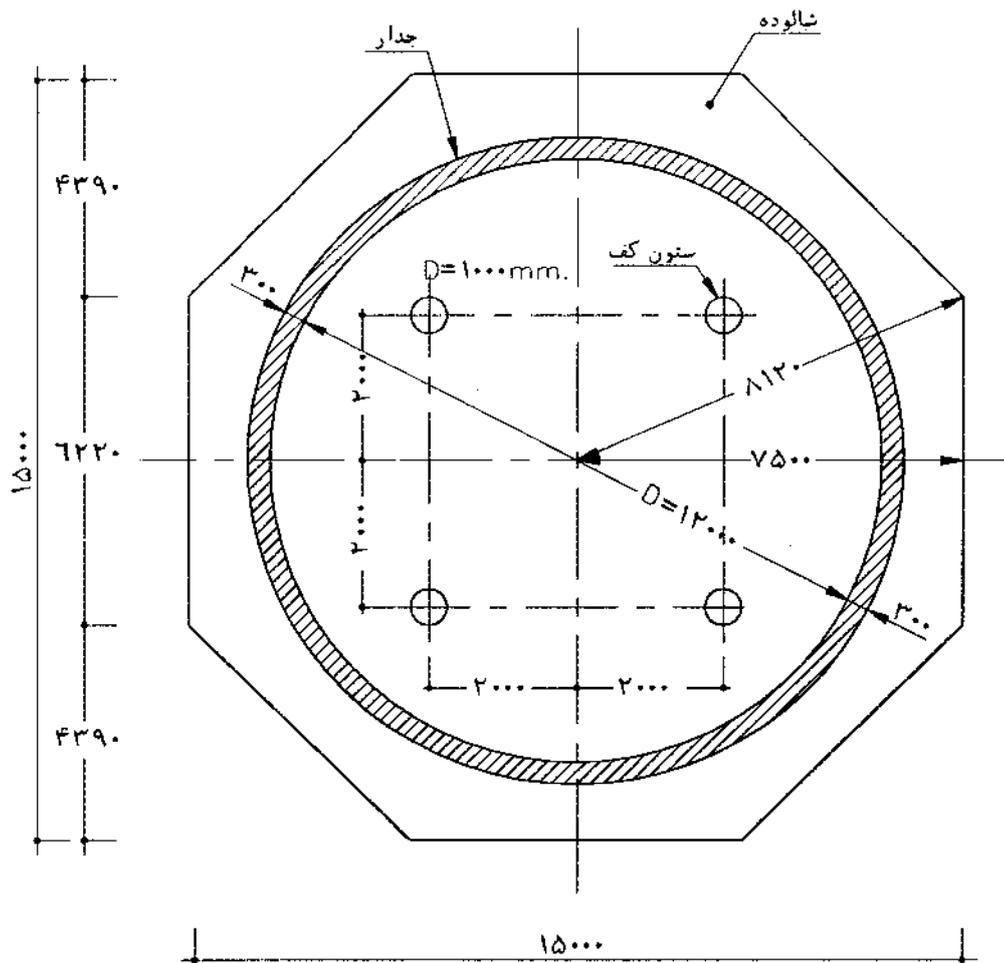
محاسبه فشارهای داخلی با استفاده از رابطه جنسن

$$q = \frac{\gamma R}{\mu' K} [1 - e^{-\mu' Ky/R}]$$

که در رابطه فوق:

q = فشار قائم در عمق y (y از مرکز هندسی مخروط ریزشی بالای سیلو اندازه گیری می شود).





(تمام ابعاد به میلی‌متر)

شکل ۱۰-۲ مقطع افقی سیلو.

- γ = وزن مخصوص مصالح ذخیره‌شده ($16/5 \text{ kN/m}^3$)
- R = شعاع هیدرولیکی سیلو (برای سیلوهای دایروی $R = D/4$)
- D = قطر داخلی سیلو
- μ' = ضریب اصطکاک مصالح ذخیره‌شده با جدار سیلو ($\mu' = 0/4$)
- K = ضریب فشار اکتیو طبق رابطه زیر:



$$K = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho}$$

ρ = زاویه اصطکاک داخلی مصالح (35°)
فشار افقی نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$p = Kq$$

تعیین ضرایب لازم:

$$R = D/\phi = 12/4 = 3 \text{ m}$$

$$K = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} = \frac{1 - \sin 35}{1 + \sin 35} = 0.271$$

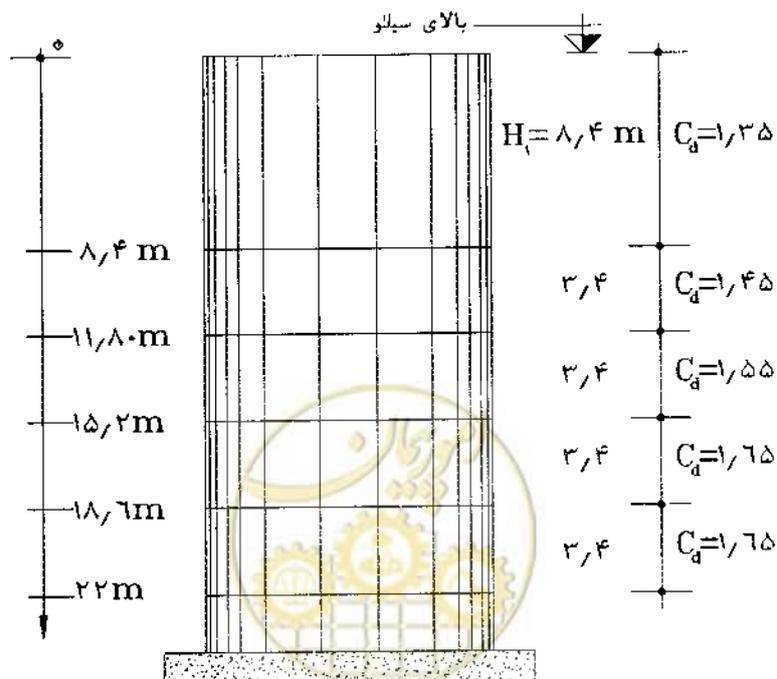
تعیین ضریب افزایش فشار در حالت پر و خالی شدن طبق جدول ۴-۴

$$H_1 = D \tan \phi = 12 \tan(35) = 8.40 \text{ m}$$

$$H/D = 22/12 = 1.83 \leq 2$$

$$(H - H_1)/\phi = (22 - 8.40)/4 = 3.4$$

با مراجعه به جدول (۴-۴) ضریب اضافه فشار C_d به صورت زیر تعیین می‌شود (برای $H/D \leq 2$)



با توجه به معلومات موجود، رابطه جنسن را مرتب کرده و فشار را در ترازهای مختلف محاسبه می نمایم:

$$q = \frac{1/65 \times 3}{0/4 \times 0/271} [1 - e^{-0/4 \times 0/271 y/3}] = 45/66 [1 - e^{-0/261 y}]$$

$$p = 0/271 q \quad V = (y y - 0/8 q) R = 3(1/65 y - 0/8 q)$$

نتایج فشار در فواصل ۲ متر مطابق جدول ۱۰ - ۱ تنظیم می گردد:

$$y = y' - 2/8$$

طراحی میلگردهای حلقوی

با داشتن فشار، مقادیر فولادهای حلقوی را می توان محاسبه نمود:

$$A_s = \frac{T_u}{\phi f_y}$$

$$T_u = 1/5 P_{des} \frac{D}{\gamma} = 1/5 P_{des} \frac{12/30}{\gamma} = 9/23 P_{des} \text{ (D = قطر میانگین)}$$

$\phi = 0/95 \times 0/85 = 0/808$ (برای بتن ریزی از قالب لغزنده استفاده می شود)

$$A_s = \frac{9/23 \times 10^3}{0/808 \times 400} = 28/6 P_{des}$$

جدول ۱۰ - ۱ مقادیر فشارهای جانبی و قائم

ارتفاع (y)	$y = y' - 2/8$	q	$P = Kq$	V	C_d	$q_{des} = C_d q$	$p_{des} = C_d p$	$V_{des} = C_d V$
m	m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m	-	kN/m ²	kN/m ²	kN/m
0	-	0	0	0	1/25	0	0	0
2	-	0	0	0	1/25	0	0	0
4	1/2	19/4	5/3	12/8	1/25	26/2	7/1	17/3
6	3/2	49/8	13/5	38/9	1/25	67/2	18/2	52/5
8	5/2	78/1	21/2	70/0	1/25	105/4	28/6	94/5
10	7/2	104/5	28/3	105/6	1/25	151/5	41/1	153/1
12	9/2	129/0	35/0	145/8	1/55	200/0	54/2	226/0
14	11/2	151/9	41/2	189/8	1/55	235/4	63/8	294/2
16	13/2	173/1	46/9	238/0	1/65	285/6	77/4	392/7
18	15/2	192/8	52/2	289/7	1/65	318/1	86/2	478/0
20	17/2	211/2	57/2	344/5	1/65	348/5	94/4	568/4
22	19/2	228/3	61/9	402/5	1/65	376/7	102/1	662/1



با داشتن P_{des} طبق جدول ۱۰ - ۱، مقادیر فولادهای حلقوی به صورت جدول ۱۰ - ۲ قابل محاسبه است.

انتخاب ضخامت پوسته

در انتخاب اول، ضخامت پوسته ۳۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود. برای کنترل این انتخاب، سه معیار زیر به کار گرفته می‌شود.

الف - معیار کنترل تنش کششی در بتن

$$t_{min} = \frac{pD}{\gamma} \frac{mE_s + f_s - n f_{ct}}{f_s f_{ct}}$$

$m = 0.0003$ (ضریب جمع شدگی)

$f_{ct} = 0.1 f_c = 0.1 \times 25 = 2.5 \text{ N/mm}^2$

$f_s = 0.4 \sim 0.5 f_y \# 200 \text{ N/mm}^2$

جدول ۱۰ - ۲ مقادیر فولادهای حلقوی به علت فشار جانبی مواد

y' (m)	P_{des} (kN/m ²)	A_s (mm ² /m)	A_s انتخابی (در دو طرف)	$y \leftarrow$
۰	۰	۰	$\Phi 14a1200$ (۱۵۳۰)	۰
۲	۰	۰	$\Phi 16a1200$ (۲۰۰۰)	۳
۴	۷/۱	۲۰۳	$\Phi 18a1200$ (۲۵۴۰)	۶
۶	۱۸/۲	۵۲۰	$\Phi 18a1200$ (۲۵۴۰)	۹
۸	۲۸/۶	۸۱۸	$\Phi 20a1200$ (۳۱۴۰)	۱۲
۱۰	۴۱/۱	۱۱۷۵	$\Phi 22a1200$ (۳۸۰۰)	۱۵
۱۲	۵۴/۲	۱۵۵۰	$\Phi 22a1200$ (۳۸۰۰)	۱۸
۱۴	۶۳/۸	۱۸۲۵	$\Phi 24a1200$ (۴۵۲۲)	۲۲
۱۶	۷۷/۲	۲۲۱۴		
۱۸	۸۶/۲	۲۴۶۵		
۲۰	۹۲/۴	۲۷۰۰		
۲۲	۱۰۲/۱	۲۹۲۰		

$$n = 2 \times 10^5 / (5000 \sqrt{25}) = 8$$

$$p = \text{جدول ۱۰-۱} = 61/9 \text{ kN/m}^2 = \text{فشار جانبی در حالت استاتیک (بدون اعمال ضریب ازدیاد فشار)}$$

$$l_{\min} = \frac{61/9 \times 10^{-3} \times 12300}{2} \times \frac{0/0003 \times 2 \times 10^5 + 200 - 8 \times 2/5}{200 \times 2/5} = 182 \text{ mm}$$

ب - معیار کنترل تنش فشاری در پای دیوار

در تعیین تنش فشاری در پای دیوار، فرض می‌نماییم که فقط فشار قائم ناشی از اصطکاک جدار، بر دیوار اثر نماید و وزن مصالح باقیمانده، به کف انتقال یافته و از آنجا توسط ستون‌ها به فونداسیون منتقل شود.

$$\text{وزن یک متر عرض دیوار} = 26/5 \times 0/3 \times 25 = 198/8 \text{ kN/m}$$

$$\text{واکنش بام} = 10 \text{ kN/m}$$

$$V_{\text{des}} = 1/65 (\gamma\gamma - 0/8q) R \quad (R = \text{شعاع هیدرولیکی})$$

$$= 1/65 (16/5 \times 19/2 - 0/8 \times 228/3) 3 = 664/1 \text{ kN}$$

$$F_{u,\text{vert}} = 1/25 \times 198/8 + 1/5 (10 + 664/1) = 1260 \text{ kN}$$

اگر فرض نماییم که در پای دیوار ۵۰ درصد باز شو داشته باشیم، تنش قائم ناشی از نیروی فوق

برابر است با: (توجه شود که در ناحیه زیر دال کف، ضخامت جدار ۴۰۰ میلی متر است.)

$$f_{c,\text{ver}} = \frac{1260 \times 10^3}{0/5 \times 10000 \times 400} = 6/30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_c = 0/55 \phi_c f_c \left[1 - \left(\frac{H_0}{401} \right)^2 - \left(\frac{D}{1201} \right)^2 \right]$$

(ناحیه تحتانی با قالب بندی بتن ریزی می‌شود) $\phi_c = 0/6$

$$f_c = 0/55 \times 0/6 f_c \left[1 - \left(\frac{3900}{40 \times 400} \right)^2 - \left(\frac{12000}{120 \times 400} \right)^2 \right]$$

$$f_c = 0/55 \times 0/6 \times 0/92 f_c = 0/304 f_c$$

$$f_c = 0/304 \times 25 = 7/6 > 6/30 \text{ N/mm}^2 \text{ خوبست}$$

ب - معیار کنترل عرض ترک

$$W_{\text{cr}} = W_1 - W_T + W_T \quad (\text{عرض ترک})$$

که در رابطه فوق:

$$W_1 = \text{عرض ترک به علت تأثیر کوتاه مدت فشار جانبی } p_{\text{des}} \text{ (شامل اثر ضریب افزایش فشار)}$$



$W_1 = W_2$ = عرض ترک به علت تأثیر کوتاه‌مدت، فشار استاتیکی p
 $W_2 = W_3$ = عرض ترک به علت تأثیر بلندمدت فشار استاتیکی p
 در واقع $W_1 - W_2$ عرض ترک به علت تأثیر کوتاه‌مدت اضافه‌فشار می‌باشد.

$$W_1 = \psi_1 \frac{A\beta}{\Sigma_0} \frac{f_{s,tot}}{E_s} \quad \psi_1 = 1 - 0.7 \frac{0.8 A f_t}{f_{tot}} \geq 0.3$$

$$W_2 = \psi_2 \frac{A\beta}{\Sigma_0} \frac{f_{s,st}}{E_s} \quad \psi_2 = 1 - 0.7 \frac{0.8 A f_t}{f_{st}} \geq 0.3$$

$$W_3 = \psi_3 \frac{A\beta}{\Sigma_0} \frac{f_{s,st}}{E_s} \quad \psi_3 = 1 - 0.35 \frac{0.8 A f_t}{f_{st}} \geq 0.65$$

$0.7 = \beta$ برای میلگرد آجدار و ۱ برای میلگرد ساده

A = سطح مقطع دیوار برای ارتفاع واحد

st = اندیس برای نشان دادن حالت استاتیک (بدون ضریب افزایش فشار)

tot = اندیس برای نشان دادن فشار استاتیک به علاوه اضافه‌فشار

$f_t = 0.35 \sqrt{f_c}$ = مقاومت کششی بتن

Σ_0 = مجموع محیط میلگردهای حلقوی در واحد ارتفاع دیوار

f_s = تنش فولاد

$$F_{tot} = p_{des} \frac{D}{\gamma} = 102/1 \times \frac{12/30}{\gamma} = 427/9 \text{ kN}$$

$$F_{st} = p \frac{D}{\gamma} = 61/9 \times \frac{12/30}{\gamma} = 380/7 \text{ kN}$$

میلگردهای حلقوی در پایین دولا به $\Phi 24a120$ می‌باشد، داریم: (جدول ۱۰ - ۲)

$$\Sigma_0 = (\pi \times 24) \times 10 = 754 \text{ mm}^2$$

$$f_t = 0.35 \sqrt{f_c} = 1/75 \text{ N/mm}^2 \text{ و } A_s = 1000 \times 300 = 3 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$\psi_1 = 1 - 0.7 \times \frac{0.8 \times 3 \times 10^5 \times 1/75}{627/9 \times 1000} = 0.53 \rightarrow \psi_1 = 0.53$$

$$\psi_2 = 1 - 0.7 \times \frac{0.8 \times 3 \times 10^5 \times 1/75}{380/7 \times 1000} = 0.23 \rightarrow \psi_2 = 0.3$$

$$\psi_3 = 1 - 0.35 \times \frac{0.8 \times 3 \times 10^5 \times 1/75}{380/7 \times 1000} = 0.61 \rightarrow \psi_3 = 0.61$$

$$A_s = 2 \times \Phi 24 \times 2000 = 10 \times 3/14 \times \frac{24^2}{4} = 4522 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$f_{s,tot} = 627/9 \times \frac{1000}{4522} = 138/9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{s,st} = 380/7 \times \frac{1000}{4522} = 84/2 \text{ N/mm}^2$$

$$A\beta/\Sigma_0 = 3 \times 10^5 \times \frac{0/7}{754} = 278/5 \text{ mm}$$

$$W_1 = 0/53 \times 278/5 \times \frac{138/9}{(2 \times 10^5)} = 0/11 \text{ mm}$$

$$W_2 = 0/3 \times 278/5 \times \frac{84/2}{(2 \times 10^5)} = 0/04 \text{ mm}$$

$$W_3 = 0/61 \times 278/5 \times \frac{84/2}{(2 \times 10^5)} = 0/07 \text{ mm}$$

$$W = 0/11 - 0/04 + 0/07 = 0/14 < 0/2 \text{ mm} \quad \text{خوبست}$$

از لحاظ ترک پس ضخامت ۳۰۰ میلی‌متر برای جداره رضایت‌بخش است.

محاسبات نیروی زلزله

محاسبه وزن مرده سیلو

$$W_g = 25 \left[\pi \times 12/30 \times 26/5 \times 0/3 + \pi \times \frac{12^2}{4} \times 0/6 + 4 \times \frac{\pi \times 1^2}{4} \times 3/90 \right]$$

$$W = 25 \times (307/20 + 67/86 + 12/25) = 9682 \text{ kN}$$

(در محاسبه وزن جدار، فرض شده است که افزایش ضخامت جدار در زیر تراز کف، با اثر کاهش بازشوها خنثی می‌شود).

وزن مصالح ذخیره‌شده

$$W = 35822 \text{ kN} \quad (\text{با توجه به شکل ۱۰ - ۱})$$

محاسبات نیروی زلزله طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران



$$T = 1/\sqrt{g h^3} \sqrt{\frac{q}{EI}}$$

$$I = \pi R_{av}^4 = \pi \times 6150^4 \times 300 = 2/19 \times 10^{14}$$

$$g = 9810 \text{ mm/sec}^2$$

$$E = 2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$q = \pi \times 6^2 \times 1 \times 16/5 + \pi \times 12/30 \times 0/3 \times 25 = 2156 \text{ kN/m} = 2156 \text{ N/mm}$$

$$h = 26/5 \text{ m} = 26500 \text{ mm}$$

$$T = 1/\sqrt{9810 \times 26500^3} \sqrt{\frac{2156}{9810 \times 2 \times 10^4 \times 2/19 \times 10^{14}}} = 0/28 \text{ sec}$$

$$0/6 < B = 2/5 \left(\frac{T_0}{T} \right)^{2/3} < 2$$

$$T_0 = 0/4 \text{ sec (زمین نوع ۱)}$$

$$B = 2/5 \left(\frac{0/4}{0/28} \right)^{2/3} = 3/17 > 2/5$$

$$R = 5$$

$$A = 0/35$$

$$C = \frac{0/35 \times 2/5 \times 1}{5} = 0/175$$

$$C_{min} = 0/35 \times 0/5 = 0/175$$

$$V = CW = 0/175 W$$

W = وزن مرده + ۱۰۰ درصد وزن مصالح

$$V = 0/175(9682 + 35822) = 7963 \text{ kN}$$

اگر نیروی برشی فوق به‌طور مثلی در ارتفاع تیر توزیع شود، به‌دست می‌آید:

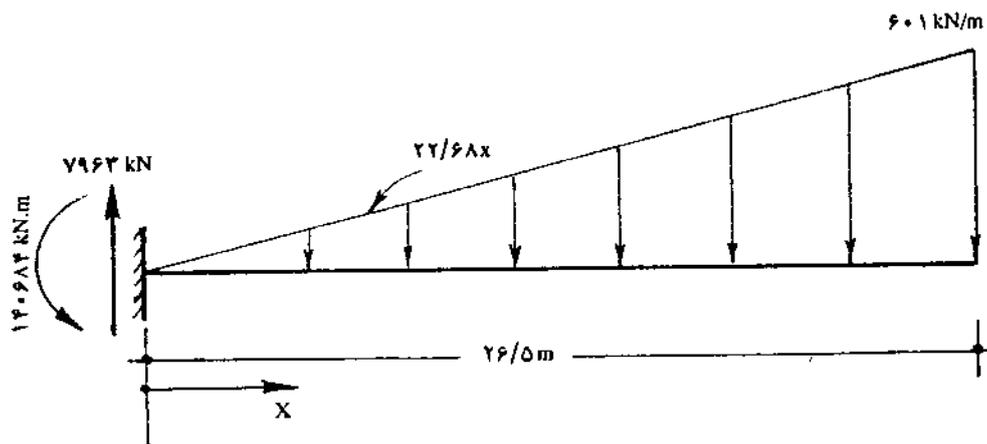
$$\frac{1}{2} P_{max} \times 26/5 = 7963$$

$$P_{max} = 601 \text{ kN/m (شکل ۱۰-۳)}$$

در مقطعی به‌فاصله x از پای سیلو داریم (شکل ۱۰-۴):

$$V = 7963 - \frac{22/68 x^2}{2} = 7963 - 11/34 x^2$$

$$\Sigma M_0 = 0$$



شکل ۱۰-۳

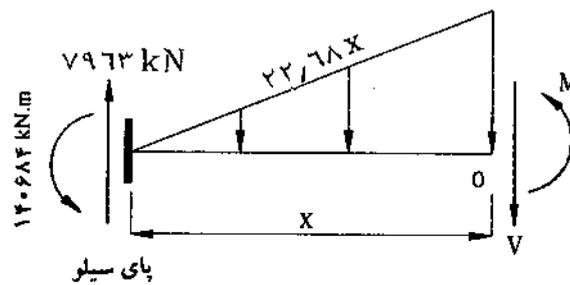
$$140684 - 7963x + 22/68 \frac{x^2}{2} + M = 0$$

$$M = -3/78x^2 + 7963x - 140684$$

مقادیر V و M در فواصل ۲ متری طبق جدول زیر محاسبه می‌شود:

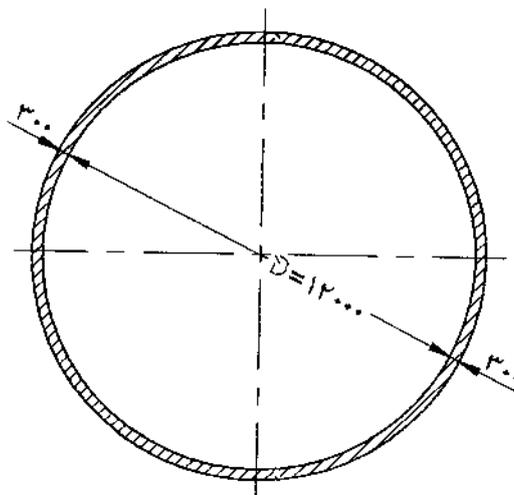
y' m	x از پایین m	$V = 7963 - 11/32x^2$ kN	$M = -3/78x^2 + 7963x - 140684$ kN.m
۰	۲۶/۵	۰	۰
۲	۲۴/۵	۱۱۵۶	-۱۱۸۰
۴	۲۲/۵	۲۲۲۲	-۴۵۷۳
۶	۲۰/۵	۳۱۹۷	-۱۰۰۰۸
۸	۱۸/۵	۴۰۸۲	-۱۷۳۰۲
۱۰	۱۶/۵	۴۸۷۶	-۲۶۲۷۵
۱۲	۱۴/۵	۵۵۷۹	-۳۶۷۴۴
۱۴	۱۲/۵	۶۱۹۱	-۴۸۵۲۹
۱۶	۱۰/۵	۶۷۱۳	-۶۱۴۴۸
۱۸	۸/۵	۷۱۴۴	-۷۵۳۲۰
۲۰	۶/۵	۷۴۸۴	-۸۹۹۶۳
۲۲	۴/۵	۷۷۳۳	-۱۰۵۱۹۵
۲۴	۲/۵	۷۸۹۲	-۱۰۲۸۳۶
۲۶/۵	۰	۷۹۶۳	-۱۴۰۶۸۴





شکل ۴-۱۰

طراحی میلگردهای قائم برای خمش و برش ناشی از نیروهای زلزله - ناحیه بالای دال بتنی ($0 < y' < 22$) در این ناحیه در جدار سیلو هیچ‌گونه بازشو و جبرد ندارد و سازه همانند یک مقطع دایره توخالی در مقابل فشار محوری و لنگر خمشی و نیروی برشی مقاومت می‌نماید.



