

سازه های خاص

ایمان الیاسیان، دانشجوی دکترای عمران سازه

سیلوهای بتنی

سیلوها سازه های ذخیره سازی هستند که معمولاً به منظور انبار کردن ذغال، سیمان، غلات و دیگر مواد دانه ای به کار می روند. انباره ها و سیلوهای بتنی مسلح، به دلیل سهولت تعمیر و نگهداری و کیفیت معماری برتری که در مقایسه با سازه های ذخیره سازی فولادی دارند تقریباً توانسته اند جایگزین آنها بشوند. امروزه کارخانه های سیمان، به منظور ذخیره سیمان تولید شده همواره متقاضی سیلوهای منفرد یا کندویی هستند. ابداع روش بتن ریزی با استفاده از **قالب های لغزان** در سازه های بلند استوانه ای از جنس **بتن مسلح** سبب تسریع در ساخت این گونه سیلوها شده است. در سیلوهای فلزی مساله کمانش و در سیلوهای بتنی ترک ناشی از فشار مواد، تنش های ناشی از زلزله مطرح است. بنابراین سیلو انباره ایستاده ای است که از آن برای ذخیره مصالح دانه ای استفاده می شود. در صورتی که ارتفاع سیلو کوچک باشد اصطلاحاً به آن بونکر گفته می شود. سیلوها می توانند به صورت تک یا به صورت گروهی ساخته شوند. در حالت اخیر کارایی سیلوها در هنگام بهره برداری افزایش می یابد. در حالت گروهی مجموعه ممکن است به صورت یکپارچه یا با درز انبساط در در حد فاصل سیلوها ساخته شود. در سیلو دیوارهای قائم در مقایسه با ابعاد جانبی بسیار بلندترند و در نتیجه سیلو جز سازه های بلند به حساب می آید. به تبع این امر سطح لغزش ماده ذخیره شده وجوه متقابل سازه را قبل از رسیدن به سطح افقی فوقانی ماده قطع می کند.



مجموعه تاسیسات ذخیره سازی

تاسیسات ذخیره سازی عموماً از ترکیب عناصر سازه ای متعددی حاصل می شود که هر کدام از آنها از زمان ورود غله به محوطه سیلو تا خروج کامل از به نحوی وارد عمل شده و در مراحل مختلف بهره برداری وظیفه مشخصی را به عهده می گیرند. این عناصر عمدتاً به عنوان سازه های اصلی تلقی شده و تعداد بسیار محدودی از آنها جز ساختمان های جنبی محسوب می شوند. سازه های اصلی شامل موارد زیر است.

- کندوها و قیف داخل آنها (هوایی یا زمینی) که محل ورود غله است. در بعضی موارد از فضای موجود بین کندوها موسوم به ستاره ای نیز برای ذخیره غله و در نتیجه افزایش ظرفیت ذخیره سازی استفاده می شود.
- چاله تخلیه و پوشش آن که کامین یا واگن حامل غله محموله خود را در چاله مزبور تخلیه نموده و از آنجا به کمک سیستم های انتقال مناسب به بالابرها منتقل می شود.
- ساختمان برجکار که محل استقرار ماشین آلات بوده و عملیات مربوط به الک کردن، توزین و ... در داخل آن صورت می گیرد.

- سایه بان مستقر در سقف کندوها که ماشین آلات مورد نیاز برای توزیع غله در داخل کندوهای مختلف در داخل آن نصب می‌شوند.
 - ساختمان صادرات که برای بارگیری غله ذخیره شده و تحویل آنها به شبکه حمل و نقل شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند.
 - ساختمان‌های جنبی معمولاً نسبت به سازه‌های فوق از درجه اهمیت کمتری برخوردار هستند.
- معیارها و استانداردهای مکان یابی، طراحی و اجرای سیلوهای بتنی
- مکان یابی سیلوها
 - جاده‌های اصلی و راه‌های دسترسی
 - خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه
 - دسترسی به آب
 - دسترسی به برق دایمی و خطوط مخابراتی
 - تامین مصالح ساختمانی در محل
 - تامین ماشین آلات سنگین و پرسنل فنی
 - ترافیک منطقه
 - مطالعات هیدرولوژیکی و کلیماتولوژیکی منطقه
 - سهولت صادرات و واردات
 - سهولت توزیع غلات
 - امکان توسعه غلان
 - امکان توسعه آتی
 - مالکیت زمین در محل سیلو
 - هماهنگی با طرح جامع شهر با استان
 - نکات متفرقه در انتخاب محل
 - حفظ محیط زیست
- انتخاب طرح معماری و سازه‌ای
- قبل از اریه طح معماری و سازه‌ای نهایی باید طرح مقدماتی بر اساس شناسایی و بررسی فاکتورهای اصلی زیر تهیه شود.
- انجام مطالعات لرزه خیزی و زمین شناسی محل
 - تغییر نتایج نهایی ژئوتکنیک
 - انتخاب ماشین آلات لازم با مشخصات فنی و هندسی کامل آنها
 - استقرار اولیه ماشین آلات در سیلو
 - تهیه طرح کنترل
 - بررسی تامین آب و نحوه آب رسانی و دفع فاضلاب در سیلو
 - بررسی اقتصادی و بر آورد 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 تاسیسات
 - بررسی روش‌های مختلف اجرای ساختمان و پیش بینی روش مناسب با توجه به هزینه، مدت اجرا و محل اجرا

تقسیم بندی سیلوها از نظر کاربری

- سیلوی ذخیره غلات
- سیلوی ذخیره مواد اولیه صنعتی مثل سنگ آهن، سیمان، ذغال سنگ، کلینکر، کک و مواد مشابه
- سیلوی ذخیره سازی آرد
- سیلوهای اسکله‌ای برای صادرات و واردات (سیلوهای ترانزیت)

بارگذاری سیلو

بارهایی که در طراحی سیلوها باید مورد توجه قرار بگیرد شامل موارد زیر است.

- بار مرده شامل وزن سازه
- بار زنده بهره برداری و وزن ماشین آلات و تجهیزات نصب شده روی سیلو
- فشار ناشی از مصالح ذخیره شده در سیلو شامل فشار و وزن مصالح انبار شده در حالت استاتیکی، اضافه فشارها نسبت به بند الف در هنگام پر و خالی کردن مصالح
- بار برف
- بار باد
- بار زلزله
- نیروهای حرارتی به علت محیط اطراف و مصالح گرم ذخیره شده در سیلو

بار مرده

بار مرده شامل وزن سازه و تجهیزات ثابت نصب شده در سیلو است. بر مرده سازه با توجه به وزن مخصوص مصالح به کار رفته تعیین می‌شود. وزن مخصوص مصالح از آخرین ویرایش آیین نامه حداقل بارهای وارد بر ساختمان تعیین می‌شوند.

بار زنده و ماشین آلات

بار زنده شامل بارهای بهره برداری در فضا و راهروهای ارتباطی و دسترسی است که مقادیر توصیه شده در آیین نامه حداقل بارهای وارد بر ساختمان باید مورد استفاده قرار گیرند. وزن ماشین آلات با توجه به مشخصات ارائه شده از طرف کارخانه سازنده تعیین می‌شوند که باید ضریب ضربه مناسب برای آن در نظر گرفته شود.

فشار ناشی از مصالح ذخیره شده

فشار مصالح در مقابل جدار قائم سیلو و کف سیلو باید با استفاده از یکی از روش‌های معرفی شده محاسبه شود. فشار مصالح نه تنها باید در حالت استاتیکی مورد توجه قرار گیرند بلکه باید هر گونه افزایش یا کاهش فشار ناشی از پدیده‌های نظیر پر کردن، خالی کردن و قوس زدن مصالح، شکست قوس، هوادهی و تخلیه برون محور مورد توجه قرار گیرد. در سیلوهای گروهی پر و خالی بودن متناوب سیلوها باید مورد توجه قرار گیرد.

پایه‌های سیلو

ستون‌هایی که جداره سیلو و به خصوص کف سیلو را حمل می‌کنند تحت تاثیر بار زنده ناشی از مصالح ذخیره شده برقرار دارند که به مراتب بزرگتر بار مرده است. 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 شود 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. در صورتی که پایه‌های سیلو تحت برش و خمش ناشی از بارهای جانبی زلزله قرار گیرند باید تمامی ضوابط شکل پذیری شدید در مورد آنها اعمال شود.

شالوده سیلو

سیلوهای سازه‌های بسیار سنگینی هستند که تنش منتقله از آنها به زمین می‌توان قابل توجه باشد. لذا در هنگام طراحی شالوده باید دقت زیاد به عمل آید. در این خصوص مطالعات کامل زمین شناسی 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 است. از عوامل مهمی که می‌توان باعث خرابی کلی فونداسیون سیلو شود بارگذاری نامتقارن یک مجموعه سیلوهای گروهی است. بنابراین علاوه بر عوامل طراحی برنامه بهره برداری از سیلوها نیز می‌توان در ناپایداری فونداسیون سیلو دخیل باشد در نتیجه ملاحظه می‌شود که بار گذاری‌های 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. در حالت گروهی شالوده سیلوها به صورت یک دال یکپارچه صلب با ضخامت زیاد است. که برای ترکیبات مختلف پر و 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.

طراحی سیلو

سیلو

سیلو انباره ایستاده‌ای است که از آن برای ذخیره مصالح دانه‌ای استفاده می‌شود. در صورتی که ارتفاع سیلو کوچک باشد، اصطلاحاً به آن بونکر گفته می‌شود. سیلوها می‌توانند به شکل تک و یا گروهی ساخته شوند، که در حالت ساخت گروهی کارایی آنها به هنگام بهره برداری افزایش می‌یابد.



انواع سیلو

سیلو روی شالوده یکپارچه

قیف کف سیلو به طور مستقل روی پایه‌هایی قرار دارد که این پایه‌ها به جداره سیلو متصل هستند.

سیلو روی شالوده نواری

کف سیلو مستقل بوده و روی مصالح پر کننده متکی است.

سیلو با کف تخت متکی بر جداره سیلو با ضخامت افزایش یافته

قیف انتهایی توسط مصالح پر کننده ایجاد شده است.

سیلو با بازشوهای متعدد و کف تخت متکی بر ستون و قیف ایجاد شده به وسیله مصالح پر کننده و شالوده یکپارچه

سیلو با شالوده یکپارچه با کف قیفی متکی بر تیر حلقوی که این تیر نیز به نوبه خود متکی بر ستون‌های مستقل است.

تقسیم بندی سیلو از نظر کاربری

۱. سیلوی ذخیره غلات

۲. سیلوی ذخیره مواد اولیه، مثل سنگ آهن، سیمان، ذغال
 ۳. سنگ، کلینکر، کک و موارد مشابه
 ۴. سیلوی ذخیره سازی آرد
 ۵. سیلوهای اسکله‌ای برای صادرات و واردات (سیلوهای ترانزیت)
- انواع سیلو با توجه به نوع کاربری به شکل‌های زیر ممکن است ساخته شود.
۱. سیلوهای بتنی قائم با مقطع دایره (استوانه‌ای) و چهارگوش
 ۲. سیلوهای فولادی با پوسته استوانه‌ای
 ۳. سیلوهای بتنی با پوسته کروی
 ۴. سیلوهای افقی مسقف
 ۵. سیلوهای افقی غیر مسقف

معیارها و استانداردهای مکانی یابی، طراحی و اجرای سیلوهای بتنی

- جاده‌های اصلی و راه‌های دسترسی
- خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه
- دسترسی به آب
- دسترسی به برق دائمی و خطوط مخابراتی
- تامین مصالح ساختمانی در محل
- تامین ماشین آلات سنگین و پرسنل فنی
- ترافیک منطقه
- مطالعات هیدرولوژیکی
- سهولت واردات و صادرات
- سهولت توزیع غلات
- امکان توسعه آتی
- انتخاب طرح معماری و سازه‌ای

قبل از ارایه طرح معماری و سازه‌ای نهایی می‌بایست طرح مقدماتی بر اساس شناسایی و بررسی فاکتورهای اصلی زیر ارایه شود.

- انجام مطالعات لرزه خیزی و زمین شناسی
- تغییر نتایج نهایی ژئو تکنیک
- انتخاب ماشین آلات با مشخصات هندسی کامل و استقرار اولیه ماشین آلات سیلو
- تهیه طرح کنترل
- بررسی نحوه تامین آب و نحوه آبرسانی و دفع فاضلاب در سیلو
- بررسی اقتصادی و بر آورد قیمت برای گزینه بهینه
- و ...

بارگذاری

بارهای وارده بر سیلو که باید مورد توجه قرار بگیرند شامل موارد زیر هستند.

- بار مرده شامل وزن سازه
- بار زنده بهره برداری و وزن ماشین آلات و تجهیزات نصب شده روی سیلو

- فشار ناشی از مصالح ذخیره شده شامل فشار و وزن مصالح انبار شده، در حالت استاتیکی و اضافه فشارها در هنگام پر و خالی کردن مصالح
- بار برف
- بار باد
- بار زلزله
- نیروهای حرارتی به علت محیط اطراف و مصالح گرم ذخیره شده در سیلو

بار مرده

شامل وزن سازه و تجهیزات ثابت نصب شده در سیلو است، بار مرده سازه با توجه به وزن مخصوص مصالح به کار رفته تعیین می شود.

بار زنده و ماشین آلات

شامل بار بهره برداری در فضا و راهروهای ارتباطی و دسترسی بوده که مقادیر آن برابر با مقادیر توصیه شده در **مبحث ششم** مقررات ملی است. وزن ماشین آلات با توجه به مشخصات ارائه شده از طرف کارخانه سازنده تعیین می شود که باید ضریب ضربه مناسب برای آن در نظر گرفته شود.

آثار دما در طراحی سیلو

در طراحی سیلو، آثار دما در هر یک از حالات زیر باید لحاظ شود.

- افزایش و یا کاهش یکنواخت دما
- کل سازه برای افزایش و کاهش دما به میزان ۳۰ درجه سانتیگراد نسبت به دمای مفروض ساخت تحلیل شود.
- تابش یک طرفه آفتاب
- سازه سیلو باید برای تابش یک طرفه آفتاب به میزان ۲۰ درجه سانتیگراد مطالعه شود.

طراحی سیلو

دسته کردن میلگردها

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

تعداد سفره های میلگرد

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

بازشوها در ناحیه تحت فشار داخلی

لااقل ۶۰ درصد میلگردهای افقی قطع شده توسط بازشو، باید در بالای بازشو و به همین باید مقدار در پایین بازشو قرار داده شود. حداقل 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 شود. این ستون بار قائم سهم خودش به علاوه نصف بار دیوار را که در بالای بازشو و در ارتفاعی مساوی عرض بازشو به وجود می آید، حمل می کند. به علاوه لازم است در گوشه های باز شو میلگردهای ۴۵ درجه برای جلوگیری از ترک های قطری تعبیه شود. همچنین در مناطق زلزله خیز به خاطر رعایت مسائل شکل پذیری توصیه می شود که میلگردهای قائم و افقی تعبیه شده در لبه های افقی و قائم سوراخ توسط حلقه هایی (خاموت های 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 لبه های قائم بازشو بر اساس روشی محاسبه می‌شود که برای بازشوها در ناحیه فشاری ذکر شد. برای این بازشوها نیز تعبیه میلگردهای ۴۵ درجه در گوشه و دورگیری میلگردهای تقویتی توسط خاموت بسته توصیه می‌شود.

بازشوها با فواصل کم

در غالب موارد به خصوص در نواحی بدون فشار داخلی واقع در پای سیلو لازم می‌شود بازشوهایی با فواصل کم تعبیه شود. حداقل فاصله بین دو بازشو در واقع عرض باقیمانده در حد فاصل دو بازشو، نباید کمتر از ۳ برابر ضخامت دیوار باشد. این دیوارها همانند ستون‌هایی در مقابل تمامی نیروهای قائم و زلزله طراحی شده و ضوابط شکل پذیری زیاد در خصوص آنها اعمال می‌شود.

حداقل فاصله بین میلگردهای افقی

حداقل فاصله آزاد بین میلگردهای افقی در نواحی بدون وصله ۵۰ میلیمتر است. 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 غیر دایروی با وصله‌های غیر مرحله‌ای مساوی با طول وصله محاسبه شده است. برای سیلوهای دایروی با وصله‌های مرحله‌ای و نظارت دائم مساوی با طول مهاری 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 مهاری ضریب ۴/۱ بر آنها اعمال می‌شود. پوشش بتن روی میلگردها در محل وصله نباید کمتر از مقادیر توصیه شده طبق **آیین نامه 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 شود. 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 میلگردهای حلقوی در هر یک متر ارتفاع فقط میتوان یک میلگرد وصله کرد و برای میلگردهای قائم وصله باید دو در میان باشد.

قرارگیری آرماتور

در صورتی که جدار سیلو فقط یک سفره آرماتور داشته باشد محل قرار گیری آن نزدیکتر به سطح خارجی است.

درزهای اجرایی

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

سیلوهای فلزی

شرکت **پرادو** در سال ۱۹۰۸ در منطقه Basauri (vizcaya) تاسیس شد. در سال ۱۹۶۵ این شرکت تبدیل به یک شرکت پیشتاز و راهبردی در بازار اروپا در زمینه سیلوهای فلزی گردید. هم اکنون شرکت پرادو این موقعیت را حفظ کرده و امروزه به یک شرکت بین المللی در این زمینه تبدیل شده است. پس از حدود ۱۰۰ سال اکنون پرادو در بیش از ۶۰ کشور در ۵ قاره در سراسر دنیا در زمینه ساخت سیلوهای فلزی ذخیره غلات ، حبوبات و دانه های روغنی فعالیت می کند. پرادو دارای یک واحد تحقیق و توسعه پیشرفته و بیش از ۲۰۰ کارمند حرفه ای است که همواره در جهت بهبود تضمین کیفیت و توانایی رقابت و تطبیق با خواسته های مشتریان تلاش می کنند. خط مشی پرادو کیفیت محصولات ، قیمت قابل رقابت و زمان تحویل کوتاه است وظرفیت تولید یک میلیون تن در سال این مقاصد را امکان پذیر می سازد که توسط کمتر شرکتی در دنیا قابل دستیابی است.

سیلوهای پرادو

پرادو سابقه ای بیش از ۵۰ سال در تولید سیلوهای فلزی دارد. تنها در ۱۵ سال گذشته این شرکت بیش از ۱۵ میلیون تن تاسیسات ذخیره سازی ایجاد کرده است که تضمین محکمی برای نیازهای حال و آینده مشتریان می باشد.

پیروی می نماید. ASAE/ANSI و DIN سیلوهای پرادو در محدوده وسیعی مابین ۱۵ تا ۲۵،۶۰۰ متر مکعب قرار داشته و از استانداردهای دپارتمان فنی پرادو خدمات جامعی را در زمینه طراحی- ساخت- نظارت و نصب سیلوها به منظور برآورده کردن نیاز مشتریان ارائه می دهد. شبکه گسترده فنی- تجاری ما آمادگی سرویس دهی در هر مکانی در سرتاسر دنیا را دارد.



برخی از مزیت های سیلوهای پرادو به شرح زیر است:

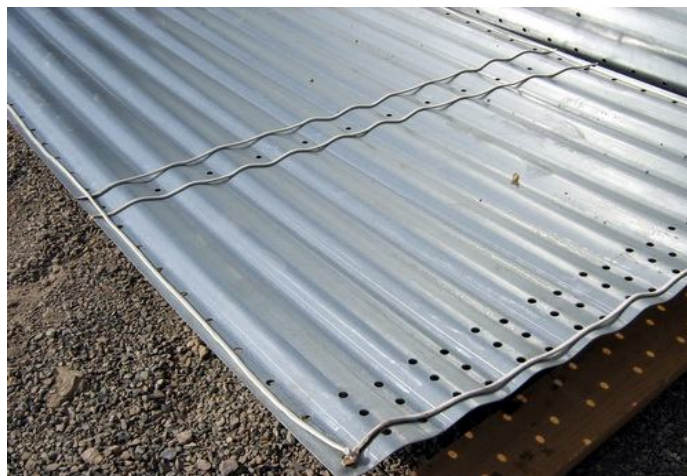
مقاومت بالا- زمان تحویل بسیار کوتاه- حمل سریع و آسان اجزاء و قطعات- و تضمین نهایی محصول.

ویژگی ها

پرادو انتخابهای گوناگونی را پیش رو قرار می دهد. تمامی قطعات و اجزای سیلوها مثل دربها- نردبانها- سطح سنجها و دیگر امکانات اختیاری مثل سیستم هوادهی - کنترل دما و غیره از استاندارد پیروی می کند. اجزای اصلی سیلوهای پرادو به قرار زیرند:

ورقها:

می باشد. اتصال این ورقها توسط پیچ و مهره و با آب بندی ۱۰۰٪ انجام می (S350GD) ورق های سیلوهای پرادو به شکل موج دار و از جنس گالوانیزه شود. ورقهای گالوانیزه جهت تطبیق بهتر با منحنی های فشاری بصورت عمودی ترکیب می شوند.



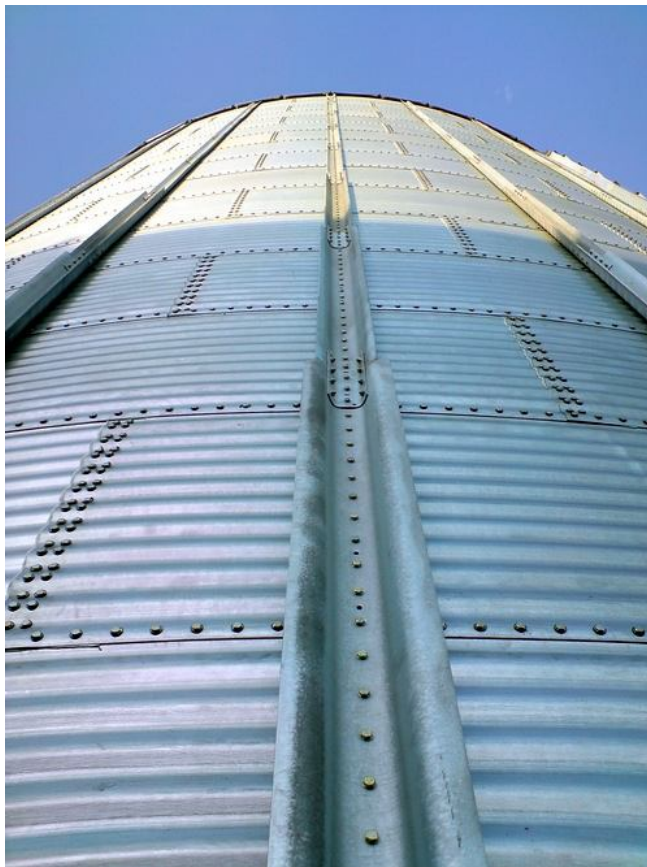
حلقه های محافظ باد:

هنگامیکه محاسبات، وجود حلقه های محافظ باد را ایجاب کند، از این حلقه ها در دور سیلو و در مکانهایی که ورقهای نازکتر وجود دارد استفاده می گردد تا اولاً صلبیت محیطی سیلو افزایش پیدا کند و در ثانی از تخریب سیلو توسط باد جلوگیری گردد.



نگهدارنده ها (استیفنرها):

با ضخامت بین ۲ تا ۱۰ میلیمتر، بصورت گالوانیزه سرد یا گرم کار شده است. این (S355JR) مواد استفاده شده در نگهدارنده ها فولاد ساختمانی نگهدارنده ها بوسیله پیچ و مهره به ورقها متصل می شوند تا نیروهای عمودی را به فونداسیون منتقل کنند و می توان آنها را در داخل یا خارج سیلو نصب نمود.





سقف:

سقف سیلو از بخشهای مثلثی با طراحی ویژه ای ساخته شده تا علاوه بر آب بندی، به عنوان تیر های حامل عمل کرده و نیروهای وارد بر خود را تحمل کنند. (بر روی سازه ای GB39 و GB36 (و بصورت اختیاری در مدل های GB42 به منظور بدست آمدن صلبیت و استحکام بیشتر سقف سیلوهای بزرگتر از مدل (قرار می گیرد. S350GD از تیرهای سرد کار شده)





پیچ و مهره ها:

با کیفیت اروپایی استفاده می شود. این پیچ و مهره ها در انواع آب کروم، گالوانیزه و گریز از مرکز جهت مقاومت 8.8 در سیلوهای پرادو از پیچ و مهره های در برابر خوردگی موجود می باشد. آب بندی آنها نیز توسط واشرهای نئوپرن انجام می شود.





GB-BOM-SOM پرادو سه نوع سیلو برای ذخیره انواع غلات از قبیل ذرت، جو، گندم، دانه های روغنی و... طراحی کرده است:
EN ISO راهروها در نظر گرفته شده که برای طراحی آنها از استاندارد برای دسترسی به قسمتهای مختلف سیلو اجزاء مناسبی مانند نردبانها، سکوها و
درباره ایمنی ماشین آلات استفاده شده است. 14122



GB سیلوهای

این سیلوها دارای فونداسیون بتونی، بصورت تخت یا مخروطی بوده و در ظرفیتهای ۴۰ تا ۲۵,۶۰۰ متر مکعب و نیز قابلیت تطبیق با شرایط برفی، باد و زلزله طراحی شده اند. از این سیلوها برای نگهداری طولانی مدت محصولات غله ای و دانه های روغنی استفاده می گردد.
زاویه سقف این سیلوها منطبق بر شیب غلات بوده و بدین صورت ظرفیت ذخیره سازی در آنها بهینه می شود. با توجه به قطر سیلو و بارهای وارده، سقف سیلو در دو نوع با استراکچر و بدون استراکچر قابل اجراست.



تجهیزات کاملی نیز جهت راه اندازی کامل مجموعه ارائه می شود؛ مثل جارومارپیچی برای سیلوهای کف تخت، سطح سنج و GB علاوه بر سیلوهای سیستم کنترل دما، سیستم هوادهی با فن های توکار و راهروهای مختلف برای عملیات بارگیری.

پرادو همچنین راه حلهایی را برای برآورده کردن نیازهای ویژه ارائه می کند: تاسیسات بارگیری و تخلیه جانبی به کامیون، سیلوهایی که در سطحی پایین تر از سطح زمین نصب می شوند و سقف هایی با گامهای مختلف برای تطابق هرچه بیشتر با شیب انواع غلات.

SOM سیلوهای کف مخروطی

این سیلوها برای تخلیه خودبخود طراحی شده و در ذخیره سازی خوراک دام و دانه ها ضروری به نظر می رسد. این سیلوها پرکاربردترین سیلو در صنعت درجه با 47,45,60 دارای سقف بدون سازه و قیف تخلیه فلزی با زاویه SOM خشک کردن دانه های آفتابگردان، سویا، ذرت، برنج و... است. سیلوهای (۸۰ تا ۱۲۶۰ متر مکعب) بوده و معمولاً از آنها به GB توجه به میزان جاری شدن محصول می باشد. ظرفیت ذخیره سازی در این سیلوها کمتر از سیلوهای استفاده می شود. GB عنوان پشتیبانی برای سیلوهای



BOM سیلوه‌های کف مخروطی

سیلوه‌های کوچکی با حداکثر ظرفیت ۱۰۰ مترمکعب هستند که از آنها برای ذخیره سازی محصولات کشاورزی در تاسیسات خوراک دام و طیور استفاده می‌شود. از این سیلوه‌ها برای تخلیه محصولات از کامیون به قطار نیز استفاده می‌گردد. سیلوه‌های BOM بر روی پروفیل‌های فولادی گرم نورد شده نصب می‌شوند.

سوله های ذخیره سازی

پرادو در زمینه طراحی، ساخت و نصب سوله های فلزی نیز سابقه ای طولانی دارد. تا کنون بیش از ۲۰۰۰ سوله توسط پرادو در سرتاسر جهان، با ویژگیهای فنی و مساحت‌های مختلف نصب شده است. سقف این سوله ها بصورت شیروانی با زاویه ۴۶٫۶٪ می باشد. پرادو آمادگی دارد انواع متفاوت سوله ها را بدون محدودیت در ابعاد برای برآورده کردن نیاز مشتریان طراحی و نصب نماید .

منبع :

<http://www.ardkar.com/fa/?generate=gallery&cat=39983cf1-5a4b-4ccb-afbe-24d1ddabbfac>

این نوع از تنش در مخازن جدار نازک ایجاد شده و در طراحی خط لوله‌ها و مخازن از آن استفاده فراوانی می‌شود. البته پیشنهاد می‌کنیم قبل از مطالعه، مطالب **مولفه های تنش و کرنش در حالت برش خالص و تنش نرمال و کرنش نرمال** نیز مطالعه شوند.

مقدمه

در حالت کلی اگر یک مخزن حاوی گاز بوده و فشار گاز با فشار محیط متفاوت باشد، در مخزن دو نوع تنش طولی و مماسی ایجاد خواهد شد. در این مطلب نحوه محاسبه تنش را در مخازن کروی و استوانه‌ای توضیح خواهیم داد. در شکل زیر این نوع از مخازن نشان داده شده است.

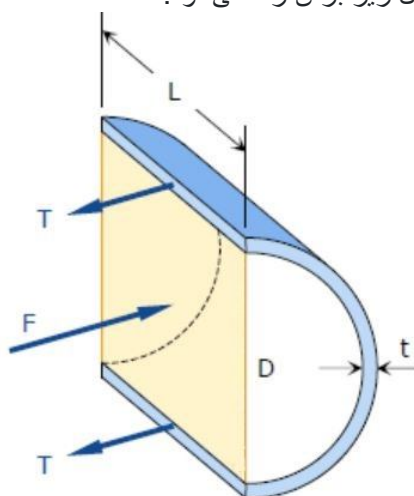


محاسبه تنش در مخازن

به منظور محاسبه تنش در هر سیستمی، در ابتدا باید مقاطع به درستی شناسایی شده و برش زده شوند. برای برآورد تنش در مخازن جدار نازک نیز همین قاعده صادق است.

تنش در مخازن استوانه‌ای

مطابق با شکل زیر مخزنی استوانه‌ای را در نظر بگیرید. فرض کنید این مخزن حاوی گازی با فشار p است. مطابق با شکل زیر قطر و ضخامت این مخزن به ترتیب برابر با D و t و طول آن برابر با L در نظر گرفته شده‌اند. برای بدست آوردن تنش مماسی، مخزن مطابق با شکل زیر برش زده می‌شود.



پوسته آبی رنگ در تعادل است؛ بنابراین نیروی ناشی از فشار p با نیروی ناشی از تنش مماسی برابر است. در نتیجه با نوشتن رابطه تعادل داریم:

$$2T = F \quad 2T = F$$

از طرفی نیروی T برابر حاصل ضرب تنش σ_t در مساحت tL است. بنابراین رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد.

$$2(\sigma_t t L) = p D L \quad 2(\sigma_t t L) = p D L$$

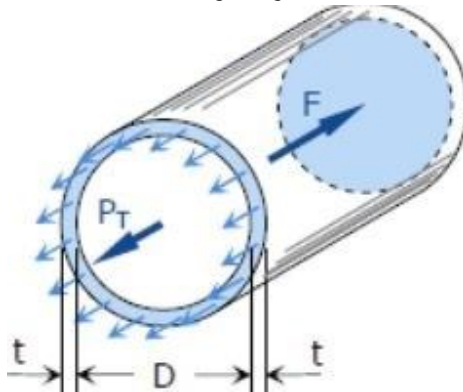
$$2t\sigma_t = p D \quad 2t\sigma_t = p D$$

نهایتاً تنش مماسی در یک مخزن جدار نازک استوانه‌ای با فشار p برابر با مقدار زیر بدست می‌آید.

$$\sigma_t = p D / 2t \quad \sigma_t = p D / 2t$$

رابطه ۱

برای بدست آوردن تنش طولی کافی است تا مخزن استوانه‌ای مطابق با شکل زیر، به صورت عمود به طول استوانه برش زده شود.



مطابق با شکل فوق، نیروی وارد به انتهای استوانه برابر است با:

$$F = pA = p\pi D^2 / 4 \quad F = pA = p\pi D^2 / 4$$

از طرفی تنش طولی تنها روی بخش جدار نازک اعمال می‌شود. مساحت این قسمت برابر با $A = \pi D t$ است. از این رو نیروی ناشی از تنش طولی نیز برابر است با:

$$P_T = \sigma_L \pi D t \quad P_T = \sigma_L \pi D t$$

در مرحله بعد معادله تعادل نیرویی را به صورت زیر بیان می‌کنیم.

$$\sum F_H = 0 \quad \sum F_H = 0$$

$$P_T = F \quad P_T = F$$

$$\sigma_L \pi D t = p \pi D^2 / 2 \quad \sigma_L \pi D t = p \pi D^2 / 2$$

نهایتاً تنش طولی به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\sigma_L = p D / 4t \quad \sigma_L = p D / 4t$$

رابطه ۲

توجه داشته باشید در روابط فوق منظور از فشار، در حقیقت اختلاف فشار داخل و بیرون مخزن است. بنابراین با فرض این که فشار داخلی برابر با p_i و فشار خارجی برابر با p_o باشد، رابطه زیر را می‌توان برای تنش طولی بیان کرد.

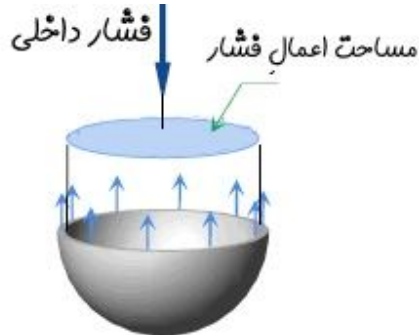
$$\sigma_L = (p_i - p_o) D / 4t \quad \sigma_L = (p_i - p_o) D / 4t$$

با توجه به روابط ۱ و ۲، رابطه زیر را می‌توان بین تنش‌های افقی و عمودی نوشت.

$$\sigma_t = 2\sigma_L \quad \sigma_t = 2\sigma_L$$

تنش در مخازن کروی

به دلیل متقارن بودن شکل کره نسبت به تمامی محورهایی که از مرکز آن عبور می‌کنند، تنش در پوسته یک مخزن کروی، در تمامی جهات با هم برابر هستند. از این رو به منظور محاسبه تنش، تنها کافی است تا مطابق با شکل زیر، کره را در جهتی دلخواه برش بزنید.



نیروی داخلی ناشی از فشار که به نیمکره وارد می‌شود، برابر است با:

$$P = p(14\pi D^2) \quad P = p(14\pi D^2)$$

این نیرو برابر با تنش است که به جداره وارد می‌شود. بنابراین می‌توان گفت:

$$P_T = F \quad P_T = F$$

$$F = P_F = P$$

$$\sigma A = p(14\pi D^2) \quad \sigma A = p(14\pi D^2)$$

$$\sigma \pi D t = p(14\pi D^2) \quad \sigma \pi D t = p(14\pi D^2)$$

نهایتاً تنش در جداره یک مخزن کروی با فشار p برابر است با:

$$\sigma = p D / 4 t \quad \sigma = p D / 4 t$$

در ادامه مثال‌هایی مطرح شده که پیشنهاد می‌کنیم به منظور درک بهتر موضوع، آن‌ها را مطالعه فرمایید.

مثال ۱

مخزنی استوانه‌ای را در نظر بگیرید که ضخامت جداره آن برابر با 20 mm است. همچنین قطر این مخزن را برابر با 450 mm در نظر گرفته شده و طول آن نیز برابر با 2 m است. فرض کنید بیشترین تنش که این مخزن می‌تواند در راستای طولی تحمل کند، برابر با 140 MPa و بیشترین تنش مماسی قابل تحمل برابر با 60 MPa باشد. در این صورت بیشترین فشاری که گاز درون استوانه می‌تواند داشته باشد، چقدر است؟
در ابتدا از فرمول مربوط به تنش مماسی در مخازن استوانه‌ای استفاده کرده و مقدار فشار قابل قبول را بدست می‌آوریم. با انجام این کار داریم:

$$\sigma_t = p D / 2 t \quad \sigma_t = p D / 2 t$$

$$60 = p(450) / 2(20) \quad 60 = p(450) / 2(20)$$

$$p = 5.33 \text{ MPa} \quad p = 5.33 \text{ MPa}$$

از طرفی فشار متناسب با تنش طولی نیز به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$\sigma_l = p D / 4 t \quad \sigma_l = p D / 4 t$$

$$140 = p(450) / 4(20) \quad 140 = p(450) / 4(20)$$

$$p = 24.89 \text{ MPa} \quad p = 24.89 \text{ MPa}$$

بنابراین در این حالت تنش بیشتری بدست آمد. نهایتاً با مقایسه دو فشار 24.89 MPa و 5.33 MPa فشار کمتر را به عنوان پاسخ نهایی در نظر می‌گیریم. بنابراین بیشترین فشار قابل قبول برای این مخزن برابر است با:

$$p = 5.33 \text{ MPa} \quad p = 5.33 \text{ MPa}$$

مثال ۲

قطر مخزنی کروی و جدار نازک 4ft است. با فرض این که ضخامت این مخزن برابر با 516inch باشد، بیشترین فشار قابل قبول موجود در آن را بدست آورید. فرض کنید این مخزن می‌تواند تنش معادل با 8000psi را تحمل کند.

به سادگی و با استفاده از رابطه ۲، می‌توان بیشترین فشار معادل با بیشترین تنش قابل قبول را به صورت زیر محاسبه کرد.

$$\sigma = pD/4t \quad \sigma = pD/4t$$

$$8000 = p(4 \times 12)/4(516) \quad 8000 = p(4 \times 12)/4(516)$$

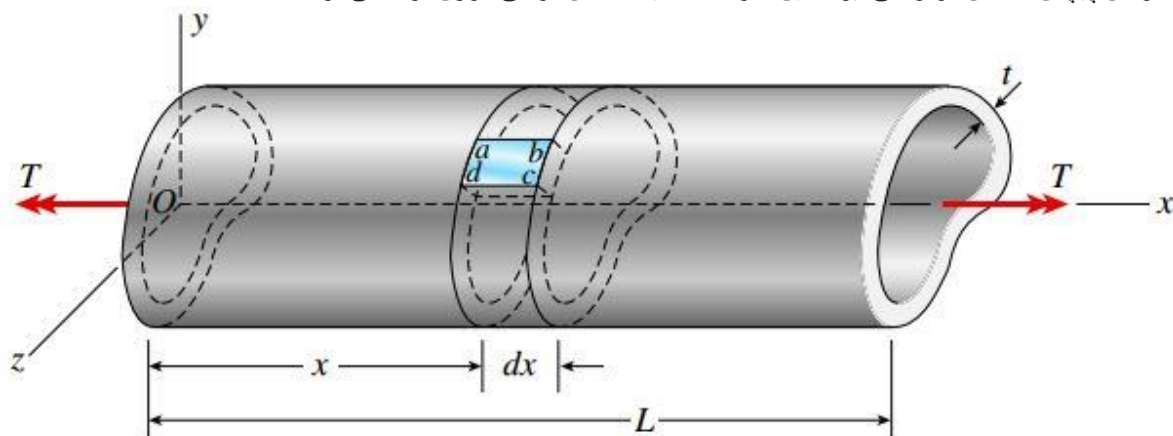
$$p = 208.33\text{psi} \quad p = 208.33\text{psi}$$

در این مطلب نحوه محاسبه تنش در مخازن جدار نازک توضیح داده شد. با این حال در مورد نحوه محاسبه تنش‌های برشی و همچنین در مورد مفاهیم تنش صحبت خواهیم کرد.

در مباحث «پیچش و تغییر شکل‌های ناشی از آن» و «تحلیل میله‌های تحت پیچش»، به معرفی مفاهیم اساسی پیچش و مؤلفه‌های آن در میله‌ها و لوله‌های دایره‌ای پرداختیم اما تأثیر ضخامت و شکل سطح مقطع لوله‌ها بر روی مؤلفه‌های پیچش را مورد بررسی قرار ندادیم. در این مقاله، به ارائه روابط مناسب برای تعیین تنش برشی، انرژی کرنشی و زاویه پیچش در لوله‌های جدار نازک خواهیم پرداخت. در انتها نیز، به منظور آشنایی با نحوه به کارگیری روابط به دست آمده، چند مثال را تشریح خواهیم کرد.

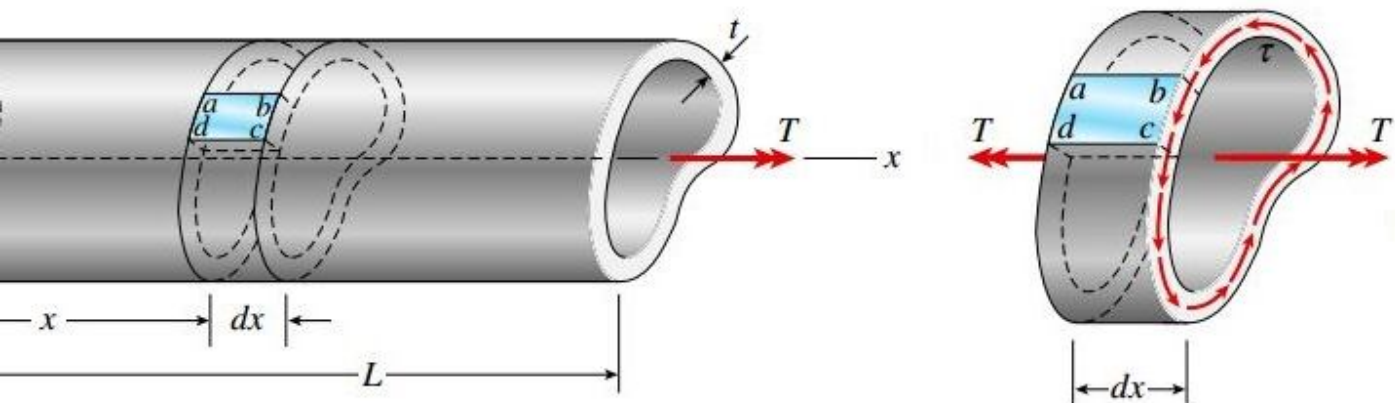
تنش‌های برشی و جریان برش

به منظور آشنایی با نحوه تعیین روابط قابل استفاده برای لوله‌های جدار نازک با مقاطع مختلف، شکل زیر را در نظر بگیرید. ضخامت سطح مقطع این لوله (t) لزوماً ثابت نیست و امکان تغییر آن در بخش‌های مختلف وجود دارد. با این وجود، مقدار t باید در مقایسه با عرض لوله کوچک باشد. با اعمال گشتاور پیچشی T بر روی دو انتهای لوله، جسم در معرض پیچش خالص قرار می‌گیرد. این کار باعث ایجاد تنش برشی درون لوله می‌شود.

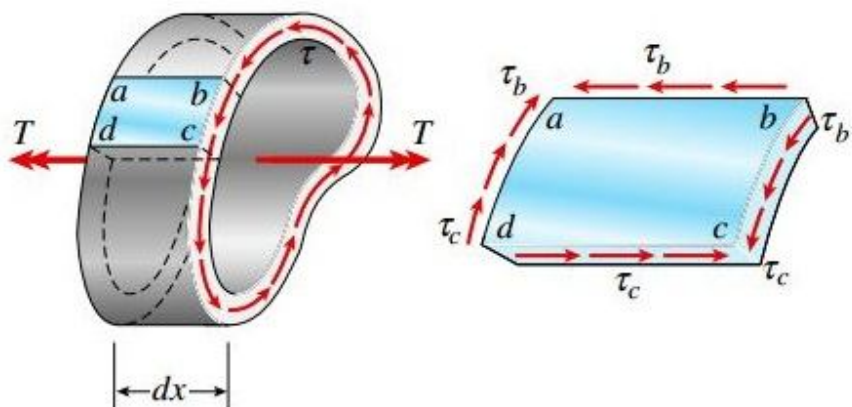


لوله جدار نازک با سطح مقطع دلخواه

شکل زیر، تنش‌های برشی T اعمال شده بر روی یک مقطع عرضی از لوله را نمایش می‌دهد. این تنش‌ها در جهت موازی با مرزهای سطح مقطع اعمال می‌شوند و در اطراف آن جریان می‌یابند. به دلیل فرض جدار نازک بودن لوله، مقدار تغییر شدت تنش‌ها در امتداد ضخامت آن بسیار کم است. به همین دلیل می‌توان مقدار T در راستای مذکور را ثابت در نظر گرفت. اگر ضخامت لوله ثابت نباشد، شدت تنش بر روی نقاط مختلف مقطع عرضی متفاوت خواهد بود. در این حالت، باید الگوی تغییرات شدت تنش را با استفاده از معادلات تعادل به دست آورد.



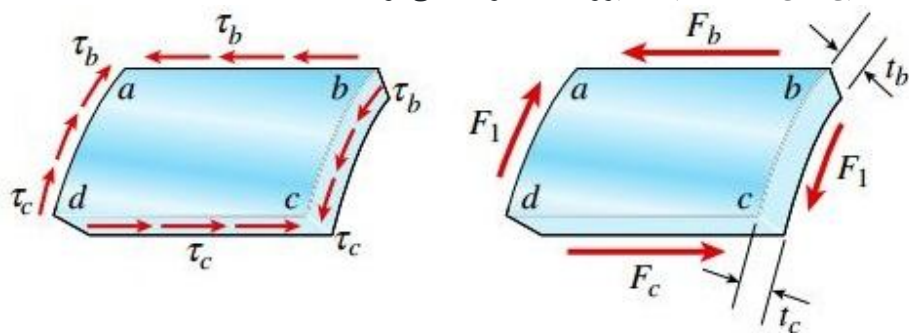
لوله جدار نازک و بخش مورد تحلیل در محدوده‌ای با فاصله dx (به همراه تنش برشی موجود بر روی سطح مقطع) به منظور تعیین مقدار تنش‌های برشی، المان قرار گرفته در بین دو مقطع با فاصله dx از یکدیگر را در نظر بگیرید (المان $abcd$ در شکل زیر). اگر شدت تنش‌های موجود بر روی این المان از b تا c تغییر کنند، تنش برشی موجود در b با عنوان τ_b و تنش برشی موجود در c با عنوان τ_c مشخص می‌شوند.



المان $abcd$ در محدوده‌ای با فاصله

dx

با در نظر گرفتن شرایط تعادلی برای المان مورد بررسی، تنش‌های برشی مشابه‌ای بر روی مقاطع رو به رویی، یعنی bc و ad اعمال خواهد شد. مقدار تنش‌های موجود بر روی این مقاطع با مقدار تنش‌های اعمال شده بر روی ab و cd برابر خواهد بود. به این ترتیب، تنش‌های برشی اعمال شده بر روی صفحات طولی ab و cd به ترتیب برابر با τ_c و τ_b است. این تنش‌ها باعث ایجاد نیروهای F_b و F_c می‌شوند.



نمودار جسم آزاد المان $abcd$

مقدار نیروهای اعمال شده بر روی صفحات المان $abcd$ از طریق روابط زیر به دست می‌آید:

$$F_b = \tau_b t_b dx \quad F_c = \tau_c t_c dx$$

T_b و T_c به ترتیب ضخامت لوله در نقاط b و c را نمایش می‌دهند. نیروهای F ، توسط تنش‌های اعمال شده بر روی صفحات bc و ad به وجود می‌آیند. با در نظر گرفتن تعادل المان در راستای طولی (محور x)، رابطه $F_c = F_b$ برقرار خواهد بود. این رابطه را می‌توان به صورت زیر نیز بیان کرد:

$$\tau_b t_b = \tau_c t_c$$

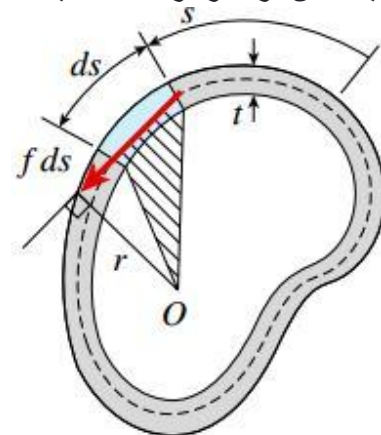
به دلیل انتخاب اختیاری محل قرارگیری مقاطع طولی ab و cd ، رابطه بالا (حاصل ضرب تنش برشی در ضخامت لوله) برای تمام نقاط سطح مقطع یکسان خواهد بود. این رابطه با عنوان «جریان برش» (Shear Flow) شناخته شده و با حرف f نمایش داده می‌شود:

$$f = \tau t = \text{ثابت}$$

بر اساس این رابطه، بزرگ‌ترین تنش برشی در کوچک‌ترین ضخامت و کوچک‌ترین تنش برشی در بزرگ‌ترین ضخامت رخ می‌دهد. در محدوده‌هایی که ضخامت لوله ثابت است، تنش برشی نیز ثابت خواهد بود. توجه داشته باشید که جریان برش، نیروی برشی در واحد ضخامت سطح مقطع را نمایش می‌دهد.

رابطه پیچش برای لوله‌های جدار نازک

قدم بعدی در تحلیل لوله‌های جدار نازک، مشخص کردن رابطه بین جریان برش و گشتاور پیچشی است. به این منظور، سطح مقطع نمایش داده شده در بخش قبلی را مورد بررسی قرار می‌دهیم (شکل زیر). خط میانی جداره لوله با خطچین نمایش داده شده است. اکنون، بخشی از سطح مقطع مورد بررسی با طول ds و ضخامت t را در نظر بگیرید. فاصله s ، موقعیت المان در نظر گرفته شده تا یک نقطه مرجع دلخواه را نمایش می‌دهد.



سطح مقطع لوله جدار نازک و المان سطح ds

نیروی برشی کل بر روی المان سطح برابر با $f ds$ است. گشتاور این نیرو حول نقطه O به صورت زیر تعیین می‌شود:

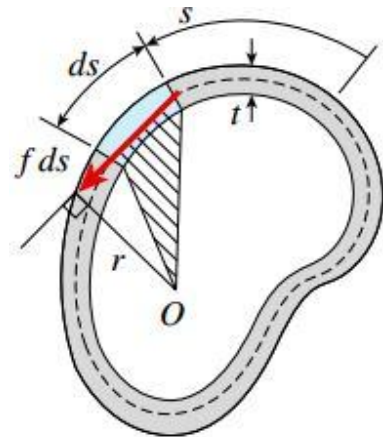
$$dT = r f ds$$

r ، فاصله عمودی از نقطه O تا خط اثر نیروی $f ds$ را نمایش می‌دهد. توجه داشته باشید که خط اثر $f ds$ بر روی خط میانی سطح مقطع در المان ds مماس است. گشتاور پیچشی ناشی از تنش‌های برشی با انتگرال‌گیری بر روی محدوده خط میانی سطح مقطع به دست می‌آید:

$$T = f \int_0^{L_m} r ds$$

L_m : طول خط میانی

در برخی از موارد، انتگرال‌گیری از رابطه بالا بسیار دشوار است اما خوشبختانه این مشکل با استفاده از ساده‌سازی‌های هندسی برطرف می‌شود. کمیت $r ds$ ، دو برابر مساحت مثلث هاشور خورده در شکل زیر را نمایش می‌دهد. توجه داشته باشید که قاعده این مثلث برابر با ds و ارتفاع آن برابر با r است.



به این ترتیب، انتگرال کل، دو برابر مساحت به دست آمده از منحنی بسته خط میانی (A_m) خواهد بود:

$$\int_0^{L_m} r ds = 2A_m$$

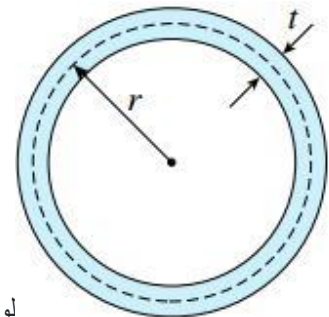
با توجه به رابطه قبلی، به رابطه $f A_m = T$ می‌رسیم. بنابراین، جریان برشی برابر است با:

$$f = \frac{T}{2A_m}$$

اگر $f = \tau t$ را درون رابطه بالا قرار دهیم، به رابطه پیچش برای لوله‌های جدار نازک دست می‌یابیم:

$$\tau = \frac{T}{2tA_m}$$

t : ضخامت جدار لوله؛ A_m : مساحت سطح مقطع (با توجه به خط میانی)؛ T : تنش‌های برشی؛ T : گشتاور پیچشی برای نمایش کاربرد رابطه پیچش، یک لوله جدا نازک دایره‌ای با ضخامت t و شعاع r نسبت به خط میانی را در نظر بگیرید.



لوله جدار نازک دایره‌ای

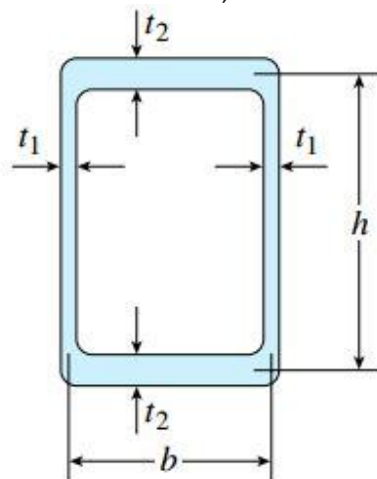
مساحت ناحیه به وجود آمده توسط خط میانی برابر است با:

$$A_m = \pi r^2$$

با توجه به این رابطه، تنش برشی به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\tau = \frac{T}{2\pi r^2 t}$$

رابطه بالا مشابه رابطه پیچش در یک لوله دایره‌ای با دیواره نازک است. برای بررسی حالت‌های دیگر، یک لوله جدار نازک با سطح مقطع مستطیلی شکل، ضخامت t ، در کناره‌ها و ضخامت t ، در بالا و پایین را در نظر بگیرید. ارتفاع و عرض این لوله (با توجه به خط میانی سطح مقطع) به ترتیب برابر با h و b است.



لوله جدار نازک مستطیلی

مساحت ناحیه داخل خط میانی سطح مقطع به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$A_m = bh$$

تنش‌های برشی در صفحات عمودی و افقی لوله نیز به صورت زیر به دست می‌آیند:

$$\tau_{\text{vert}} = \frac{T}{2t_1bh} \quad \tau_{\text{horiz}} = \frac{T}{2t_2bh}$$

T_{ver} : تنش برشی عمودی؛ T_{horiz} : تنش برشی افقی؛ t : ضخامت بخش‌های کناری؛ t : ضخامت بخش‌های بالایی و پایینی اگر t از t ، بزرگتر باشد، تنش برشی ماکسیمم در بخش‌های عمودی سطح مقطع رخ می‌دهد.

انرژی کرنشی و ثابت پیچش

با استفاده از تعیین انرژی کرنشی یک المان و انتگرال‌گیری در محدوده آن می‌توان انرژی کرنشی یک لوله جدار نازک را محاسبه کرد. المانی با مساحت سطح مقطع tds و طول dx را در نظر بگیرید. حجم این المان برابر با $tdsdx$ است (مشابه حجم المان $abcd$ در بخش اول مقاله). به دلیل قرار داشتن لوله در معرض برش خالص، چگالی انرژی کرنشی المان برابر با $G\gamma^2/2$ خواهد بود. به این ترتیب، انرژی کرنشی کل از ضرب چگالی انرژی کرنشی در حجم به دست می‌آید:

$$dU = \frac{\tau^2}{2G} tdsdx = \frac{\tau^2 t^2}{2G} \frac{ds}{t} dx = \frac{f^2}{2G} \frac{ds}{t} dx$$

به جای عبارت τt در رابطه بالا از کمیت جریان برش f به عنوان یک پارامتر ثابت استفاده شده است. برای تعیین انرژی کرنشی کل لوله باید از du انتگرال‌گیری کنیم. به این منظور، از ds در محدوده ۰ تا L_m (طول خط میانی) و از dx در محدوده ۰ تا L (طول لوله) انتگرال می‌گیریم. به این ترتیب:

$$U = \int dU = \frac{f^2}{2G} \int_0^{L_m} \frac{ds}{t} \int_0^L dx$$

توجه داشته باشید که ضخامت t می‌تواند در اطراف خط میانی تغییر می‌کند. از این‌رو، کمیت مذکور باید به همراه ds در انتگرال قرار داشته باشد. حاصل انتگرال آخر در رابطه بالا با طول لوله برابر است. به همین دلیل، رابطه انرژی کرنشی به صورت زیر درمی‌آید:

$$U = \frac{f^2 L}{2G} \int_0^{L_m} \frac{ds}{t}$$

با جایگذاری رابطه جریان برش در این رابطه، خواهیم داشت:

$$U = \frac{T^2 L}{8GA_m^2} \int_0^{L_m} \frac{ds}{t}$$

این جایگذاری به منظور بازنویسی رابطه انرژی کرنشی بر حسب گشتاور پیچشی **T** صورت می‌گیرد. عبارت بالا را می‌توان به فرم ساده‌تری تبدیل کرد. این کار با معرفی یک ویژگی جدید به نام «**ثابت پیچش**» (**Torsion Constant**) صورت می‌گیرد. ثابت پیچش، یکی از ویژگی‌های سطح مقطع جسم به شمار می‌رود. برای یک لوله جدار نازک، این ثابت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$J = \frac{4A_m^2}{\int_0^{L_m} \frac{ds}{t}}$$

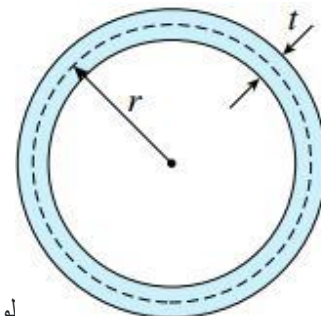
با در نظر گرفتن مفهوم ثابت پیچش، معادله انرژی کرنشی به فرم زیر درمی‌آید:

$$U = \frac{T^2 L}{2GJ}$$

این رابطه با رابطه معرفی شده برای تعیین انرژی کرنشی یک لوله دایره‌ای شکل شباهت دارد. تنها تفاوت بین این دو رابطه، قرارگیری ثابت پیچش **J** به جای ممان اینرسی قطبی **I_p** است. توجه داشته باشید که ثابت پیچش بر حسب واحد طول به توان چهار بیان می‌شود. اگر ضخامت سطح مقطع لوله ثابت باشد، رابطه **J** ساده‌تر خواهد شد:

$$J = \frac{4tA_m^2}{L_m}$$

با استفاده روابط معرفی شده برای **J** می‌توانیم ثابت پیچش سطح مقطعی با هر شکل دلخواه را محاسبه کنیم. لوله جدار نازک دایره‌ای زیر را در نظر بگیرید. به دلیل ثابت بودن ضخامت، از رابطه بالا برای تعیین ثابت پیچش استفاده می‌کنیم.