شکل ۵-۱۰

$$D_{av} = 12/30 \text{ m}$$

$$A_c = \pi \times 12300 \times 300 = 11592477 \text{ mm}^2$$

طراحی میلگرد قائم در تراز $y' = 22 \text{ m}$

$$V = 7733 \text{ kN} \text{ (بدون ضریب)}$$

$$M = 105195 \text{ kN.m} \text{ (بدون ضریب)}$$

$$P = \pi \times 12/30 \times 0.30 \times 25 \times 22 = 6376 \text{ kN} \text{ (بدون ضریب)}$$

توجه شود که در محاسبه p اثر نیروی محوری ناشی از اصطکاک جدار در نظر گرفته نشده است، چون در این حالت فرض می شود که به علت ارتعاشات زلزله، کلیه وزن ذرات به کف سیلو منتقل می شود.

در ترکیباتی که در آنها نیروی زلزله وجود دارد، می توان تنش های مجاز را در $1/33$ ضرب نمود و یا نیروها را در ضریب 0.75 ضرب کرد، که در اینجا عمل دوم را انجام می دهیم:

$$V = 0.75 \times 6376 = 4782 \text{ kN}$$

$$P = 0.75 \times 6376 = 4782 \text{ kN}$$

$$M = 0.75 \times 105195 = 78896 \text{ kN}$$

$$2\Phi 18a1300, A_s = 2 \times 848 = 1696 \text{ (فرض اول به عنوان میلگرد قائم)}$$

$$\rho = \frac{1696}{(1000 \times 300)} = 0.0056 = 0.56\% \text{ درصد فولاد}$$

$$e = M/P = \frac{78896}{4782} = 16.5 \text{ m}$$

$$e/D = \frac{16.5}{12/30} \cong 1/33$$

با استفاده از نمودار شکل ۵ - ۲۰ داریم:

$$\frac{P}{D t f_c} = 0.32, n = 0.25$$

$$f_c = \frac{4782000}{12300 \times 300 \times 0.32} = 4 < 0.45 \times 25 = 11.25 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 0.25 \rightarrow \frac{f_s}{m} = 3 f_c$$

$$f_s = 15(3 \times 4) = 180 < 200 \text{ خوبست}$$

پس در تراز $y' = 22 \text{ m}$ میلگرد قائم دولا به $\Phi 18a1300$ رضایت بخش است.

کنترل برش متوسط:

$$A = \pi(6300^2 - 6000^2) = 1/16 \times 10^7 \text{ mm}^2$$

$$v \text{ متوسط} = \frac{5800 \times 10^3}{1/16 \times 10^7} = 0.5$$



$$v_c = 0.1\sqrt{f_c} = 0.1\sqrt{35} = 0.59 \text{ N/mm}^2$$

برش رضایت بخش است.

خمش پوسته

به علت شتاب حاصل از زلزله، حلقه‌ای به ارتفاع واحد از جدار سیلو، تحت نیروهای افقی ناشی از وزن خود و مصالح تحت خمش قرار می‌گیرد. در محاسبات، این نیروی جانبی باید به یک روش منطقی تخمین زده شده و براساس آن نیروهای داخلی حلقه محاسبه شود. سپس این نیروهای داخلی با نیروهای داخلی حالت استاتیک ترکیب شده و میلگردهای حلقوی برای آنها کنترل گردد. روابط شکل ۵-۲ در این زمینه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

کنترل برای خمش و برش به علت نیروهای زلزله (ناحیه زیر دال بتنی $(22 < y' < 26/5)$) مقطع این ناحیه مطابق شکل ۱۰-۶ می‌باشد.

اگر نیروی زلزله در امتداد نشان داده شده تأثیر نماید، لنگر خمشی به صورت یک کوپل توسط دیوارهای A و B گرفته می‌شود و نیروهای برشی توسط دیوارهای C و D مقابله می‌شود.

محاسبه نیروهای وارد بر مقطع:

$$\text{وزن جدار} = \pi(6/30^2 - 6^2) \times 23/6 \times 25 = 6840 \text{ kN}$$

$$(50\% \text{ درصد باقی به ستون‌ها می‌رسد}) = \pi \times 6^2 \times 0.6 \times 25 \times 0.5 = 848$$

$$\text{وزن پایه‌ها} = \pi \times (6/30^2 - 5/9^2) \times (3/9 - 0.5 \times 3) \times 25 = 920 \text{ kN}$$

$$\text{وزن مرده کل} = 8608 \text{ kN}$$

$$50\% \text{ درصد وزن مصالح} = 0.5 \times 8608 = 4304 \text{ kN}$$

(50 درصد باقی به ستون‌ها می‌رسد)

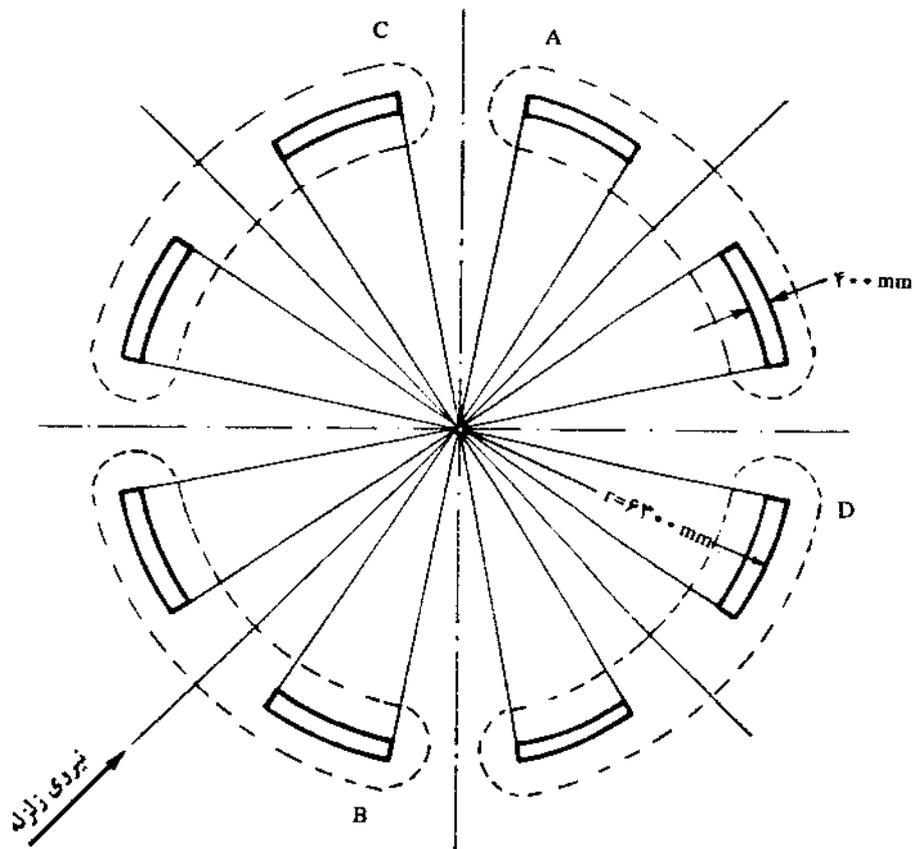
$$P_u = D + 1/2L = 8608 + 1/2 \times 4304 = 11512 \text{ kN}$$

$$V_u = 1/2 \times 4304 = 2152 \text{ kN}$$

$$M_u = 1/2 \times 11512 = 5756 \text{ kN.m}$$

$$\text{نیروی کششی هر دیوار B} = \left(\frac{5756}{12} - \frac{2152}{4} \right) \times 0.5 = 3272 \text{ kN}$$

$$\text{نیروی فشاری هر دیوار A} = \left(-\frac{5756}{12} - \frac{2152}{4} \right) \times 0.5 = -10797 \text{ kN}$$



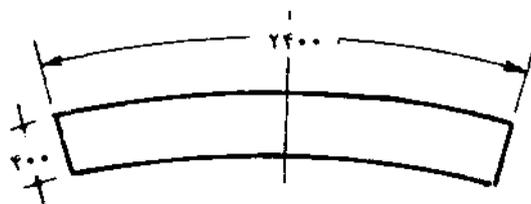
شکل ۶-۱۰

طراحی برای کشش:

$$A_s = \frac{T_u}{\phi F_y} = \frac{3272 \times 10^3}{0.85 \times 400} = 9624 \text{ mm}^2$$

طراحی برای فشار:

$$r = 0.3 \times 4000 = 120 \text{ mm}$$



شکل ۷-۱۰



$$kL/r = 1 \times \frac{3000}{120} = 25 < 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$$

نیازی به در نظر گرفتن اثر لاغری نیست.

$$P_u = 0.8 [0.85 \phi_c f_c A_g + A_s (\phi_s f_y - 0.85 \phi_c f_c)]$$

$$10797 \times 10^3 = 0.8 [0.85 \times 0.6 \times 25 \times 4000 \times 24000 +$$

$$+ A_s (0.85 \times 4000 - 0.85 \times 0.6 \times 25)]$$

$$A_s = 3838 \text{ mm}^2$$

پس نیروی کششی حاکم است.

$$\text{لازم } A_s = 9624$$

$$24 \text{ تعداد میلگرد} = \frac{9624}{402} = 21/29$$

از ۲۸ میلگرد ۲۴ استفاده می‌شود.

کنترل برای برش:

$$V_u = 9555 \text{ kN}$$

$$\text{نیروی برشی هر قطعه} = \frac{9555}{4} = 2389 \text{ kN}$$

$$b = 400 \quad d \approx 2200 \text{ mm}$$

$$v_u = \frac{2389 \times 10^3}{(400 \times 2200)} = 2.72 \text{ N/mm}^2$$

$$v_c = 0.2 \phi_c \sqrt{f_c} = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{25} = 0.6$$

$$v_s = 2.72 - 0.6 = 2.12 \text{ N/mm}^2$$

$$V_s = 2.12 \times 400 \times 2200 \times 10^{-3} = 1866 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{1866 \times 10^3}{0.85 \times 400 \times 2200} = 2.5$$

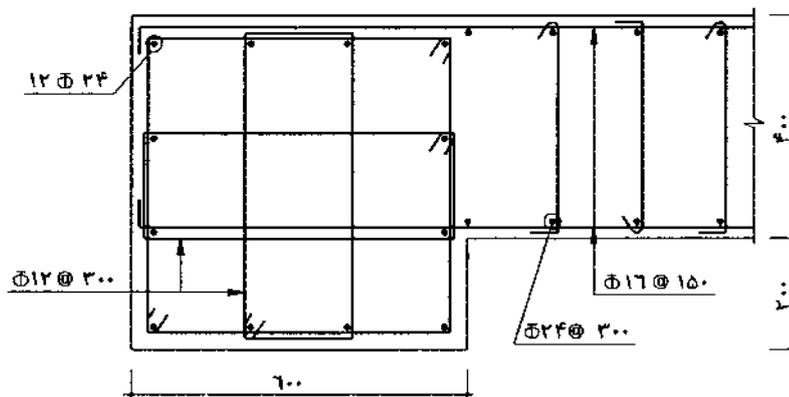
اگر از $\Phi 16$ استفاده شود.

$$A_v = 2 \times 200 = 400 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{400}{2.5} = 160 \text{ mm}$$

از میلگرد افقی $\Phi 16$ در دو سفره استفاده می‌شود.

در لبه‌های دیوار عنصر مرزی تعبیه کرده و تعدادی از میلگردهای قائم را در آن قرار داده و آنها را توسط خاموت دورگیری می‌نماییم (شکل ۱۰-۸).



شکل ۱۰-۸

طراحی کف سیلو

$$\text{ضخامت دال} = 600 \text{ mm}$$

$$\text{وزن دال} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ kN/m}^2$$

فشار وارد بر دال در حالت بهره‌برداری:

$$C_d = 1/25 \text{ (برای طراحی کف)}$$

$$q_{des} = 1/25 \times 228/3 \text{ (جدول ۱۰-۱)} = 308/2 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u = 1/25 \times 15 + 1/5 \times 308/2 = 481 \text{ kN/m}^2$$

فشار وارد بر دال در حالت زلزله:

$$q = \frac{35822}{(\pi \times 6^2)} = 317 \text{ kN/m}^2 \text{ بار زنده}$$

$$q_u = 15 + 1/2 \times 317 = 395 < 481 \text{ kN/m}^2$$

فشار حالت بهره‌برداری حاکم است.

دال کف تحت فشار $q_u = 481 \text{ kN/m}^2$ همانند یک دال تخت دو طرفه مورد طراحی قرار می‌گیرد و برای آن کنترل برش سوراخ‌کننده و برش خمشی انجام شده و میلگردهای خمشی محاسبه می‌شود که انجام محاسبات به‌عهده خواننده واگذار می‌شود.



طراحی ستون برای بار قائم

$$\text{ارتفاع آزاد} = 4500 - (600 + 400) = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{قطر ستون } D = 1000 \rightarrow r = 0.25 \times 1000 = 250 \text{ mm}$$

$$k l_u / r = 1 \times \frac{3500}{250} = 14 < 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$$

پس ستون لاغر نیست.

$$P_u = 4 \times 4 \times 481 = 7696 \text{ kN}$$

$$P_r = 0.180 [0.185 \phi_c f_c A_g + A_s (\phi_s F_y - 0.185 \phi_c f_c)]$$

$$7696 \times 10^3 = 0.180 [0.185 \times 0.16 \times 25 \times \pi \times \frac{1000^2}{4} +$$

$$+ A_s (0.185 \times 400 - 0.185 \times 0.16 \times 25)]$$

$$A_s < 0 \quad (\text{نیاز به آرماتور طولی نیست})$$

کنترل ستون در حالت زلزله:

وضعیت دیگری که ستون باید برای آن کنترل شود، حالت زلزله است. در حالت زلزله تمام لنگر و نیروی برشی حاصل از زلزله به پوسته سیلو داده شده است و ستون‌های میانی نقشی در این مورد ندارند. همانند ساختمان‌های معمولی این طور می‌توان فرض نمود که این ستون‌ها در هنگام زلزله ۲۵ درصد نیروی زلزله را جذب نمایند.

$$V = 0.25 \times 7696 = 1924 \text{ kN}$$

$$V \text{ هر ستون} = \frac{1924}{4} = 481 \text{ kN}$$

$$M = \frac{3/50}{2} \times 481 = 144 \text{ kN}$$

$$P_u = (4 \times 4) 481 = 7696 \text{ kN}$$

$$M_u = 144 \times 1/2 = 72 \text{ kN.m}$$

با توجه به نیروهای فوق، از روی نمودارهای اندرکنش مناسب، سطح مقطع میلگردهای ستون به دست می‌آید. برای ستون خاموت دورگیر با منظور کردن شرایط شکل‌پذیری زیاد تعبیه می‌گردد.



طراحی شالوده

ابعاد و هندسه شالوده مطابق اشکال ۱۰-۱ و ۱۰-۲ در نظر گرفته می شود.

محاسبه نیروهای وارده:

$$\begin{aligned}
 \text{از محاسبات قبل} &= 6840 \text{ kN} \\
 \text{وزن دال} &= 848 \times 2 = 1696 \text{ kN} \\
 \text{وزن پایه ها} &= 920 \text{ kN} \\
 \text{وزن ستون ها} &= \pi \times \frac{1^2}{4} \times 3/9 \times 25 \times 4 = 306 \text{ kN} \\
 \text{وزن مصالح} &= 35822 \text{ kN} \\
 \text{وزن شالوده} &= 8 \times \frac{1}{4} \times 6/22 \times 7/5 \times 1/5 \times 25 = 6998 \text{ kN} \\
 \text{وزن کل} &= 52582 \text{ kN} \\
 \text{لنگر مقاوم} &= 52582 \times 7/5 = 394365 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

لنگر واژگونی در حالت زلزله:

$$\begin{aligned}
 M &= 140684 \text{ kN-m (بالای تراز شالوده)} \\
 V &= 7963 \text{ kN} \\
 M \text{ واژگونی} &= 140684 + 7963 \times 1/5 = 152628 \text{ kN-m} \\
 \text{ضریب اطمینان واژگونی} &= \frac{394365}{152628} = 2/584
 \end{aligned}$$

تعیین تنش زیرخاک

$$\begin{aligned}
 \text{وزن کل } W &= 52582 \text{ kN} \\
 M &= 152628 \text{ kN-m} \\
 e &= M/W = 2/90 \text{ m} \\
 R \text{ متوسط} &= 0/5(7/5 + 8/12) = 7/81 \text{ m} \\
 A \text{ متوسط} &= \pi R^2 = \pi \times 7/81^2 = 191/62 \text{ m}^2 \\
 e/R &= \frac{2/9}{7/81} = 0/37
 \end{aligned}$$

با استفاده از نمودار شکل ۵-۱۴ به دست می آید:

$$K_1 = 3 \text{ و } K_2 = 1/4$$

با استفاده از روابط ۵-۲۶ می توان نوشت:



$$\text{فشار حداکثر} = K_1 \frac{W}{A} = 3 \times \frac{52582}{191/62} = 823 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{تنش مجاز حداقل زمین} = 823 \times 0/75 = 617/25 \text{ kN/m}^2$$

تنش مجاز زمین، حداقل باید $617/25 \text{ kN/m}^2 = 6/17 \text{ kg/cm}^2$ باشد که عدد بزرگی است. در غیر این صورت باید ابعاد شالوده افزایش یابد.

$$Z = K_2 R = 1/4 \times 7/81 = 10/93 \text{ m}$$

برای این شالوده مطابق شکل ۵-۱۳ باید دو شبکه متعامد در دو سفره تحتانی و فوقانی تعبیه گردد. طراحی میلگردها با استفاده از یک روش منطقی، به‌خواننده واگذار می‌شود.

فهرست منابع

- (1) ACI 313-91, "Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials", American Concrete Institute, Detroit, 1991.
- (2) Reimbert, Marcel L., and Reimbert, Andre, M., "Silo—Theory and Practice", 2nd Edition, Lavoisier Publication Inc., Newyork, 1987.
- (3) Sa-farian, S, S, and Harris, E. C., "Silos and Bunckers", Handbook of Concrete Engineering [edited by M. Fintel], Van Nostrand Reinhold, Newyork, 1985.
- (4) Safarian, S. S., and Harris, E. C., "Deterirination of Minimum Wall Thickness and Temerature Steel in Conventionally Reinforced Circular Concrete Silos", ACI Journal, Proceeding, V. GT, No. T, July 1970.
- (5) Safarian, S. S., and Harris, E. C., "Design and Construction of Silos, and Bunckers", Van Nostrand Reinhold, Newyork, 1987.
- (6) Gaylord, E. H., and Gaylord, C. N. Structural Engineering Handbook, MC Graw-Hill Book Company, 1984.

(۷) آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (بخش اول)، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، نشریه ۱۲۰.

(۸) آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (بخش دوم)، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، نشریه ۱۲۰.