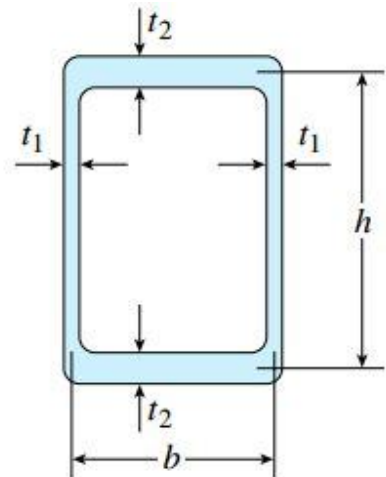


لوله جدار نازک دایره‌ای

با جایگذاری $\pi r^2 = A_m$ و $\pi r t = A_m$ به رابط زیر می‌رسیم:

$$J = 2\pi r^3 t$$

این رابطه، با رابطه تقریبی ممان اینرسی قطبی برابر است. بنابراین، در لوله‌های جدار نازک دایره‌ای، ممان اینرسی قطبی با ثابت پیچش برابر خواهد بود. اکنون یک لوله مستطیلی مطابق شکل زیر را در نظر بگیرید.



لوله جدار نازک مستطیلی

برای این لوله، $bh = A_m$ است. بنابراین، انتگرال موجود در رابطه ثابت پیچش آن به صورت زیر حل می‌شود:

$$\int_0^{L_m} \frac{ds}{t} = 2 \int_0^h \frac{ds}{t_1} + 2 \int_0^b \frac{ds}{t_2} = 2 \left(\frac{h}{t_1} + \frac{b}{t_2} \right)$$

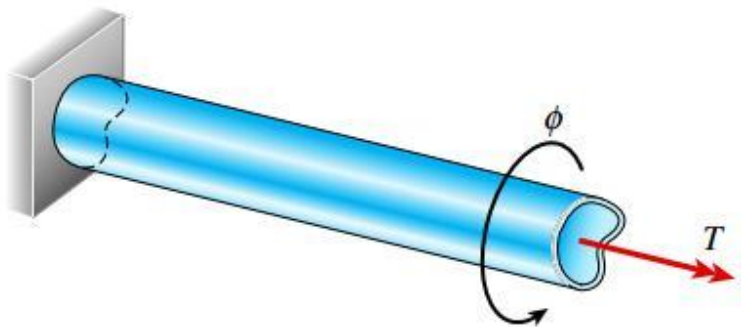
به این ترتیب، رابطه ثابت پیچش لوله جدار نازک مستطیلی با ضخامت ثابت برابر است با:

$$J = \frac{2b^2h^2t_1t_2}{bt_1 + ht_2}$$

ثابت پیچش لوله‌های جدار نازک با سطح مقطع‌های دیگر نیز به همین ترتیب تعیین می‌شوند.

زاویه پیچش

زاویه پیچش ϕ یک لوله جدار نازک با سطح مقطع دلخواه از طریق تعیین رابطه کار انجام شده توسط گشتاور اعمال شده و برابر قرار دادن آن با رابطه انرژی کرنشی لوله نیز به دست می‌آید.



زاویه پیچش لوله جدار نازک

بنابراین:

$$W = U \quad \text{or} \quad \frac{T\phi}{2} = \frac{T^2 L}{2GJ}$$

به این ترتیب، رابطه زاویه پیچش به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\phi = \frac{TL}{GJ}$$

این رابطه نیز با معادله مربوط به زاویه پیچش لوله‌های دایره‌ای شباهت دارد. تفاوت این دو رابطه نیز در قرارگیری J به جای I_p است. کمیت GJ با عنوان «صلبیت پیچشی» (Torsional Rigidity) شناخته می‌شود.

نکات تکمیلی

روابطی که در این مقاله معرفی کردیم، برای عضوهای منشوری (سطح مقطع یکنواخت در راستای محور طولی) با شکل بسته و دیواره نازک کاربرد دارند. اگر سطح مقطع به صورت جدار نازک اما باز باشد (مانند تیرهای I شکل)، روابط ارائه شده معتبر نخواهند بود. برای درک بیشتر اهمیت این موضوع، یک لوله جدار نازک را در نظر بگیرید. در صورت ایجاد برش طولی در این لوله، سطح مقطع آن باز خواهد شد. در این حالت، تنش‌های برشی و زوایای پیچش افزایش می‌یابند. علاوه بر این، مقاومت پیچشی لوله نیز کمتر می‌شود. به این ترتیب، روابط قبلی دیگر برای این شرایط قابل استفاده نیستند. به منظور ارزیابی وضعیت مذکور باید از تئوری‌های پیشرفته‌تر برای تعیین روابط تنش برشی و زاویه پیچش استفاده کرد.

برخی از روابط معرفی شده در این مقاله تنها برای مواد الاستیک خطی کاربرد دارند. به عنوان مثال، روابطی که دارای کمیت مدول برشی G هستند، در این گروه قرار می‌گیرند. با این وجود، معادلات جریان برش و تنش برشی صرفاً از طریق معادلات تعادل به دست آمده‌اند. به همین دلیل، این معادلات برای تمامی مواد با هر خصوصیتی قابل استفاده خواهند بود. مباحث تئوری ارائه شده، تخمینی از مؤلفه‌های پیچش برای لوله‌های جدار نازک را فراهم می‌کنند. از آنجایی که این تئوری با در نظر گرفتن خطوط میانی سطح مقطع لوله گسترش یافته است، افزایش ضخامت دیواره باعث کاهش دقت روابط خواهد شد.

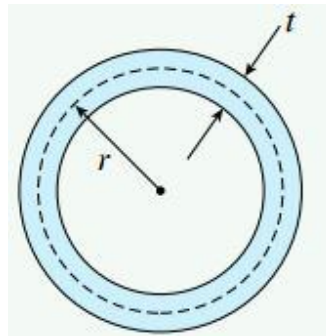
یکی از ملاحظات قابل توجه در طراحی لوله‌های جدا نازک، در نظر گرفتن مسئله «کمانش» (Buckling) است. هر چه لوله نازک‌تر و طول آن زیادتر باشد، احتمال رخ دادن کمانش افزایش می‌یابد. در لوله‌های غیر دایره‌ای، اغلب از تقویت‌کننده‌ها و دیافراگم‌های مخصوص برای جلوگیری از تغییر شکل لوله در نواحی ضعیف استفاده می‌شود. در این مقاله، فرض می‌کنیم که هیچ کمانشی در مباحث و مثال‌های ارائه شده وجود نخواهد داشت.

مثال‌ها

به منظور آشنایی با نحوه به کارگیری روابط معرفی شده برای تحلیل مؤلفه‌های پیچش در لوله‌های جدار نازک، دو مثال را برای شما تشریح خواهیم کرد.

مثال ۱

لوله دایره‌ای نمایش داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید. مقدار تنش برشی مکسیم حاصل از روش تقریبی برای لوله‌های جدار نازک را با مقدار به دست آمده از رابطه پیچش مقایسه کنید. توجه داشته باشید که ضخامت سطح مقطع و فاصله شعاعی خط میانی آن تا مرکز لوله ثابت است.



روش تقریبی

رابطه مورد نیاز برای محاسبه تنش برشی با استفاده از روش تقریبی به صورت زیر است:

$$\tau_1 = \frac{T}{2\pi r^2 t} = \frac{T}{2\pi t^3 \beta^2}$$

در این رابطه:

$$\beta = \frac{r}{t}$$

رابطه پیچش

برای محاسبه تنش برشی ماکسیمم از طریق رابطه پیچش، داریم:

$$\tau_2 = \frac{T(r + t/2)}{I_p}$$

که در آن:

$$I_p = \frac{\pi}{2} \left[\left(r + \frac{t}{2} \right)^4 - \left(r - \frac{t}{2} \right)^4 \right]$$

اگر رابطه بالا را باز کنیم، به فرم ساده شده زیر می‌رسیم:

$$I_p = \frac{\pi r t}{2} (4r^2 + t^2)$$

به این ترتیب، رابطه تنش برشی به شکل زیر درمی‌آید:

$$\tau_2 = \frac{T(2r + t)}{\pi r t (4r^2 + t^2)} = \frac{T(2\beta + 1)}{\pi t^3 \beta (4\beta^2 + 1)}$$

مقایسه روابط

نسبت تنش‌های برشی به دست آمده از دو روش بالا برابر است با:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{4\beta^2 + 1}{2\beta(2\beta + 1)}$$

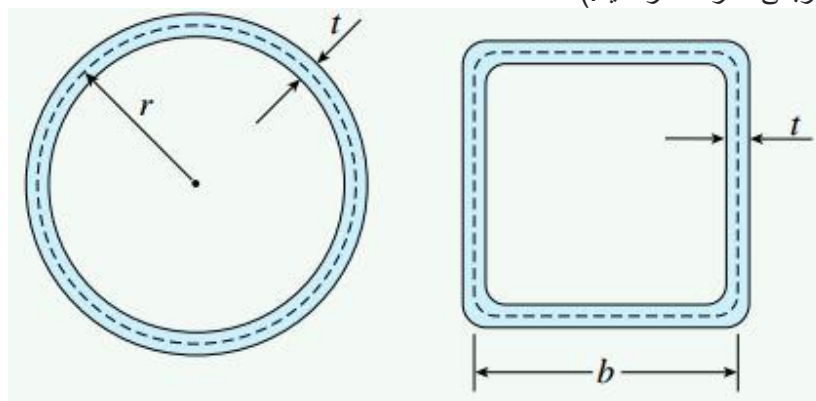
این نسبت، تنها به کمیت β بستگی دارد.

تحلیل نتیجه به دست آمده

اگر مقادیر β را به ترتیب برابر با ۵، ۱۰ و ۲۰ قرار دهیم، نسبت τ_1/τ_2 به ترتیب برابر با ۰/۹۲، ۰/۹۵ و ۰/۹۸ خواهد شد. با توجه به این مقادیر می‌توان مشاهده کرد که مقادیر به دست آمده از رابطه تقریبی اختلاف بسیار کمی با رابطه پیچش دارند. با کاهش ضخامت دیواره لوله، دقت روش تقریبی افزایش می‌یابد. هنگامی که ضخامت دیواره لوله به صفر و β به بی‌نهایت میل کند، نسبت τ_1/τ_2 به مقدار ۱ خواهد رسید.

مثال ۲

شکل زیر، یک لوله با مقطع دایره‌ای و یک لوله با مقطع مربعی را نمایش نمی‌دهد. این دو لوله در معرض گشتاور پیچشی برابر قرار دارند. اگر ماده تشکیل‌دهنده، طول، ضخامت دیواره و مساحت سطح مقطع هر دو آن‌ها یکسان باشد، نسبت تنش‌های برشی و همچنین نسبت زوایای پیچش به وجود آمده چقدر خواهد بود؟ (از تمرکز تنش در گوشه‌های لوله مربعی صرف‌نظر کنید.)



لوله دایره‌ای

مساحت ناحیه بسته حاصل از خط میانی سطح مقطع لوله (خطچین) از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A_{m1} = \pi r^2$$

r ، فاصله شعاعی مرکز میله تا خط میانی سطح مقطع را نمایش می‌دهد. ثابت پیچش و مساحت مقطع عرضی نیز با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$J_1 = 2\pi r^3 t \quad A_1 = 2\pi r t$$

لوله مربعی

برای لوله مربعی، مساحت مقطع عرضی برابر است با:

$$A_2 = 4bt$$

b ، طول یکی از اضلاع خط میانی سطح مقطع لوله (خطچین) است. به دلیل برابر بودن مساحت لوله‌ها ($bt=2\pi r t$)، طول ضلع مذکور $\sqrt{b}=\pi r$ خواهد بود. ثابت پیچش و مساحت ناحیه بسته حاصل از خط میانی در لوله مربعی نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$J_2 = b^3 t = \frac{\pi^3 r^3 t}{8} \quad A_{m2} = b^2 = \frac{\pi^2 r^2}{4}$$

نسبت‌های تنش برشی و زوایای پیچشی

با توجه به رابطه پیچش لوله‌های جدار نازک، نسبت T/t ، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{A_{m2}}{A_{m1}} = \frac{\pi^2 r^2 / 4}{\pi r^2} = \frac{\pi}{4} = 0.79 \quad \tau = \frac{T}{2tA_m}$$

با استفاده از رابطه گشتاور-جابجایی $\phi = TL/GJ$ نیز نسبت زوایای پیچش قابل تعیین خواهد بود:

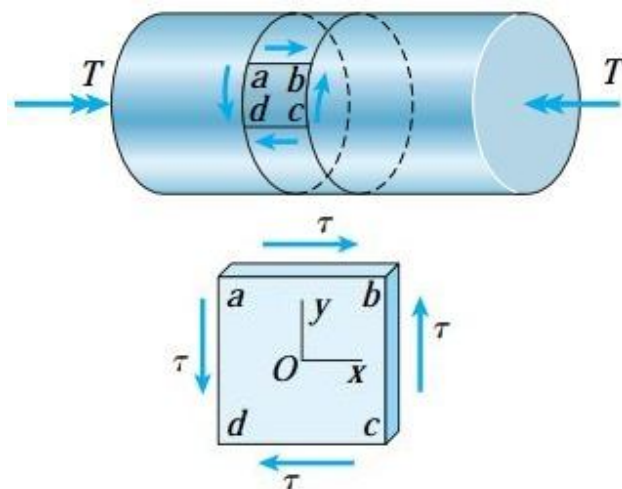
$$\frac{\phi_1}{\phi_2} = \frac{J_2}{J_1} = \frac{\pi^3 r^3 t / 8}{2\pi r^3 t} = \frac{\pi^2}{16} = 0.62$$

نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که لوله دایره‌ای نسبت به لوله مربعی، علاوه بر کمتر بودن ۲۱ درصدی مقدار تنش برشی، از بیشتر بودن مقاومت در برابر پیچش نیز بهره می‌برد.

هنگامی که یک میله یا لوله دایره‌ای شکل در معرض پیچش قرار می‌گیرد، تنش‌های برشی بر روی مقاطع عرضی و طولی آن ایجاد می‌شوند. در مبحث «تحلیل میله‌های تحت پیچش»، جهت‌گیری و مقدار تنش‌های برشی مربوط به شرایط بارگذاری پیچشی را مورد بررسی قرار دادیم. در این مقاله، به معرفی نحوه تعیین مؤلفه‌های تنش و کرنش در حالت برش خالص خواهیم پرداخت. در انتها نیز به منظور آشنایی بیشتر با روابط ارائه شده، یک مثال را تشریح خواهیم کرد.

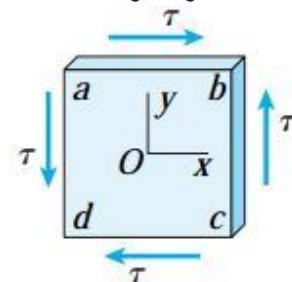
المان تنش در بارگذاری پیچشی

المان تنش نمایش داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید. این المان از میان دو مقطع عرضی در یک میله تحت پیچش انتخاب شده است. به دلیل اعمال تنش‌های برشی بر روی چهار طرف المان $abcd$ و عدم وجود تنش‌های نرمال، $abcd$ در حالت برش خالص قرار دارد.



تنش‌های اعمال شده بر روی المان تنش جدا شده از یک میله تحت پیچش (برش خالص)
جهت‌گیری تنش‌های برشی موجود در المان **abcd** به جهت اعمال گشتاور پیچشی **T** بستگی دارد. در این مثال فرض می‌کنیم که گشتاورهای اعمال شده باعث دوران ساعت‌گرد انتهای سمت راست میله می‌شوند. به این ترتیب، جهت‌گیری تنش‌های برشی مطابق شکل بالا خواهد بود. وضعیت تنش برای المان‌های داخل میله نیز مشابه وضعیت المان **abcd** است؛ با این تفاوت که به دلیل کوچک‌تر بودن فاصله شعاعی المان‌های داخلی تا مرکز میله، مقدار تنش‌های موجود بر روی این المان‌ها کوچک‌تر از مقدار تنش‌های موجود بر روی المان‌های سطحی خواهد بود. به طور کلی، قواعد علامت‌گذاری تنش‌های برشی به صورت زیر بیان می‌شوند:

- اگر تنش برشی موجود بر روی یک صفحه مثبت در جهت مثبت محورهای مختصات اعمال شود، علامت آن تنش مثبت خواهد بود.
- اگر تنش برشی موجود بر روی یک صفحه مثبت در جهت منفی محورهای مختصات اعمال شود، علامت آن تنش منفی خواهد بود.
- اگر تنش برشی موجود بر روی یک صفحه منفی در جهت منفی محورهای مختصات اعمال شود، علامت آن تنش مثبت خواهد بود.
- اگر تنش برشی موجود بر روی یک صفحه منفی در جهت مثبت محورهای مختصات اعمال شود، علامت آن تنش منفی خواهد بود.

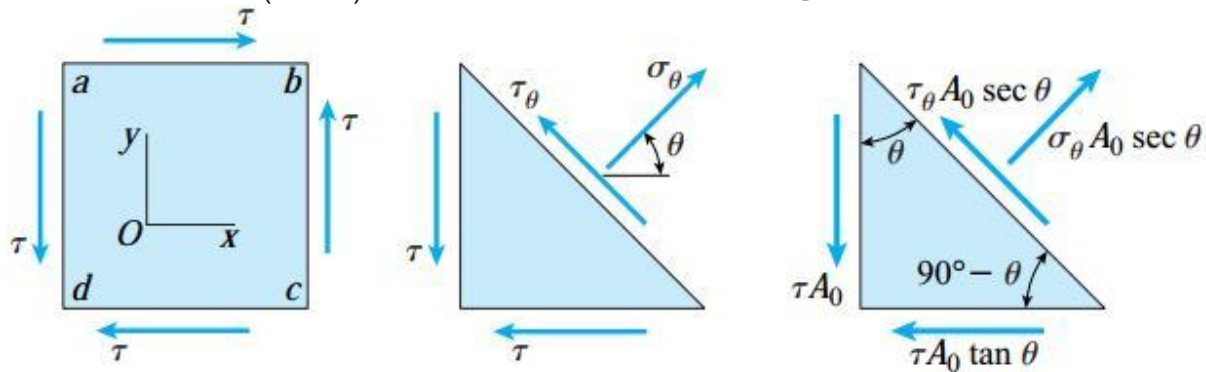


با در نظر گرفتن این قواعد برای علامت‌گذاری تنش‌های برشی اعمال شده بر روی المان بالا، مشاهده می‌کنیم که علامت هر چهار تنش برشی، مثبت است. به عنوان مثال، تنش برشی موجود بر روی صفحه سمت راست (صفحه مثبت **x**) در جهت مثبت محور **y** اعمال می‌شود. تنش برشی موجود بر روی صفحه سمت چپ (صفحه منفی **x**) نیز در جهت منفی محور **y** اعمال می‌شود. با توجه به قواعد علامت‌گذاری، علامت هر دو تنش مثبت خواهد بود. این موضوع برای دو تنش دیگر نیز صدق می‌کند.

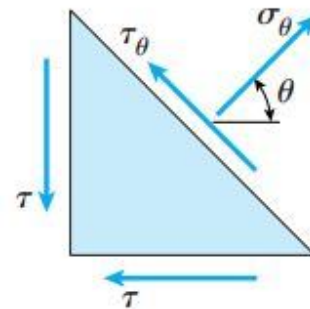
تنش‌های موجود بر روی صفحات مورب

اکنون می‌توانیم تنش‌های اعمال شده بر روی صفحات مورب المان‌های تحت برش خالص را تعیین کنیم. روش اتخاذ شده در این بخش همانند مطالب ارائه شده در مبحث «آشنایی با نحوه تعیین مؤلفه‌های تنش بر روی صفحات مورب» است.

برای شروع تحلیل، المان دوبعدی زیر را در نظر بگیرید. رسم المان دوبعدی به منظور سادگی تحلیل صورت می‌گیرد. باید توجه داشته باشید که المان مورد بررسی در راستای عمود بر صفحه نیز دارای بعد (ضخامت) است.

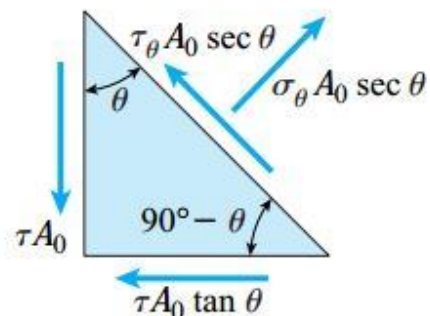


تحلیل تنش‌های موجود بر روی صفحات مورب در حالت برش خالص در مرحله بعد، المان مربعی را تحت زاویه θ نسبت به محور x برش می‌دهیم (شکل زیر). به این ترتیب، یک المان تنش گوه‌ای (مثلثی) به وجود می‌آید. تنش‌های نرمال (σ_θ) و برشی (τ_θ) بر روی صفحه مورب این المان اعمال می‌شوند. قواعد علامت‌گذاری برای تنش‌های برشی اعمال شده بر روی صفحات مورب (τ_θ) با قواعد علامت‌گذاری برای تنش‌های برشی اعمال شده بر روی صفحات یک المان مکعبی (τ) متفاوت است. اگر جهت تنش برشی موجود بر روی صفحات مورب به صورت ساعت‌گرد باشد، علامت آن مثبت در نظر گرفته خواهد شد. علاوه بر این، علامت مثبت برای تنش‌های نرمال کششی و علامت منفی برای تنش‌های نرمال فشاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.



تنش‌های اعمال شده بر روی المان مثلثی

با توجه به نکات ارائه شده، صفحات عمودی و افقی المان مثلثی بالا دارای تنش‌های برشی مثبت و صفحه مورب آن دارای تنش‌های نرمال و برشی مثبت خواهند بود. اکنون با در نظر گرفتن تعادل المان مثلثی می‌توانیم تنش‌های σ_θ و τ_θ را تعیین کنیم. نیروهای اعمال شده بر روی هر صفحه از حاصل ضرب تنش در مساحت به دست می‌آید. به عنوان مثال، نیروی اعمال شده بر روی صفحه سمت چپ با حاصل τA برابر است. A ، مساحت صفحه عمودی را نمایش می‌دهد. با توجه به نمودار جسم آزاد نمایش داده شده در شکل زیر، این نیرو در جهت منفی محور y اعمال می‌شود. به دلیل ثابت بودن ضخامت المان در راستای z ، مساحت صفحه پایینی از رابطه $\tan\theta \cdot A$ و مساحت صفحه مورب از رابطه $\sec\theta \cdot A$ به دست می‌آید. با ضرب تنش‌های موجود در مساحت صفحات در برگیرنده آن‌ها و تعیین نیروهای باقیمانده، نمودار جسم آزاد المان مثلثی کامل می‌شود.



نیروهای اعمال شده بر روی المان مثلثی (نمودار جسم آزاد)

پس از رسم نمودار جسم آزاد می‌توانیم دو معادله تعادل را برای المان مثلثی بنویسیم. معادله اول در جهت σ_θ و معادله دوم در جهت T_θ خواهد بود. در هنگام نوشتن این معادلات باید نیروهای موجود بر روی صفحات سمت چپ و پایین المان را به مؤلفه‌های هم‌جهت با σ_θ و T_θ تجزیه کنیم. به این ترتیب با جمع نیروهای موجود در راستای σ_θ ، خواهیم داشت:

$$\sigma_\theta A_0 \sec \theta = \tau A_0 \sin \theta + \tau A_0 \tan \theta \cos \theta$$

یا

$$\sigma_\theta = 2\tau \sin \theta \cos \theta$$

معادله دوم از جمع نیروهای موجود در راستای T_θ به دست می‌آید:

$$\tau_\theta A_0 \sec \theta = \tau A_0 \cos \theta - \tau A_0 \tan \theta \sin \theta$$

یا

$$\tau_\theta = \tau(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$

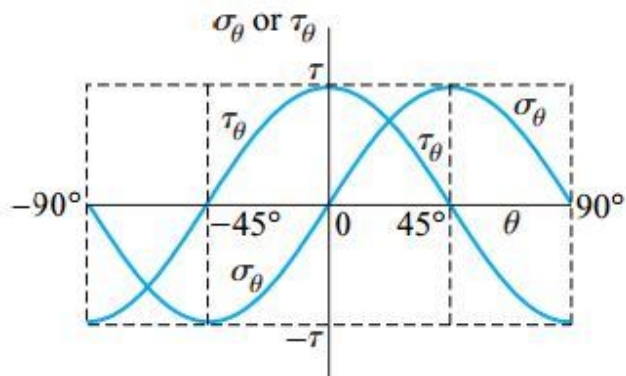
با استفاده از روابط مثلثاتی می‌توانیم این معادلات را به فرم ساده‌تری بازنویسی کنیم:

$$\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta \quad \cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta$$

$$\sigma_\theta = \tau \sin 2\theta$$

$$\tau_\theta = \tau \cos 2\theta$$

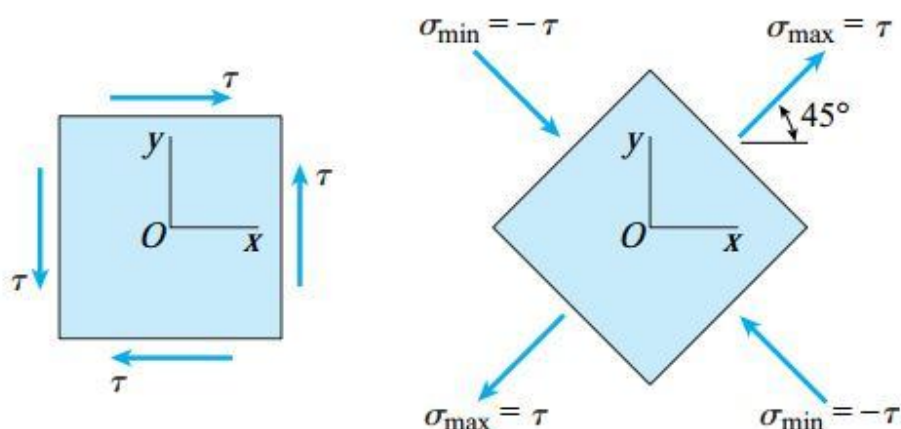
با استفاده از معادلات بالا، امکان محاسبه تنش‌های نرمال و برشی اعمال شده بر روی صفحه مورب، با توجه به مقادیر تنش برشی T بر روی صفحات x و y و زاویه θ فراهم می‌شود. شکل زیر، نحوه تغییرات تنش‌های σ_θ و T_θ نسبت به زاویه θ را در قالب یک نمودار نمایش می‌دهد. با توجه به این نمودار، مقدار تنش نرمال و برشی در صفحه سمت راست المان تنش ($\theta = 0$) به ترتیب برابر با $\sigma_\theta = 0$ و $T_\theta = T$ است. به دلیل اعمال پادساعت‌گرد تنش برشی T ، علامت تنش برشی T_θ باید مثبت باشد. این موضوع با علامت نمایش داده شده در نمودار مطابقت دارد.



نمودار تغییرات تنش‌های نرمال σ_θ و تنش‌های برشی T_θ در برابر زاویه صفحه مورب (θ)

برای صفحه بالایی المان ($\theta = 90^\circ$)، مقادیر تنش برابر با $\sigma_\theta = 0$ و $\tau = T_\theta$ خواهند بود. علامت منفی در T_θ ، بیانگر ساعت‌گرد بودن جهت اعمال این تنش است. توجه داشته باشید که بزرگ‌ترین مقادیر عددی تنش‌های برشی در زوایای $\theta = 0^\circ$ و $\theta = 90^\circ$ و همچنین صفحات مقابل آن‌ها، یعنی $\theta = 180^\circ$ و $\theta = 270^\circ$ رخ می‌دهند.

با توجه به نمودار، تنش نرمال σ_θ در زاویه $\theta = 45^\circ$ به مقدار **ماکسیمم** خود می‌رسد. در این زاویه، تنش مثبت (کشش) و مقدار عددی T است. به همین ترتیب، σ_θ در زاویه $\theta = -45^\circ$ به مقدار **مینیمم** خود می‌رسد. در این زاویه، تنش مذکور دارای علامت منفی (فشار) و مقدار عددی $-T$ است. مقدار تنش برشی T_θ در هر دو زاویه 45° برابر با **صفر** خواهد بود. شکل زیر، المان تنش دوران یافته تحت زوایای $\theta = 0^\circ$ و $\theta = 45^\circ$ را نمایش می‌دهد. بر اساس این شکل، المان دوران یافته تحت زاویه 45° درجه در معرض **تنش‌های کششی و فشاری برابر** قرار دارد. تنش‌های کششی در راستای عمود بر تنش‌های فشاری اعمال می‌شوند. به علاوه، هیچ تنش برشی در این المان به وجود نمی‌آید.

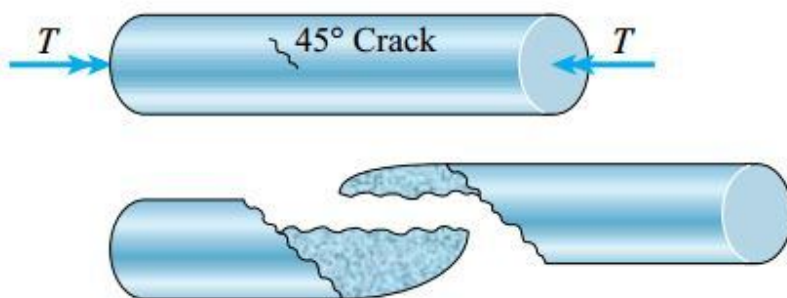


المان تنش دوران یافته تحت

زوایای $\theta = 0^\circ$ و $\theta = 45^\circ$ در حالت برش خالص

توجه داشته باشید که تنش‌های نرمال اعمال شده بر روی المان دوران یافته (شکل سمت راست) در اثر اعمال تنش‌های برشی T بر روی المان اولیه (شکل سمت چپ) به وجود می‌آیند. در صورتی که جهت اعمال تنش‌های برشی المان اولیه برعکس شود، جهت تنش‌های نرمال المان دوران یافته نیز تغییر خواهد کرد. اگر یک المان تنش تحت زاویه‌ای به غیر از 45° دوران کند، هم تنش‌های نرمال و هم تنش‌های برشی بر روی صفحات مورب آن اعمال خواهند شد.

معادلات این بخش برای المان‌های تنش در حالت **برش خالص** معتبر هستند و به نوع سازه مورد بررسی بستگی ندارند. به علاوه، این معادلات برای **تمام مواد** (الاستیک یا غیر الاستیک، خطی یا غیر خطی) کاربرد دارند؛ چراکه به منظور تعیین آن‌ها تنها از معادلات تعادل کمک گرفته شده است. در هنگام اعمال بارهای پیچشی، ترک‌های ایجاد شده در **مواد شکننده** و مواد دارای مقاومت کششی پایین به صورت یک **ماریپیچ 45 درجه‌ای** گسترش می‌یابند. علت این امر، وجود تنش‌های کششی ماکسیمم بر روی صفحاتی است که تحت زاویه 45° درجه دوران یافته‌اند. این رفتار را می‌توان در هنگام پیچاندن یک تکه گچ کلاسی به خوبی مشاهده کرد (مانند شکل زیر).

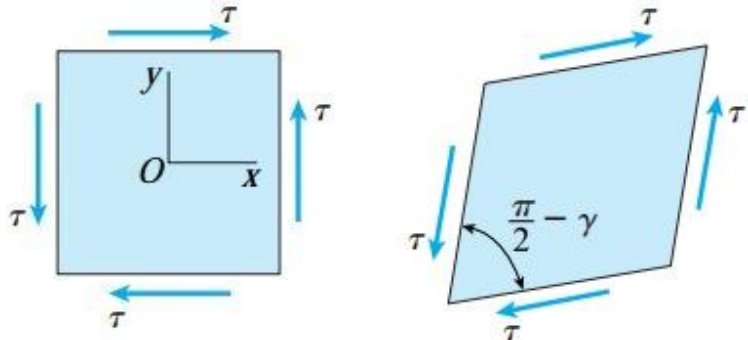


شکست پیچشی یک ماده شکننده به دلیل

ایجاد ترک کششی در راستای یک منحنی ماریپیچی 45° درجه‌ای

کرنش‌های موجود در حالت برش خالص

در این بخش می‌خواهیم کرنش‌های موجود بر روی یک المان تحت برش خالص را مورد بررسی قرار دهیم. برای شروع تحلیل، المان نمایش داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید. **کرنش برشی γ** ، میزان تغییر زاویه بین دو خط عمود در المان اولیه پس از اعمال بارگذاری را نمایش می‌دهد. در المان زیر، میزان کاهش زاویه گوشه پایین-چپ المان به عنوان کرنش برشی γ در نظر گرفته می‌شود. اندازه‌گیری این کرنش بر حسب **رادیان** صورت می‌گیرد.



ایجاد اعوجاج در المانی که تحت زاویه $\theta=0$

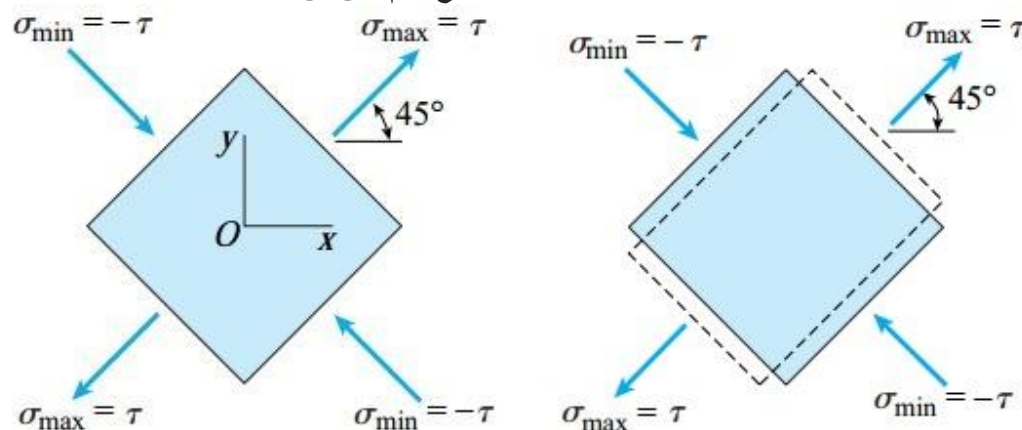
قرار دارد (حالت برش خالص)

میزان کاهش زاویه گوشه بالا-راست و افزایش زاویه دو گوشه دیگر نیز با کرنش برشی γ برابر خواهد بود. با وجود این تغییرات، **طول اضلاع المان** در حین رخ دادن تغییر شکل‌های برشی **ثابت** باقی می‌ماند. بنابراین، شکل المان از یک **متوازی‌السطوح قائم** (شکل سمت چپ) به یک **متوازی‌السطوح مایل** (شکل سمت راست) تغییر می‌کند. این تغییرات با عنوان «**اعوجاج برشی**» (**Shear Distortion**) شناخته می‌شود. اگر با ماده الاستیک خطی مواجه باشیم، رابطه بین کرنش برشی المان دوران یافته تحت زاویه $\theta=0$ و تنش برشی آن با استفاده از **قانون هوک برای مواد تحت برش** به دست می‌آید:

$$\gamma = \frac{\tau}{G}$$

G: مدول برشی

در مرحله بعد، کرنش‌های موجود بر روی المان دوران یافته تحت زاویه $\theta=45^\circ$ را مطابق شکل زیر در نظر بگیرید. در این حالت، **تنش‌های کششی** تمایل به **افزایش طول المان** در راستای 45° دارند. به دلیل اثر **پواسون**، اعمال این تنش‌ها باعث کاهش طول المان در راستای عمود بر این راستا (135° یا -45°) نیز می‌شود. به همین ترتیب، **تنش‌های فشاری** اعمال شده در زاویه 135° درجه تمایل به **کاهش طول المان** در راستای مذکور و افزایش طول آن در راستای 45° درجه دارند. تغییر ابعاد المان در شکل زیر قابل مشاهده است (خطچین‌ها). به دلیل **عدم وجود انحراف برشی** در این حالت، شکل المان تغییر یافته به صورت یک **متوازی‌السطوح قائم** باقی می‌ماند.



ایجاد اعوجاج در

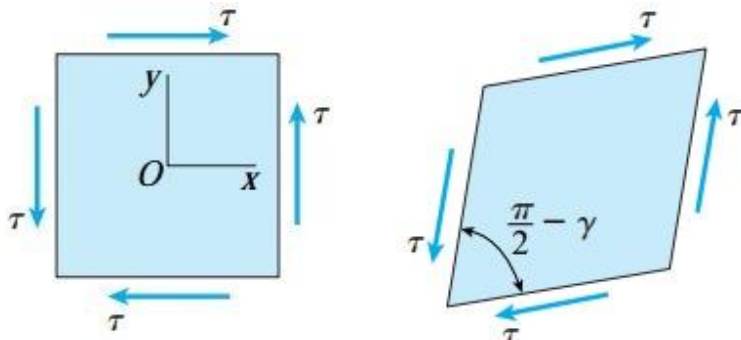
المانی که تحت زاویه $\theta=45^\circ$ قرار داد (حالت برش خالص)

اگر ماده مورد بررسی الاستیک خطی باشد و رفتار آن از **قانون هوک** پیروی کند، امکان تعیین رابطه بین تنش و کرنش اعمال شده بر روی المان دوران یافته تحت زاویه $\theta=45^\circ$ وجود خواهد داشت. در این صورت، تنش کششی σ_{max} در

زاویه $\theta = 45^\circ$ باعث ایجاد کرنش نرمال $E/\sigma_{\max}$ در همین راستا می‌شود. با در نظر گرفتن $\tau = \sigma_{\max}$ می‌توانیم این کرنش را با τ/E بیان کنیم. تنش $\sigma_{\max}$ علاوه بر τ/E راستای 45° درجه، کرنش $-\tau/E$ در راستای عمود بر 45° درجه را نیز به وجود می‌آورد. ν ، نسبت پواسون ماده را نمایش می‌دهد. به همین شکل، تنش $\tau = -\sigma_{\min}$ در $\theta = 135^\circ$ باعث ایجاد کرنشی برابر با $-\tau/E$ در همین راستا و کرنشی برابر با τ/E در راستای عمود می‌شود. بنابراین، کرنش نرمال در زاویه 45° به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\epsilon_{\max} = \frac{\tau}{E} + \frac{\nu\tau}{E} = \frac{\tau}{E}(1 + \nu)$$

مثبت بودن این رابطه، افزایش طول المان را نمایش می‌دهد. کرنش موجود در راستای عمود دارای مقداری برابر اما با علامت منفی است. به عبارت دیگر، برش خالص باعث ایجاد افزایش طول در راستای 45° درجه و کاهش طول در راستای 135° درجه می‌شود. این کرنش‌ها با شکل المان تغییر یافته زیر مطابقت دارند.



رابطه زیر بین کرنش برشی و کرنش نرمال برقرار است:

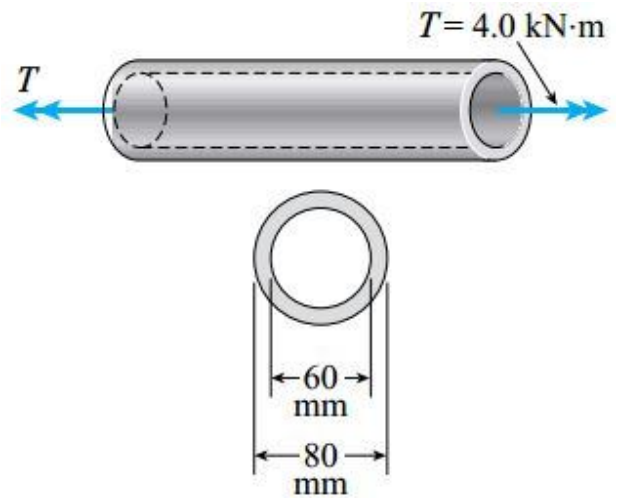
$$\epsilon_{\max} = \frac{\gamma}{2}$$

در صورت مشخص بودن مقدار تنش برشی τ می‌توان با ادغام رابطه بالا با $\gamma = \tau/G$ ، کرنش‌های برشی ماکسیمم و کرنش‌های نرمال ماکسیمم در حالت پیچش خالص را محاسبه کرد.

مثال

شکل زیر، یک لوله دایره‌ای با قطر خارجی 80 میلی‌متر و قطر داخلی 60 میلی‌متر را نمایش می‌دهد. این لوله در معرض گشتاور پیچشی 4 کیلو نیوتن در متر (kN.m) قرار دارد. با توجه به اطلاعات مسئله، موارد الف و ب را تعیین کنید.

- الف) تنش‌های برشی، کششی و فشاری ماکسیمم در لوله
 - ب) کرنش‌های ماکسیمم به وجود آمده در اثر اعمال تنش‌های ماکسیمم
- توجه: مدول برشی ماده تشکیل‌دهنده لوله را برابر با 27 گیگا پاسکال در نظر بگیرید.

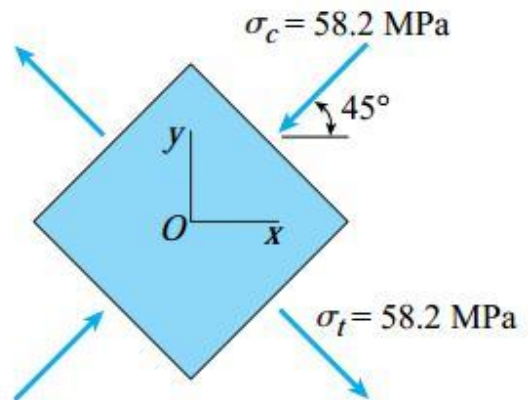


الف) تنش‌های ماکسیمم

مقادیر ماکسیمم هر سه تنش برشی، کششی و فشاری از نظر عددی با هم برابر هستند. مقدار این تنش‌ها با استفاده از [رابطه پیچش](#) به دست می‌آید:

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{I_P} = \frac{(4000 \text{ N}\cdot\text{m})(0.040 \text{ m})}{\frac{\pi}{32}[(0.080 \text{ m})^4 - (0.060 \text{ m})^4]} = 58.2 \text{ MPa}$$

تنش‌های برشی ماکسیمم مطابق شکل زیر بر روی مقاطع عرضی و طولی المان تنش اعمال می‌شوند. در این المان، محور \$x\$ با محور طولی میله موازی است.

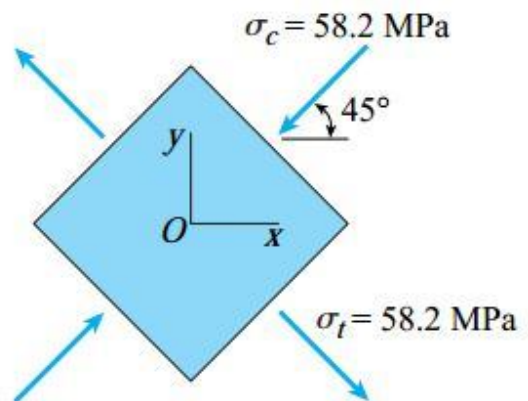


تنش‌های برشی ماکسیمم

تنش‌های کششی و فشاری ماکسیمم عبارت‌اند از:

$$\sigma_t = 58.2 \text{ MPa} \quad \sigma_c = -58.2 \text{ MPa}$$

مطابق شکل زیر، این تنش‌ها بر روی صفحات دوران یافته تحت زاویه \$45^\circ\$ درجه نسبت به محور میله اعمال می‌شوند.



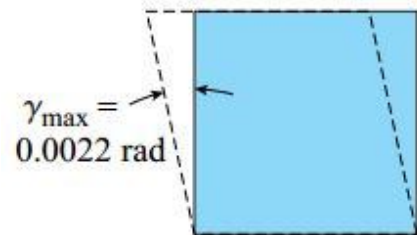
تنش‌های کششی و فشاری ماکسیمم

ب) کرنش‌های ماکسیمم

پس از تعیین تنش‌های ماکسیمم می‌توانیم کرنش برشی ماکسیمم موجود در لوله را نیز با استفاده از قانون هوک برای مواد تحت برش به دست آوریم:

$$\gamma_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{G} = \frac{58.2 \text{ MPa}}{27 \text{ GPa}} = 0.0022 \text{ rad}$$

در شکل زیر، تغییر شکل ناشی از کرنش برشی توسط خط‌چین نمایش داده شده است.



کرنش‌های برشی ماکسیمم

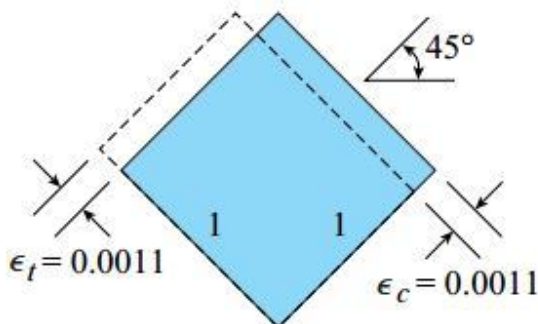
مقدار کرنش‌های نرمال ماکسیمم به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\epsilon_{\max} = \frac{\gamma_{\max}}{2} = 0.0011$$

به این ترتیب، کرنش‌های کششی و فشاری ماکسیمم عبارت‌اند از:

$$\epsilon_t = 0.0011 \quad \epsilon_c = -0.0011$$

خط‌چین‌های نمایش داده شده در شکل زیر، معرف تغییر شکل ناشی از کرنش‌های کششی و فشاری هستند.



کرنش‌های کششی و فشاری ماکسیمم

طرح و ساخت مخازن آب زمینی و هوایی

خلاصه

در ادامه آشنایی با طراحی و اجرای سازه های خاص یا توجه به کاربرد مخازن هوایی و زمینی آب در صنایع مختلف چون آب از جمله اجزای اصلی شبکه های آبرسانی، ذخیره نگهداری و تأمین فشار، نفت و ... لزوم آشنایی مهندسان سازه و عمران با آن را می طلبد که در این مقاله به آن می پردازیم.

تعریف مخازن:

- مخازن یا انباره ها ساختمان هایی می باشند که برای نگهداری مواد به منظورهای مختلف به کار می روند.

طبقه بندی مخازن:

مخازن آب را به گونه های مختلف می توان گروه بندی کرد :

۱- رده بندی مخازن بر حسب شکل و ترکیب:

الف- مخازن استوانه ای (گرد)

ب- مخازن مکعب و مستطیل شکل

پ- مخازن مخروطی

و غیره...

۲- طبقه بندی بر حسب اندازه:

الف- مخازن با اندازه های کوچک (با ظرفیت حدود ۵۰ متر مکعب)

ب- مخازن با اندازه های متوسط (با ظرفیت حدود ۱۵۰ تا ۵۰۰ متر مکعب)

پ- مخازن با اندازه های بزرگ (با ظرفیت حدود ۱۰۰۰ تا ۲۵۰۰ متر مکعب)

ت- مخازن با اندازه های بسیار بزرگ (با ظرفیت بیشتر از ۵۰۰۰ متر مکعب)

۳- طبقه بندی بر حسب موقعیت:

الف- مخازن زمینی (مدفون Buried tanks - نیمه مدفون و واقع بر روی زمین Elevated tanks)

ب-مخازن هوایی

۴- طبقه بندی بر حسب مصالح ساختمانی:

- مخازن آب را بیشتر از فلز و یا بتن مسلح می سازند و بر این اساس تحت عنوان مخزن فلزی و یا مخزن بتنی نامیده می شوند.

ملاحظات مربوط به انتخاب نوع مخزن:

از مزایای مخازن بتنی باید دوام و مقاومت مکانیکی و شیمیائی و راحتی اجرا برای مخازن بزرگ را نام برد. از سوی دیگر، در مخازن فلزی امکان نشت آب وجود ندارد در حالیکه پدیده نشت آب از جدار مخزن می تواند یکی از مسائل عمده مرتبط با مخازن بتنی باشد.

مخازن هوایی آب را، افزون بر ذخیره آب، معمولاً برای تامین فشار کافی در شبکه در موارد عادی و در مواقعی که دستگاه پمپاژ بطور موقت از کار می افتد و نیز برای کنترل مصرف آب و کاستن اثراتی چون ضربه آب می سازند مخازن زمینی آب، از سوی دیگر، عموماً نقش منبعی برای ذخیره آب را دارند. البته از مخازن زمینی نیز، در صورتیکه نسبت به شبکه دارای بلندای کافی باشند، استفاده های یاد شده در مورد شبکه های هوایی را نیز می توان نمود.



تعیین شکل کلی و ابعاد مخزن یکی دیگر از ملاحظات عمده ای است که در طرح مخازن مطرح می شود. رویهم رفته، می توان گفت که اشکال چهار گوش (مکعب مستطیل شکل) برای مخازن کوچک با ظرفیت های کم مناسب تر از اشکال استوانه ای می باشند. درسوی دیگر طیف حجمی نیز می توان گفت که اجرای منابع بسیار بزرگ زمینی با پلان چهار رگوش رویهم رفته راحت تر از مخازن استوانه ای نظیر بوده و از این رو مخازن مکعب مستطیل برای ظرفیتهای بسیار زیاد معمول تر می باشند.

اما در مورد ملاحظات مربوط به نشت آب از مخازن بتنی و در ارتباط با انتخاب شکل مخزن، باید گفت که با حجم مفروض، سطح تر شوندهء مخازن چند گوش بیشتر از سطح تر شونده مخازن گرد است. افزون بر این، اجرای سیستم های پیش تنیدگی یا پس فشردگی در مخازن گرد سهل تر از پیش تنیدن مخازن چند گوش می باشد.

مخازن زمینی، گاهی با سقف و گاهی بدون سقف اجرا می شوند. در مخازن کوچک، سقف را می توان مستقیماً بر روی دیواره های مخزن جای داد. در مخازن بزرگتر گاهی نیاز به ستون ها و یا دیوارهای میانی برای تحمل تاوه سقف پیش می آید. پوشش سقف در مخازن مکعب مستطیل شکل معمولاً از نوع تاوه ای است. اما در مخازن استوانه ای علاوه بر سقف های تاوه ای، مستوی و پوشش گنبدی نیز به کار می رود. کف مخازن چهار گوش معمولاً بصورت تاوه مطبق و یا تاوه چند وجهی است، در حالیکه کف مخازن گرد می تواند مستوی، گنبدی و یا مخروطی نیز باشد. افزون بر ملاحظات یاد شده، انتخاب شکل هندسی مقطع مورد نظر با توجه با وجوه اقتصادی، امکانات اجرایی و شکل زمین نیز صورت می گیرد.



بارگذاری و محاسبات مربوط به مخازن

برای آنالیز مخازن عموماً از تئوریهای ارتجاعی آنالیز سازه ها استفاده می شود. همچنین از آنجا که بروز ترک، هر قدر که جزئی باشد، در دیواره و کف مخازن بتنی مجاز نیست، از این روی محاسبات مربوط به طرح مخازن معمولاً براساس رفتار ارتجاعی سازه صورت می گیرد.

از دیدگاه ساختمانی، یک مخزن، بطور کلی، از چندین بخش تشکیل می شود. بخش های باربرنده متشکله یک مخزن عبارتند از: سقف، دیواره، کف، عناصر تقویتی، ستونها، بادبندها و شالوده، که بسته به نوع مخزن در سیستم های ساختمانی آن بکار خواهند رفت.

چگونگی بار گذاری و تعیین بار بحرانی که مخزن باید برای آن طرح شود از مسائل اصلی مربوط به محاسبه مخازن است. در این مورد باید بین مخازن هوایی و زمینی تمایز قائل شد و بارگذاری هر کدام را جداگانه بحث کرد.

الف- بارگذاری مخازن هوایی

سیستم بار وارده بر مخازن هوایی مشتمل است بر بار مرده، فشار مایع داخل مخزن، اثر باد بر روی مخزن و اثرات زلزله و نیز نیروی باد که بر کل سیستم ساختمانی وارد می آید. بر این اثرات باید تنش های حرارتی و نیروهای دینامیکی ناشی از تلاطم مایع در هنگام وقوع زلزله و یا وزش باد شدید را نیز افزود. بدیهی است که محاسبه مخزن باید با توجه به ترکیب بحرانی محتمل اثرات یاد شده صورت گیرد. همچنین کل سیستم ساختمانی متشکل از مخزن، ستونها، بادبندها و پی نیز باید بگونه ای باشد که بتواند اثرات قائم و جانبی ناشی از باد و زلزله را تحمل کند و پایداری عمومی خود را حفظ نماید.

ب- بارگذاری مخازن زمینی

در مخازن زمینی، اثر برخی از نیروهای یاد شده در قبل مثل نیروهای باد و تنشهای حرارتی یا کم است و یا آنکه در گونه هائی از مخازن مثل مخازن مدفون اساساً چنین تاثیراتی وجود ندارد. در عوض بعلت تماس مخزن با زمین بارهای تازه ای بر مخزن وارد می آیند که باید در محاسبات منظور گردند. به طور کلی، محاسبه منابع زمینی را باید با توجه به سیستم های بارگذاری زیر انجام داد.

۱- سیستم بارگذاری که در آن مخزن در مرحله آزمایش از آب پر شده لیکن پشت دیواره هایش هنوز خاکریزی نشده است.

۲- حالتی که مخزن خالی از آب است اما در زمین مدفون شده و تحت تاثیر فشار خاک اطراف و احتمالاً فشار آب زیر زمینی قرار گرفته باشد.

۳- حالتی که در آن بخشی از مخزن و یا تمامی آن از مایع پر شده و تحت تاثیر اثرات ناشی از زمین اطراف نیز قرار گرفته است.

بر اثرات یاد شده در بالا باید تنشهای حرارتی، حرکات ناشی از زمین لرزه و دیگر بارهای احتمالی را افزود.

مخازن هوایی آب

رایجترین انواع مخازن هوایی آب عبارتند از:

الف- مخزن دایره ای

ب- مخزن استوانه ای با کف گنبدی و گنبد مخروطی Intz

پ- مخزن با شکل مخروطی یا قیفی

مخزن دایره ای

مخزن دایره ای که یک دال تخت یا افقی در کف خود دارد، با ظرفیت ذخیره ای کمتر از ۲۰۰۰۰۰ لیتر و قطر ۵ تا ۸ متر، اقتصادی است. عمق مخزن معمولاً بین ۳ تا ۴ متر است. دیوارهای جانبی برای مقاومت در برابر تنش حلقوی محیطی و لنگر خمشی طراحی می شوند، زیرا دیوارها به دال کف در محل اتصال ثابت شده اند.

محاسبه می شوند، (IS:3370) نیروهای طرح با استفاده از ضرایب توصیه شده در آیین نامه هندوستان بیان می شوند که در آن (H^2/Dt) این ضرایب به صورت تابعی از پارامتر بی بعد

= ارتفاع مخزن آب H

= قطر مخزن D

= ضخامت دیواره مخزن T

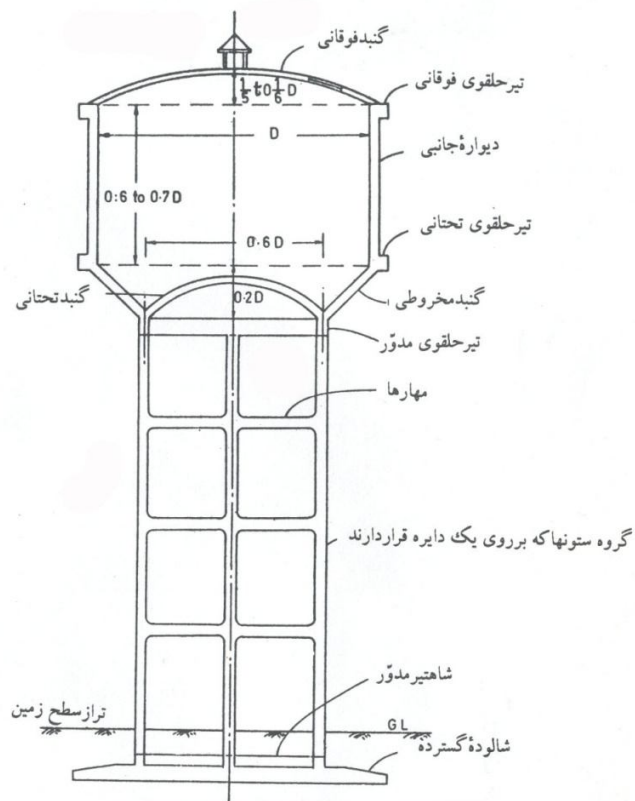
دال مدور کف مخزن برای مقاومت در برابر لنگرهای شعاعی و محیطی، طراحی می شود.