پیوست
جداول ضرایب تحلیلی دال‌ها



جداول دال‌های دو طرفه

جداولی که در این پیوست ارائه می‌شود از کتاب بتن کالندر استخراج شده است. این جداول به دو حالت کلی دال‌ها با ۴ لبه متکی و دال‌ها با سه لبه متکی و یک لبه آزاد طبقه‌بندی می‌شوند که برای هر حالت، وضعیت‌های مختلفی برحسب شرایط اتکایی (گیردار یا ساده) و بار وارده (گسترده یکنواخت و گسترده مثلثی) ارائه شده است. علائم به کار رفته در این جداول به شرح زیر می‌باشند:

$$\text{لبه گیردار} = \text{---}$$

$$\text{لبه ساده} = \text{---}$$

$$\text{لبه آزاد} = \text{---}$$

$$l_x = \text{طول ضلع موازی محور } x$$

$$l_y = \text{طول ضلع موازی محور } y$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته بتن دال}$$

$$d = \text{ضخامت دال}$$

$$p = \text{شدت بار گسترده یکنواخت}$$

$$p_1 = \text{شدت حداکثر بار گسترده مثلثی}$$

$$f_m = \text{افت در وسط دال}$$

$$m_{xerm} = \text{لنگر در وسط لبه گیردار برای نواری به عرض واحد به موازات محور } x$$

$$m_{yerm} = \text{لنگر در وسط لبه گیردار برای نواری به عرض واحد به موازات محور } y$$

$$m_{xerm} \text{ min و } m_{yerm} \text{ min} = \text{حداکثر لنگر منفی لبه گیردار به صورتی که در بالا شرح داده شده.}$$

$$m_{xere} = \text{لنگر مربوط به گوشه محل تلاقی یک لبه گیردار و یک لبه آزاد برای نواری به عرض واحد}$$

به موازات محور x

$$m_{xm} = \text{لنگر مثبت در وسط دال برای نواری به عرض واحد به موازات محور } x$$

$$m_{ym} = \text{لنگر مثبت در وسط دال برای نواری به عرض واحد به موازات محور } y$$

$$m_{xmax} \text{ و } m_{ymax} = \text{حداکثر لنگر مثبت دو نوار میانی به ترتیب به موازات محورهای } x \text{ و } y$$

$$m_{xmin} \text{ و } m_{ymin} = \text{حداکثر لنگر منفی دو نوار میانی به ترتیب به موازات محورهای } x \text{ و } y$$

$$m_{xfrem} = \text{لنگر مثبت در وسط لبه آزاد در نواری به عرض واحد به موازات محور } x$$

$$\begin{aligned}
 m_{xye} &= \text{لنگر پیچشی در گوشه محل تلاقی دو لبه ساده} \\
 m_{xyfre} &= \text{لنگر پیچشی در گوشه محل تلاقی یک لبه ساده و یک لبه آزاد} \\
 m_{xym} &= \text{لنگر پیچشی در وسط لبه ساده} \\
 m_{xy\max} &= \text{حداکثر لنگر پیچشی} \\
 R_e &= \text{نیروی فشاری یا کششی در گوشه محل تلاقی دو لبه ساده که به علت وجود لنگر پیچشی} \\
 &\quad \text{ایجاد می شود و مقدارش دو برابر لنگر پیچشی است (} R_e = 2m_{xye} \text{)} \\
 R_{fre} &= \text{نیروی فشاری یا کششی در گوشه محل تلاقی یک لبه ساده و یک لبه آزاد} \\
 &\quad \text{(} R_{fre} = 2m_{xyfre} \text{)} \\
 q_{xym} \text{ و } q_{yrm} &= \text{به ترتیب تلاش برشی در وسط یک لبه ساده برای نواری به عرض واحد به موازات} \\
 &\quad \text{محورهای } x \text{ و } y \\
 q_{xrm\max} \text{ و } q_{yrm\max} &= \text{حداکثر تلاش برشی در یک لبه ساده به صورتی که در بالا تشریح شد} \\
 q_{xerm} \text{ و } q_{yerm} &= \text{به ترتیب تلاش برشی در وسط یک لبه گیردار برای نواری به عرض واحد} \\
 &\quad \text{به موازات محورهای } x \text{ و } y \\
 q_{xerm\max} \text{ و } q_{yerm\max} &= \text{حداکثر تلاش برشی در یک لبه گیردار به صورتی که در بالا تشریح شد} \\
 q_{xe} \text{ و } q_{ye} &= \text{تلاش برشی در گوشه محل تلاقی یک لبه ساده و یک لبه گیردار} \\
 q &= \text{واکنش تکیه گاهی با اندیس هایی مشابه } q
 \end{aligned}$$

تبصره ۱: تمام نیروهای ارایه شده مربوط به نواری به عرض واحد می باشند.
 تبصره ۲: در زیر هر جدول نمودار تغییرات نیروهای فوق برای نسبت $l_y/l_x = 1/5$ رسم شده است.



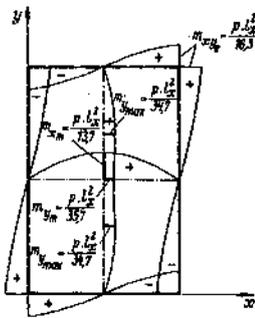
جدول دالها با چهار لبه متکی



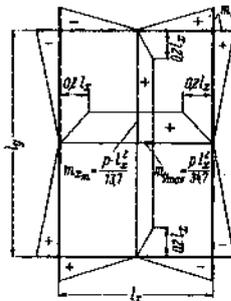
جدول ۱ دال با چهار لبه ساده تحت بار گسترده یکساخت

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xmn} =$	27,2	24,5	22,4	20,7	19,1	17,8	16,8	15,8	15,0	14,3	13,7
$m_{ymax} =$	27,2	27,5	27,9	28,4	29,1	29,9	30,9	31,8	32,8	33,8	34,7
$m_{xvo} = \pm$	21,6	20,6	19,7	19,0	18,4	17,9	17,5	17,1	16,8	16,5	16,3
$R_o =$	10,8	10,3	9,86	9,5	9,2	8,96	8,75	8,55	8,4	8,25	8,15
$q_{xym} = \pm$	2,96	2,87	2,78	2,71	2,64	2,58	2,52	2,47	2,43	2,39	2,36
$\bar{q}_{xym} =$	2,19	2,16	2,11	2,07	2,04	2,02	2,00	1,98	1,97	1,96	1,95
$q_{xym} = \pm$	2,96	2,92	2,89	2,86	2,84	2,82	2,80	2,78	2,76	2,75	2,75
$\bar{q}_{xym} =$	2,19	2,14	2,09	2,06	2,02	1,99	1,96	1,94	1,92	1,90	1,89
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0487	0,0536	0,0584	0,0631	0,0678	0,0728	0,0767	0,0809	0,0850	0,0890	0,0927

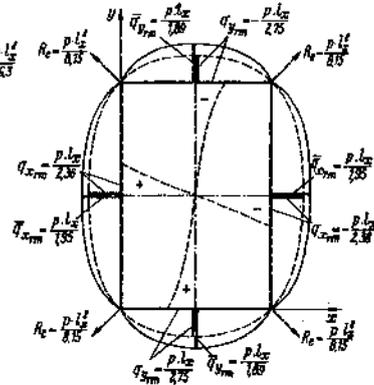
$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xmn} =$	18,7	18,2	12,7	12,3	11,9	11,5	11,3	11,0	10,8	10,6	10,4
$m_{ymax} =$	34,7	35,4	36,1	36,7	37,3	37,9	38,5	38,9	39,4	39,8	40,3
$m_{xvo} = \pm$	16,3	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,3	15,2	15,1
$R_o =$	8,15	8,05	7,95	7,85	7,8	7,75	7,7	7,65	7,65	7,6	7,55
$q_{xym} = \pm$	2,30	2,33	2,30	2,27	2,25	2,23	2,21	2,19	2,18	2,16	2,15
$\bar{q}_{xym} =$	1,95	1,94	1,93	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
$q_{xym} = \pm$	2,76	2,74	2,73	2,73	2,73	2,72	2,72	2,71	2,71	2,70	2,70
$\bar{q}_{xym} =$	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,83	1,82	1,82	1,82	1,82
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0927	0,0983	0,0997	0,1029	0,1060	0,1093	0,1118	0,1145	0,1169	0,1195	0,1216



نمودار لنگر
(توزیع واقعی)



نمودار لنگر
(توزیع قراردادی)



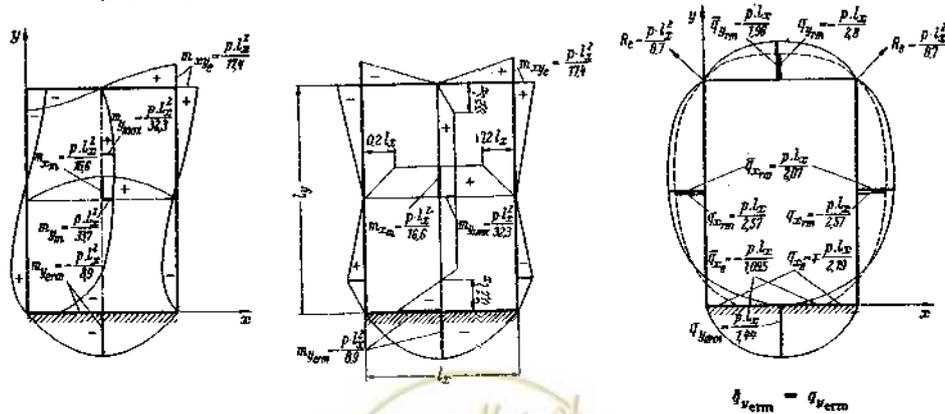
نمودار برش



جدول ۲ دال با سه لبه ساده و یک لبه گیردار تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y \cdot l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xcm} =$	41,2	36,5	31,9	28,3	25,9	23,4	21,7	20,1	18,8	17,5	16,6
$m_{yerm} = -$	11,9	11,3	10,9	10,4	10,1	9,8	9,6	9,3	9,2	9,0	8,9
$m_{ymax} =$	29,4	29,0	28,8	28,8	28,9	29,2	29,7	30,2	30,8	31,6	32,3
$m_{zve} = \pm$	26,2	24,5	23,2	21,9	21,0	20,1	19,4	18,7	18,3	17,7	17,4
$R_g =$	13,1	12,2	11,6	10,9	10,5	10,0	9,7	9,3	9,1	8,8	8,7
$q_{xcm} = \pm$	3,64	3,39	3,25	3,13	3,02	2,92	2,83	2,76	2,69	2,63	2,57
$q_{yerm} = -$	2,59	2,49	2,42	2,34	2,29	2,23	2,19	2,15	2,12	2,09	2,07
$q_{ymax} =$	1,72	1,67	1,63	1,59	1,56	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45	1,44
$q_{zve} = -$	3,18	3,11	3,05	3,00	2,95	2,92	2,89	2,86	2,84	2,82	2,80
$q_{yerm} =$	2,47	2,38	2,29	2,23	2,17	2,12	2,08	2,04	2,01	1,98	1,96
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0884	0,0378	0,0422	0,0487	0,0512	0,0557	0,0602	0,0645	0,0689	0,0731	0,0773

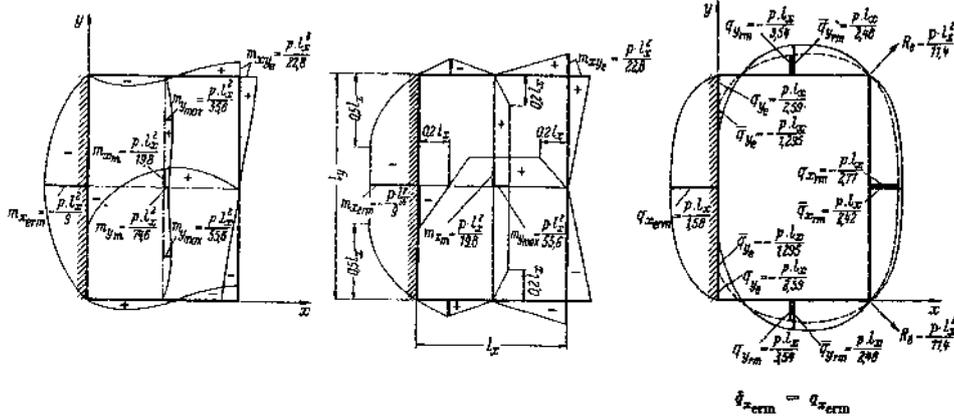
$l_y \cdot l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xcm} =$	16,6	15,7	15,0	14,3	13,8	13,2	12,8	12,3	12,0	11,6	11,4
$m_{yerm} = -$	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,45	8,4	8,35	8,3	8,26	8,2
$m_{ymax} =$	32,3	33,0	33,6	34,3	34,9	35,6	36,2	36,9	37,5	38,2	38,8
$m_{zve} = \pm$	17,4	17,0	16,8	16,5	16,3	16,1	15,9	15,7	15,6	15,5	15,4
$R_g =$	8,7	8,5	8,4	8,2	8,1	8,0	7,9	7,8	7,8	7,7	7,7
$q_{xcm} = \pm$	2,57	2,52	2,47	2,43	2,39	2,36	2,33	2,30	2,28	2,25	2,23
$q_{yerm} = -$	2,07	2,05	2,03	2,01	1,99	1,98	1,97	1,96	1,96	1,96	1,95
$q_{ymax} =$	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,39	1,39	1,38	1,38	1,37	1,37
$q_{zve} = -$	2,80	2,78	2,77	2,76	2,75	2,74	2,73	2,72	2,72	2,71	2,71
$q_{yerm} =$	1,96	1,94	1,92	1,90	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,84
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0778	0,0815	0,0852	0,0892	0,0928	0,0962	0,0994	0,1027	0,1056	0,1086	0,1112



جدول ۳ دال با سه لبه ساده و یک لبه گیردار تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xerm} = -$	11,9	11,3	10,9	10,5	10,2	9,9	9,7	9,4	9,3	9,1	9,0
$m_{xrn} =$	31,4	29,2	27,3	25,8	24,5	23,4	22,4	21,6	21,0	20,8	19,8
$m_{yrm} =$	41,2	43,2	45,1	47,1	48,8	50,3	51,8	53,2	54,8	56,0	55,6
$m_{yve} = \pm$	26,2	25,4	24,9	24,4	24,0	23,7	23,5	23,2	23,0	22,9	22,8
$R_e =$	13,1	12,7	12,4	12,2	12,0	11,8	11,7	11,6	11,5	11,4	11,4
$q_{xerm} =$	1,72	1,69	1,67	1,65	1,63	1,62	1,61	1,60	1,59	1,58	1,58
$q_{xrn} = -$	3,18	3,11	3,05	2,99	2,94	2,90	2,87	2,84	2,81	2,79	2,77
$q_{yrm} =$	2,47	2,44	2,42	2,41	2,41	2,40	2,40	2,40	2,41	2,41	2,42
$q_{yve} = \pm$	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,54
$q_{yrm} =$	2,59	2,56	2,54	2,52	2,51	2,50	2,50	2,49	2,49	2,48	2,48
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0334	0,0367	0,0390	0,0401	0,0420	0,0438	0,0455	0,0472	0,0486	0,0498	0,0510

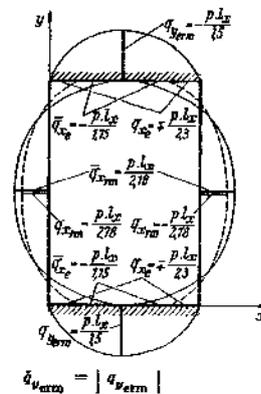
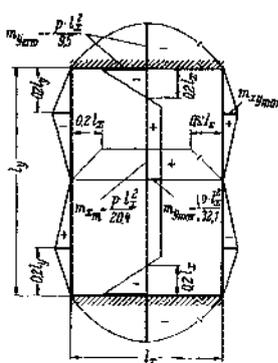
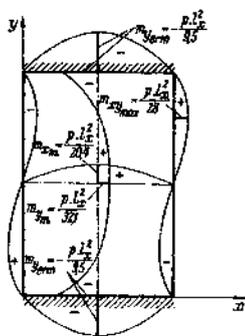
$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xerm} = -$	9,0	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,3	8,3	8,3	8,3
$m_{xrn} =$	19,8	19,4	19,0	18,6	18,3	18,0	17,8	17,5	17,4	17,2	17,1
$m_{yrm} =$	55,6	66,2	66,8	67,3	67,8	68,2	68,6	68,8	69,0	69,1	69,2
$m_{yve} = \pm$	22,8	22,7	22,6	22,5	22,5	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
$R_e =$	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
$q_{xerm} =$	1,58	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
$q_{xrn} = -$	2,77	2,75	2,73	2,72	2,71	2,70	2,69	2,68	2,68	2,67	2,67
$q_{yrm} =$	2,42	2,42	2,43	2,43	2,44	2,45	2,46	2,47	2,49	2,49	2,50
$q_{yve} = \pm$	3,54	3,54	3,54	3,54	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55	3,55	3,56
$q_{yrm} =$	2,48	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0510	0,0521	0,0531	0,0541	0,0549	0,0556	0,0562	0,0569	0,0575	0,0580	0,0585



جدول ۴ دال با دو لبه ساده و دو لبه گیردار تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xmn} =$	68,3	52,2	46,1	39,8	35,5	31,5	28,5	25,8	23,7	22,0	20,4
$m_{xerm} = - p \cdot l_x^2 :$	14,3	13,4	12,7	12,0	11,5	11,1	10,7	10,3	10,0	9,75	9,5
$m_{xmax} =$	35,1	33,7	32,9	32,2	31,7	31,3	31,2	31,2	31,4	31,7	32,1
$q_{xmn} = \pm$	4,09	3,87	3,70	3,54	3,39	3,27	3,15	3,05	2,95	2,86	2,78
$q_{xrm} =$	2,95	2,82	2,71	2,60	2,52	2,44	2,38	2,32	2,27	2,22	2,18
$q_{xrm} = \pm$	1,94	1,86	1,80	1,74	1,69	1,65	1,61	1,58	1,55	1,52	1,50
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0220	0,0266	0,0303	0,0343	0,0383	0,0425	0,0467	0,0510	0,0553	0,0598	0,0639

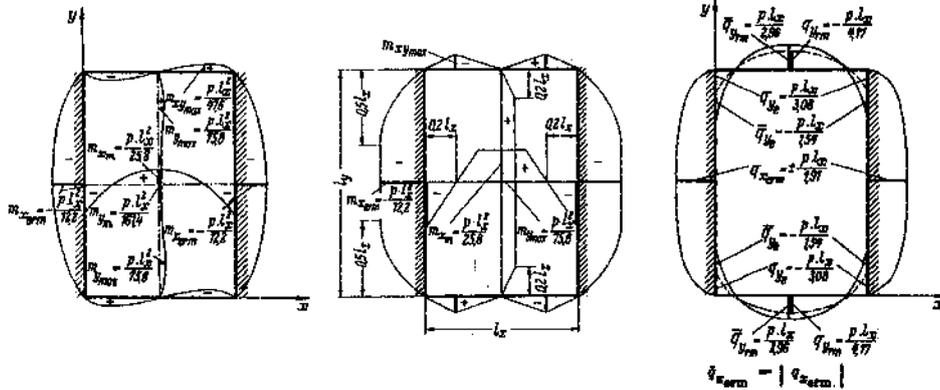
$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xmn} =$	20,4	19,0	17,9	16,9	16,0	15,2	14,6	13,9	13,4	12,9	12,5
$m_{xerm} = - p \cdot l_x^2 :$	9,5	9,3	9,2	9,05	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,4
$m_{xmax} =$	32,1	32,7	33,3	34,0	34,9	35,9	37,1	38,3	39,7	41,1	42,4
$q_{xmn} = \pm$	2,78	2,71	2,65	2,59	2,54	2,49	2,45	2,41	2,38	2,35	2,32
$q_{xrm} =$	2,18	2,14	2,11	2,09	2,07	2,05	2,03	2,01	2,00	1,99	1,98
$q_{xrm} = \pm$	1,50	1,47	1,46	1,44	1,43	1,42	1,41	1,40	1,40	1,39	1,39
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0639	0,0681	0,0722	0,0762	0,0802	0,0840	0,0878	0,0914	0,0949	0,0982	0,1013



جدول ۵ دال با دو لبه ساده و دو لبه گیردار تحت بار گسترده بکنواخت

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xcr0} = -$	14,5	13,8	13,5	13,2	13,0	12,7	12,6	12,4	12,3	12,2	12,2
$m_{xcr1} = -$	35,1	33,0	31,7	30,4	29,4	28,5	27,8	27,1	26,6	26,1	25,8
$m_{xcr2} = -$	61,7	64,5	67,2	69,6	71,6	72,8	73,6	74,1	74,6	75,3	75,6
$q_{xcr0} = \pm$	1,94	1,92	1,91	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,91
$q_{xcr1} = \pm$	4,00	4,10	4,11	4,12	4,13	4,14	4,15	4,15	4,16	4,16	4,17
$q_{xcr2} =$	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95	2,95
$l_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0230	0,0241	0,0251	0,0260	0,0267	0,0275	0,0280	0,0285	0,0289	0,0293	0,0297

$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xcr0} = -$	12,2	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
$m_{xcr1} = -$	25,8	25,4	25,2	24,9	24,7	24,5	24,4	24,3	24,3	24,2	24,1
$m_{xcr2} = -$	75,8	76,5	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0
$q_{xcr0} = \pm$	1,91	1,91	1,92	1,92	1,93	1,93	1,94	1,94	1,95	1,95	1,95
$q_{xcr1} = \pm$	4,17	4,17	4,18	4,18	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19
$q_{xcr2} =$	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,96	2,97	2,97	2,97	2,97	2,97
$l_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0297	0,0300	0,0302	0,0305	0,0307	0,0308	0,0309	0,0310	0,0311	0,0312	0,0313

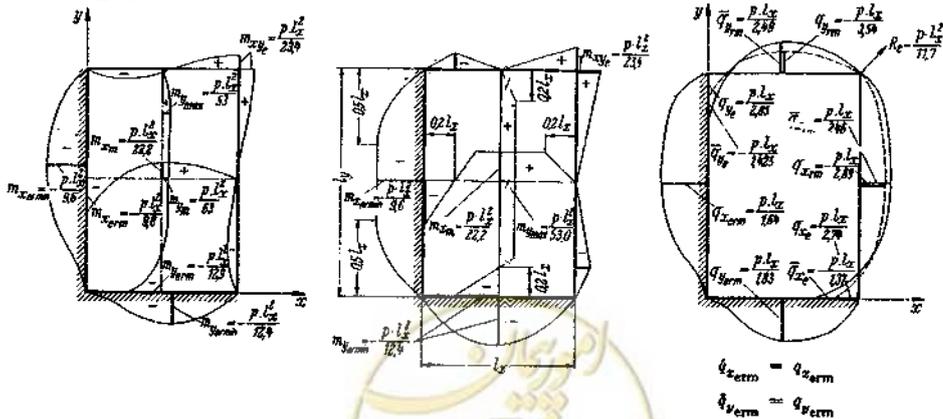


جدول ۶ دال با دو لبه گیردار و دو لبه ساده تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\text{min}} =$	14,8	13,8	12,7	12,0	11,5	11,1	10,7	10,8	10,0	9,8	9,6
$m_{x\text{in}} =$	42,7	36,0	35,1	32,2	30,0	28,0	26,5	25,2	24,1	23,1	22,2
$m_{y\text{min}} =$	14,3	13,8	13,6	13,3	13,1	12,9	12,9	12,7	12,6	12,5	12,4
$m_{y\text{max}} =$	40,2	41,0	42,0	42,9	44,0	45,6	47,6	49,6	51,0	52,1	53,0
$q_{x\text{erm}} =$	1,96	1,89	1,83	1,78	1,75	1,72	1,69	1,67	1,65	1,64	1,64
$q_{y\text{erm}} =$	3,64	3,51	3,40	3,30	3,22	3,14	3,08	3,01	2,97	2,93	2,89
$\bar{q}_{x\text{erm}} =$	2,76	2,69	2,64	2,58	2,56	2,53	2,51	2,49	2,47	2,46	2,46
$q_{y\text{erm}} =$	1,96	1,93	1,90	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84	1,84	1,83	1,83
$\bar{q}_{y\text{erm}} =$	3,64	3,61	3,59	3,57	3,55	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54	3,54
$\bar{q}_{y\text{erm}} =$	2,76	2,69	2,65	2,61	2,59	2,56	2,54	2,52	2,51	2,50	2,49
$I_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0252	0,0281	0,0302	0,0329	0,0348	0,0369	0,0389	0,0408	0,0426	0,0443	0,0459

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x\text{min}} =$	9,6	9,4	9,2	9,1	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,4
$m_{x\text{in}} =$	22,2	21,6	21,0	20,4	19,9	19,5	19,1	18,7	18,4	18,1	17,9
$m_{y\text{min}} =$	12,4	12,3	12,3	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
$m_{y\text{max}} =$	53,0	54,1	54,8	55,6	56,3	57,0	57,7	58,3	59,0	59,6	60,2

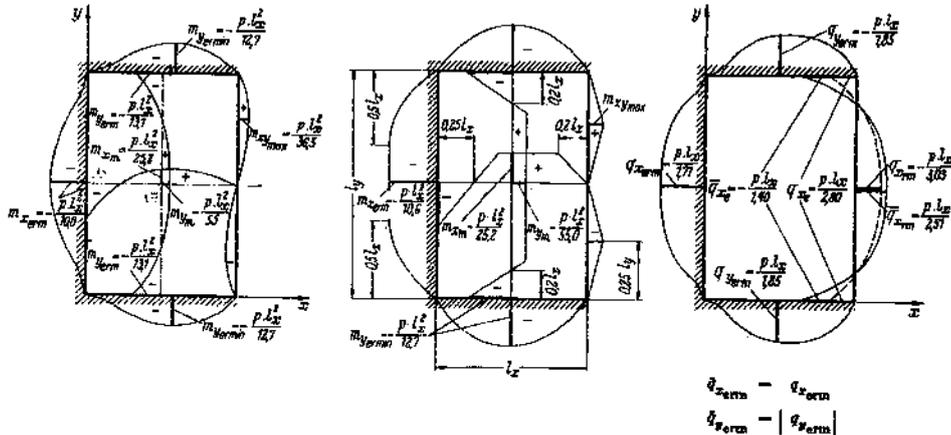
$q_{x\text{erm}} =$	1,64	1,63	1,63	1,62	1,62	1,61	1,60	1,60	1,59	1,59	1,58
$q_{y\text{erm}} =$	2,89	2,87	2,83	2,80	2,78	2,76	2,75	2,74	2,73	2,72	2,71
$\bar{q}_{x\text{erm}} =$	2,46	2,46	2,46	2,47	2,47	2,47	2,46	2,46	2,46	2,46	2,46
$q_{y\text{erm}} =$	1,83	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82	1,82
$\bar{q}_{y\text{erm}} =$	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,65
$\bar{q}_{y\text{erm}} =$	2,49	2,49	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,48	2,47	2,47	2,47
$I_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0459	0,0472	0,0484	0,0496	0,0508	0,0519	0,0529	0,0538	0,0547	0,0554	0,0562



جدول ۷ دال با سه لبه گیردار و یک لبه ساده تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y:l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xerm} = -$	18,3	16,6	15,4	14,4	13,5	12,7	12,2	11,6	11,2	10,9	10,6
$m_{xam} = -$	59,5	51,6	46,1	41,4	37,6	34,2	31,8	29,6	28,0	26,4	25,2
$m_{yermiu} = -$	16,2	15,4	14,8	14,3	13,9	13,5	13,3	13,1	13,0	12,8	12,7
$m_{yam} = -$	44,1	43,6	43,7	44,2	44,8	45,8	46,9	48,6	50,3	52,3	55,0
$q_{xerm} = -$	2,21	2,10	2,01	1,95	1,89	1,85	1,81	1,78	1,76	1,73	1,71
$q_{xam} = -$	4,11	3,94	3,77	3,63	3,50	3,40	3,30	3,22	3,14	3,08	3,03
$q_{yerm} = -$	3,04	2,92	2,84	2,77	2,70	2,65	2,61	2,57	2,54	2,52	2,51
$q_{yam} = -$	2,11	2,06	2,00	1,97	1,94	1,91	1,89	1,87	1,86	1,85	1,85
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0188	0,0212	0,0236	0,0260	0,0284	0,0308	0,0329	0,0351	0,0371	0,0391	0,0409

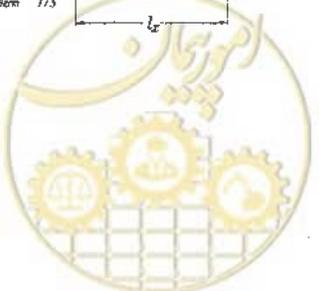
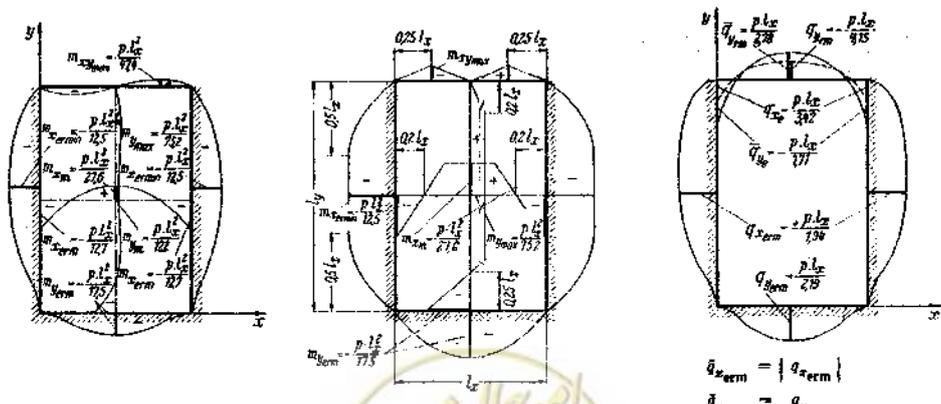
$l_y:l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{xerm} = -$	10,6	10,3	10,1	9,9	9,7	9,5	9,4	9,2	9,0	8,9	8,8
$m_{xam} = -$	25,2	24,2	23,3	22,5	21,7	21,1	20,5	20,0	19,5	19,1	18,7
$m_{yermiu} = -$	12,7	12,6	12,6	12,5	12,5	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3
$m_{yam} = -$	55,0	58,2	61,6	65,6	70,4	75,0	79,8	84,7	89,8	95,4	101,6
$q_{xerm} = -$	1,71	1,70	1,69	1,68	1,67	1,66	1,65	1,64	1,63	1,62	1,61
$q_{xam} = -$	3,08	2,99	2,95	2,91	2,88	2,86	2,83	2,80	2,77	2,76	2,75
$q_{yerm} = -$	2,51	2,50	2,50	2,49	2,49	2,48	2,48	2,48	2,47	2,47	2,47
$q_{yam} = -$	1,85	1,84	1,84	1,84	1,84	1,83	1,83	1,83	1,83	1,82	1,82
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0409	0,0426	0,0442	0,0457	0,0471	0,0484	0,0495	0,0507	0,0518	0,0529	0,0539



جدول ۸ دال با سه لبه گیردار و یک لبه ساده تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{x\min}$	16,2	16,3	14,8	14,2	13,9	13,5	13,2	12,9	12,7	12,6	12,5
m_{x0}	44,1	40,5	37,9	36,5	34,8	32,3	31,0	29,9	29,0	28,2	27,6
$m_{x\max}$	18,8	17,9	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y\max}$	55,9	57,5	60,3	64,2	68,2	67,7	69,0	70,5	72,0	73,4	75,2
$q_{x\text{erm}}$	2,11	2,05	2,01	1,97	1,90	1,94	1,93	1,92	1,92	1,93	1,94
$q_{y\text{erm}}$	2,21	2,14	2,10	2,09	2,09	2,10	2,11	2,12	2,13	2,16	2,19
$q_{x\text{erm}}$	4,11	4,10	4,10	4,10	4,11	4,12	4,13	4,14	4,16	4,16	4,15
$q_{y\text{erm}}$	3,04	2,93	2,87	2,83	2,81	2,79	2,79	2,78	2,78	2,78	2,78
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0188	0,0202	0,0214	0,0226	0,0236	0,0245	0,0253	0,0261	0,0268	0,0274	0,0280

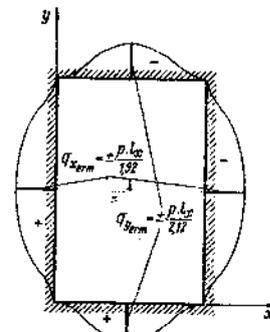
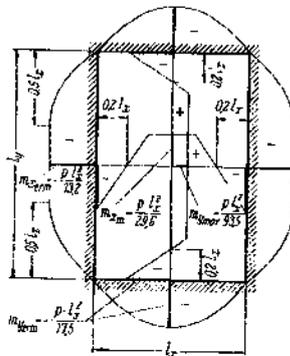
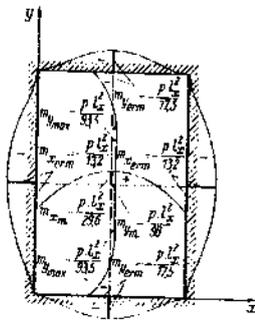
$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
$m_{x\min}$	12,5	12,4	12,3	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0
m_{x0}	27,6	27,0	26,5	26,1	25,7	25,3	25,1	24,9	24,7	24,6	24,5
$m_{x\max}$	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{y\max}$	75,2	76,9	78,7	80,5	82,5	84,6	86,8	89,2	91,7	94,3	97,0
$q_{x\text{erm}}$	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94	1,96	1,96	1,96
$q_{y\text{erm}}$	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,20	2,20	2,20	2,21	2,21	2,21
$q_{x\text{erm}}$	4,15	4,15	4,15	4,15	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,15
$q_{y\text{erm}}$	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0280	0,0286	0,0289	0,0294	0,0298	0,0301	0,0303	0,0305	0,0307	0,0308	0,0309



جدول ۹ دال با چهار لبه گیردار تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y : l_x$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
$m_{xerm} = -$	19,4	18,2	17,1	16,3	15,5	14,9	14,5	14,0	13,7	13,4	13,2
$m_{xm} =$	56,8	50,6	46,1	42,4	39,4	37,0	34,8	33,3	31,9	30,6	29,6
$m_{yerm} = -$	10,4	18,8	18,4	18,1	17,9	17,7	17,6	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{ymax} =$	56,8	58,2	60,3	62,6	65,8	69,4	73,6	78,4	83,4	89,4	93,5
$q_{xerm} = \pm$	2,24	2,17	2,10	2,06	2,01	1,98	1,96	1,94	1,92	1,92	1,92
$q_{yerm} = \pm$	2,24	2,20	2,16	2,14	2,12	2,11	2,10	2,09	2,09	2,10	2,12
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0152	0,0167	0,0181	0,0195	0,0207	0,0219	0,0230	0,0240	0,0248	0,0257	0,0264

$l_y : l_x$	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,0
$m_{xerm} = -$	13,2	13,0	12,8	12,7	12,5	12,4	12,3	12,2	12,1	12,0	12,0
$m_{xm} =$	29,0	28,8	28,1	27,5	26,9	26,4	26,0	25,7	25,4	25,2	25,0
$m_{yerm} = -$	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
$m_{ymax} =$	93,5	98,1	98,1	99,9	101,3	102,4	103,3	104,0	104,6	104,9	105,0
$q_{xerm} = \pm$	1,92	1,92	1,92	1,92	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
$q_{yerm} = \pm$	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,12	2,13	2,13	2,13
$f_m = \frac{p \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0264	0,0271	0,0277	0,0282	0,0287	0,0291	0,0294	0,0297	0,0300	0,0302	0,0304



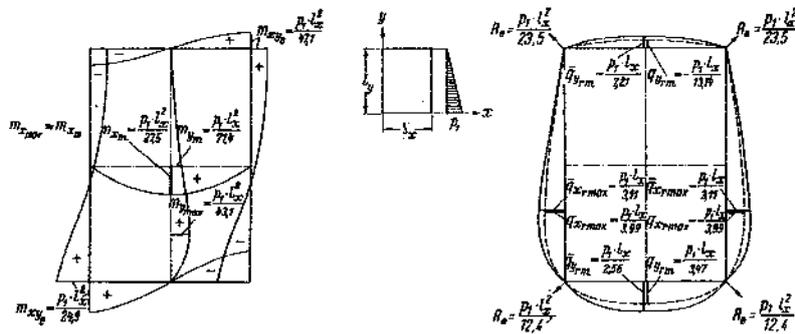
$$q_{xerm} = |q_{xerm}|$$

$$q_{yerm} = |q_{yerm}|$$



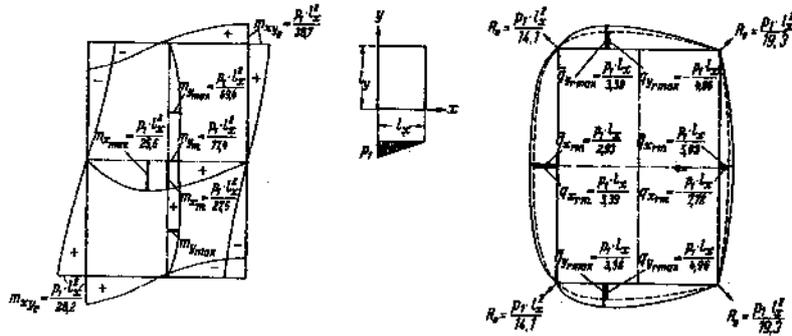
جدول ۱۱ دال با چهار لبه ساده تحت بار گسترده مثلثی

$l_y:l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	
m_{rmin}	54,8	44,6	88,2	33,5	30,1	27,5	20,7	
m_{rmax}	45,5	44,2	43,5	42,9	42,7	43,1	43,1	
$m_{xye}(y=0)$	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
$m_{xye}(y=l_y)$	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
$R_e (y=0)$	35,8	32,4	29,8	27,7	26,2	24,9	21,3	
$R_e (y=l_y)$	64,0	50,7	48,8	47,6	47,1	47,1	52,4	
q_{smax}	17,9	16,2	14,9	13,8	13,1	12,4	10,6	
q_{smin}	27,0	25,3	24,4	23,8	23,5	23,5	26,2	
q_{smax}	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
q_{smin}	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
$q_{yrm}(y=0)$	5,23	4,37	4,58	4,34	4,15	3,99	3,46	
$q_{yrm}(y=l_y)$	3,77	3,57	3,41	3,29	3,19	3,11	2,79	
$q_{yrm}(y=0)$	4,03	3,86	3,73	3,63	3,54	3,47	3,23	
$q_{yrm}(y=l_y)$	3,18	3,00	2,85	2,73	2,64	2,56	2,32	
$q_{yrm}(y=0)$	11,1	11,3	11,6	12,1	12,6	13,1	16,3	
$q_{yrm}(y=l_y)$	7,04	6,92	6,90	6,95	7,06	7,21	8,47	
f_m	$\frac{P_1 \cdot l_x^2}{E \cdot d^3}$	0,0244	0,0292	0,0339	0,0388	0,0425	0,0463	0,0508



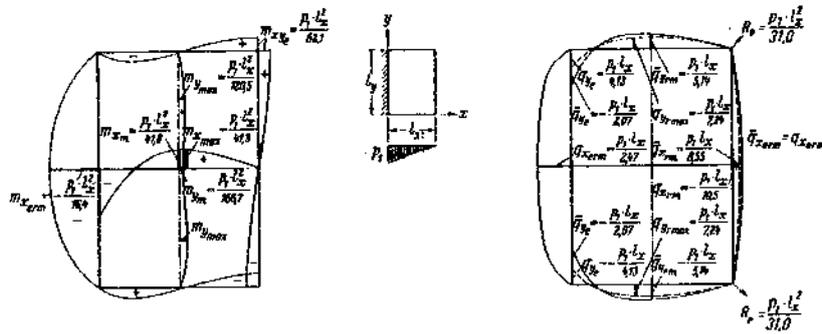
جدول ۱۰ دال با چهار لبه ساده تحت بار گسترده مثلثی

$l_y : l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
m_{xmax} =	45,6	38,9	34,2	30,8	27,9	25,6	19,6
m_{ymax} =	54,3	55,9	58,1	61,7	65,8	69,4	80,6
$m_{xy(x=0)}$ = ±	35,8	33,3	31,4	30,0	29,1	28,2	26,6
$m_{xy(x=l_x)}$ = ±	54,0	48,5	44,8	42,2	40,2	38,7	35,5
$R_x(x=0)$ =	17,9	16,6	15,7	15,0	14,5	14,1	13,3
$R_x(x=l_x)$ =	27,0	24,2	22,4	21,1	20,1	19,3	17,7
$q_{xym(x=0)}$ =	4,08	3,84	3,69	3,57	3,47	3,39	3,16
$q_{xym(x=l_x)}$ =	3,18	3,10	3,03	2,99	2,95	2,93	2,91
$q_{xym(x=l_y)}$ = -	11,1	10,0	9,19	8,57	8,09	7,72	6,69
$q_{xym(x=l_y)}$ =	7,04	6,60	6,30	6,08	5,93	5,83	5,67
q_{yymax} = ±	5,23	5,14	5,07	5,02	4,98	4,96	4,90
q_{yymmax} =	3,77	3,64	3,55	3,47	3,42	3,38	3,29
$f_{21} = \frac{P_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0244	0,0292	0,0359	0,0388	0,0425	0,0468	0,0608



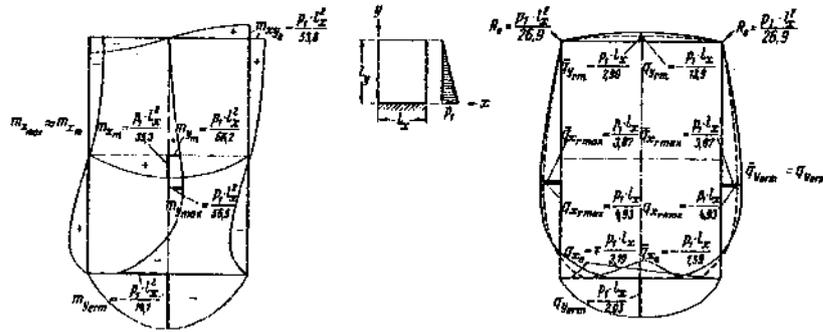
جدول ۱۲ دال با سه لبه ساده و یک لبه گیردار تحت بار گسترده مثلثی

$l_y : l_x$		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
$m_{x,rem}$	=	20,7	19,1	18,2	17,4	16,8	16,4	15,3
$m_{x,max}$	=	63,6	66,2	61,0	46,7	48,8	41,8	35,7
$m_{y,max}$	=	90,1	90,0	108,8	112,3	116,2	120,6	128,2
$m_{y,(x=l_x)}$	= ±	73,0	69,0	65,8	64,2	62,9	62,1	61,0
$R_{y,(x=l_x)}$	=	36,5	34,5	32,9	32,1	31,4	31,0	30,5
$q_{x,rem}$	=	2,61	2,54	2,52	2,49	2,48	2,47	2,46
$q_{x,rem}(x=l_x)$	=	13,1	12,2	11,6	11,1	10,8	10,6	10,0
$q_{x,max}(x=l_x)$	=	8,85	8,63	8,50	8,47	8,50	8,55	9,07
$q_{y,max}$	= ±	7,13	7,16	7,17	7,19	7,22	7,24	7,28
$q_{y,max}$	=	5,23	5,21	5,17	5,17	5,16	5,14	5,14
f_m	= $\frac{P_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0154	0,0174	0,0192	0,0208	0,0221	0,0231	0,0244



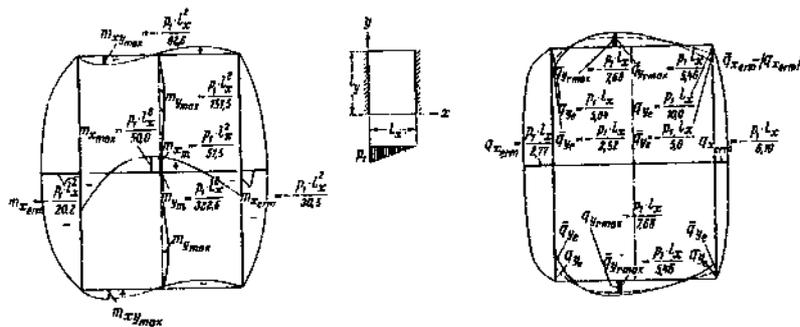
جدول ۱۳ دال با سه لبه ساده و یک لبه گیردار تحت بار گسترده مثلثی

$l_y:l_x$		1,0	1,1	1,2	1,8	1,4	1,5	2,0
m_{sm}	=	90,1	69,5	55,8	46,7	40,2	35,3	23,6
m_{yerm}	= -	20,7	16,6	17,0	15,6	14,8	14,1	11,8
m_{ymax}	=	68,6	60,6	50,2	57,8	56,8	56,5	56,6
$m_{xym} (n=l_y)$	= ±	73,0	65,4	60,6	57,2	54,9	53,8	54,9
$R_x (n=l_y)$	=	36,5	32,7	30,3	28,6	27,4	26,9	27,4
q_{symax}	= ±	7,13	6,48	6,97	6,55	5,21	4,93	4,06
q_{symax}	=	5,23	4,82	4,49	4,23	4,08	3,87	3,31
q_{yerm}	=	2,61	2,43	2,29	2,19	2,10	2,03	1,80
$q_{xym} (n=l_y)$	= -	18,1	18,0	18,0	18,2	13,5	18,9	16,6
$q_{xym} (n=l_y)$	=	8,86	8,88	8,10	7,94	7,90	7,90	8,75
f_{sm}	= $\frac{p_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0154	0,0195	0,0233	0,0281	0,0324	0,0365	0,0536



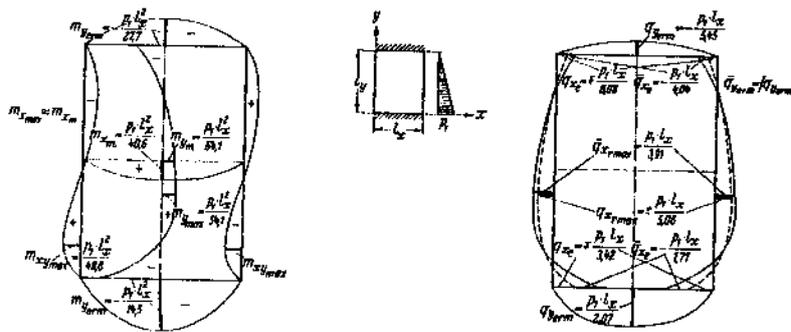
جدول ۱۴ دال با دو لبه ساده و دو لبه گیردار تحت بار گسترده مثلثی