مخزن Intz

در صورت استفاده از مخازن مرتفع مستدیر با قطر زیاد، نیاز به دالهای کف ضخیمتری پیدا می شود که دارای گنبد Intz منجر به طرحهایی غیر اقتصادی می گردد. در این گونه موارد، استفاده از مخازن مخروطی و گنبد کروی تحتانی اند، راه حلی اقتصادی می باشد. مشخصات گنبد مخروطی فوقانی و گنبد کروی تحتانی را چنان انتخاب می کنیم که رانش خارجی ناشی از گنبد تحتانی با رانش داخلی ناشی از بخش گنبد مخروطی کف مخزن در تعادل قرار گیرند.

الف- اجزای سازه ای مخزن نوع intz

عبارتند از intz: با توجه به شکل اجزاء سازه ای مختلف مخزن نوع



- ۱- گنبد کروی فوقانی ۲- تیر حلقوی فوقانی ۳- دیوارهای مدور جانبی ۴- تیر حلقوی تحتانی ۵- گنبد مخروطی ۶- گنبد کروی تحتانی ۷- شاه تیر مدور تحتانی ۸- برج با ستون ها و مهارها ۹- شالوده ها
- اگر D قطر مخزن باشد، ابعاد سایر اجزاء سازه ای نسبت به D در شکل نشان داده شده است

اصول طراحی مخزن intz

۱- گنبد کروی فوقانی

با توجه به شکل داریم

t = ضخامت گنبد که معمولاً بین ۷۵ تا ۱۰۰ mm متغیر است.

h = خیز (ارتفاع) گنبد که بین ۱/۵ تا ۱/۶ قطر مخزن (D) است.

R = شعاع گنبد

$W =$ بار گسترده یکنواخت در واحد سطح گنبد

فولاد گذاری گنبد برای بیشترین نیروهای رانشی نصف النهای و محیطی، طراحی می شود. این نیروها از روابط زیر بدست می آیند.

$$\frac{wr}{1 + \cos \theta} = T1 = \text{رانش نصف النهای}$$

$$= (T2) = \text{نیروی محیطی}$$

۲- تیر حلقوی فوقانی

کشش حلقوی در تیر حلقوی = ()

شکل سطح مقطع عرضی تیر حلقوی ، با محدود کردن تنش کششی در تیر حلقوی به مقادیر خاصی که در آیین نامه هندوستان IS:456-1978 آمده است ، معین میشود، این مقادیر به نوع بتن بستگی دارند . تنش کششی از معادله زیر بدست می آید

که در آن

$F_t =$ کشش حلقوی یا مستقیم

$A_c =$ سطح مقطع عرضی بتن

$m =$ نسبت مدولی (نسبت مدول کشسانی فولاد به بتن)

$A_{st} =$ سطح مقطع فولاد

۳- دیوارهای جانبی مخزن

دیوارهای جانبی مخزن برای مقاومت در برابر کشش حلقوی ناشی از فشار آب مخزن طراحی می شوند.

حداکثر کشش حلقوی

که در آن

$w =$ چگالی آب (10 KN/m^3)

H = ارتفاع دیوارهای قائم

D = قطر مخزن

حداقل ضخامت ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی متر در قسمت فوقانی برای دیواره مخزن در نظر گرفته می شود، ضخامت قست تحتانی دیوار قائم با محدود کردن تنش کششی تعیین میشود. فاصله بین میلگردهای حلقوی به تدریج به سمت بالای مخزن افزایش می یابد. در جهت عمودی، معادل ۰/۳٪ مقطع فولاد نیز برای توزیع و دما منظور میشود.

۴- تیر حلقوی تحتانی

با توجه به شکل اگر

$V1$ = وزن سقف، دیوار جانبی و تیر حلقوی فوقانی بر واحد طول تیر حلقه ای

h = ارتفاع آب بالای تیر حلقوی

T = نیروی رانش در گنبد مخروطی

D = قطر تیر حلقوی

H = نیروی افقی ایجاد شده در اتصال

d = عمق تیر حلقه ای

آن گاه، برای تعادل نیروها داریم

و کشش حلقوی در تیر برابر است با

فولاد گذاری تیر حلقه های، برای تحمل کشش حلقوی و مقطع بر اساس محدود کردن تنش کششی در بتن طراحی می شود.

۵- گنبد مخروطی

با توجه به شکل داریم

$V2$ = کل بار بر واحد طول پایه گنبد مخروطی

T = رانش نصف النهری در دال ، ناشی از V_2

H = کشش حلقوی ناشی از فشار آب و وزن دال گنبد مخروطی

P = شدت فشار آب در عمق h زیر سطح آب

q = وزن دال مخروطی بر واحد سطح دال

= زاویه ای که دال مخروطی با افق می سازد

D = قطر در عمق h نسبت به قسمت فوقانی

نیروی رانش نصف النهری و کشش حلقوی در گنبد مخروطی، به ترتیب، از معادله های زیر بدست می آید
فولاد گذاری گنبد مخروطی برای مقاومت در برابر کشش حلقوی و رانش نصف النهری طراحی می شود.

۶- گنبد کروی تحتانی

طرح گنبد تحتانی مشابه طرح گنبد فوقانی است. بارهای طرح برای گنبد، شامل وزن خود گنبد و وزن ستون آب بالای گنبد است.

فولاد گذاری گنبد برای مقاومت در برابر رانش نصف النهری و نیروهای محیطی طراحی می شود.

۷- شاه تیر دایره ای تحتانی

با توجه به شکل داریم

T_1 = نیروی رانشی در راستای گنبد مخروطی که با زاویه (θ) نسبت به افق عمل می کند

T_2 = رانش از طرف گنبد کروی تحتانی که به زاویه (θ) نسبت به افق عمل می کند.

P = نیروی افقی خالص وارد بر تیر حلقوی.

اگر (θ) آن گاه، تیر حلقوی تحت اثر نیروی فشاری است؛ مقدار این نیروی فشاری در مخازنی که نسبت ها به خوبی رعایت شده باشند، قابل صرف نظر کردن است.

بار قائم وارد بر تیر حلقوی با استفاده از رابطه (θ) محاسبه می شود؛ همچنین این بار را می توان با تقسیم کردن کل بارهای قائم بر پیرامون تیر حلقوی تحتانی بدست آورد

تیر حلقوی بر روی تعدادی ستون قرار دارد که به فاصله مساوی روی محیط دایره مستقر شده اند. ضرائب لنگری که در جدول آمده است به تعداد ستون ها بستگی دارد. این ضرائب در محاسبه لنگرهای خمشی و پیچشی حداکثر شاه تیر دایره ای بکار می آیند.

۸- برج با ستون و مهارها

در این گونه برج ها، از یک گروه ستون که به یکدیگر مهار شده اند و در فواصل منظمی روی محیط دایره قرار گرفته اند، استفاده می شود. ستون ها و مهارها برای تحمل نیروها و لنگرهای حداکثر ناشی از بارهای مرده و باد که بر برج وارد می شوند، طراحی می شوند.

۹. شالوده

شالوده یک گروه دایره ای شکل از ستون ها، معمولاً مشتمل است بر یک تیر حلقوی همراه با یک دال تخت که به صورت پی گسترده عمل می کند. تیر حلقوی برای تحمل لنگرهای خکشی و پیچشی حداکثر و دال گسترده حلقوی برای تحمل حداکثر فشار خاک وارد بر کف طراحی می شود.

مثال

طراحی یک مخزن آب از نوع intz با ظرفیت یک میلیون لیتر مورد نظر است. این مخزن روی برجی شامل هشت ستون قرار می گیرد. پایه مخزن ۱۶ متر بالاتر از سطح زمین

است. عمق شالوده ها ۱m زیر سطح زمین است. بتن نوع M-20 و فولاد نوع Fe-415

انتخاب کنید. مخزن را بر اساس تنشهای مشخصه ئر آیین نامه هندوستان IS:3370 و IS:456 طراحی کنید.

1- داده ها

ظرفیت مخزن = یک میایون لیتر = 1000 m^3

ارتفاع برج نگهدارنده = ۱۶m

تعداد ستونها = ۸

عمق شالوده ها = ۱m زیر سطح زمین

۲- تنشهای مجاز

برای محاسبات مربوط به مقاومت در برابر ترک خوردگی با توجه به آیین هندوستان

IS:3310 برای بتن نوع M-20 و فولاد تابیده نوع Fe-415 داریم

$$150 \text{ N/mm}^2$$

تنش در بتن و فولاد را، همانگونه که در آیین هندوستان IS:456 توصیه شده است ، برابر می گیریم

3- ابعاد مخزن

D= قطر داخلی مخزن با فرض عمق متوسط $0.75D$ ، داریم

$$D=12$$

ارتفاع قسمت استوانه ای مخزن $m=8$

عمق گنبد مخروطی $m=2$

قطر برج نگهدارنده $m=8$

فاصله بین مهارها $m=4$

4- طراحی گنبد فوقانی

ضخامت دال گنبد $t = 100 \text{ mm}$

بار زنده روی گنبد $= 1/5 \text{ KN/m}^2$

وزن خود گنبد $= (0.1 * 24) = 2.4 \text{ KN/m}^2$

بار نما سازی $= 0.1 \text{ KN/m}^2$

کل بار $= W = 4.0 \text{ KN/m}^2$

اگر R = شعاع گنبد

D= قطر پایه گنبد $m=12$

r = خیز مرکزی $= 12 * 1/6 = 2 \text{ m}$ آن گاه

$$R = \left[\frac{(D/2)^2 + r^2}{2 * r} \right] = \left[\frac{6^2 + 2^2}{2 * 2} \right] = 10m$$

$$\cos \theta = \left(\frac{8}{10} \right) = 0.8 \quad \theta = 36^\circ 50'$$

نیروی رانش نصف النهاری عبارت است از

$$T_1 = \left(\frac{WR}{1 + \cos \theta} \right) = \left(\frac{4 * 10}{1 + 0.8} \right) = 22.22 \text{ KN / m}$$

نیروی محیطی برابر است با

$$WR \left[\cos \theta - \frac{1}{1 + \cos \theta} \right] = \left[4 * 10 * 0.8 - \frac{1}{1/8} \right] = 10 \text{ KN / m}$$

تنش نصف النهاری عبارت است از

$$\left(\frac{22.22 * 10^3}{1000 * 100} \right) = 0.2222 \text{ N / mm}^2$$

وتنش حلقوی برابر است با

$$\left(\frac{10 * 10^3}{1000 * 100} \right) = 0.1 \text{ N / mm}^2 \quad \langle 0.2222 \text{ N / mm}^2$$

تنش ها در حد ایمن اند. با در نظر گرفتن فولاد گذاری نامی معادل ۰.۳٪ داریم

$$A_{st} = \left(\frac{0.3 * 100 * 1000}{100} \right) = 300 \text{ mm}^2$$

از میلگردهای ۸mm با فواصل مرکز تا مرکز ۱۶۰mm هم به صورت محیطی و هم به صورت

نصف النهاری ، استفاده می شود.

۵-طراحی تیر حلقوی فوقانی

$$F_t = \left(\frac{T_1 * \cos \theta * D}{2} \right) = \left(\frac{22 / 22 * . / 8 * 12}{2} \right) = 106 / 6 \text{ KN}$$

$$A_{st} = \left(\frac{106 / 6 * 10^3}{150} \right) = 710 \text{ mm}^2$$

از ۸ میلگرد ۱۲mm استفاده می شود

اگر سطح مقطع عرضی تیر حلقوی $A_{st} = 904 \text{ mm}^2$

$$\left(\frac{106 / 6 * 10^3}{A_c + 13 * 904} \right) = 1/2 \Rightarrow A_c = 77082 \text{ mm}^2$$

تیر حلقوی فوقانی ۳۰۰mm*۳۰۰mm انتخاب می شود، از ۸ میلگرد ۱۲mm برای

فولادگذاری اصلی واز میلگردهای ۶mm با فواصل مرکز تا مرکز ۲۰۰mm به عنوان

خاموت استفاده می شود.

۶-طراحی دیوار استوانه ای مخزن

$$F_t = \left(\frac{w * h * D}{2} \right)$$

حلقوی حداکثر در پایه دیوار برابر است با

که W چگالی آب و h عمق آب است.

$$F_t = \left(\frac{10 * 8 * 12}{2} \right) = 480 \text{ KN / m}$$

$$A_{st} = \left(\frac{410 * 10^3}{150} \right) = 3200 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

از میلگردهای ۲۰mm با فواصل مرکز تا مرکز ۱۸۰mm در هروجه استفاده می شود

$$A_{st} = 3492 \text{ mm}^2$$

سطح فولاد لازم در فاصله ۲m پایینتر از قسمت فوقانی برابر است با

$$A_{st} = \frac{2}{8} \times 3200 = 800 \text{ mm}^2$$

بنابراین، از میلگردهای ۱۰mm با فواصل مرکز تا مرکز ۱۸۰mm، در هر وجه استفاده می شود.

اگر t = ضخامت دیوار جانبی در قسمت پایین، آن گاه

$$t = 358 \text{ mm} \Rightarrow \left[\frac{480 * 10^3}{1000 * t + (13 * 3492)} \right] = 1/2$$

بنابراین، ضخامت دیوار در قسمت تحتانی برابر ۴۰۰mm انتخاب می شود که به تدریج به

۲۰۰mm در قسمت فوقانی می رسد.

فولاد توزیعی

$$Ast = \left(\frac{. / 2 * 400 * 1000}{100} \right) = 800 \text{ mm}^2$$

در پایین

از میلگردهای ۱۰mm با فواصل مرکز تا مرکز ۱۰۰mm، در هر دو وجه استفاده می شود.

$$Ast = \left(\frac{. / 3 * 200 * 1000}{100} \right) = 600 \text{ mm}^2$$

در بالا میلگردهای ۱۰ mm با فواصل مرکز تا مرکز ۲۵۰mm، در هر دو وجه استفاده می شود.

جزئیات فولاد گذاری در ارتفاعهای مختلف دیوارهای استوانه ای مخزن به شرح زیر است:

فصله از بالا	فولاد حلقوی اصلی (هر وجه)	فولاد توزیعی قائم (هر وجه)
0-2m	10mm - 180mm c/c	10mm-250mm c/c
2 m - 4 m c/c	16mm - 200 mm	10mm-250mm c/c
4 m - 8 m c/c	20mm - 180 mm	10mm-180mm c/c

7- طراحی تیر حلقوی تحتانی

بارهای وارد بر تیر حلقوی:

بار ناشی از گنبد فوقانی برابر است با

$$(\text{رانس نصف النهار}) \times \sin \theta = 22/22 \times \sin 36^\circ 50' = 13/3 \text{ KN/m}$$

$$1/3 \times 1/3 \times 24 = 2/16 \text{ KN/m}$$

بار ناشی از تیر حلقوی فوقانی عبارت است از

$$\left(\frac{1/4 + 1/2}{2} \right) \times 8 \times 24 = 57/6 \text{ KN/m}$$

بار ناشی از دیوار استوانه ای برابر است با

$$(1/2 \times 1/6 \times 24) = 17/28 \text{ KN/m}$$

وزن خود تیر حلقوی (با فرض $1/2 \text{ m} \times 1/6 \text{ m}$) عبارت است از

$$V1 = 91 \text{ KN/m}$$

کل بار قائم برابر است با

$$H = V1 \times \cos \theta = (91 \times \cot 45^\circ) = 91 \text{ KN/m}$$

نیروی افقی عبارت است از

کشش حلقوی ناشی از بارهای قائم برابر است با

$$Hg = \left(\frac{H \cdot D}{2} \right) = \left(\frac{91 \times 12}{9} \right) = 546 \text{ KN}$$

کشش حلقوی ناشی از فشار آب عبارت است از

$$Hw = \left(\frac{wh \cdot d \cdot D}{2} \right) = \left(\frac{10 \times 8 \times 1/6 \times 12}{2} \right) = 288 \text{ KN}$$

$$(Hg + Hw) = (546 + 288) = 834 \text{ KN}$$

کل کشش حلقوی معادل است با

$$Ast = \left(\frac{834 \times 10^3}{150} \right) = 5560 \text{ mm}^2$$

از ۱۸ عدد میلگرد $\Phi 20$ استفاده می شود ($Ast = 5562 \text{ mm}^2$) تنش کششی حداکثر برابر است با

$$\left[\frac{834 \times 10^3}{(1200 \times 600) + (13 \times 5652)} \right] = 1/05 \text{ mm}^2 \langle 1/2 \text{ mm}^2$$

بنابراین، از یک تیر حلقوی با پهنای 1200 mm و عمق 600 mm با ۱۸ عدد میلگرد $\Phi 20$ و میلگردهای توزیعی

$\Phi 10$ ، به صورت خاموت حلقوی در اطراف میلگردهای اصلی، با فواصل مرکز تا مرکز 180 mm استفاده می

شود.

۸- طراحی گنبد مخروطی

$$\left(\frac{12 + 8}{2} \right) = 10 \text{ m}$$

قطرمیانگین گنبد مخروطی برابر است با

$$\left(8 + \frac{2}{2} \right) = 9 \text{ m}$$

عمق میانگین آب برابر است با

$$(\pi * 10 * 9 * 2 * 10) = 5655 \text{ KN}$$

وزن آب بالای گنبد مخروطی عبارت است از

با فرض اینکه ضخامت دال برابر ۰۰mm باشد، وزن دال به صورت زیر محاسبه می شود

$$(\pi * 10 * 2.83 * 0.6 * 24) = 1280 \text{ KN}$$

بار گنبد فوقانی ، تیر حلقوی فوقانی ، دیوار استوانه ای و تیر حلقوی تحتانی برابر است با

$$(\pi * 12 * 91) = 3430 \text{ KN}$$

کل بار در پایه دال مخروطی عبارت است از

$$(5655 + 1280 + 3430) = 10365 \text{ KN}$$

$$V_2 = \left(\frac{10365}{\pi * 8} \right) = 413 \text{ KN/m}$$

بار بر واحد طول برابر است با

$$T = V_2 \times \cos \theta = 413 \times \cos 45 = 584 \text{ KN}$$

نیروی رانش نصف النهای معادل است با

و تنش نصف النهای عبارت است از

$$\left(\frac{584 * 10^3}{600 * 1000} \right) = 0.973 \text{ N/mm} \quad (5 \text{ N/mm}^2)$$

(ایمن است). کشش حلقوی در گنبد مخروطی در قسمت فوقانی دال گنبد مخروطی بیشترین مقدار دارد ، بنابراین قطر D در این مقطع ، حداکثر است.

$$H = (P \cdot \cos \theta + q \cot \theta) \cdot \frac{D}{2}$$

کشش حلقوی برابر است با

$$p = (10 * 8) = 80 \text{ KN/m}^2$$

فشار آب معادل است با

وزن دال گنبد مخروطی بر واحد سطح ، به صورت زیر محاسبه می شود

$$q = (0.6 * 24) = 14.4 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$D = 12 \text{ m}$$

$$H = (80 \times \cos 45 + 14.4 \times \cot 45) \times \frac{12}{2} = 765 \text{ KN}$$

$$A_{st} = \left(\frac{765 \times 10^3}{150} \right) = 5100 \text{ mm}^2$$

از میلگرد های $\Phi 25$ با فواصل مرکز تا مرکز $mm (A_{st} = 5470 \text{ mm}^2)$ ۱۸۰ در هر دو وجه دال

استفاده می شود. سطح مقطع فولاد توزیعی لازم را چنین محاسبه می کنیم:

$$\left(\frac{0.2 \times 600 \times 1000}{100} \right) = 1200 \text{ mm}^2$$

از میلگردهای $\Phi 10$ با فواصل مرکز تا مرکز $mm 130$ در هر دو وجه، در طول نصف النهارها استفاده

می شود. حداکثر تنش کششی برابر است با

$$\left[\frac{765 \times 10^3}{(600 \times 1000) + (13 \times 5470)} \right] = 1.13 \text{ N} / \text{mm}^2 (1.2 \text{ mm}^2)$$

(ایمن است)

۹- ضخامت گنبد کروی تحتانی

ضخامت دال گنبد $mm 300$ و قطر گنبد در پایه $D = 8 \text{ m}$ فرض می شود، بنابراین خیز مرکزی

$$r = \left(\frac{1}{5} \times 8 \right) = 1.6 \text{ m}$$

برابر است با

اگر شعاع گنبد R باشد، داریم:

$$(2R - r)r = \left(\frac{D}{2} \right)^2 \Rightarrow \Rightarrow (2R - 1.6) \times 1.6 = 4^2 \quad R = 5.8 \text{ m}$$

وزن دال گنبد عبارت است از

$$(2 \times \pi \times 5.8 \times 1.6 \times 0.3 \times 24) = 420 \text{ KN}$$

و حجم آب با لای آن برابر است با

$$\pi \times 4^2 (8 + 2) - \left[\frac{2\pi \times 5.8^2 \times 1.6}{3} - \frac{\pi \times 4^2}{3} (5.8 - 1.6) \right] = 460 \text{ m}^3$$

وزن آب برابر است با $460 \times 10 \times 10 = 4600 \text{ KN}$ کل بار وارد بر گنبد عبارت است از

$4600 + 420 = 5020 \text{ KN}$ بار بر واحد سطح معادل است با

$$w = \left(\frac{5020}{\pi \times 4^2} \right) = 100 \text{ KN / m}^2$$

$$T1 = \left(\frac{wR}{1 + \cos \theta} \right)$$

رانش نصف النهاری عبارت است از

$$\cos \theta = \left(\frac{4.2}{5.8} \right) = 0.724 \quad \theta = 43.6^\circ \Rightarrow T1 = \left(\frac{100 \times 5.8}{1 + 0.724} \right) = 336 \text{ KN / m}$$

تنش نصف النهاری برابر است با

$$\left(\frac{336 \times 10^3}{300 \times 1000} \right) = 1.12 \text{ N / mm}^2$$

(ایمن است)

نیروی محیطی عبارت است از

$$wR \left(\cos \theta - \frac{1}{1 + \cos \theta} \right) = 100 \times 5.8 \left(0.724 - \frac{1}{0.724} \right) = 83.5 \text{ KN / m}$$

$$\left(\frac{83.5 \times 10^3}{300 \times 1000} \right) = 0.28 \text{ N / mm}^2$$

تنش حلقوی برابر است

(ایمن است)

با در نظر گرفتن فولاد گذاری نامی برابر با ۳٪، داریم

$$A_{st} = \left(\frac{0.28 * 300 * 1000}{100} \right) = 840 \text{ mm}^2$$

از میلگردهای $\Phi 12 \text{ mm}$ با فواصل مرکز تا مرکز 120 mm به صورت محیطی و در طول نصف النهارها استفاده می کنیم.

۱۰- طراحی شاه تیر تحتانی

نیروی رانشی از طرف گنبد مخروطی که با زاویه $\alpha = 45^\circ$ نسبت به افق عمل می کند

$$T1 = 413 \text{ kN} / m$$

نیروی رانشی از طرف گنبد کروی که با زاویه $\beta = 43.6^\circ$ نسبت به افق عمل می کند

$$T2 = 336 \text{ kN} / m$$

نیروی افقی خالص وارد بر تیر حلقوی

$$(T1 \times \cos \alpha - T2 \times \cos \beta) = [(413 * 0.707) - (336 * 0.724)] = 49 \text{ kN} / m$$

فشار حلقوی در تیر عبارت است از

$$\left(\frac{49 * 8}{2} \right) = 196 \text{ kN}$$

با فرض اینکه پهنای تیر حلقوی برابر 600 mm و عمق آن برابر 1200 mm باشد تنش حلقوی معادل

$$\left(\frac{196 * 10^3}{600 * 1200} \right) = 0.27 \text{ N} / \text{mm}^2$$

است با

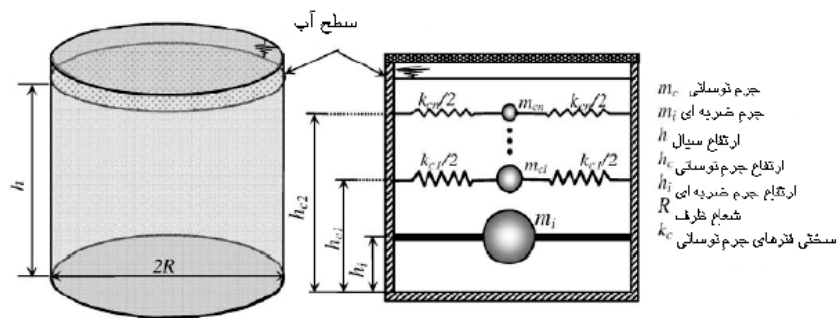
(ایمن است)

بار قائم وارد بر تیر حلقوی برابر است با

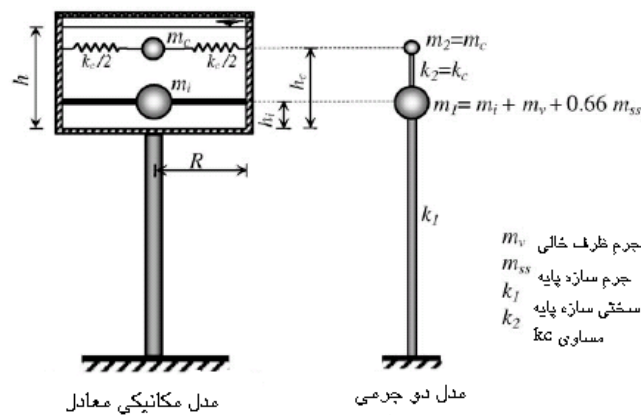
$$(T1 \times \sin \alpha + T2 \times \sin \beta) = [(413 * 0.707) + (336 * 0.690)] = 524.1 \text{ kN} / m$$

$$(0.6 * 1.2 * 24) = 17.3 \text{ kN} / m$$

وزن تیر معادل است با



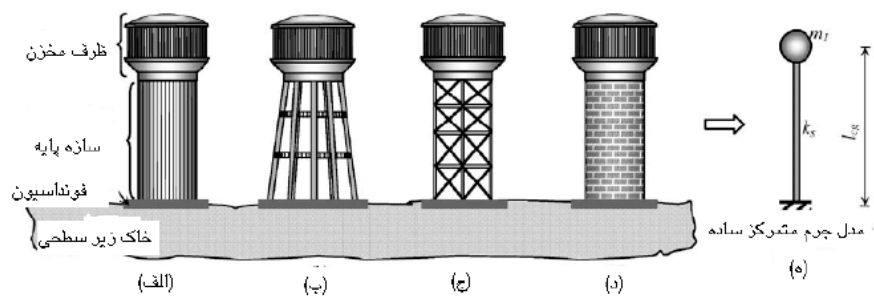
تساوی سازی فنر - جرم برای مخازن استوانه ای مهار شده در زمین



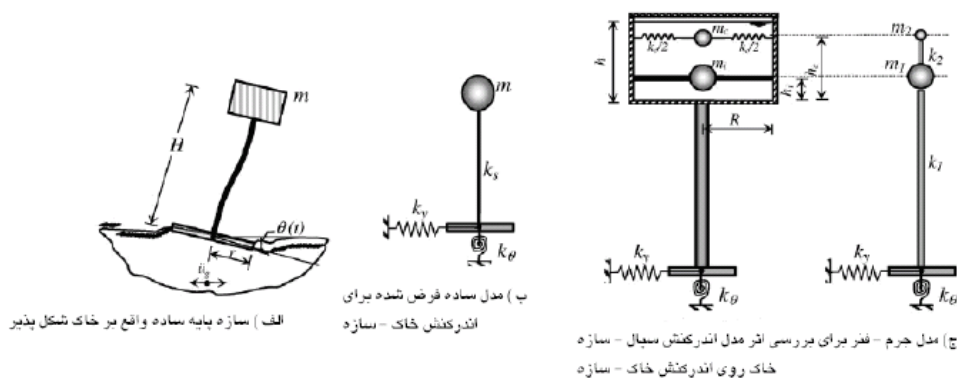
مدل دو جرمی پیشنهادی توسط هاوستر برای مخازن هوایی

مکانیزمهای خرابی مخازن

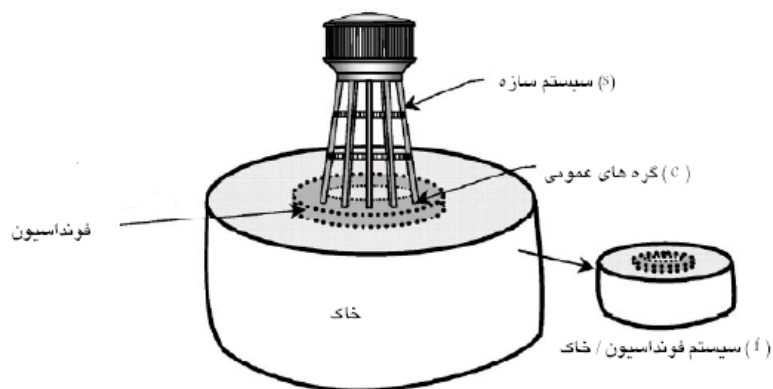
- واژگونی
- کمانش الاستیم الماسی جداره
- کمانش الاستو پلاستیک پافیلی جداره
- لغزش مخزن
- آسیب دیدگی سقف
- بلند شدگی مف
- نشست نا متقارن بستر
- نشت آب و ...