$l_y : l_x$		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
$m_{x\text{عین}}(x=0)$	= -	23,2	22,2	21,5	20,9	20,6	20,2	20,0
$m_{x\text{عین}}(x=l_x)$	= -	37,6	34,9	33,1	31,9	31,2	30,5	30,0
$m_{x\text{بیش}}$	=	65,8	60,6	56,8	54,1	51,3	50,0	46,7
$m_{y\text{بیش}}$	=	123,5	133,3	142,9	147,0	149,3	151,5	154,0
$m_{xy\text{بیش}}$	= ±	85,5	83,4	82,7	82,7	82,7	82,6	83,4
$q_{x\text{عین}}(x=0)$	=	2,77	2,76	2,75	2,75	2,76	2,77	2,83
$q_{x\text{عین}}(x=l_x)$	= -	6,45	6,20	6,11	6,09	6,09	6,10	6,29
$q_{y\text{بیش}}$	= ±	7,64	7,68	7,92	7,95	7,96	7,98	7,71
$q_{xy\text{بیش}}$	=	5,45	5,44	5,44	5,45	5,46	5,46	5,46
$f_{\text{عین}}$	= $\frac{p_1 \cdot l_x^3}{E \cdot h^3}$	0,0115	0,0136	0,0138	0,0140	0,0145	0,0148	0,0167



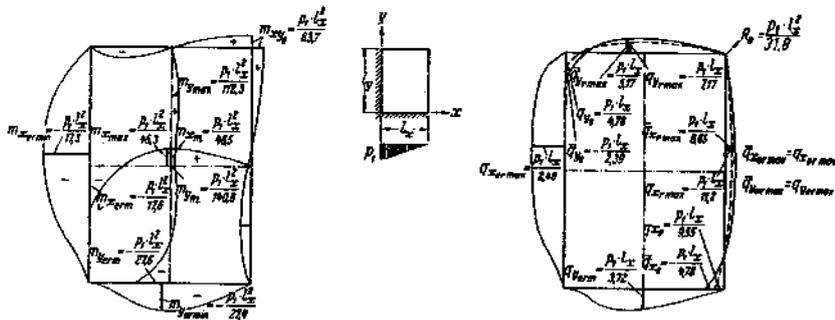
جدول ۱۵ دال با دو لبه ساده و دو لبه گیردار تحت بار گسترده مثلثی

$l_y:l_x$		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
m_{xmax}	=	123,5	91,7	70,9	56,8	47,6	40,6	25,0
$m_{xorm} (v=0)$	= -	28,2	20,4	18,3	16,7	15,5	14,5	11,0
$m_{xorm} (v=l_y)$	= -	37,6	33,7	31,2	29,5	28,3	27,7	28,5
m_{ymax}	=	65,8	61,8	57,5	55,5	54,3	54,1	55,2
m_{yormax}	= ±	85,6	71,9	62,9	56,8	51,6	48,8	36,8
q_{xymax}	= ±	7,64	6,82	6,24	5,76	5,38	5,06	4,07
q_{xormax}	=	5,45	4,99	4,62	4,32	4,10	3,91	3,31
$q_{yorm} (v=0)$	=	2,77	2,57	2,40	2,27	2,16	2,07	1,81
$q_{yorm} (v=l_y)$	=	6,45	5,96	5,71	5,53	5,47	5,45	5,92
f_{in}	= $\frac{p_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0115	0,0152	0,0192	0,0234	0,0277	0,0319	0,0507



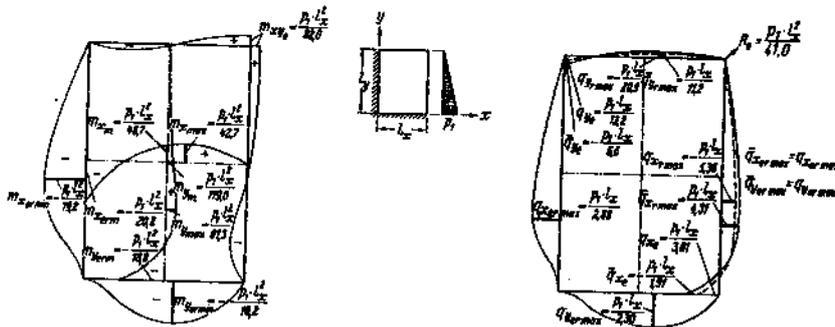
جدول ۱۶ دال یا دو لبه گیردار و دو لبه ساده تحت بار گسترده مثلثی

$l_y:l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	
m_{sermin}	24,1	21,7	20,0	18,9	17,9	17,3	15,8	
m_{smax}	88,3	70,9	61,0	54,6	50,0	46,3	37,7	
m_{sermin}	81,0	29,4	28,6	27,9	27,5	27,4	27,1	
m_{smax}	96,3	90,9	97,1	103,2	107,6	112,3	126,6	
m_{xy}	85,5	77,5	71,9	68,1	65,4	63,7	61,0	
R_p	42,7	37,7	35,9	34,0	32,7	31,8	30,5	
$q_{sermax}(x=0)$	2,77	2,67	2,60	2,54	2,51	2,48	2,43	
$q_{sermax}(x=l_x)$	16,0	14,8	13,1	12,3	11,6	11,2	10,2	
$q_{sermax}(y=0)$	10,1	9,47	9,02	8,83	8,70	8,65	8,91	
$q_{sermax}(y=l_y)$	3,94	3,86	3,79	3,75	3,73	3,72	3,70	
$q_{ysermax}(y=l_y)$	7,22	7,18	7,18	7,17	7,17	7,17	7,14	
$q_{ysermax}(y=l_y)$	5,43	5,33	5,27	5,22	5,19	5,17	5,13	
f_m	$\frac{P_1 \cdot l_x^4}{B \cdot d^3}$	0,0117	0,0129	0,0160	0,0178	0,0195	0,0208	0,0254



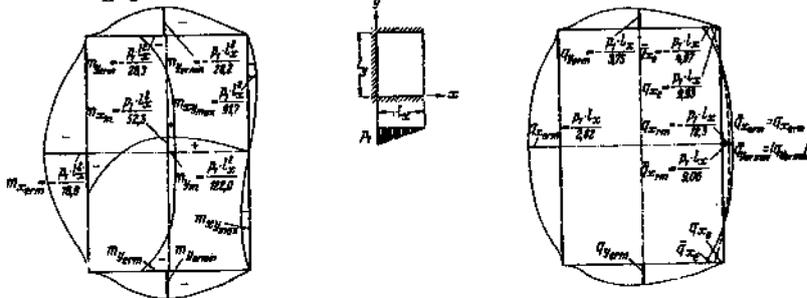
جدول ۱۷ دال با دو لبه گیردار و دو لبه ساده تحت بار گسترده مثلثی

$l_y:l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	
$m_{x\text{min}}$	31,0	27,1	24,3	22,2	20,7	19,2	16,4	
$m_{x\text{max}}$	86,3	70,6	59,5	51,6	46,5	42,7	33,0	
$m_{y\text{min}}$	24,1	22,0	20,7	19,6	18,8	18,2	16,2	
$m_{y\text{max}}$	83,3	82,0	81,8	81,3	81,3	81,3	81,3	
m_{xy}	86,5	80,6	87,7	77,6	78,7	82,0	96,2	
R_x	42,7	40,3	39,3	37,8	39,3	41,0	48,1	
$q_{x\text{max}}(x=0)$	3,04	3,65	3,41	3,20	3,02	2,89	2,47	
$q_{x\text{max}}(x=l_x)$	7,22	6,64	6,20	5,88	5,57	5,36	4,50	
$q_{y\text{max}}(y=0)$	6,43	5,08	4,81	4,66	4,48	4,31	3,78	
$q_{y\text{max}}(y=l_y)$	2,77	2,62	2,51	2,43	2,36	2,30	2,12	
$q_{xy\text{max}}(x=y)$	16,0	16,6	17,4	18,4	19,6	20,9	23,1	
$q_{xy\text{max}}(x \neq y)$	10,1	10,0	10,1	10,4	10,7	11,2	14,2	
f_{m}	$\frac{P_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$		0,0117	0,0141	0,0168	0,0184	0,0203	0,0219

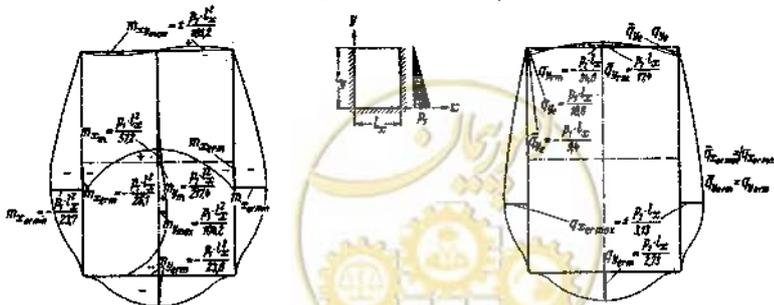


جدول ۱۸ دال با سه لبه گیردار و یک لبه ساده تحت بار گسترده منتهی

$l_y:l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
$m_{x\text{orm}}$	29,0	25,3	22,9	21,1	19,6	18,8	16,6
$m_{x\text{max}}$	104,2	86,9	75,2	64,9	57,8	52,3	39,4
$m_{y\text{ormin}}$	34,5	32,1	30,3	29,2	28,5	28,2	27,3
$m_{y\text{ormax}}$	95,2	95,2	98,0	108,1	112,2	122,0	181,9
$m_{xy\text{max}}$	140,2	128,2	113,7	108,1	97,2	91,7	85,6
$q_{x\text{orm}}(x=0)$	3,10	2,98	2,82	2,78	2,67	2,62	2,52
$q_{y\text{orm}}(y=0)$	21,3	18,9	15,8	14,2	13,1	12,3	10,4
$q_{x\text{orm}}(x=l_x)$	12,7	11,2	10,3	9,72	9,32	9,06	8,89
$q_{y\text{orm}}(y=l_y)$	4,11	4,01	3,93	3,85	3,79	3,75	3,70
$q_{xy\text{orm}}(x=0 \text{ u. } l_x)$							
f_m	0,0088	0,0110	0,0131	0,0151	0,0170	0,0187	0,0242

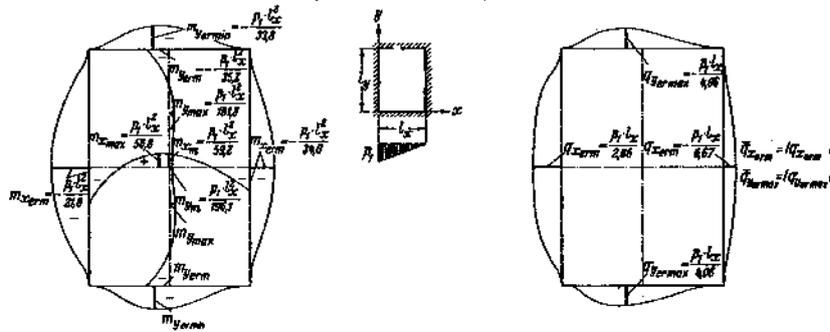


$l_y:l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
$m_{x\text{ormin}}$	34,5	31,1	28,7	26,7	25,8	23,7	20,2
$m_{x\text{orm}}$	95,2	81,3	71,4	64,9	60,6	57,2	49,5
$m_{y\text{orm}}$	29,0	26,9	25,8	24,9	24,1	23,3	21,9
$m_{y\text{ormax}}$	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2	104,2
$m_{xy\text{ormax}}$	140,2	158,9	158,9	166,6	175,5	185,2	248,9
$q_{x\text{ormax}}(x=0 \text{ u. } l_x)$	4,11	3,80	3,57	3,38	3,24	3,18	2,82
$q_{y\text{orm}}(y=0)$	3,10	2,99	2,90	2,83	2,77	2,73	2,60
$q_{x\text{orm}}(x=l_x)$	21,3	23,4	25,8	28,4	31,2	34,0	47,3
$q_{y\text{orm}}(y=l_y)$	12,7	12,2	14,1	15,1	16,2	17,4	23,8
f_m	0,0088	0,0101	0,0118	0,0122	0,0130	0,0136	0,0147

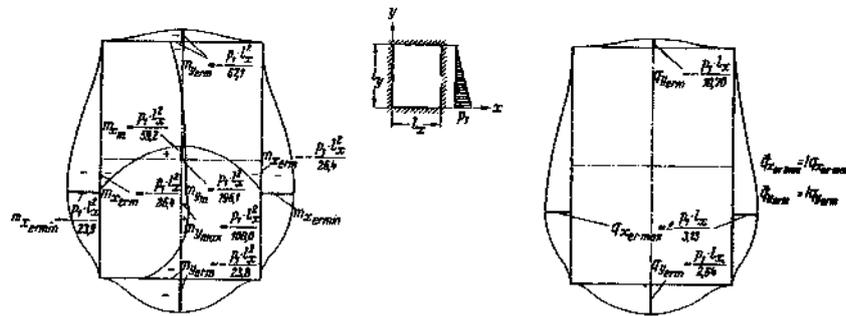


جدول ۱۹ دال با چهار لبه گیردار تحت بار گسترده مثلثی

$l_y : l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
$m_{xerm}(x=0)$	30,0	26,7	24,7	23,8	22,2	21,8	20,2
$m_{xerm}(x=l_x)$	56,2	47,1	41,7	38,1	35,5	34,0	30,4
m_{xmax}	98,0	82,6	73,0	65,8	60,6	56,8	48,5
m_{xermin}	36,9	36,0	35,1	34,6	34,4	33,8	33,8
m_{ymax}	113,6	120,4	131,5	147,0	166,6	181,8	212,6
$q_{xerm}(x=0)$	3,07	2,93	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86
$q_{xerm}(x=l_x)$	8,25	7,35	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
$q_{xermax}(x=0 \text{ و } l_x)$	4,14	4,12	4,08	4,07	4,07	4,06	4,08
$f_{lm} = \frac{P_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0076	0,0091	0,0104	0,0115	0,0124	0,0132	0,0152



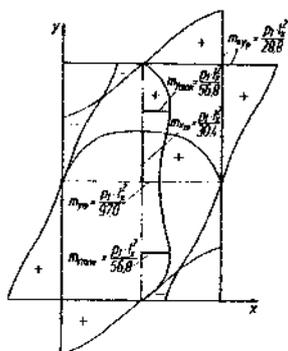
$l_y : l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0
m_{xermin}	36,9	33,1	29,8	27,5	25,6	23,9	20,2
m_{xym}	113,6	91,7	78,7	69,9	63,7	59,2	50,0
$m_{yerm}(y=0)$	30,0	27,5	26,1	26,0	24,1	23,8	21,9
$m_{yerm}(y=l_y)$	56,2	55,5	67,2	59,5	62,9	67,1	92,5
m_{ymax}	98,0	98,0	99,0	99,0	99,0	100,0	100,0
$q_{xermax}(x=0 \text{ و } l_x)$	4,14	3,86	3,59	3,39	3,25	3,13	2,83
$q_{yerm}(y=0)$	3,07	2,90	2,80	2,74	2,70	2,64	2,49
$q_{yerm}(y=l_y)$	8,25	8,40	8,77	9,40	9,99	10,70	14,20
$f_{lm} = \frac{P_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0076	0,0081	0,0104	0,0115	0,0124	0,0132	0,0152



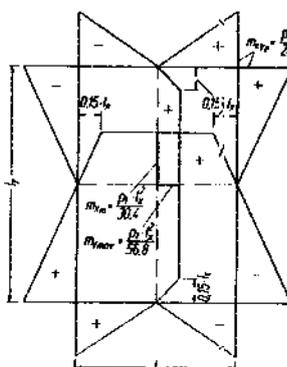
جدول ۲۰

$l_y:l_x$	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1.0
$m_{xmax} =$	211	179	154	134	117	102	91.0	81.0	72.5	65.4	59.3
$m_{ymax} =$	02.7	82.3	75.0	69.9	66.3	63.8	62.1	60.9	60.2	59.6	59.3
$m_{xyc} = \pm$	101	87.0	75.9	67.2	60.4	54.9	50.4	46.7	43.7	41.2	39.1
$R_x =$	50.7	43.5	37.9	33.6	30.2	27.4	25.2	23.3	21.8	20.6	19.5
$q_{ximax} = \pm$	7.41	6.91	6.49	6.13	5.83	5.57	5.35	5.15	4.98	4.83	4.70
$q_{zimax} =$	5.40	5.07	4.79	4.55	4.34	4.20	4.07	3.96	3.86	3.78	3.72
$q_{ymax} = \pm$	7.51	6.94	6.47	6.09	5.73	5.52	5.30	5.11	4.95	4.82	4.70
$q_{vmax} =$	6.48	6.03	5.64	5.29	4.97	4.68	4.42	4.20	4.02	3.86	3.72
$f_{max} = \frac{p_1 \cdot l_x^2}{E \cdot d^3}$	0,0036	0,0049	0,0065	0,0082	0,0101	0,0122	0,0144	0,0167	0,0190	0,0214	0,0238

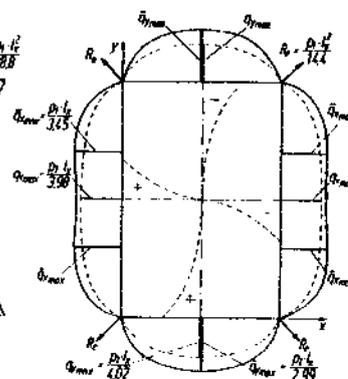
$l_y:l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$m_{ximax} =$	59,3	49,6	42,5	37,3	33,4	30,4	28,2	26,4	25,1	24,0	23,1
$m_{ymax} =$	59,3	58,8	58,4	58,0	57,5	56,8	56,1	55,4	54,6	53,8	52,9
$m_{xyc} = \pm$	39,1	35,7	33,2	31,4	29,9	28,6	27,8	27,1	26,4	25,8	25,3
$R_x =$	19,5	17,8	16,6	15,7	14,9	14,4	13,9	13,5	13,2	12,9	12,6
$q_{ximax} = \pm$	4,70	4,48	4,31	4,17	4,07	3,98	3,92	3,86	3,82	3,79	3,76
$q_{zimax} =$	3,72	3,62	3,56	3,52	3,49	3,45	3,41	3,37	3,32	3,28	3,24
$q_{ymax} = \pm$	4,70	4,50	4,34	4,21	4,11	4,02	3,94	3,87	3,81	3,75	3,70
$q_{vmax} =$	3,72	3,50	3,33	3,19	3,03	2,99	2,91	2,85	2,79	2,74	2,70
$f_{max} = \frac{p_1 \cdot l_x^2}{E \cdot d^3}$	0,0238	0,0285	0,0330	0,0372	0,0412	0,0448	0,0480	0,0509	0,0534	0,0556	0,0576



نمودار لنگر
(توزیع واقعی)



نمودار لنگر
(توزیع قراردادی)

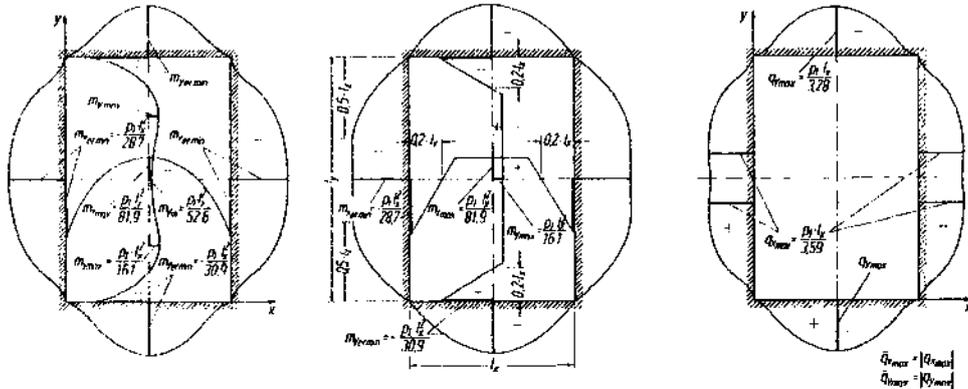


نمودار برش



$l_y:l_x$	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
$m_{ymin} = -$	109	94,0	82,0	72,3	64,4	58,0	52,7	48,3	44,7	41,7	39,2
$m_{ymax} =$	534	469	420	377	338	303	269	238	209	184	163
$m_{ymin} = -$	106	90,7	77,4	67,3	59,3	54,0	49,5	46,0	43,2	41,0	39,2
$m_{ymax} =$	273	238	210	180	175	165	160	157	158	160	163
$q_{ymax} = \pm$	5,96	5,59	5,27	5,00	4,77	4,56	4,39	4,24	4,11	4,00	3,91
$q_{ymax} = \pm$	6,71	6,28	6,98	5,51	5,15	4,83	4,57	4,36	4,18	4,03	3,91
$f_{max} = \frac{p_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0008	0,0011	0,0015	0,0019	0,0025	0,0030	0,0037	0,0048	0,0054	0,0059	0,0063

$l_y:l_x$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$m_{ymin} = -$	39,2	35,3	32,7	30,8	29,5	28,7	28,1	27,7	27,4	27,1	26,8
$m_{ymax} =$	163	131	110	96,6	87,7	81,9	77,8	74,9	72,5	70,4	68,3
$m_{ymin} = -$	39,2	36,4	34,5	33,0	31,8	30,9	30,0	29,2	28,5	27,9	27,3
$m_{ymax} =$	163	169	172	171	167	161	165	149	143	138	133
$q_{ymax} = \pm$	3,91	3,77	3,69	3,63	3,61	3,59	3,56	3,51	3,46	3,41	3,35
$q_{ymax} = \pm$	3,01	3,72	3,57	3,46	3,36	3,28	3,21	3,14	3,08	3,03	2,98
$f_{max} = \frac{p_1 \cdot l_x^4}{E \cdot d^3}$	0,0068	0,0074	0,0085	0,0094	0,0101	0,0108	0,0110	0,0113	0,0115	0,0118	0,0120



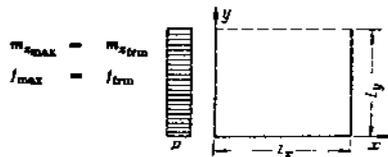
جدول دال‌ها با سه لبه متکی

دال‌ها با سه لبه متکی، دال‌هایی هستند که سه لبه آنها تکیه داده شده (ساده یا گیردار) و لبه چهارم آزاد می‌باشد. در جداول صفحات بعد، ضرایب نیروی برشی و لنگر خمشی این دال‌ها برای شرایط مختلف تکیه گاهی تحت بار گسترده یکنواخت و بار مثلثی ارائه شده است.