مدل جرم متمرکز ساده مخازن هوایی: (الف) مخزن با سازه پایه شفتی بتن مسلح، (ب) مخزن با سازه پایه قاب بتن مسلح، (ج) مخزن با سازه پایه قاب بتن مسلح یا قاب فولادی با مهاربندی مورب، (د) مخزن با سازه پایه از مصالح بنایی، (ه) مدل جرم متمرکز ساده

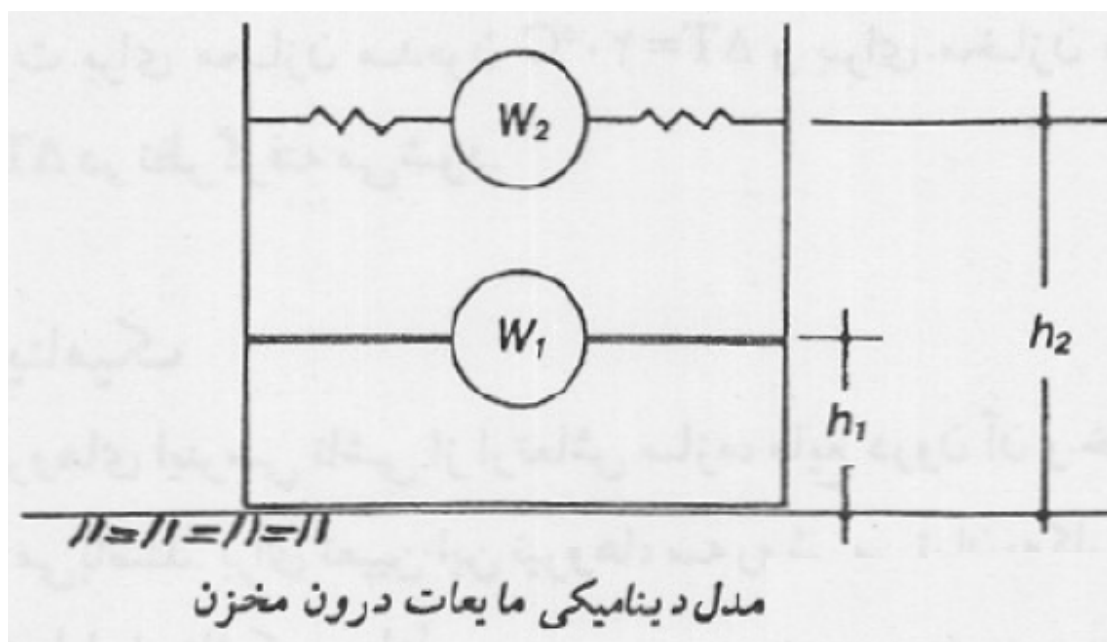


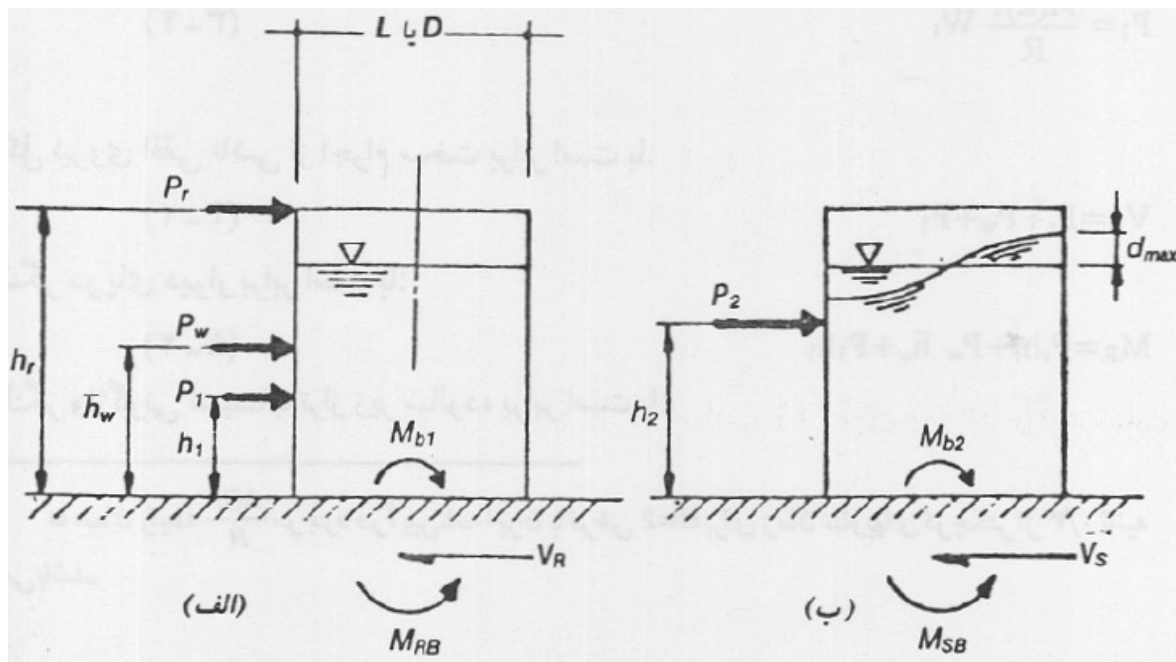
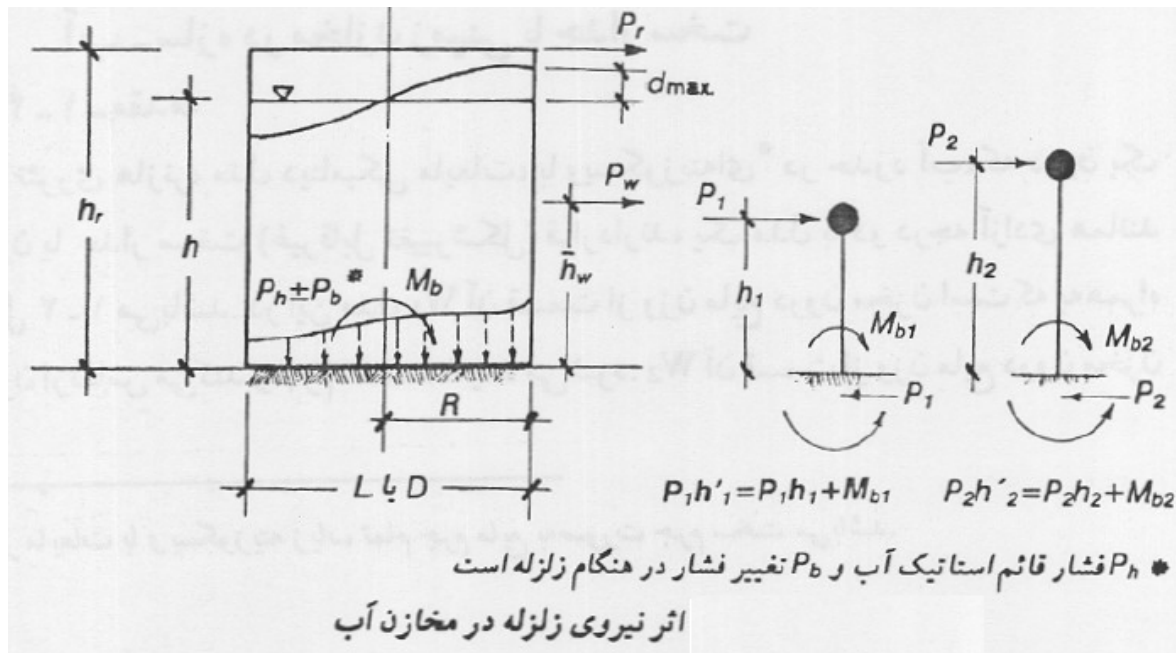
مدل مکانیکی برای اندرکنش سیال - سازه - خاک در مخازن هوایی

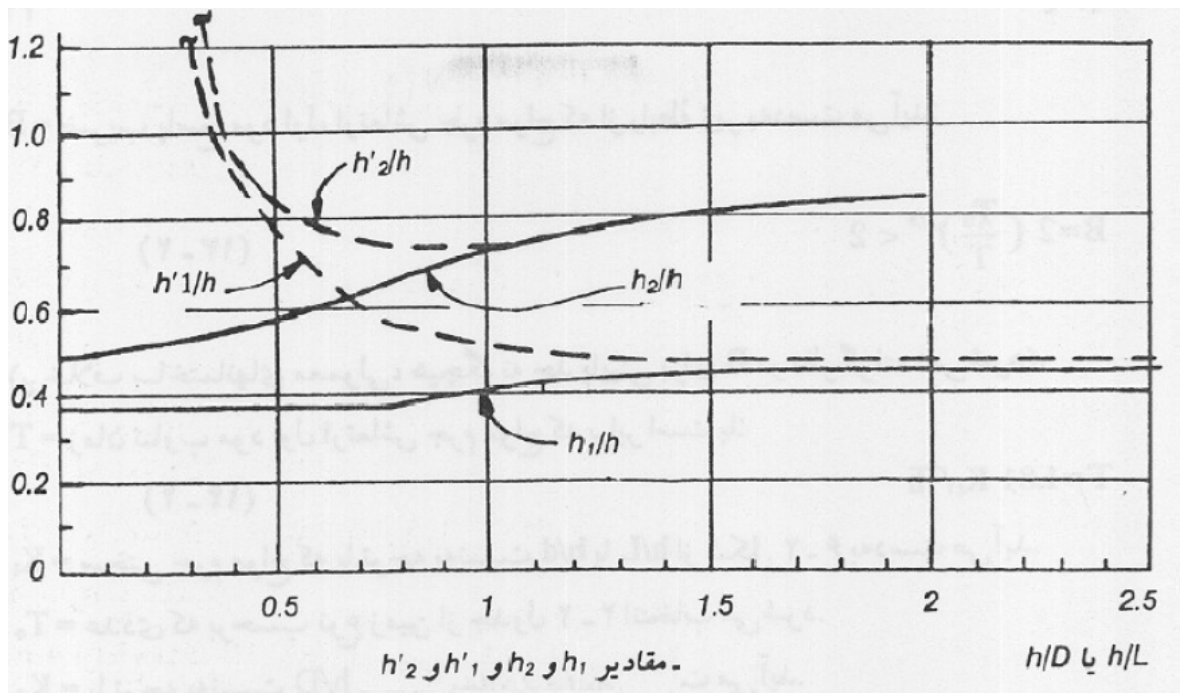
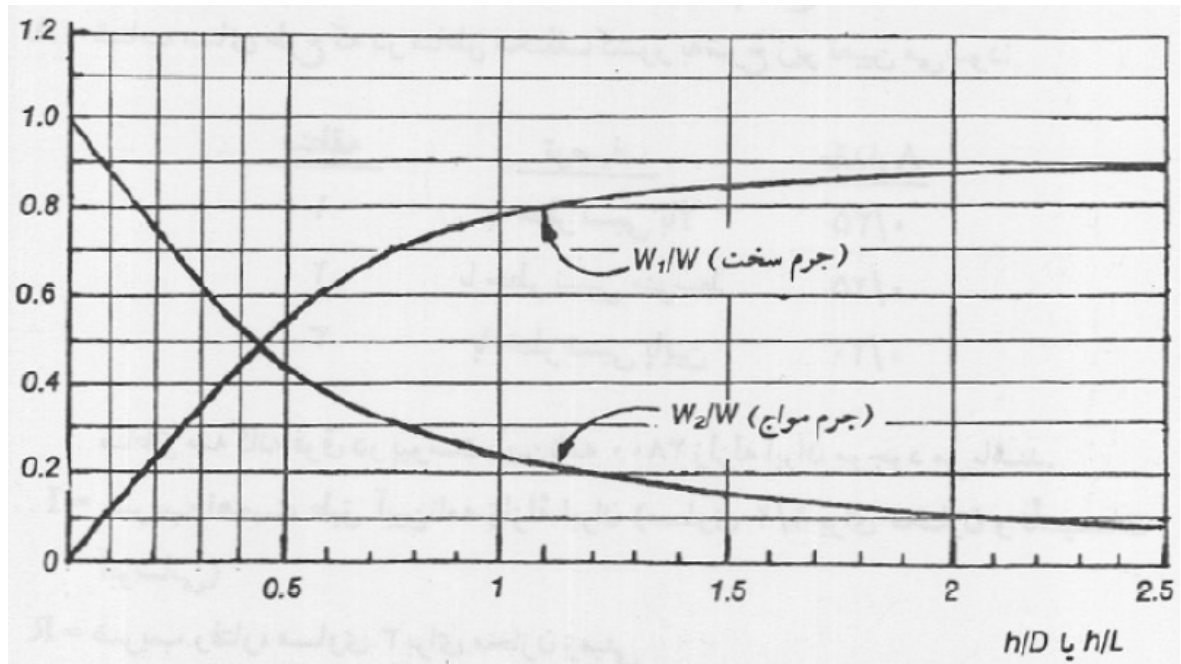


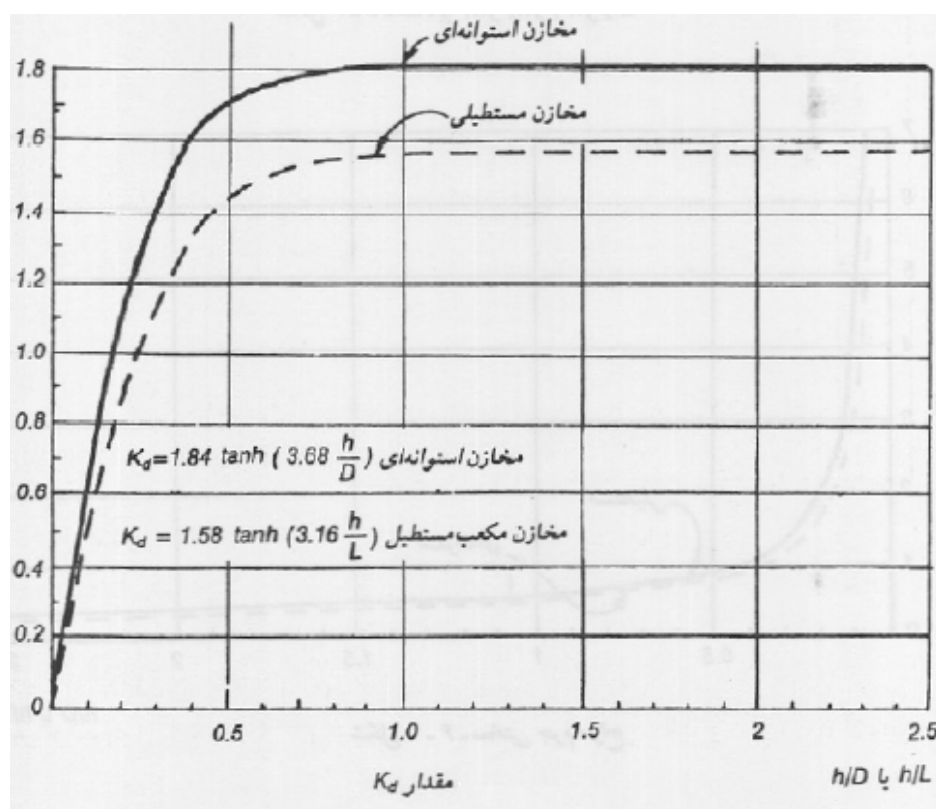
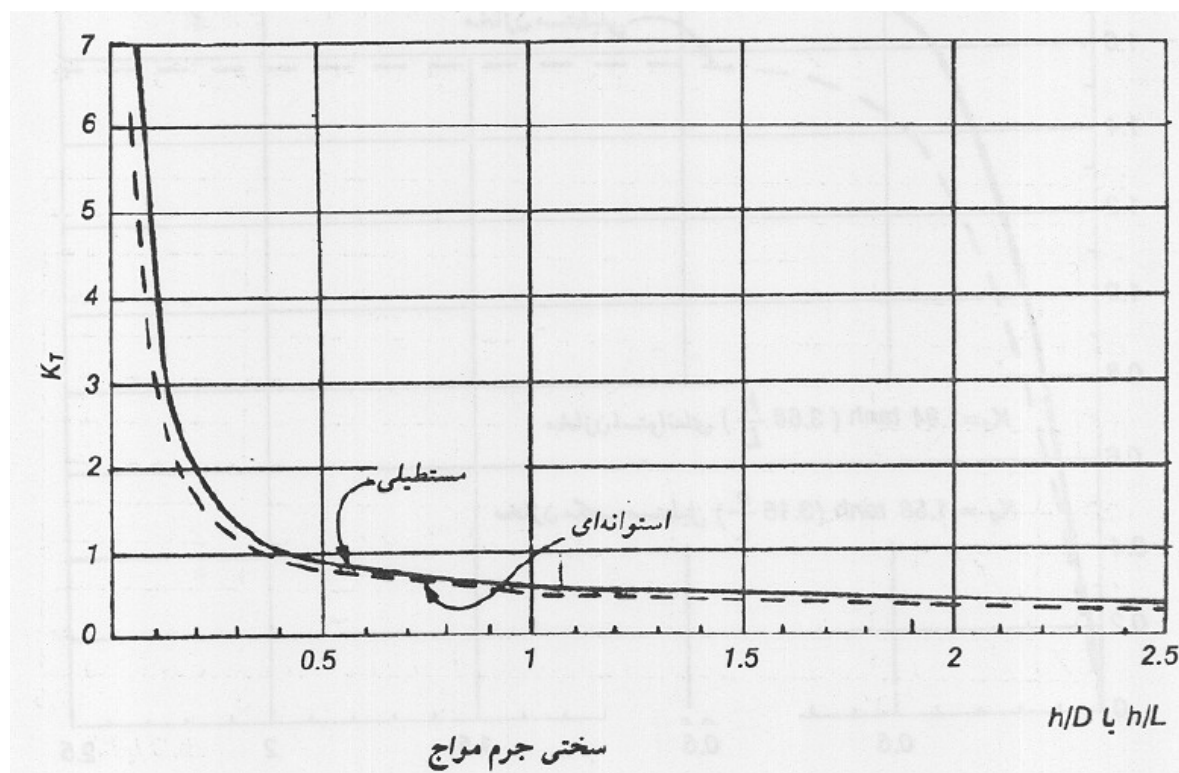
مدل اندرکنش سازه - فونداسیون / خاک برای مدل مورد بررسی

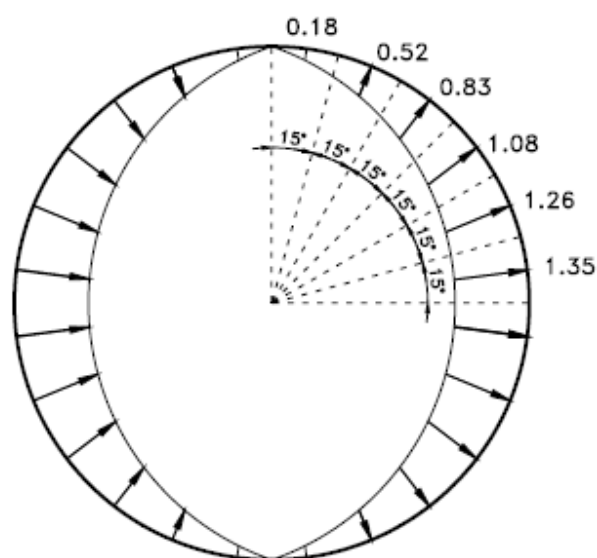
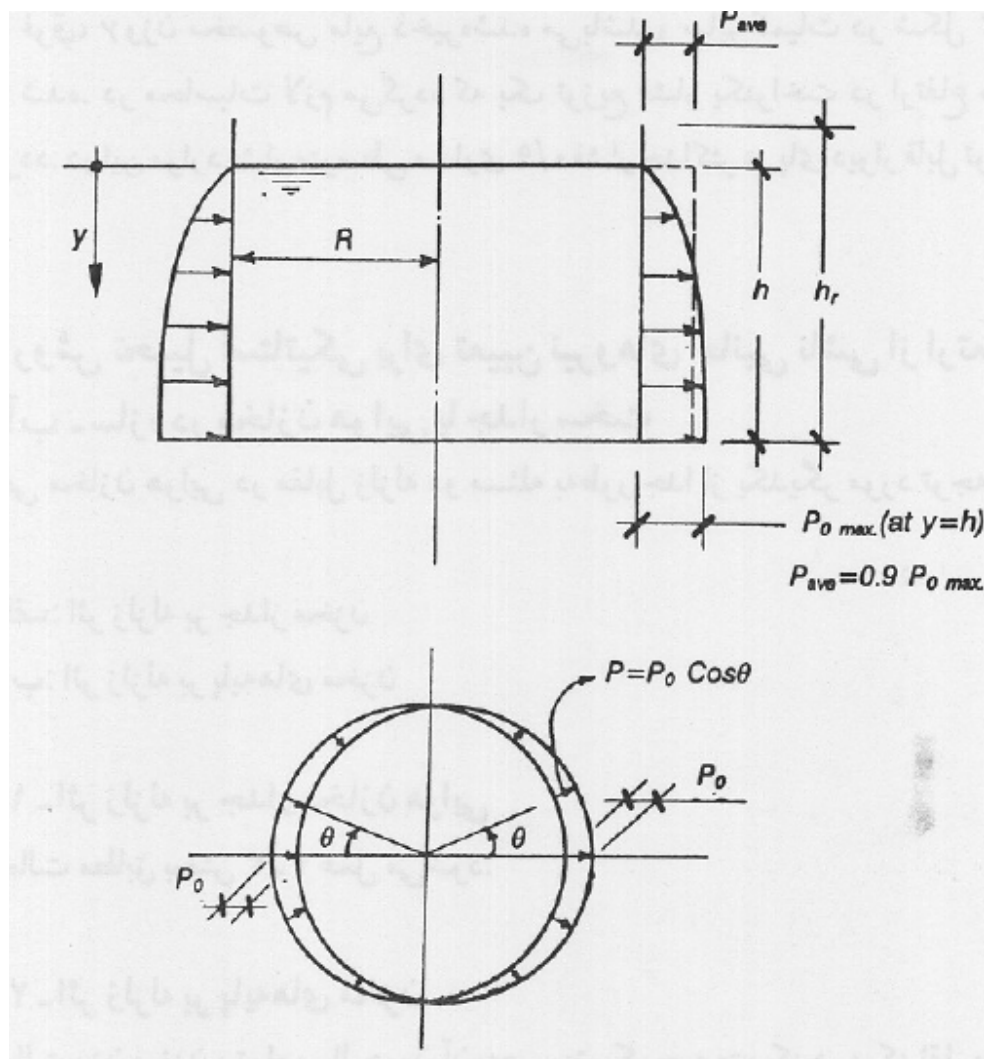
عرض پی		B (cm)	1200	1300	1400	1500	1600
ظرفیت باربری بر اساس گسیختگی		$q_{(1)}$ (Kg/cm ²)	8.10	8.24	8.37	8.49	8.61
نشست متناظر با ظرفیت باربری بر اساس گسیختگی		Si (cm)	8.17	9.06	9.97	10.89	11.84
FS=3	ظرفیت باربری مجاز پیشنهادی (۱ اینچ نشست)	q (purpose) (Kg/cm ²)	2.74	2.51	2.32	2.15	2.01
	ظرفیت باربری مجاز پیشنهادی (۲ اینچ نشست)	q (purpose) (Kg/cm ²)	5.27	4.83	4.45	4.13	3.85

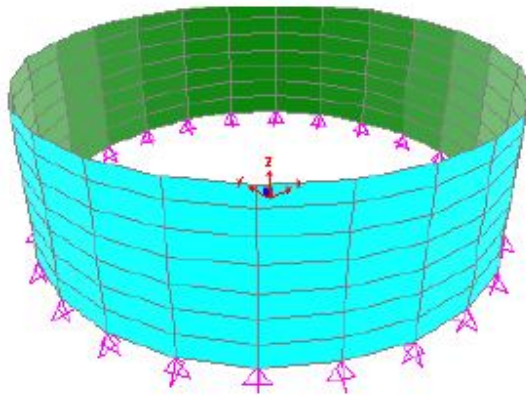




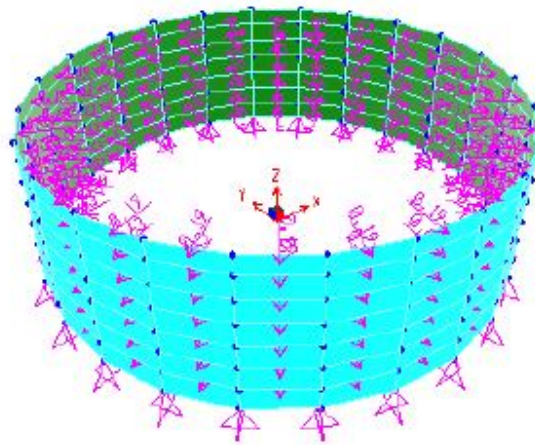




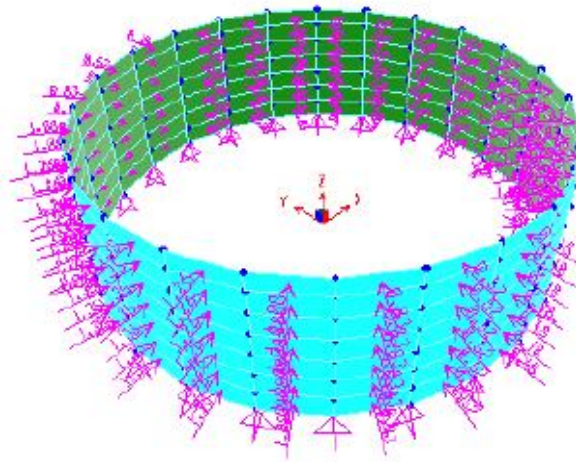




مدل سه بعدی مخزن



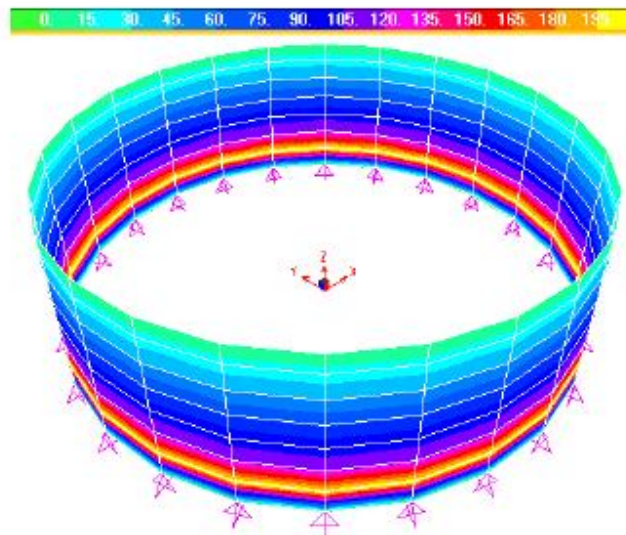
بارگذاری فشار هیدرواستاتیک آب



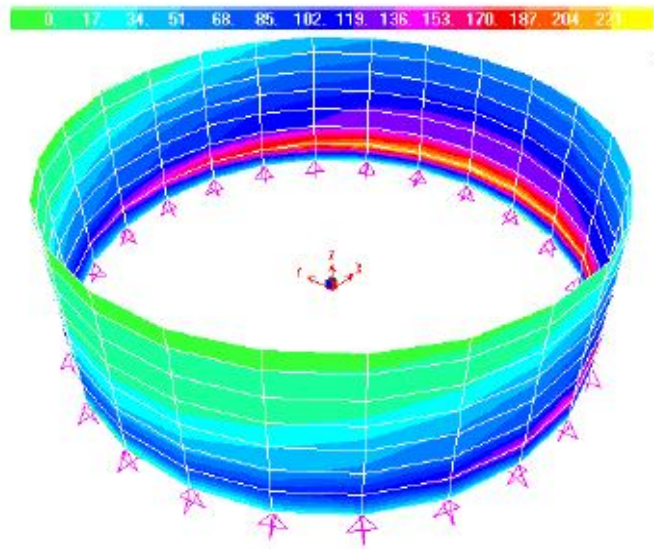
بارگذاری فشار هیدرودینامیک آب

مرده + زنده + فشار هیدرواستاتیک آب : ترکیب بار شماره (۱)

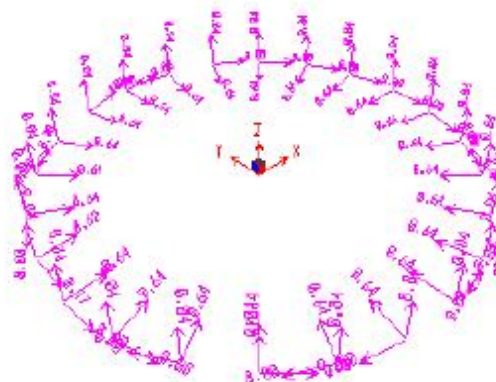
(مرده + زنده + فشار هیدرواستاتیک آب + اضافه فشار هیدرودینامیک آب) ۰/۷۵ : ترکیب بار شماره (۲)



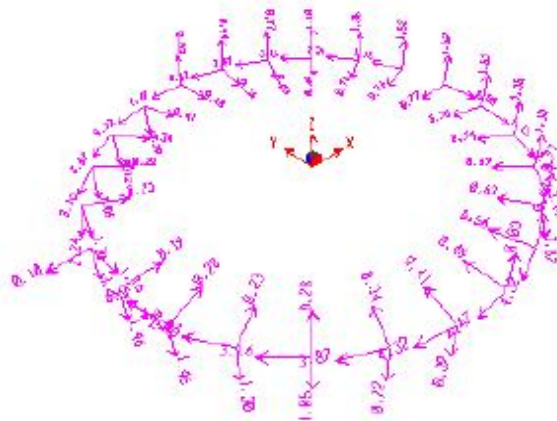
نیروی محوری در ترکیب بار (۱)



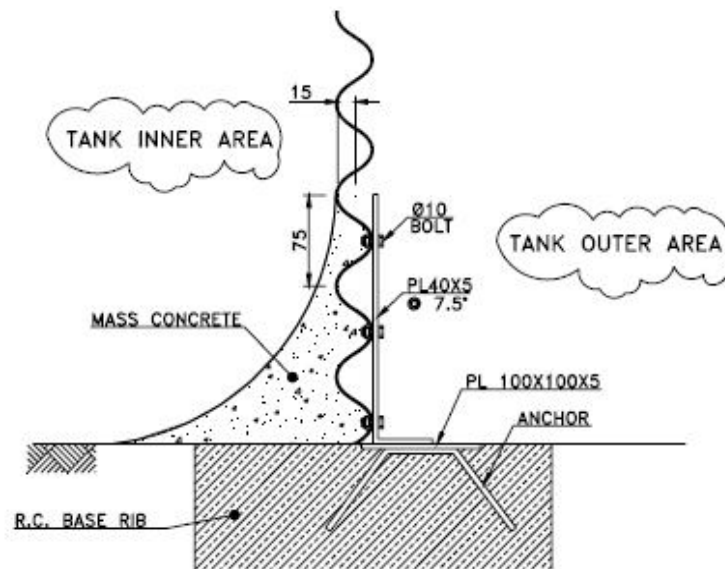
نیروی محوری در ترکیب بار (۲)



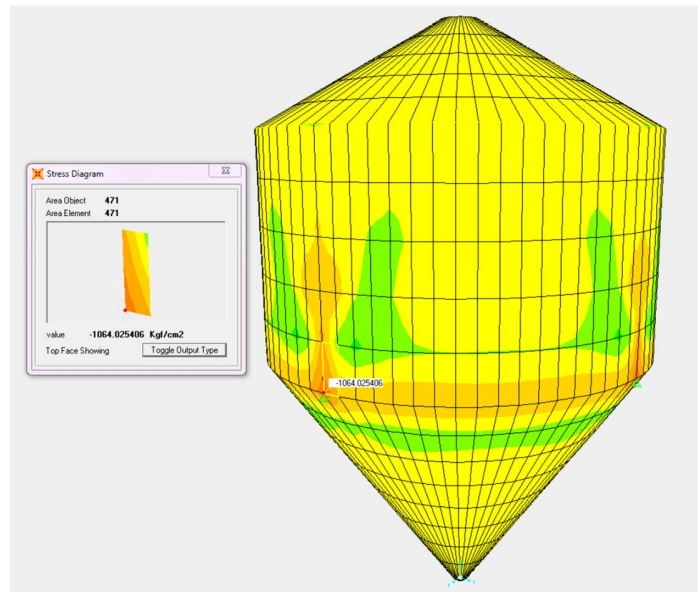
عکس العملهای تکیه گاهی در ترکیب بار (۱)



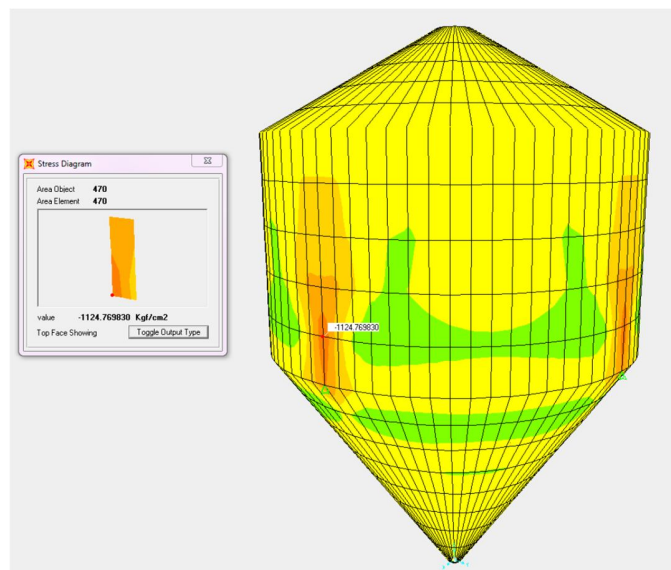
عکس العملهای تکیه گاهی در ترکیب بار (۲)



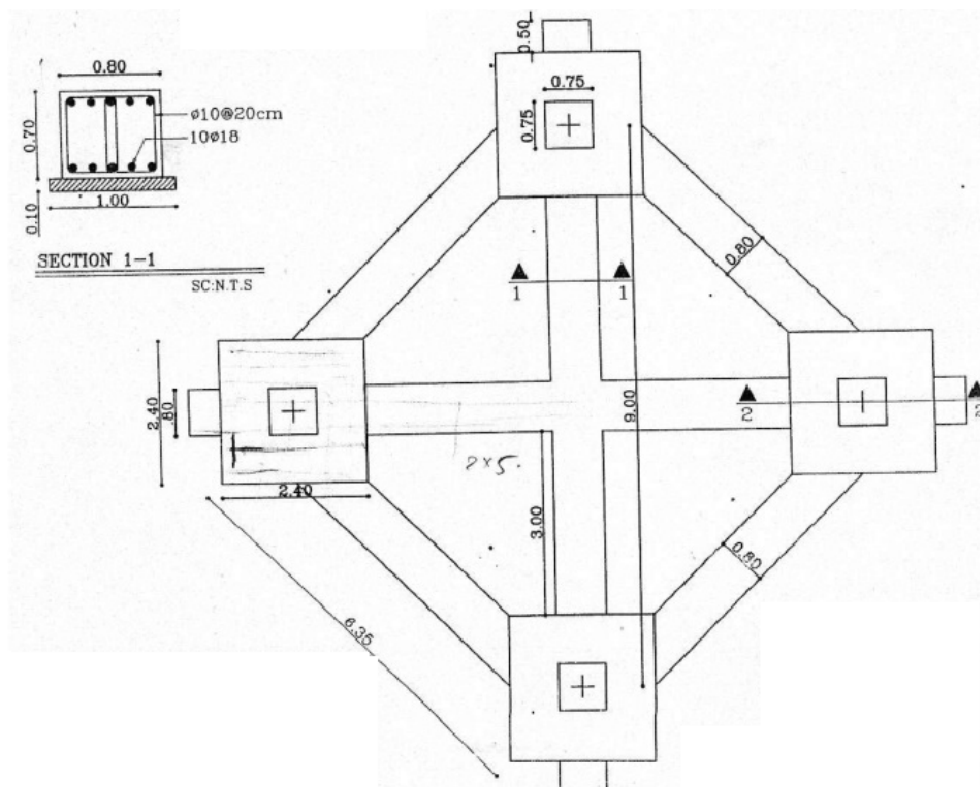
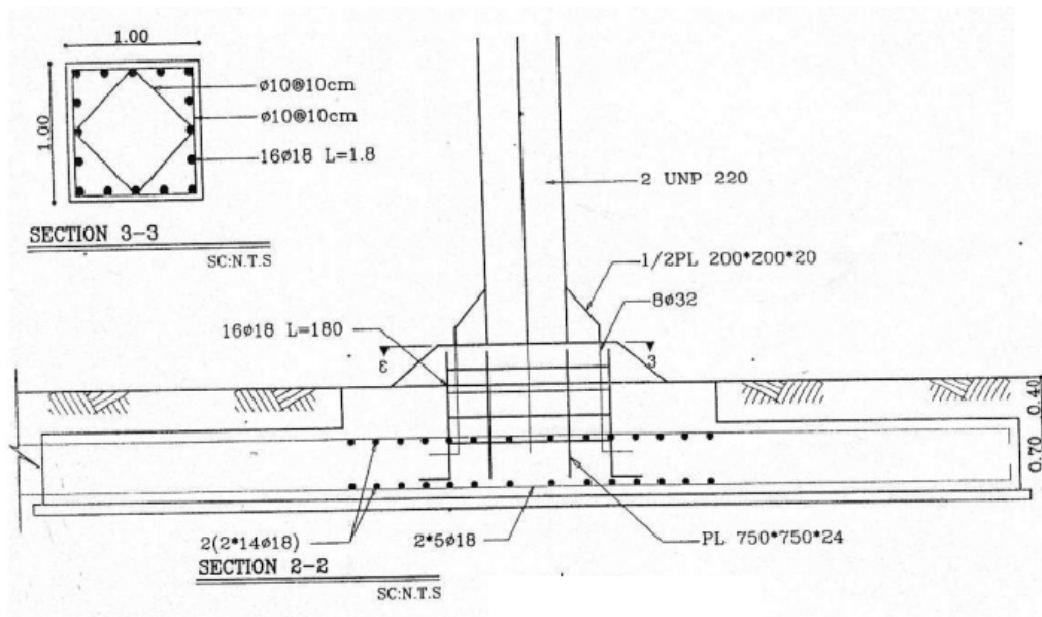
کروکی اتصال دیواره به کف

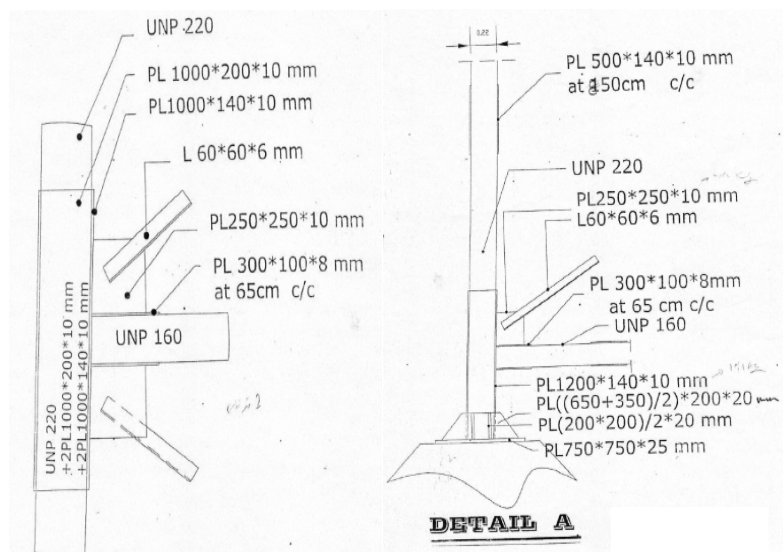
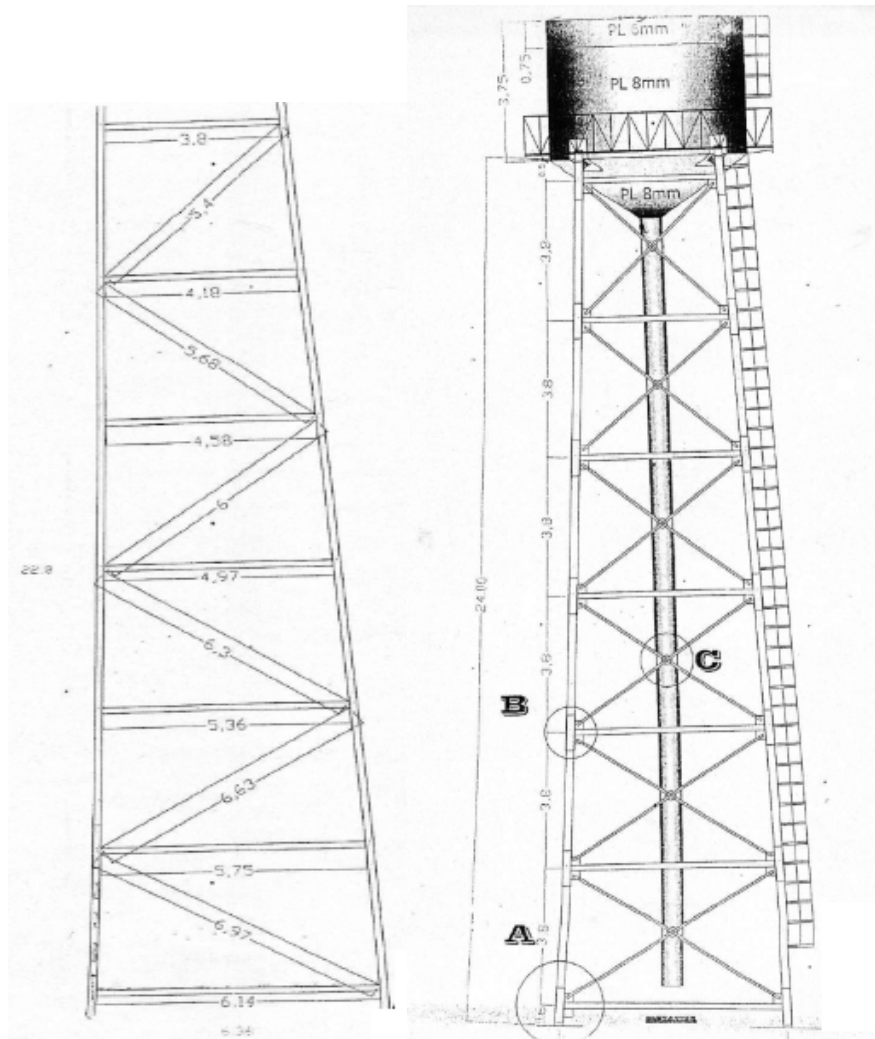


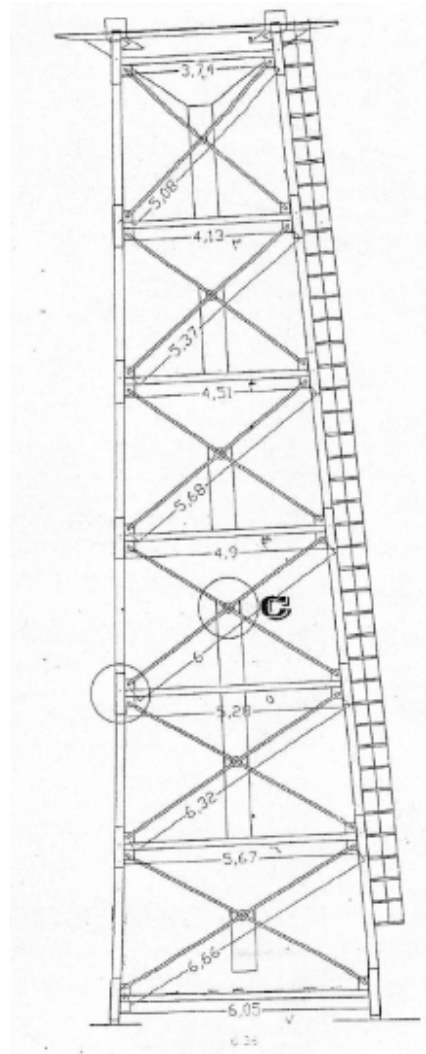
مخزن ورق راستای در تنش



مخزن ورق بر عمود راستای در تنش







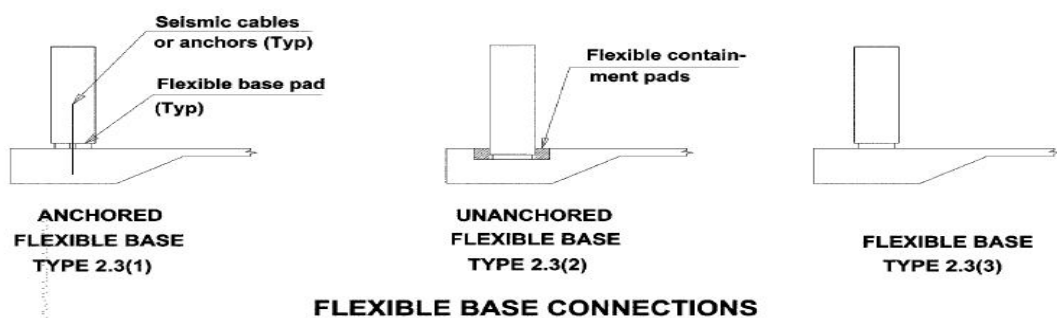
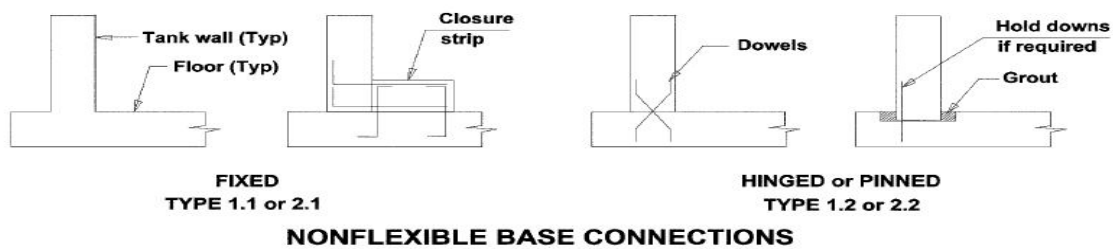
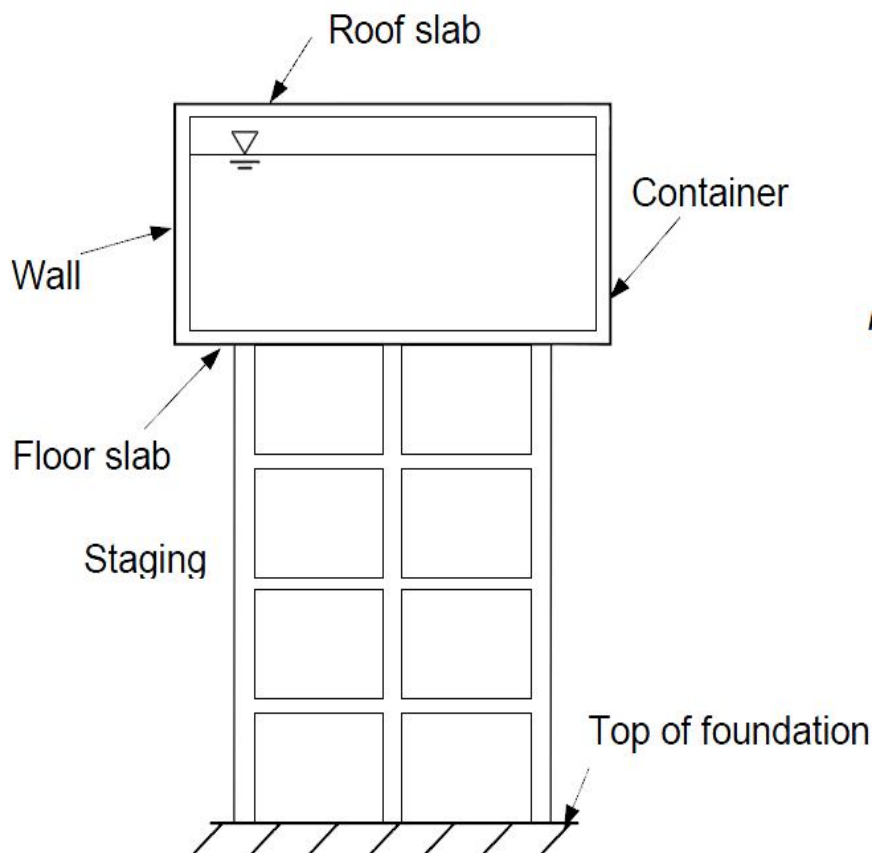


Fig. R2.1.1—Types of ground-supported, liquid-containing structures classified on the basis of their wall-to-footing connection details (base waterstops not shown).

پایه های مخازن هوایی به طور عمده دارای دو نوع سیستم سازه می باشند:

(braced frame or column staging) پایه با قاب های مهاربندی شده)

(Reinforced concrete shaft) پایه به صورت شافت مرکزی)

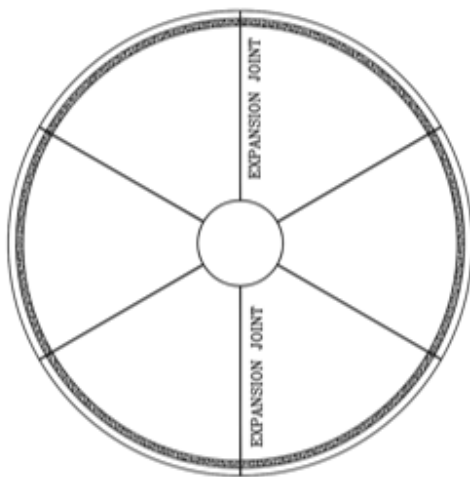


• مخزن مستطیلی بدون سقف (Open top Tank)

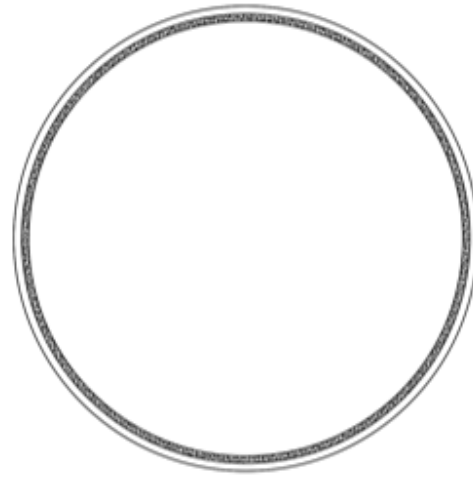
نام پانل	شرایط تکیه گاهی	رفتار سازه ای جهت انتقال بار
A	دال متکی بر سه لبه و آزاد در لبه فوقانی	لنگر خمشی و کشش در امتداد طولی
B	دال متکی بر دو لبه و آزاد در لبه کناری و فوقانی	لنگر خمشی و کشش در امتداد طولی
C	دال طره ای گیردار در پایین و آزاد در لبه فوقانی	لنگر خمشی

• مخزن مستطیلی مسقف (Roof-covered Tank)

نام پانل	شرایط تکیه گاهی	رفتار سازه ای جهت انتقال بار
A	دال متکی بر چهار لبه	لنگر خمشی و کشش در امتداد طولی و فشار در امتداد قائم
B	دال متکی بر سه لبه و آزاد در لبه کناری	لنگر خمشی و کشش در امتداد طولی و فشار در امتداد قائم
C	دال طره ای گیردار در پایین و متصل به سقف در بالا	لنگر خمشی و فشار در امتداد قائم



Non- Continuous Construction



Continuous Construction

مخزن استوانه ای بدون سقف (Open top Tank)

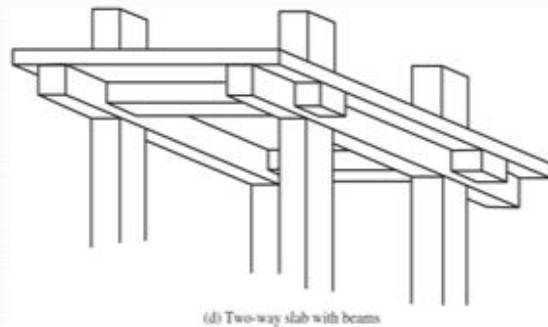
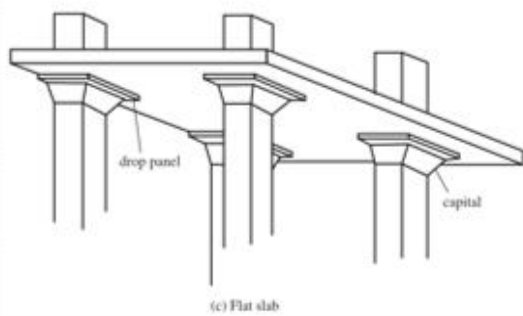
نوع سازه	شرایط تکیه گاهی	رفتار سازه ای جهت انتقال بار
یکپارچه	پوسته استوانه ای با تکیه گاه در پایین	کشش حلقوی (ring tension) و لنگر خمشی با توجه به میزان گیرداری تکیه گاه
غیر یکپارچه	دال طره ای گیردار در پایین و آزاد در لبه فوقانی	لنگر خمشی

مخزن استوانه ای مسقف (Roof-covered Tank)

نوع سازه	شرایط تکیه گاهی	رفتار سازه ای جهت انتقال بار
یکپارچه	پوسته استوانه ای با تکیه گاه در پایین و متصل به سقف در بالا	کشش حلقوی و لنگر خمشی با توجه به میزان گیرداری تکیه گاه و فشار در امتداد قایم
غیر یکپارچه	دال طره ای گیردار در پایین و متصل به سقف در بالا	لنگر خمشی و فشار در امتداد قایم

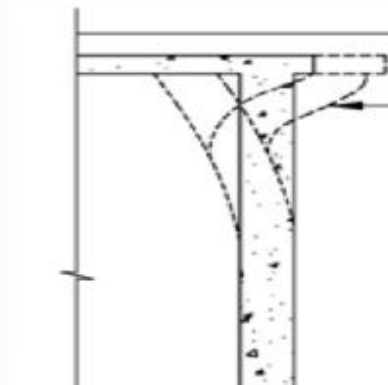
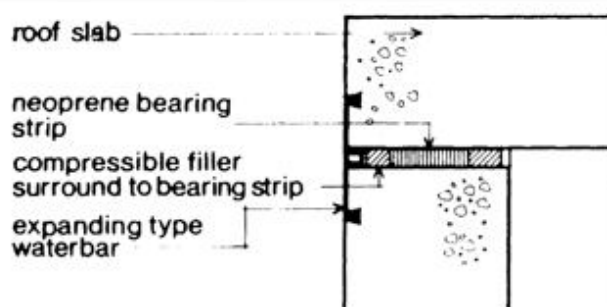
• سیستم سقف:

- دال تخت (Flat Slab)
- تیر-دال (Slab with beams)



• اتصال سقف به دیوار:

- اتصال یکپارچه
- اتصال غیر یکپارچه یا درز حرکتی (Movement Joint)



بارهای استاتیکی شامل بارهای زیر می باشند:

- بار مرده (Dead Load)
- بار زنده (Live Load)
- بار سیال درون مخزن (Contained Fluid Load)
- فشار استاتیک خاک (Static Soil Pressure)
- فشار برکنش (Uplift Pressure)
- نیروهای ناشی از تغییر درجه حرارت (Temperature Load)