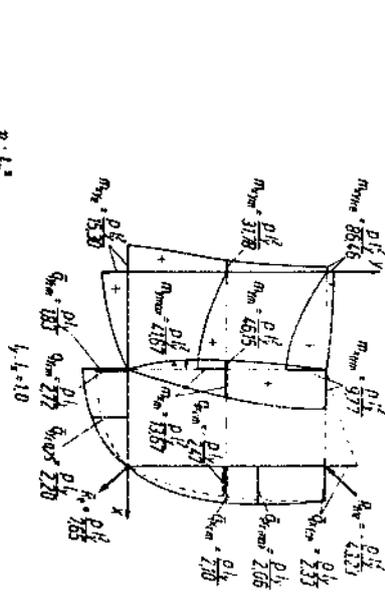
جدول ۲۲ دال با سه لبه ساده تحت بار بکنواخت

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
m_{xmn}	7,88	7,88	8,04	8,46	9,11	9,97	11,04	12,26	13,67	15,24	16,96	18,83	20,86	23,04
m_{xrm}	4,04	4,12	4,41	4,69	5,58	6,34	7,32	8,46	9,77	11,25	12,90	14,78	16,73	18,90
m_{xrm}	8,48	8,92	10,51	12,90	16,51	21,27	27,56	35,72	46,15	59,55	75,90	95,51	122,04	163,54
m_{xmx}	8,48	8,92	10,51	12,90	16,44	20,94	26,68	33,47	41,67	50,42	60,09	70,42	81,67	93,75
m_{xro}	2,23	2,74	3,34	5,10	6,58	8,31	10,32	12,65	16,30	18,27	21,56	25,17	29,10	33,34
m_{xrm}	2,56	3,24	4,89	7,08	9,81	13,42	18,10	24,11	31,78	41,51	53,78	69,10	86,44	112,41
m_{xro}	2,90	3,88	5,32	10,07	15,79	24,47	37,57	57,22	86,46	129,72	193,27	290,20	421,76	618,43
R_x	1,11	1,37	1,92	2,55	3,29	4,15	5,16	6,32	7,65	9,13	10,78	12,58	14,55	16,67
R_{xro}	1,45	1,91	3,16	5,03	7,89	12,23	18,78	28,61	43,23	64,36	96,63	143,14	210,88	309,21
q_{xmn}	1,89	1,90	1,92	1,95	2,02	2,10	2,21	2,33	2,47	2,61	2,77	2,93	3,09	3,25
q_{xrm}	1,48	1,48	1,50	1,54	1,62	1,71	1,83	1,96	2,10	2,26	2,43	2,60	2,78	2,96
q_{xro}	1,88	1,84	1,85	1,87	1,98	2,00	2,09	2,20	2,33	2,46	2,61	2,77	2,94	3,11
q_{xrm}	1,35	1,35	1,48	1,63	1,80	2,01	2,23	2,47	2,72	2,97	3,23	3,49	3,75	4,08
q_{xro}	1,00	1,02	1,07	1,15	1,25	1,33	1,42	1,52	1,63	1,74	1,86	1,98	2,11	2,25
i_{xmn}	$\frac{p \cdot l_y^3}{8 \cdot d^4}$	5,50	8,67	1,87	1,08	0,643	0,409	0,270	0,184	0,124	0,092	0,066	0,050	0,029



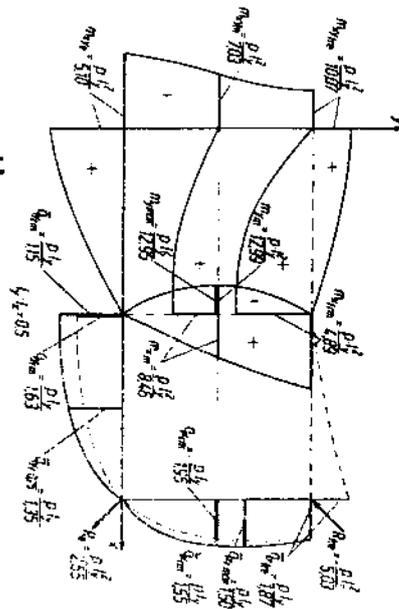
$$R_{xre} = \frac{p \cdot l_y^3}{43,23}$$

$$R_x = \frac{p \cdot l_y^3}{7,86}$$



$$R_{xre} = \frac{p \cdot l_y^3}{5,03}$$

$$R_x = \frac{p \cdot l_y^3}{2,55}$$

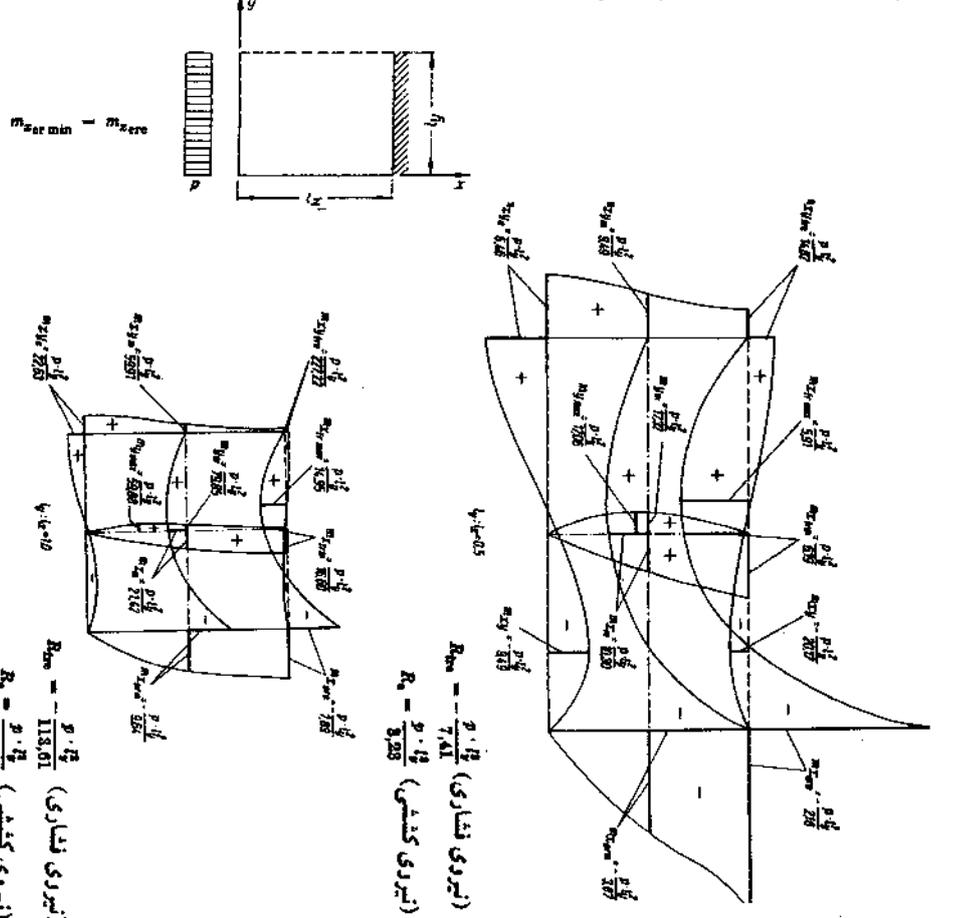


جدول ۲۳ دال با دو لبه ساده یک لبه گیردار تحت بار گسترده یکساخت

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{x\min}$	73,19	62,39	51,74	41,03	30,37	18,92	18,03	18,02	10,70	20,66	21,99	23,51	26,24	27,18
$m_{x\max}$	26,43	18,09	11,75	9,71	9,09	9,13	9,59	10,30	11,37	12,61	14,06	15,72	17,58	19,64
$m_{y\min}$	2,26	2,42	2,85	3,41	4,11	4,94	5,95	7,14	8,51	10,06	11,79	13,72	15,82	18,13
$m_{y\max}$	-12,69	-17,24	-23,56	-31,68	-41,68	-52,93	-66,95	-82,97	-100,16	-118,51	-138,18	-159,18	-181,55	-205,28
$m_{x\max} - m_{y\max}$					35,71				54,48					126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\max}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\min}$														126,58
$m_{x\max} - m_{y\max}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\min} - m_{x\max}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\min}$														126,58
$m_{y\max} - m_{x\max}$														126,58
$m_{x\min} - m_{y\min}</$														

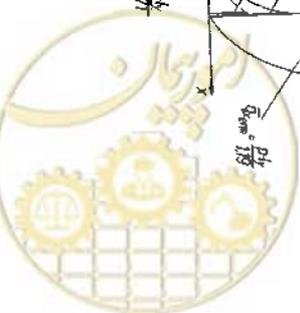
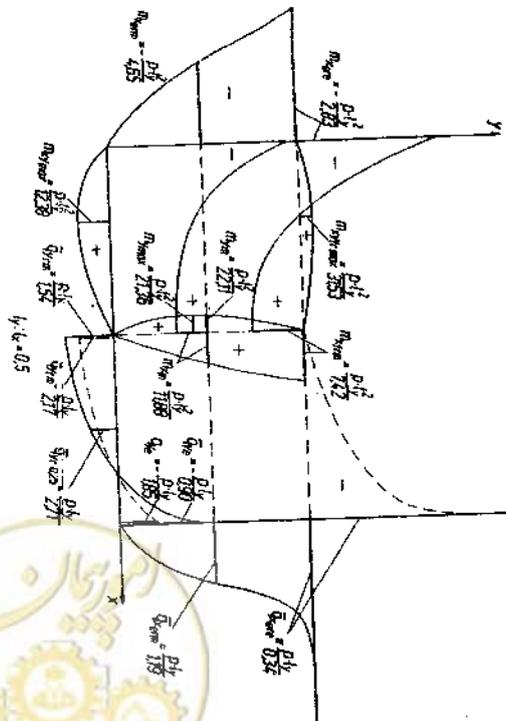
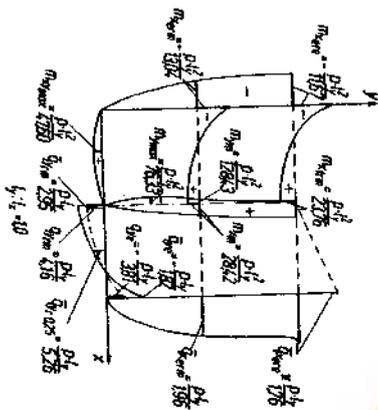
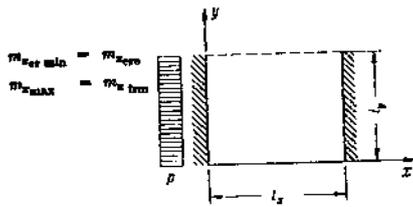
جدول ۲۴ دال با دو لبه ساده و یک لبه گیردار تحت بار گسترده بکنواخت

دال	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
M_{max}	1,94	2,31	3,07	3,87	4,77	5,79	6,93	8,23	9,64	11,22	12,95	14,83	16,85	19,09
M_{min}	0,80	1,02	1,53	2,18	2,96	3,94	5,08	6,40	7,99	9,86	11,40	13,41	15,59	17,92
$M_{x=0}$	7,99	8,21	9,04	10,30	11,91	13,85	16,09	18,61	21,42	24,52	27,91	31,57	35,57	39,99
$M_{x=l/2}$	4,15	4,41	5,14	6,19	7,58	9,30	11,36	13,81	16,60	19,76	23,29	27,17	31,41	36,09
$M_{x=l/4}$	4,15	4,18	4,98	5,91	7,23	8,75	10,49	12,60	14,95	17,65	20,64	24,01	28,10	32,18
m_{max}	0,5	0,48	0,44	0,42	0,41	0,40	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
m_{min}	9,10	10,06	12,97	17,32	23,47	31,99	43,06	56,11	71,84	107,35	143,84	191,39	253,82	336,62
$m_{x=0}$	9,96	10,96	12,95	17,06	22,84	30,89	39,43	49,60	60,88	72,46	86,22	101,19	117,36	134,73
$m_{x=l/2}$	0,40	0,48	0,48	0,44	0,40	0,37	0,32	0,28	0,25	0,24	0,22	0,19	0,17	0,15
$m_{x=l/4}$	2,48	3,12	4,61	6,46	8,74	11,44	14,71	18,42	22,63	27,31	32,45	38,04	44,13	50,68
R_{max}	2,09	3,78	6,14	9,49	14,24	20,90	30,11	42,74	59,91	83,12	114,37	160,29	212,37	287,21
R_{min}	3,85	4,01	4,31	4,82	5,50	6,38	7,20	8,22	9,22	10,54	12,17	14,11	16,36	19,01
$R_{x=0}$	1,2	1,58	2,30	3,23	4,37	5,72	7,35	9,21	11,31	13,65	16,32	19,63	22,96	28,23
$R_{x=l/2}$	1,67	2,30	4,17	7,41	12,26	22,44	39,64	66,31	113,61	194,7	334,8	578,7	1008,2	1774,4
$R_{x=l/4}$	1,50	1,90	1,95	2,02	2,10	2,35	2,58	2,70	2,90	3,19	3,54	3,94	4,38	4,86
$R_{x=0}$	1,48	1,49	1,54	1,60	1,77	1,93	2,12	2,33	2,54	2,78	3,08	3,27	3,63	3,90
$R_{x=l/2}$	1,83	1,84	1,87	1,94	2,06	2,21	2,38	2,58	2,78	3,02	3,25	3,49	3,75	4,01
$R_{x=l/4}$	0,060	0,042	1,02	1,18	1,20	1,30	1,41	1,58	1,87	1,90	1,94	1,98	2,23	2,38
$R_{x=0}$	0,060	0,099	0,159	0,254	0,388	0,561	0,754	0,982	1,32	1,46	1,69	1,91	2,12	2,32
$R_{x=l/2}$	1,40	1,47	1,67	1,91	2,21	2,68	3,30	4,10	5,00	5,90	6,25	6,60	6,95	7,29
$R_{x=l/4}$	1,03	1,07	1,20	1,30	1,56	1,77	2,09	2,24	2,40	2,72	2,96	3,21	3,40	3,79
$R_{x=0}$	4,48	2,82	1,81	0,878	0,379	0,225	0,140	0,091	0,061	0,042	0,030	0,022	0,016	0,012



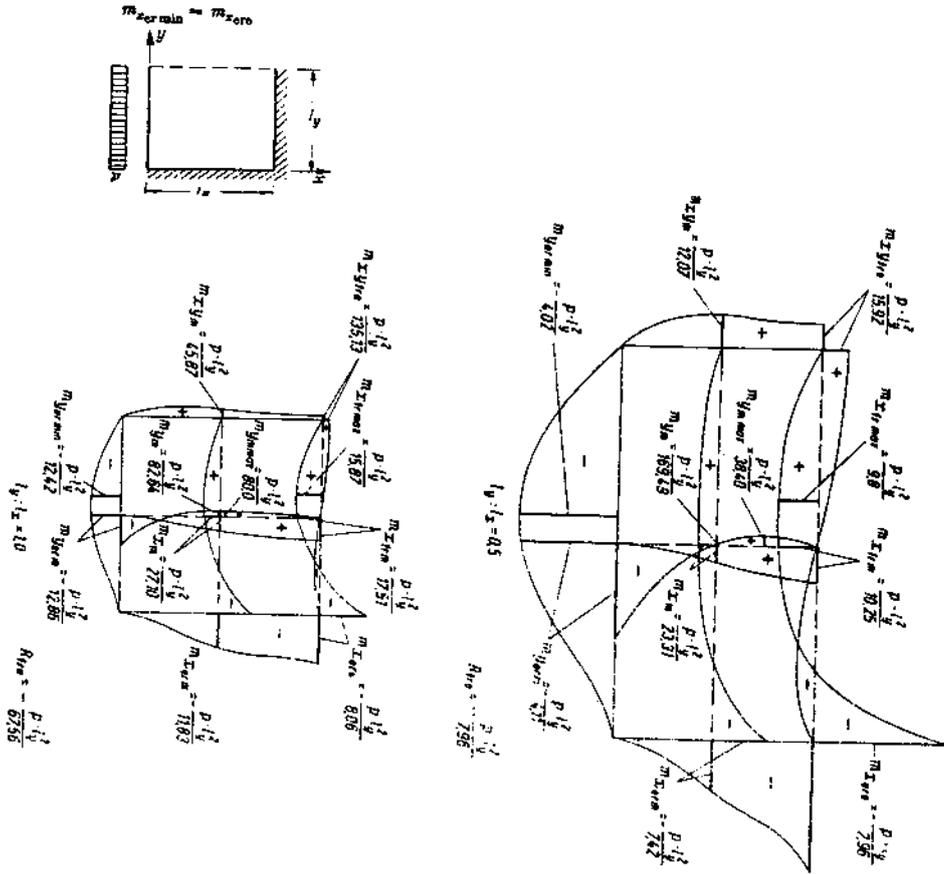
جدول ۲۵ دال با دو لبه گیردار و یک لبه ساده تحت بار گسترده یکنواخت

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	
$m_{x\text{term}}$	2,12	2,63	3,55	4,65	5,92	7,39	9,06	10,94	13,04	15,39	17,98	20,81	23,90	27,24	
$m_{x\text{int}}$	0,80	1,20	1,89	2,83	4,04	5,53	7,30	9,35	11,67	14,25	17,07	20,13	23,43	26,96	
$m_{y\text{int}}$	8,08	8,48	9,86	11,88	14,34	17,25	20,56	24,28	28,42	32,98	38,00	43,48	49,46	55,91	
$m_{y\text{term}}$	4,30	4,87	5,80	7,42	9,58	12,27	15,53	19,35	23,78	28,73	34,22	40,24	46,74	53,74	
$m_{y\text{max}}$	9,72	11,20	15,65	22,11	31,53	44,06	63,94	90,71	128,43	181,82	250,82	348,36	515,11	732,43	
$m_{y\text{min}}$	9,72	11,11	15,38	21,35	29,03	38,58	49,01	61,83	78,33	92,36	110,76	131,00	151,93	174,41	
$\beta_{x\text{term}}$	$\beta = 0,5$														
$\beta_{x\text{int}}$	0,91	0,97	1,08	1,19	1,32	1,47	1,62	1,79	1,96	2,15	2,34	2,53	2,73	2,93	
$\beta_{y\text{int}}$	0,07	0,11	0,20	0,34	0,55	0,81	1,12	1,46	1,76	2,06	2,32	2,58	2,70	3,00	
$\beta_{y\text{term}}$	1,44	1,55	1,83	2,17	2,64	3,04	3,34	3,75	4,16	4,58	5,00	5,40	5,81	6,21	
$\beta_{y\text{max}}$	1,05	1,12	1,31	1,54	1,81	2,04	2,37	2,68	2,95	3,25	3,54	3,84	4,13	4,42	
$f_{\text{max}} = \frac{p \cdot l_x^2}{8 \cdot d^3}$	3,62	2,19	0,927	0,444	0,238	0,131	0,076	0,049	0,032	0,022	0,016	0,011	0,008	0,006	



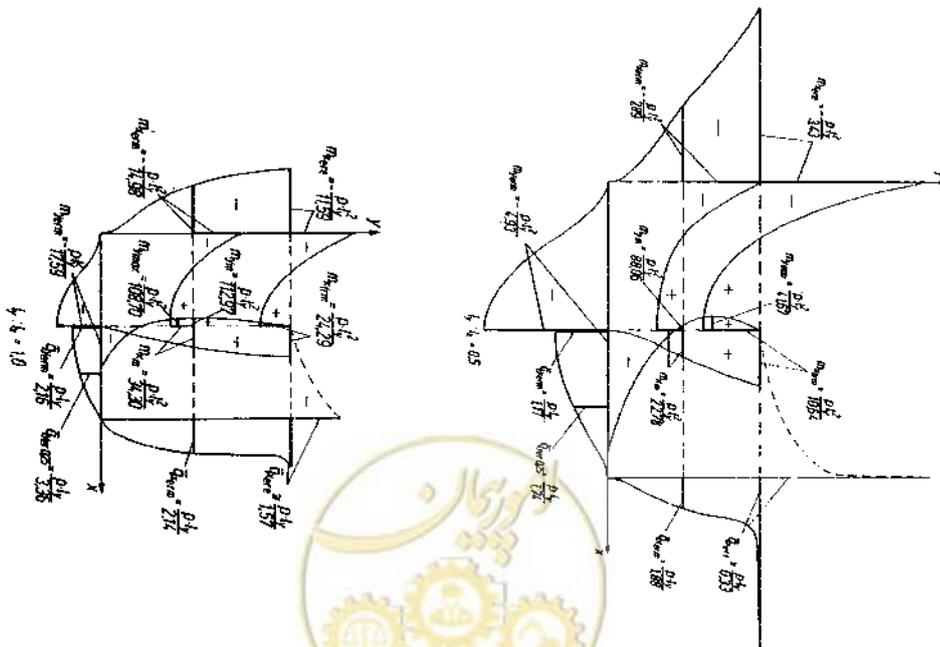
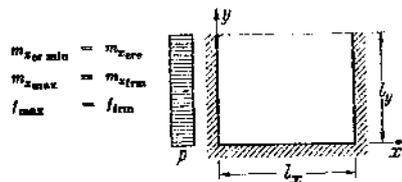
جدول ۲۶ دال با دو لبه گیردار و یک لبه ساده بار گسترده بکنواخت

l_1/l_2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
m_{x0max}	6,70	6,83	7,00	7,42	7,84	8,05	8,53	10,60	11,83	12,23	14,73	16,82	18,40	20,45
m_{x0min}	2,11	2,20	2,50	2,96	3,50	4,43	5,45	6,94	8,00	8,96	11,44	13,40	15,53	17,84
m_{x1max}	70,00	45,60	28,40	23,92	21,31	22,12	23,36	24,00	27,10	29,67	32,57	36,54	39,37	43,39
m_{x1min}	22,97	16,05	11,31	10,25	10,62	11,52	13,07	15,00	17,51	20,30	23,64	27,24	31,25	35,71
m_{x2max}	14,08	13,98	10,98	9,90	9,90	10,43	12,04	13,40	15,37	16,51	21,27	24,39	27,77	31,25
m_{x2min}	0,15	0,22	0,34	0,58	0,38	0,38	0,55	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
m_{y0max}	2,33	2,58	3,20	4,11	5,28	6,74	8,48	10,33	12,06	14,47	16,35	21,51	24,93	28,81
m_{y0min}	2,33	2,58	3,16	4,02	5,14	6,53	8,20	10,16	12,42	14,97	17,77	23,82	24,13	27,71
m_{y1max}	-14,01	-20,53	-22,09	-109,49	68,94	58,82	61,24	69,44	82,84	100,00	123,45	153,84	196,07	243,80
m_{y1min}	173,33	78,92	43,47	38,40	40,00	48,47	54,05	67,50	80,00	100,00	120,48	140,84	168,98	200,00
m_{y2max}	0,9	0,8	0,78	0,74	0,70	0,69	0,60	0,58	0,52	0,49	0,45	0,41	0,49	0,40
m_{y2min}	8,56	8,73	9,95	12,07	15,29	19,34	25,10	34,00	46,87	60,90	80,00	105,98	138,80	181,81
R_{x0}	5,02	9,45	11,85	15,92	23,14	34,96	54,34	85,47	135,13	217,39	344,82	565,85	909,80	1428,87
R_{x1}	4,48	4,72	5,84	7,90	11,57	17,43	27,17	42,73	67,56	108,89	172,41	277,77	434,54	714,28
R_{x2}	4,73	4,58	4,04	3,91	3,34	3,22	3,31	3,36	3,37	3,51	3,97	5,06	6,04	6,23
R_{y0}	5,40	6,00	7,96	12,27	2,92	2,77	2,75	2,81	2,92	3,06	3,24	3,44	3,66	3,88
R_{y1}	2,96	2,92	2,77	2,84	2,68	2,59	2,67	2,79	2,96	3,13	3,34	3,58	3,80	4,08
R_{y2}	3,31	2,25	2,08	1,95	1,83	1,80	1,90	1,85	1,91	2,00	2,10	2,22	2,34	2,47
R_{x0max}	0,150	0,173	0,212	0,275	0,366	0,491	0,652	0,847	1,07	1,31	1,55	1,79	2,02	2,23
R_{x0min}	0,976	0,875	1,01	1,09	1,20	1,33	1,49	1,65	1,83	2,00	2,16	2,36	2,56	2,73
R_{y0}	1,14	0,966	0,857	0,421	0,281	0,184	0,122	0,083	0,058	0,041	0,029	0,023	0,016	0,012



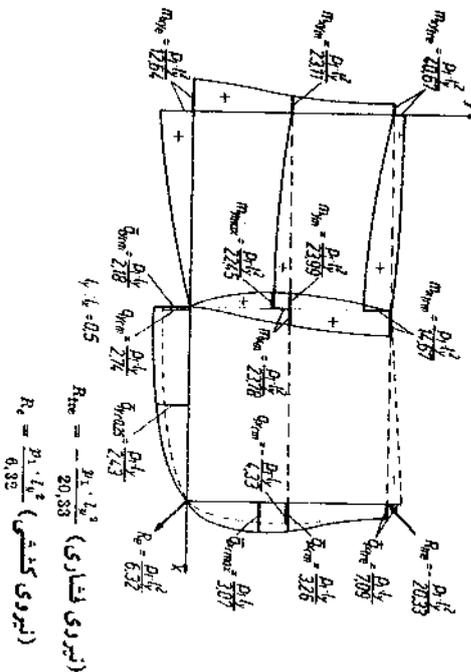
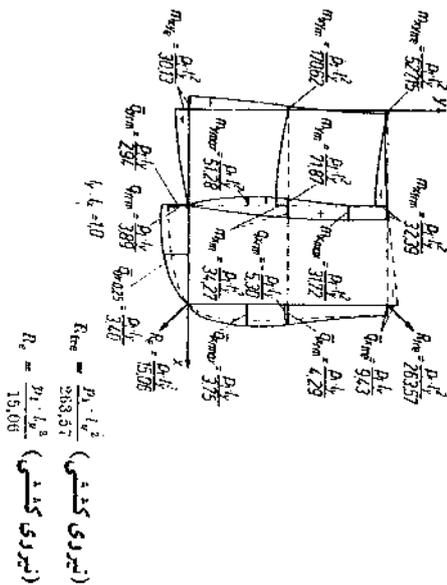
جدول ۲۷ دال با سه لبه گیردار تحت بار گسترده یکدست

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{xerm} =$	6,79	8,89	7,20	7,80	8,79	13,98	11,41	13,08	14,96	17,12	19,50	22,13	25,03	28,14
$m_{xere} =$	2,16	2,27	2,71	3,43	4,45	5,77	7,41	9,35	11,50	14,11	16,90	19,94	23,22	26,73
$m_{xim} =$	57,06	37,91	25,43	22,78	23,10	24,92	27,40	30,65	34,30	38,42	43,01	48,06	53,61	59,66
$m_{xerm} =$	19,24	13,91	10,89	10,64	11,87	13,04	14,73	16,18	17,59	19,02	20,48	21,96	23,46	24,97
$m_{yerm} =$	2,41	2,71	3,61	4,93	6,66	8,81	11,34	14,29	17,59	21,20	25,28	29,60	34,30	39,47
$m_{yem} =$	-10,07	-26,07	-287,52	88,06	62,80	43,84	73,38	89,55	112,97	145,48	189,93	250,44	332,69	445,83
$m_{yemax} =$	104,17	62,46	43,24	41,67	48,00	58,45	72,73	89,55	108,70	131,63	156,52	183,69	213,04	244,56
ν/l_y	-0,88	0,8	0,75	0,7	0,66	0,6	0,55	0,5	0,46	0,4	0,35	0,32	0,3	0,28
$\delta_{xerm} =$	2,29	2,21	2,02	1,88	1,83	1,85	1,92	2,02	2,14	2,29	2,43	2,60	2,77	2,95
$\delta_{xere} =$	0,16	0,17	0,23	0,33	0,47	0,68	0,94	1,24	1,57	1,89	2,29	2,48	2,73	2,96
$\delta_{xerm} =$	0,07	0,08	1,05	1,17	1,34	1,53	1,73	1,94	2,16	2,38	2,59	2,81	3,03	3,26
$f_{cm} = \frac{p \cdot l_y^2}{E \cdot d^3}$	1,081	0,884	0,548	0,327	0,195	0,118	0,074	0,048	0,032	0,022	0,016	0,011	0,008	0,006



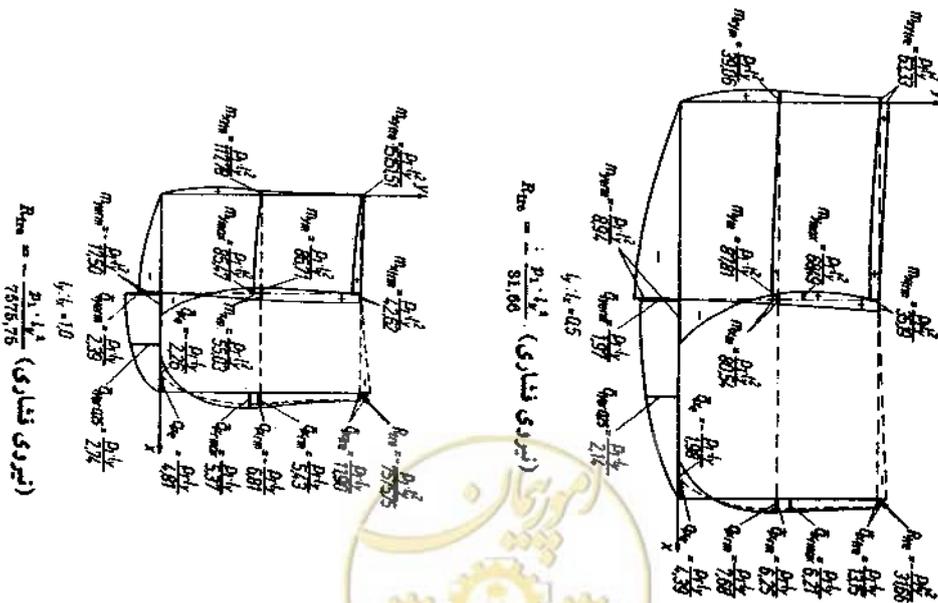
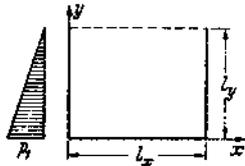
جدول ۲۸ دال با سه لبه تحت بار گسترده مثلثی

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{x_{min}} =$	23,50	23,24	23,17	23,78	24,88	26,71	28,87	31,40	34,27	37,44	40,89	44,62	48,61	52,87
$m_{x_{fcm}} =$	12,07	12,20	13,17	14,67	16,70	19,58	23,03	27,26	32,30	38,46	45,62	53,05	63,01	74,69
$m_{x_{max}} =$	12,07	12,20	13,17	14,67	16,70	19,58	23,03	27,26	32,30	38,46	45,62	53,05	63,01	74,69
$\nu/\nu_y = 1,0$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,65	0,6	0,56	0,5	0,5
$m_{y_{min}} =$	16,65	17,45	20,04	23,99	29,45	36,62	45,83	57,43	71,87	89,69	111,57	138,31	170,95	210,44
$m_{y_{max}} =$	16,22	16,89	19,13	22,45	26,67	31,61	37,69	44,78	51,28	60,50	70,24	79,82	89,91	100,90
$\nu/\nu_y = 0,4$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,35	0,32	0,3	0,28	0,25	0,23	0,22	0,2	0,18	0,18
$m_{y_{fcm}} =$	4500,21	4500,21	1642,04	1642,04	1175,09	1175,09	1016,25	1016,25	950,99	950,99	950,99	950,99	950,99	950,99
$m_{x_{y_{c}}}$	6,31	7,40	9,97	12,64	15,54	18,74	22,24	26,04	30,18	34,49	39,10	43,96	49,08	54,45
$m_{x_{y_{cm}}}$	7,00	10,10	15,57	23,11	33,81	49,37	72,74	109,37	170,62	264,50	444,37	755,73	1249,76	2123,88
$m_{x_{y_{max}}}$	9,43	12,76	22,68	40,67	77,20	148,39	279,48	558,97	1093,74	2187,48	4374,96	8749,92	17499,84	34999,68
R_c	3,20	3,73	4,08	6,32	7,77	9,37	11,12	13,02	15,06	17,24	19,55	21,98	24,54	27,22
R_{fcm}	-4,71	-6,38	-11,74	-20,33	-38,64	-64,10	-109,48	-187,16	-323,57	-562,18	-979,08	-1709,27	-3181,22	-5800,81
$q_{x_{cm}}$	4,20	1,91	4,27	4,83	4,40	4,00	4,80	5,05	5,30	5,58	5,88	6,17	6,49	6,80
$q_{x_{cm}}$	3,14	3,15	3,18	3,30	3,38	3,65	3,77	4,01	4,29	4,58	4,87	5,20	5,55	5,88
$q_{x_{cm}}$	7,35	7,10	7,09	7,09	7,30	7,83	8,06	8,69	9,43	10,30	11,23	12,24	13,51	14,92
$q_{x_{cm}}$	2,12	2,45	2,67	2,74	2,91	3,18	3,40	3,64	3,89	4,14	4,40	4,66	4,90	5,15
$q_{x_{cm}}$	2,00	2,02	2,08	2,18	2,30	2,45	2,61	2,77	2,94	3,10	3,26	3,43	3,61	3,77
$f_{max} = \frac{p_1 \cdot l_y^4}{E \cdot d^4}$	1,83	1,22	0,618	0,848	0,208	0,190	0,084	0,056	0,040	0,029	0,021	0,017	0,013	0,011



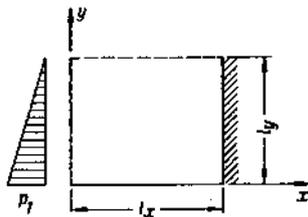
جدول ۲۹ دال با یک لبه گیردار و دو لبه ساده تحت بار گسترده مثلثی

$l_1 : l_2$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{Ed,max}$	252,02	194,48	100,89	90,84	68,03	50,21	35,10	22,72	12,74	5,87	2,82	1,30	0,60	0,09
$m_{Ed,min}$	91,00	65,09	42,79	35,10	22,72	12,74	5,87	2,72	1,00	0,45	0,20	0,10	0,05	0,02
$m_{Ed,max}$	94,89	65,98	42,70	35,10	22,72	12,74	5,87	2,72	1,00	0,45	0,20	0,10	0,05	0,02
$\eta/l_1 = 1,0$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$m_{Ed,max}$	6,59	6,94	7,82	8,94	10,25	11,74	13,46	15,37	17,50	19,75	22,18	24,79	27,53	30,47
$m_{Ed,min}$	-114,28	-299,04	175,04	87,81	71,44	68,28	70,12	77,27	88,71	99,10	114,86	134,18	157,56	186,94
$m_{Ed,max}$				88,49					88,47					144,92
$m_{Ed,min}$				$\eta/l_1 = 0,82$					$\eta/l_1 = 0,45$					1907,71
$m_{Ed,max}$														$\eta/l_1 = 0,35$
$m_{Ed,min}$														$\eta/l_1 = 0,9$
$m_{Ed,max}$	30,41	31,57	34,29	39,08	46,49	56,87	70,79	90,35	117,78	157,18	215,47	306,18	426,36	758,01
$m_{Ed,min}$	36,83	39,11	47,25	63,33	90,00	142,57	237,36	417,66	751,51	1121,07	1777,50	2824,10	4521,10	7211,10
R_{Ed}	-18,49	-19,05	-23,82	-31,48	-45,03	-71,28	-120,28	-208,88	-375,71	-600,83	-928,75	-1479,79	-2362,06	-3805,55
$\eta/l_1 = 1,0$	8,40	8,40	8,18	7,88	7,29	7,04	6,34	6,00	6,81	7,89	9,99	12,19	14,35	16,57
$\eta/l_1 = 0,82$	7,86	7,24	6,76	6,25	6,81	7,35	8,10	9,27	10,45	11,82	13,36	15,06	16,94	19,00
$\eta/l_1 = 0,9$	10,94	15,37	14,28	13,18	12,10	11,64	11,10	11,92	13,00	14,50	16,16	17,98	19,96	22,09
$\eta/l_1 = 1,0$	1,97	1,96	1,94	1,97	2,02	2,09	2,18	2,28	2,39	2,50	2,62	2,73	2,86	2,98
f_{max}	$\frac{P_1 \cdot l_1^2}{K \cdot d^3}$	0,821	0,828	0,811	0,768	0,710	0,679	0,657	0,641	0,630	0,622	0,617	0,615	0,611



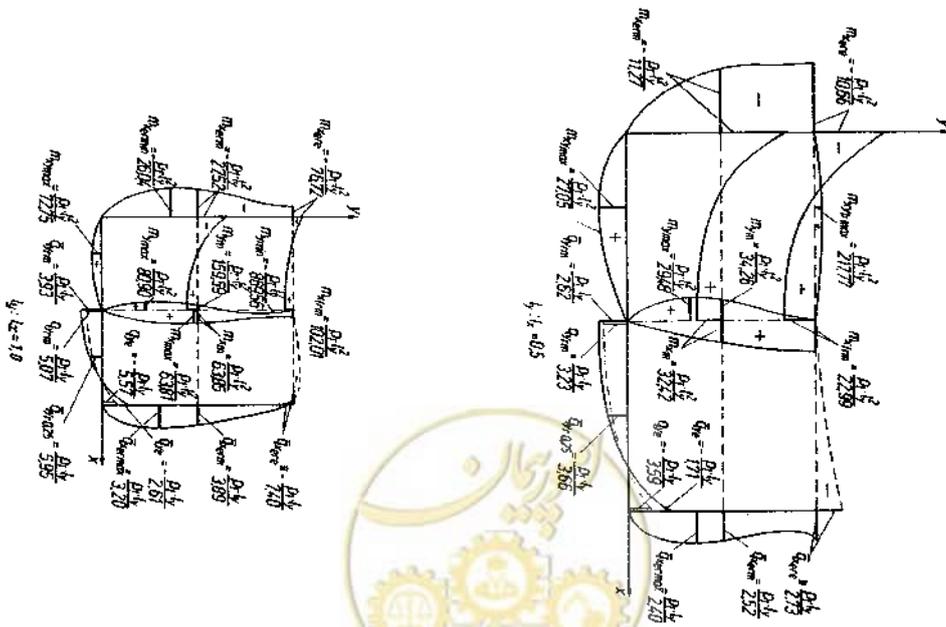
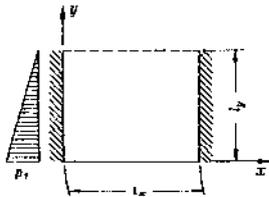
جدول ۳۰ دال با یک لبه گیردار و دو لبه ساده تحت بار گسترده مثلثی

l_y/l_x	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
w_{max}	5,27	6,16	7,09	8,04	11,53	12,90	15,91	19,44	21,27	24,36	27,76	31,59	35,84	40,52
w_{min}	2,56	2,81	3,17	3,72	11,13	15,62	21,91	29,72	30,58	33,70	38,24	43,71	103,96	127,31
w_{max}	2,56	2,81	3,17	3,72	11,13	15,62	21,91	29,72	30,58	33,70	38,24	43,71	103,96	127,31
w_{min}	25,00	24,13	25,09	26,87	31,35	35,99	40,22	45,22	49,99	55,47	61,26	68,06	77,30	89,49
w_{max}	12,59	12,19	12,44	12,98	22,67	29,95	37,30	43,75	50,25	56,27	62,74	69,54	75,53	82,56
w_{min}	12,50	12,10	12,44	12,98	22,67	29,95	37,30	43,75	50,25	56,27	62,74	69,54	75,53	82,56
w_{max}	12,50	11,65	14,92	17,99	22,92	29,99	36,06	41,50	44,84	46,55	47,58	48,00	48,00	48,00
w_{min}	17,53	18,96	22,12	26,22	31,54	38,79	43,72	48,57	100,11	142,88	188,59	243,51	317,61	414,22
w_{max}	16,85	18,15	21,62	26,81	31,71	38,67	46,54	55,19	65,57	77,55	90,65	104,32	119,51	136,29
w_{min}	16,85	18,15	21,62	26,81	31,71	38,67	46,54	55,19	65,57	77,55	90,65	104,32	119,51	136,29
w_{max}	6400,0	2514,3	1200,0	1000,5	900,0	889,4	900,0	889,4	900,0	889,4	900,0	889,4	900,0	889,4
w_{min}	7,10	6,41	11,71	15,42	19,58	24,12	29,05	34,20	40,06	46,07	52,46	59,22	66,29	73,96
w_{max}	3,09	11,90	19,94	32,40	53,43	90,25	151,76	227,98	304,03	3324,1	-684,4	-622,0	-558,0	-502,4
w_{min}	11,05	15,75	22,24	32,22	42,69	11205,3	-429,9	-302,3	-228,2	-229,9	-221,7	-202,5	-174,3	-141,9
R_x	2,65	4,20	6,28	7,71	9,78	12,00	14,64	17,19	20,02	23,08	26,22	29,41	32,10	34,99
R_y	5,52	7,20	10,17	13,10	160,4	5997,8	-218,4	-151,6	-141,6	-140,9	-100,8	-181,4	-202,1	-240,9
d_{max}	4,20	4,23	4,22	4,48	4,71	5,00	5,31	5,62	6,06	6,45	6,89	7,35	7,75	8,22
d_{min}	2,14	2,16	2,24	2,39	2,62	3,02	3,22	3,40	3,60	3,82	4,06	4,32	4,54	4,76
d_{max}	7,36	7,24	7,10	7,44	8,00	8,77	9,70	10,88	12,50	14,08	16,12	18,12	20,52	23,09
d_{min}	2,02	2,11	2,25	2,38	2,53	2,71	2,91	3,14	3,37	3,63	3,89	4,16	4,44	4,72
d_{max}	0,241	0,240	0,222	1,28	2,12	10,10	-62,5	-12,88	-10,52	-10,90	-10,41	-11,49	-12,98	-14,22
d_{min}	2,47	2,55	2,78	3,00	3,21	3,42	3,62	3,82	4,04	4,30	4,52	4,74	4,96	5,21
d_{max}	2,04	2,09	2,24	2,42	2,64	2,96	3,30	3,61	3,92	4,26	4,62	4,91	5,21	5,57
f_{max}	1,48	0,080	0,427	0,217	0,318	0,067	0,442	0,028	0,020	0,016	0,011	0,008	0,007	0,005



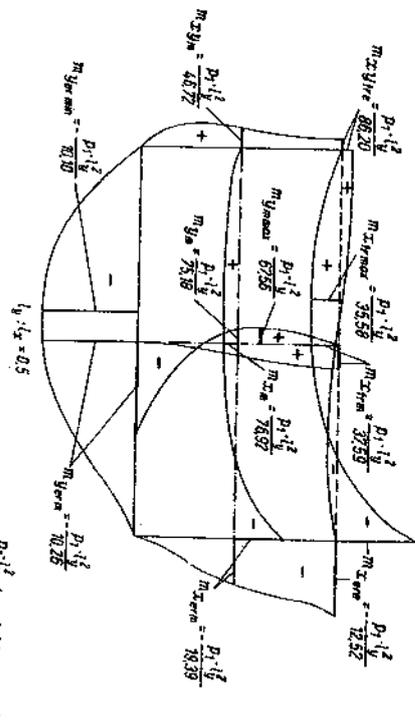
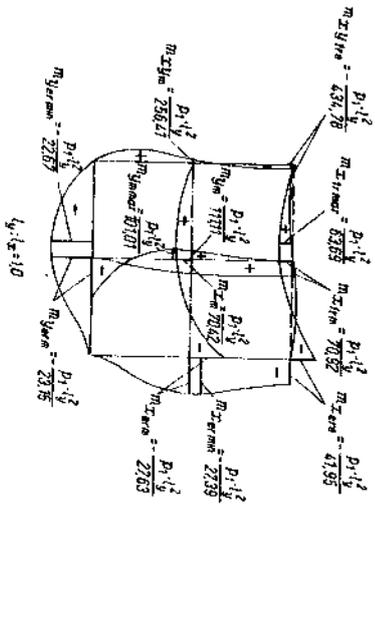
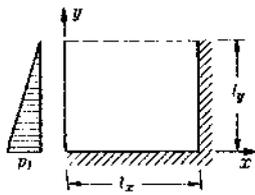
جدول ۳۱ دال با دو لبه گیردار و یک لبه ساده تحت بار گسترده مثلثی

$l_y : l_x$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{x_{ext}} = -$	5,73	6,80	8,06	11,27	13,84	16,49	19,91	23,51	27,52	31,99	36,99	42,38	48,34	54,94
$m_{x_{int}} = -$	2,92	3,05	3,59	10,66	16,50	25,64	37,94	54,77	76,72	104,40	137,89	177,59	223,31	274,70
$m_{x_{ext}} = 0$	2,92	3,05	3,59	10,66	16,50	25,64	37,94	54,77	76,72	104,40	137,89	177,59	223,31	274,70
$m_{x_{int}} = 0$	24,03	24,01	28,05	32,42	37,51	43,24	49,47	56,31	63,85	72,17	81,37	91,51	102,65	114,85
$m_{y_{ext}} = -$	12,82	13,00	17,62	22,99	31,12	41,37	56,06	76,40	102,01	134,54	174,02	223,90	282,05	349,97
$m_{y_{int}} = -$	12,82	13,09	17,52	22,99	31,12	40,00	49,30	59,05	69,31	79,33	87,33	95,31	103,31	111,31
$m_{y_{ext}} = 0$	17,66	19,31	25,88	29,48	36,54	45,11	55,41	67,21	80,90	95,05	112,50	131,41	151,93	172,74
$m_{y_{int}} = 0$	17,66	19,31	25,88	29,48	36,54	45,11	55,41	67,21	80,90	95,05	112,50	131,41	151,93	172,74
$m_{y_{ext}} = 0$	17,66	19,31	25,88	29,48	36,54	45,11	55,41	67,21	80,90	95,05	112,50	131,41	151,93	172,74
$m_{y_{int}} = 0$	17,66	19,31	25,88	29,48	36,54	45,11	55,41	67,21	80,90	95,05	112,50	131,41	151,93	172,74
f_{max}	1,19	0,720	0,297	0,137	0,068	0,039	0,028	0,018	0,013	0,008	0,007	0,005	0,004	0,003



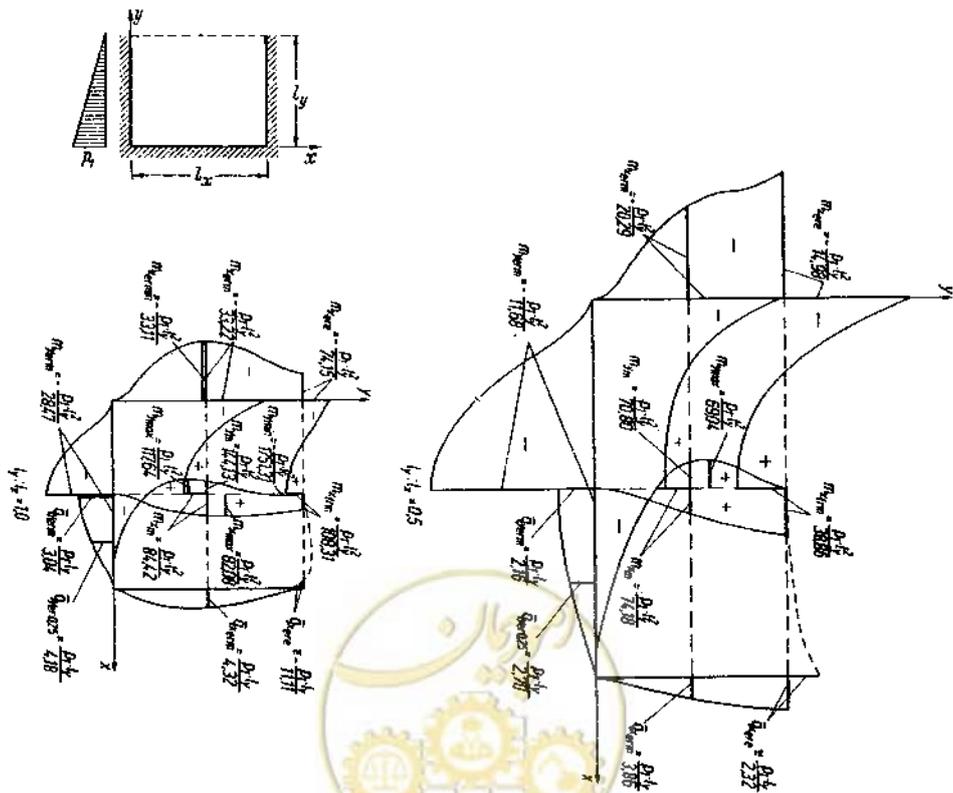
جدول ۳۲ دال با دو لبه گیردار و یک لبه ساده نحت بار گسترده مثلثی

l_1/l_2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$m_{x_{max}}$	16,18	18,22	18,74	19,39	20,35	21,06	22,32	23,32	27,63	26,25	23,17	20,99	20,92	43,75
$m_{x_{min}}$	8,70	9,08	10,39	12,52	15,63	19,88	25,62	32,79	41,96	53,25	66,94	83,22	102,28	124,25
$m_{y_{min}}$	8,70	9,08	10,39	12,52	15,63	19,88	25,62	32,79	41,96	53,25	66,94	83,22	102,28	124,25
$m_{y_{max}}$	263,16	166,66	96,03	76,92	69,49	65,79	65,76	67,94	70,92	74,07	78,74	84,03	90,69	97,08
$m_{x_{min}}$	66,96	58,88	41,86	37,59	36,81	42,91	49,50	58,82	70,92	88,20	105,28	126,86	153,84	185,16
$m_{x_{max}}$	51,29	47,61	39,21	35,58	36,10	39,68	46,46	55,19	63,69	76,02	92,59	111,11	135,33	161,20
$m_{y_{min}}$	5,75	7,24	8,56	10,20	12,50	14,83	17,23	20,07	23,15	26,46	30,00	33,77	37,77	42,02
$m_{y_{max}}$	6,73	7,22	8,48	10,10	12,06	14,32	16,86	19,66	22,67	25,91	29,29	32,81	36,91	41,05
$m_{x_{min}}$	-163,93	-500,0	113,65	75,18	60,98	71,42	80,00	92,59	111,11	133,33	163,93	204,08	250,00	312,50
$m_{x_{max}}$	181,81	117,44	78,92	67,56	66,66	71,42	78,74	89,28	101,01	114,94	131,57	161,51	199,49	188,67
$m_{y_{min}}$	32,36	23,33	38,02	48,72	61,69	81,30	114,94	166,08	256,41	416,66	633,33	2500	-5000	-1898
$m_{y_{max}}$	39,21	42,65	55,96	86,20	155,84	600,0	1000	-600,00	-434,78	-384,61	-384,61	-400,00	-484,79	-476,19
$m_{x_{min}}$	19,60	21,27	27,97	43,10	78,82	200,0	600,0	-833,33	-217,88	-192,39	-192,39	-200,00	-217,39	-286,09
$m_{x_{max}}$	8,33	8,20	7,87	7,90	7,09	6,94	6,84	7,04	7,19	7,46	7,75	8,06	8,40	8,77
$m_{y_{min}}$	7,20	7,09	6,45	6,91	5,88	5,48	5,61	5,61	5,81	6,08	6,41	6,75	7,14	7,57
$m_{y_{max}}$	18,69	15,82	13,86	12,85	12,04	12,04	12,5	13,15	14,28	15,82	17,54	19,60	21,73	24,89
$m_{x_{min}}$	4,38	4,31	4,08	3,92	3,80	3,75	3,78	3,86	3,98	4,13	4,31	4,52	4,73	4,97
$m_{x_{max}}$	0,78	0,88	1,15	1,64	2,83	4,83	11,23	71,42	-83,88	-18,86	-15,87	-15,68	-16,13	-17,54
$m_{y_{min}}$	1,97	1,98	2,06	2,07	2,18	2,32	2,46	2,61	2,78	2,98	3,12	3,25	3,42	3,59
$m_{y_{max}}$	0,305	0,269	0,177	0,116	0,075	0,048	0,031	0,022	0,015	0,011	0,009	0,007	0,006	0,006



جدول ۳۳ دال با سه لبه گیردار تحت بار گسترده مثلثی

$l_y : l_x$	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
$m_{x\text{term}}$	18.24	18.44	19.12	20.29	21.06	24.12	20.73	20.76	33.22	37.13	41.49	46.33	51.68	57.56
$m_{x\text{int}}$	8.84	9.40	11.44	14.98	20.43	28.35	39.43	54.44	74.15	98.18	129.92	168.56	209.03	257.20
$m_{x\text{ext}}$	8.84	9.40	11.44	14.98	20.43	28.35	39.43	54.44	74.15	98.18	129.92	168.56	209.03	257.20
$m_{y\text{int}}$	215.52	198.26	87.67	74.18	71.01	71.137	74.79	79.04	84.42	90.84	98.29	106.80	110.40	127.13
$m_{y\text{ext}}$	71.51	51.25	38.99	38.86	43.94	53.28	66.39	84.62	108.31	138.85	177.09	224.06	280.50	348.98
$m_{y\text{term}}$	71.51	51.25	38.99	38.86	43.94	53.28	66.39	84.62	108.31	138.85	177.09	224.06	280.50	348.98
$m_{x\text{int}}$	71.51	51.25	38.99	38.86	43.94	53.28	66.39	84.62	108.31	138.85	177.09	224.06	280.50	348.98
$m_{x\text{ext}}$	71.51	51.25	38.99	38.86	43.94	53.28	66.39	84.62	108.31	138.85	177.09	224.06	280.50	348.98
$m_{x\text{term}}$	71.51	51.25	38.99	38.86	43.94	53.28	66.39	84.62	108.31	138.85	177.09	224.06	280.50	348.98
$m_{y\text{int}}$	6.92	7.58	9.35	11.98	14.43	17.49	20.86	24.25	28.47	32.75	37.37	42.37	47.98	53.28
$m_{y\text{ext}}$	-248.19	418.59	91.32	70.80	70.89	79.16	93.70	114.88	144.13	183.85	237.53	309.80	407.89	541.13
$m_{y\text{term}}$	156.25	103.44	72.73	69.04	70.89	79.03	88.48	102.62	117.94	137.48	160.83	185.70	213.40	241.95
$m_{x\text{int}}$	0.7	0.65	0.6	0.5	0.47	0.45	0.4	0.35	0.32	0.31	0.3	0.3	0.3	0.28
$m_{x\text{ext}}$	0.7	0.65	0.6	0.5	0.47	0.45	0.4	0.35	0.32	0.31	0.3	0.3	0.3	0.28
$m_{x\text{term}}$	0.7	0.65	0.6	0.5	0.47	0.45	0.4	0.35	0.32	0.31	0.3	0.3	0.3	0.28
$q_{x\text{int}}$	4.38	4.25	4.01	3.86	3.80	3.84	3.95	4.11	4.32	4.58	4.85	5.18	5.49	5.84
$q_{x\text{ext}}$	0.80	0.91	1.34	2.32	3.05	20.00	29.41	-13.33	-11.11	-10.99	-11.90	-13.51	-15.62	-18.51
$q_{x\text{term}}$	1.97	1.97	2.04	2.16	2.35	2.50	2.68	2.86	3.04	3.24	3.43	3.63	3.84	4.04
f_{max}	0.288	0.235	0.146	0.086	0.049	0.029	0.019	0.013	0.010	0.007	0.006	0.004	0.003	0.003



واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

A		H	
Anchorage	گیره‌ها	Hoppe	قیف مخروطی
B		J	
Bar	میلگرد	Janssen's method	روش جنسن
Blockouts	حفره‌ای	O	
Bundling	رشته کردن	Optical plummet	شاقول نوری
Bunker	بونکر	P	
C		Pilaster	ستون‌های یکپارچه با دیوار
Coupler	(وسایلی برای وصله‌میلگردهای پیش‌تنیدگی)	Pilasters	دیواره سیلو
D		Pullup	توقف
Duct	غلاف	S	
F		Sheating	قالب بدنه
Funnel	جریان قیفی	Silo	سیلو
		Skid	طره‌ای، گیره‌ای
		Stave	حلقوی



Strand	کابل	W	
Stressing points	نیروهای پیش‌تندگی	Wale	پشت‌بندهای افقی
		Wire	مفتول
T		Wrapped system	سیستم دورپیچ
Tendon system	سیستم تاندون	Wrapping	نوار پیچی
		Y	
Unbounded	تاندون‌های نچسبیده	Yoke	یوغ
Unstaggered	مرحله‌های غیرمرحله‌ای		



واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

	ر		ب
Bundling	رشته کردن	Bunker	بونکر
Janssen's method	روش جنسن		
	س		پ
Pilaster	ستون‌های یکپارچه با دیوار	Wale	پشت‌بندهای افقی
Tendon system	سیستم تاندون		ت
Wrapped system	سیستم دورپیچ	Unbounded	تاندون‌های نچسبیده
Silo	سیلو	Pullup	توقف
	ش		ج
Optical plummet	شاقول نوری	Funnel	جریان قیفی
	ط		ح
Skid	طره‌ای، گیره‌ای	Blockouts	حفره‌ای
	غ	Stave	حلقوی
Duct	غلاف		د
		Pilasters	دیواره سیلو



Bar	میلگرد	ق	قالب بدنه
		Sheating	
		Hoppe	قیف مخروطی
Wrapping	نوار پیچی		
Stressing points	نیروهای پیش تنیدگی	س	
		Strand	کابل
Coupler		س	
(وسایلی برای وصله میلگردهای پیش تنیدگی)		Anchorage	گیره‌ها
Yoke	یوغ	م	مرحله‌های غیرمرحله‌ای
		Unstaggered	
		Wire	مفتول



نمایه

- آب غیرآشامیدنی، در ساختن بتن، ۳۲
 آب مصرفی برای شست و شوی سنگدانه‌ها، ۳۲
 آثار دما، ۶۳
 آزمایش مقاومت فشاری قطعات پیش ساخته، ۱۲۷
 آزمایش‌های مصالح، ۲۸
 آفات انبارداری، ۱۴۲
 اجزای قالب لغزنده، ۱۰۵
 اختلاف بین سیلو و بونکر، ۴
 استفاده از مواد افزودنی در بتن، ۳۴
 افزایش رطوبت، ۱۴۳
 افزایش یا کاهش یکنواخت دما، ۶۴
 افزودنی‌های شبه سیمانی، ۲۸
 افزودنی‌های شیمیایی، ۳۵
 افزودنی‌های معدنی، ۳۷
 افزودنی‌های معدنی خنثی و رنگدانه‌ها، ۳۷
 انبار کردن، نگهداری و کنترل فولاد، ۴۷
 انبار کردن و نگهداری مصالح بتن، ۳۹
 انتخاب ضخامت پوسته، ۱۵۰
 انتخاب طرح معماری و سازه‌ای، ۱۹
 انتخاب نسبت‌های اختلاط بتن، ۳۲
 انتخاب و تأیید مصالح، ۲۷
 اندازه‌گیری مواد افزودنی، ۳۴
 انواع فولاد، ۴۲
 بار برف، ۵۸
 بار زنده و ماشین‌آلات، ۵۰
 بارگذاری، ۴۹
 -، دامنه
 -، بار مرده، ۴۹
- بارگذاری، ۱۰۸
 بارهای قائم، ۱۰۸
 بازشوها با فواصل کم، ۱۰۱
 بازشوها در ناحیه بدون فشار داخلی، ۱۰۰
 بازشوها در ناحیه تحت فشار داخلی، ۱۰۰
 بازشوی دیوارها، ۱۳۵
 برای سیلو با مقطع چندضلعی، ۵۵
 برای سیلو با مقطع دایره، ۵۴
 برای سیلوها با مقطع مستطیلی، ۵۵
 برش و خمش نوارهای قائم به علت
 پس کشیدگی، ۱۳۸
 بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌های درشت، ۲۹
 پایپر، ۱
 پایه‌های سیلو، ۸۹
 پوزولان‌ها، ۳۷
 پوشش، ۱۲۲
 تابش یک‌طرفه آفتاب، ۶۴
 تاندون‌های چسبیده، ۱۳۲
 تاندون‌های نجسبیده، ۱۳۳
 تأمین پرستل فنی، ۱۷
 تأمین ماشین‌آلات سنگین، ۱۷
 تأمین مصالح ساختمانی در محل، ۱۷
 تحلیل، ۶۵
 تحلیل دستی، ۶۵
 تحلیل رایانه‌ای، ۸۴
 تحلیل و طراحی، ۶۵
 ترافیک منطقه، ۱۷
 تشکیل لایه‌های پودر و پوسته، ۱۴۳



تعداد سفره‌های میلگرد، ۹۹	دما، ۱۴۲
تقسیم‌بندی سیلوها از نظر کاربری، ۲۰	رواداری‌های کار تمام شده، ۱۰۸
تنش فشاری حداکثر بتن در پای جداره سیلو، ۹۲	رواداری‌های نصب، ۱۲۳
تواتر نمونه‌برداری، ۴۵	روش آیین‌نامه شوروی، ۵
ثبت تنش‌های پیش‌تنیدگی، ۱۳۶	-، (برای سیلوهای گرد)، ۵
جاده‌های اصلی و راه‌های دسترسی، ۱۶	-، (برای سیلوهای مستطیل)، ۵
جداول دال‌های دوطرفه، ۱۶۶	روش تراز کردن قالب، ۱۱۲
جدول دال‌ها با چهار لبه متکی، ۱۶۸	روش تولید، ۴۲
جدول دال‌ها با سه لبه متکی، ۱۶۸	روش جنسن، ۵۰
جزئیات آرماتوربندی در گوشه‌ها و در محل تقاطع، ۹۹	روش دیشینگر، ۴
جزئیات بازشوها، ۱۱۶	روش ریمرت، ۵۰
جزئیات و استقرار آرماتورهای معمولی، ۱۳۵	سکون هوا، ۱۴۳
جنسن، ۱	سنگدانه‌ها، ۲۹
جوش‌پذیری، ۴۲	سنگدانه‌های پولکی و سوزنی، ۳۰
جوش‌پذیری فولاد ۴۶	سنگدانه‌های مصرفی در بتن، ۲۹
حداقل فاصله بین میلگردهای افقی، ۱۰۱	سهولت توزیع غلات، ۱۸
حداقل میلگردهای ارتمی، ۹۶	سهولت صادرات و واردات، ۱۸
حداقل میلگردهای قائم، ۹۶	سیستم پس‌کشیدگی، ۱۲۹
حفظ محیط زیست، ۱۹	سیستم تاندون، ۱۳۰
حلقه‌های کششی، ۱۲۷	سیستم جک، ۱۰۹
حمله حشرات، ۱۴۲	سیستم‌های دورپیچ، ۱۳۴
خرابکاری، ۱۴۴	سیلوها با مقطع دایره، ۶۵
خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه، ۱۶	سیلوها با مقطع مربع مستطیل و چندضلعی، ۶۹
خمش جدار به علت گرادیان حرارتی، ۶۹	سیلوهای بتنی پس‌کشیده، ۱۲۹
خمش داخل صفحه دیوارها، ۷۱	سیلوهای پیش‌ساخته بتنی، ۱۱۷
خمش مقاطع بتن مسلح دایره با جدار نازک، ۹۳	سیمان، ۲۸
درزهای اجرایی، ۱۰۲	سیمان مصرفی در ساخت قطعات باربر، ۲۸
دسترسی به آب، ۱۷	سیمان مصرفی در کارگاه، ۲۸
دسترسی به برق دایمی و خطوط مخابراتی، ۱۷	شالوده سیلو، ۸۱
دسته کردن میلگردها، ۹۹	شکل‌پذیری، ۴۳
	شکل‌پذیری فولاد ۴۶

- شکل رویه، ۴۲
- ضخامت حداقل در جداره سیلوه‌های گرد، ۹۱
- ضرایب جزئی ایمنی، ۸۶
- ضرایب و ترکیبات بار، ۸۵
- ضریب انبساط حرارتی، ۴۶
- ضوابط پذیرش میلگردها (یا فولاد)، ۴۵
- ضوابط عمومی قالب‌های لغزنده، ۱۰۳
- ضوابط نگهداری سیلوه‌های غلات، ۱۴۱
- طراحی برای اثر توأم کشش محوری، ۸۷
- طراحی برای اثر توأم لنگر خمشی، ۸۷
- طراحی برای برش، ۹۰
- طراحی برای خمش تنها، ۸۶
- طراحی برای خمش ناشی از گرادیان حرارتی، ۹۴
- طراحی برای کشش تنها، ۸۷
- طراحی دیوار، ۱۲۳
- طراحی شالوده، ۱۶۳
- طراحی کف سیلو، ۱۶۱
- طراحی میلگردهای حلقوی، ۱۴۹
- طول وصله، ۱۰۱
- عملکرد یا مؤثر بودن مواد افزودنی، ۳۴
- عوامل جرقه‌زا، ۱۴۳
- عوامل خطرناک در سیلو، ۱۴۱
- غلاف‌های پس‌کشیدگی، ۱۳۴
- فشار استاتیکی ناشی از مصالح، ۵۰
- فشار باد، ۵۹
- فشار جانبی، ۱۰۸
- فشار مصالح در بونکرها، ۵۸
- فشار مصالح در سیلو، ۵۰
- فشار ناشی از مصالح ذخیره‌شده، ۵۰
- فولادهای قائم در جدار سیلوه‌ها، ۷۲
- فرارگیری آرماتور، ۱۰۲
- فطر اسمی فولاد، ۴۳
- قیف مخروطی، ۷۳
- قیف هرمی، ۷۵
- کف و قیف سیلو، ۷۲
- کلرید کلسیم، ۳۶
- کنترل عرض ترک، ۹۰
- کنترل و بازرسی، ۳۹
- گرادیان حرارتی، ۶۴
- لغزش قالب، ۱۱۴
- مالکیت زمین در محل سیلو، ۱۸
- مثال طراحی سیلو، ۱۴۵
- مجموعه تأسیسات ذخیره‌سازی، ۱۱
- محاسبات نیروی زلزله، ۱۵۳
- مدول الاستیسیته، ۴۶
- مشخصات مکانیکی فولاد، ۴۴
- مطالعات کلیماتولوژیکی منطقه، ۱۸
- مطالعات هیدرولوژیکی منطقه، ۱۸
- معرفی، ۱۴۱
- معیارها و استانداردهای طراحی و اجرای سیلوه‌های بتنی در ایران، ۱۶
- معیارها و استانداردهای مکان‌یابی سیلوه‌های بتنی در ایران، ۱۶
- مکان‌یابی سیلوه‌ها، ۱۶
- مواد افزودنی، ۳۴
- مواد افزودنی تسریع‌کننده، ۳۶
- مواد افزودنی حیاب‌ساز، ۳۵
- مواد افزودنی کاهنده آب، ۳۵
- مواد افزودنی کندگیرکننده، ۳۵
- مواد افزودنی متفرقه، ۳۸
- مواد خمیری‌کننده و روان‌کننده، ۳۶



۲۱۰ آیین‌نامه طراحی سیلوه‌های بتن آرمه

- | | |
|--------------------------------------|---|
| نمودار تنش - تغییرشکل نسبی، ۴۶ | مواد زیان‌آور در سنگدانه‌ها، ۲۹ |
| نیروی زلزله - روش استاتیکی معادل، ۶۱ | مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت، ۲۹ |
| – توزیع نیروی زلزله در ارتفاع، ۶۲ | مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز، ۲۹ |
| ویژگی‌های مصالح مصرفی، ۲۷ | مهار میلگردهای تقویتی در اطراف بازشو، ۱۰۰ |
| | نمای سطح بتن، ۱۰۵ |