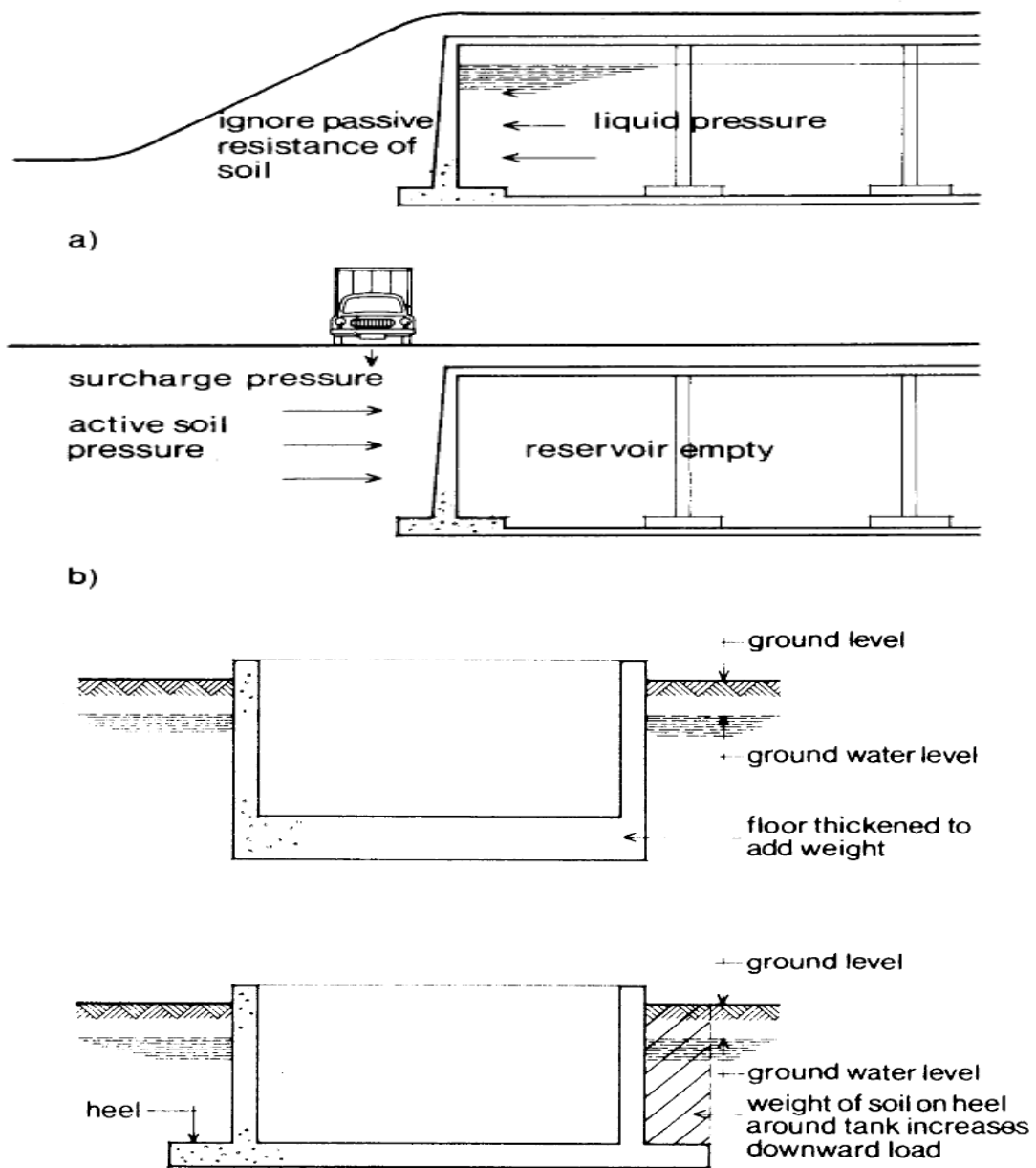
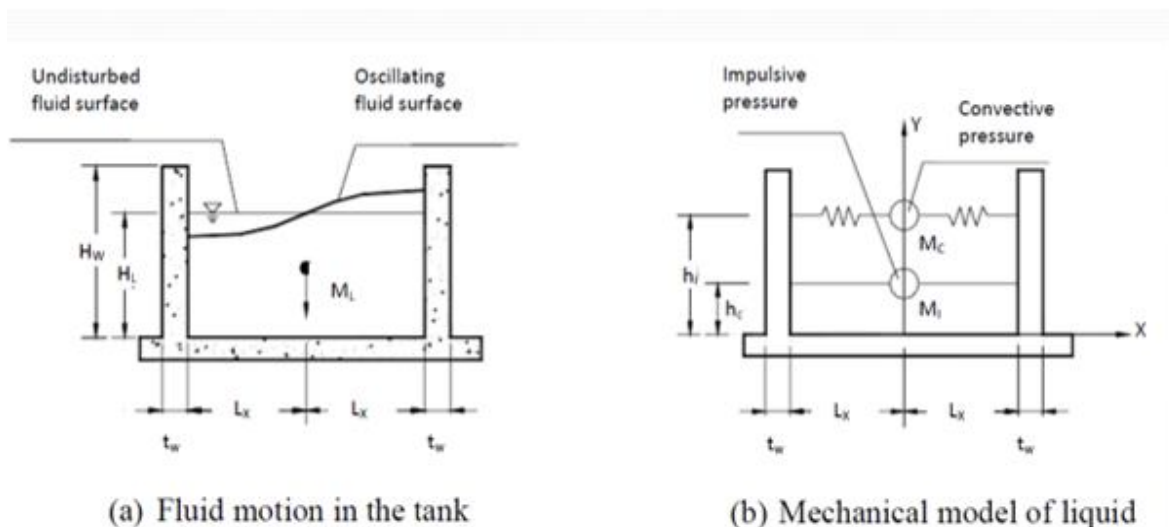
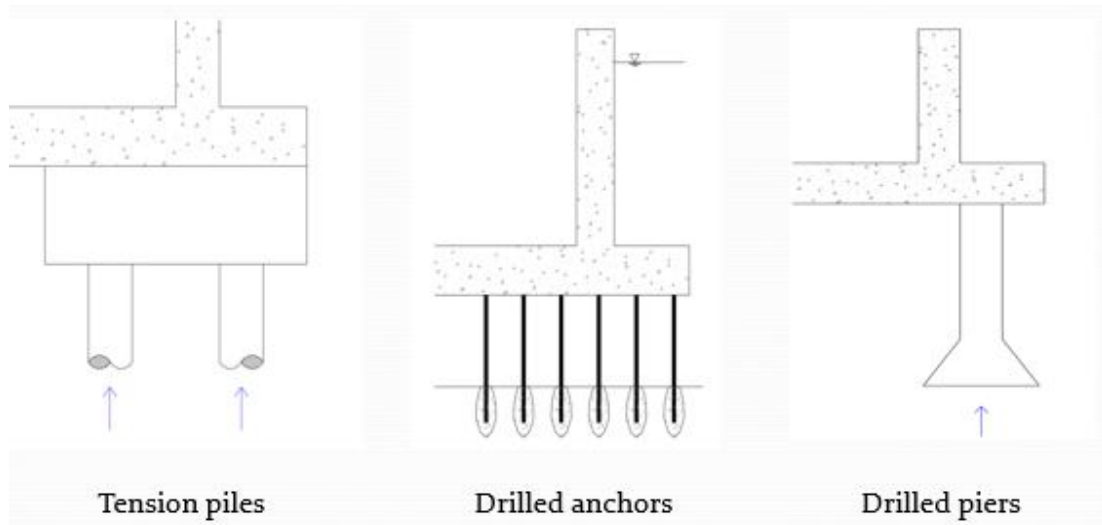


Fig. 2.13 Methods of preventing flotation
 (a) Additional dead weight
 (b) Provision of a heel



Housner's Model

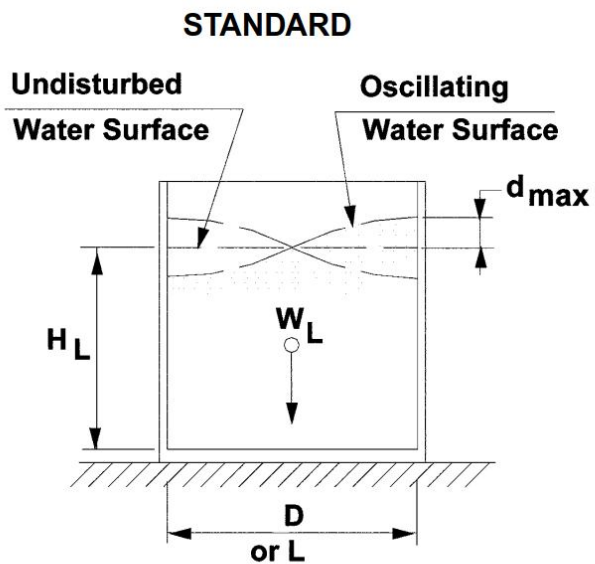
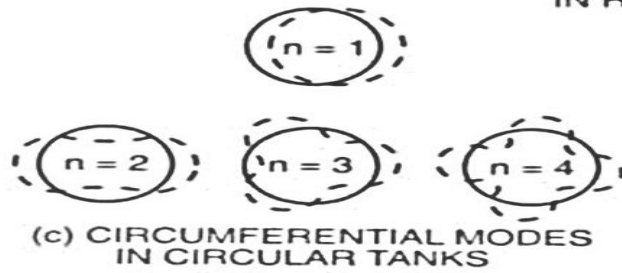
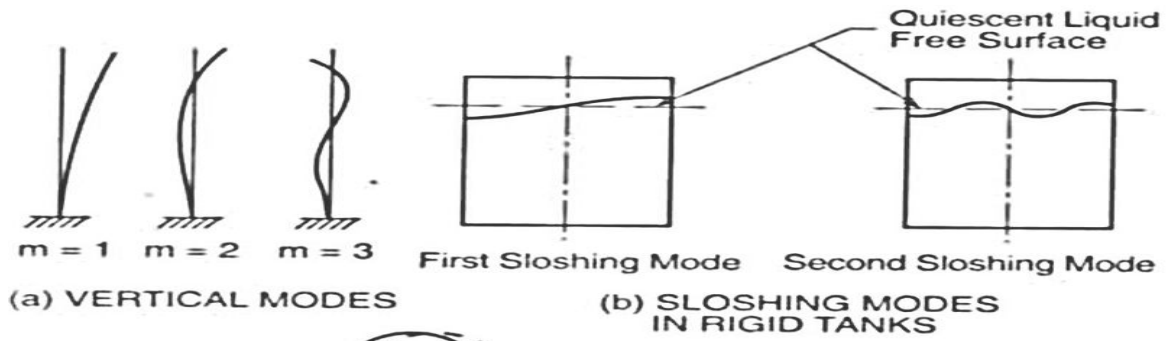
فرضیات مدل هازنر:

(incompressible) در این مدل مایع قابلیت فشرده شدن ندارد)

غیر لزج

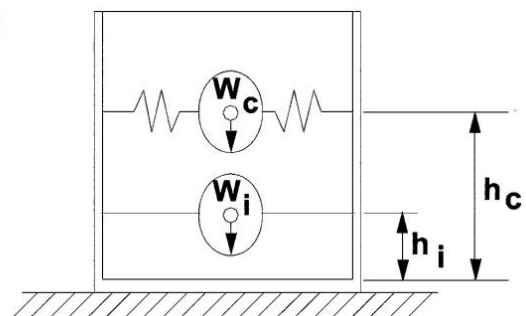
ویسکوزیته آن در حد آب می باشد.

دیوارهای مخازن نیز انعطاف پذیر نمی باشند.



(a) Fluid Motion in Tank

COMMENTARY



(b) Dynamic Model

$$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2 + P_{eg}^2}$$

$$M_i' = P_i h_i'$$

$$M_c' = P_c h_c'$$

$$M_o = \sqrt{(M_i' + M_w + M_r)^2 + M_c'^2}$$

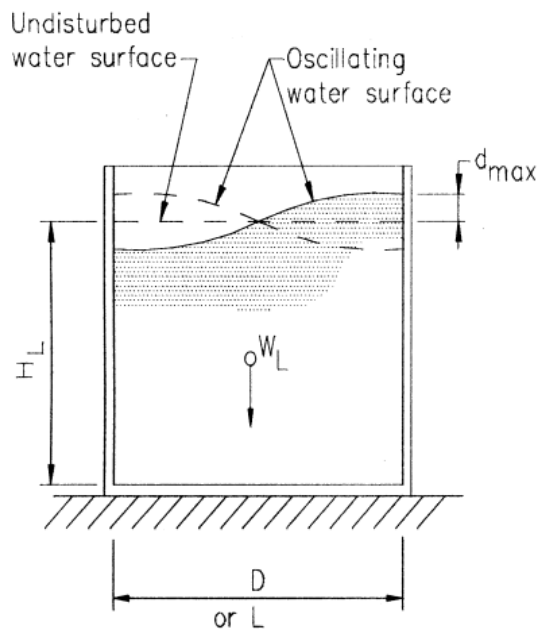
$$M_w = P_w h_w$$

$$M_r = P_r h_r$$

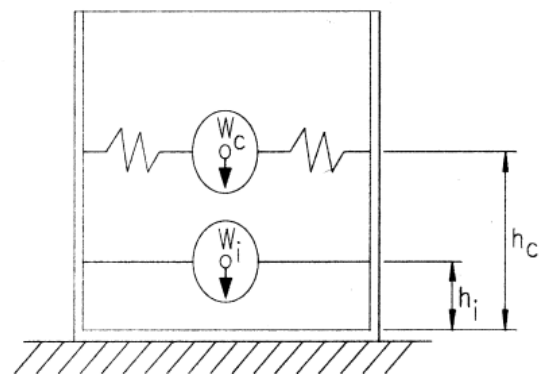
$$M_i = P_i h_i$$

$$M_c = P_c h_c$$

$$M_b = \sqrt{(M_i + M_w + M_r)^2 + M_c^2}$$



(a) Fluid Motion in Tank

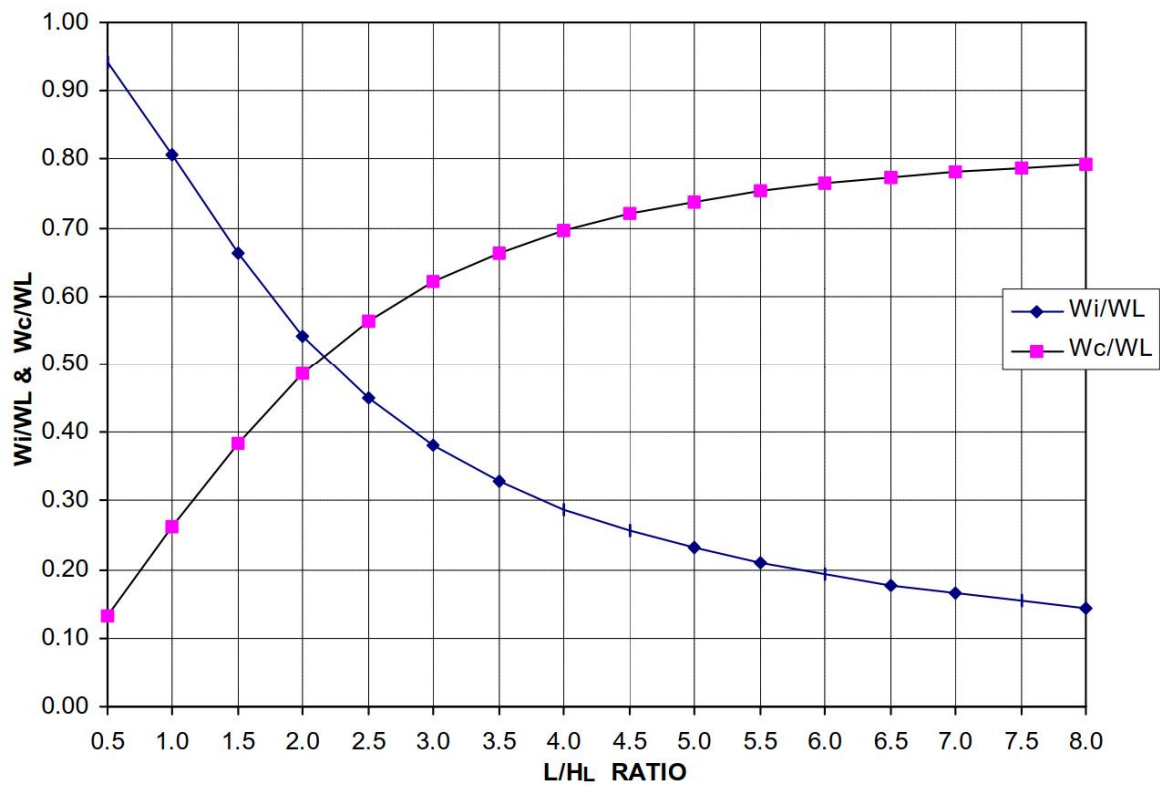


(b) Dynamic Model

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh \left[0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right) \right]}{0.866 \left(\frac{L}{H_L} \right)}$$

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.264 \left(\frac{L}{H_L} \right) \tanh \left[3.16 \left(\frac{H_L}{L} \right) \right]$$

IMPULSIVE AND CONVECTIVE MASS FACTORS vs. L/H_L RATIO



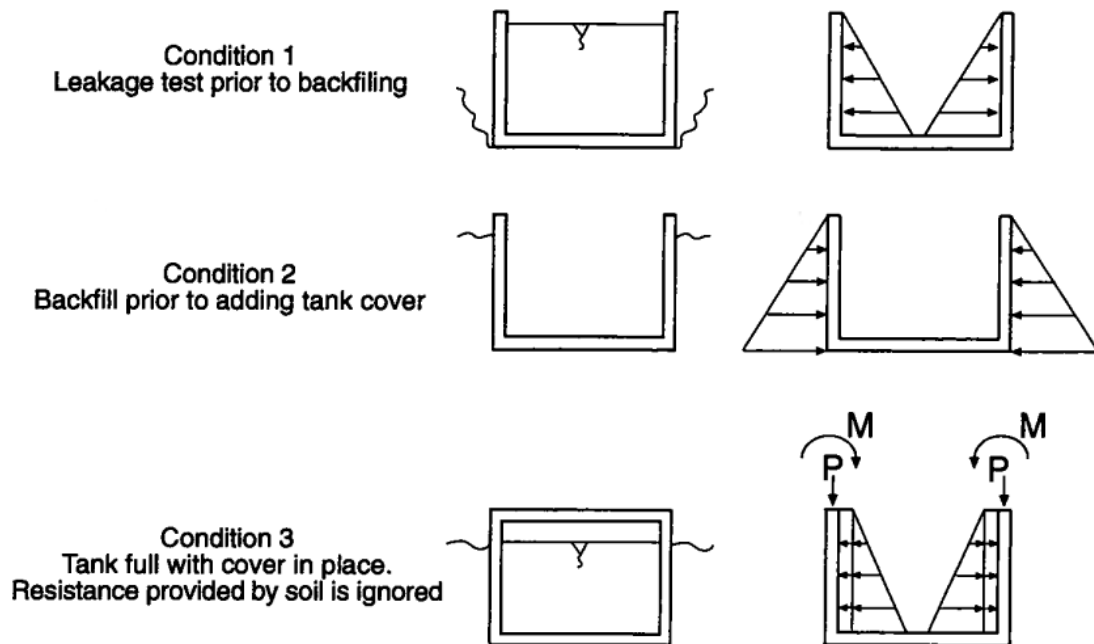


Figure 1-3 Possible Loading Conditions for a Tank

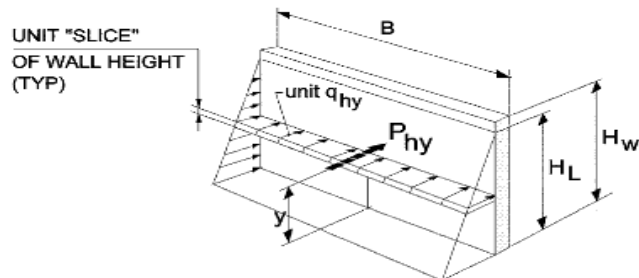
مقاومت strength

دوام Durability

عدم وجود ترک های عریض

عدم وجود تغییر شکل های زیاد

مایع قادر به نشست از سازه یا نفوذ به داخل بتن نباشد.

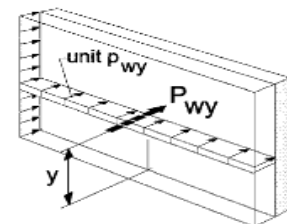


$$\text{UNIT } q_{hy} \text{ AT HEIGHT } y = \gamma_L (H_L - y) \quad (\text{R5.3.1})$$

$$P_{hy} = \text{RESULTANT FORCE AT HEIGHT } y = B \cdot q_{hy}$$

$$\text{TOTAL LATERAL FORCE (TLF), } P_h = \frac{1}{2} \gamma_L H_L^2 \cdot B$$

HYDROSTATIC PRESSURES, q_{hy}

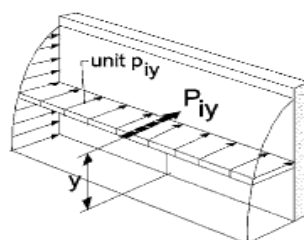


$$P_{wy} = \text{RESULTANT FORCE AT HEIGHT } y$$

$$\text{UNIT } p_{wy} = \frac{P_{wy}}{B} \quad (\text{R5.3.1})$$

$$\text{TLF } P'_w \text{ FROM Eq. (4-1a)}$$

WALL INERTIA UNIT FORCE, p_w

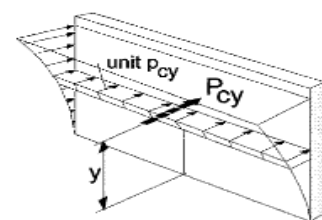


$$P_{iy} = \text{RESULTANT FORCE AT HEIGHT } y \quad (\text{R5.3.1})$$

$$\text{UNIT } p_{iy} = \frac{P_{iy}}{B} \quad (\text{R5.3.1})$$

$$\text{TLF } P_i \text{ FROM Eq. (4-3)}$$

IMPULSIVE PRESSURES, p_{iy}

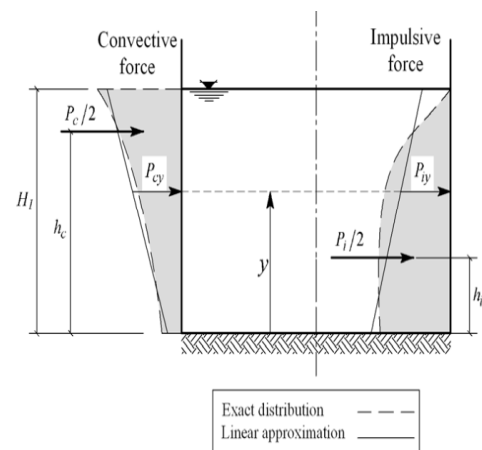
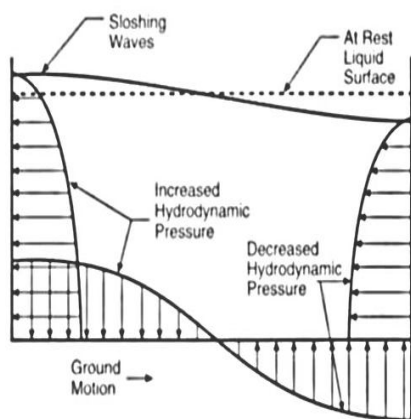


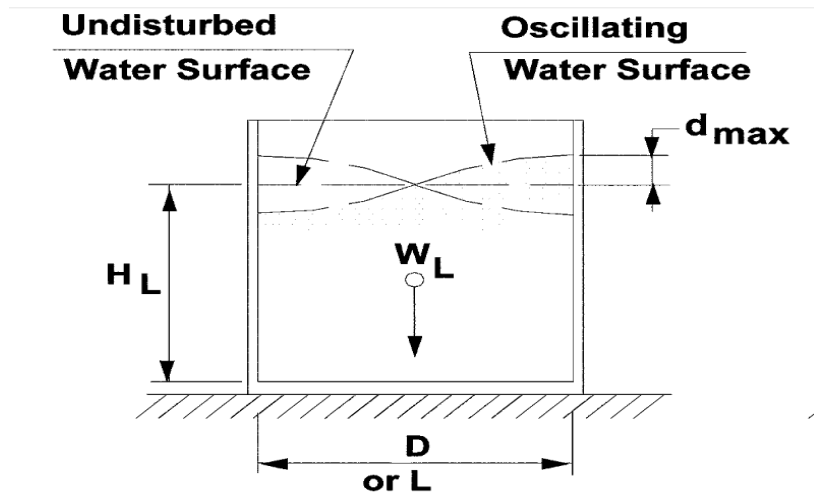
$$P_{cy} = \text{RESULTANT FORCE AT HEIGHT } y$$

$$\text{UNIT } p_{cy} = \frac{P_{cy}}{B} \quad (\text{R5.3.1})$$

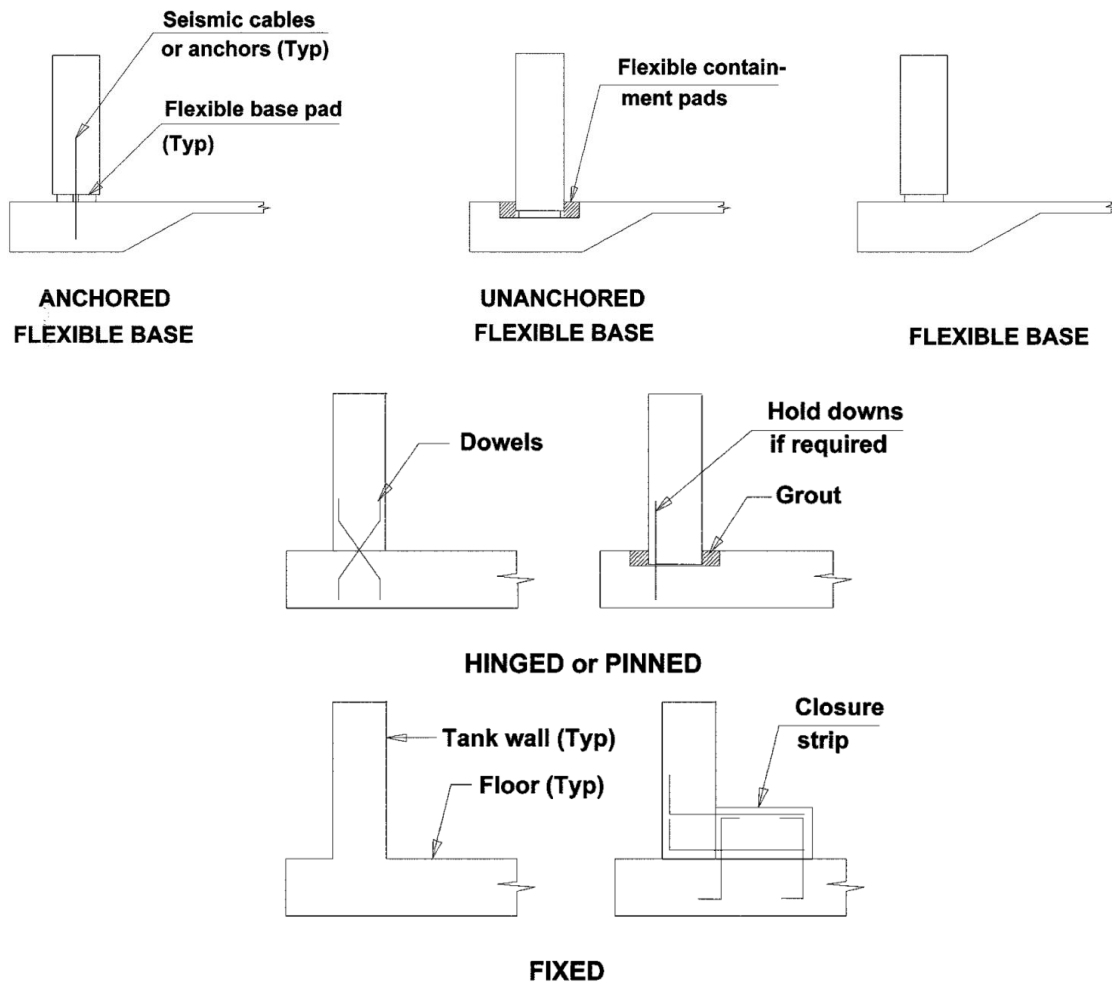
$$\text{TLF } P_c \text{ FROM Eq. (4-4)}$$

CONVECTIVE PRESSURES, p_{cy}





(a) Fluid Motion in Tank



مراجع

- ۱- کریشنا راجو، "طراحی سازه های بتن آرمه پیشرفته" ترجمه حمید رضا اسرفی، مهدی قالبیان، انتشارات دانشگاه رازی کرمانشاه، ۱۳۷۴
- ۲- سعید صادقی نیا، حسین میسمی، "بررسی تأثیر سیستم پایه بر رفتار لرزه ای مخازن هوایی آب و پدافند غیر عامل" انجمن ملی مقلوم سازی ایران، انتشارات سازمان عمران ۱۳۸۸
- ۳- حسین کربلایی فرجی، محمد هادی ورزندیان " طرح مخازن آب زمینی و هوایی و بررسی جزئیات آنها" پروژه سازه های بتن آرمه پیشرفته به راهنمایی دکتر حسن افشین، دانشگاه صنعتی سهند تبریز ۱۳۸۲
- ۴- نشریه ۱۲۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی ۱۳۷۴، ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زیر زمینی
- ۵- شهیار طاووسی تفرشی " روشهای مختلف تحلیل دودکشیهای بتنی در مقابل زلزله و مقایسه آیین نامههای آمریکا و ایران " سایت مرکز عمران ایران
- ۶- ایمان الیاسیان، "کاربرد ترکیب ژئوممبران و ژئو تکستایل در ایزولاسیون مخازن بتنی"، سایت همکلاسی
- ۷- سعید صادقی نیا، سید مهدی زهرایی "روشهای ساده تحلیل لرزه ای مخازنه هوایی با لحاظ اندرکنش سیال-سازه- خاک" همایش پدافند غیرعامل دانشگاه اسفهان، یادواره آزادسازی خرمشهر، خرداد ۸۸

سازه اجرای شده برج خنک کننده سیکل ترکیبی نیروگاه

دماوند توسط شرکت توسعه سیلوهای ایران

خلاصه

برج های خنک کننده (cooling tower) از بخشهای مهم و حیاتی واحدهای صنعتی محسوب میگردد. وظیفه این تجهیزات خنک کردن آبی است که بخاطر حرارت تولید شده از تجهیزات واحدهای صنعتی (نیروگاه ها، پالایشگاه ها، پتروشیمی ها و ...) گرم شده، فرایند خنک کردن این آب پیچیده و حساس می باشد در این مقاله به دنبال بررسی روند عملیات احداث ۳ برج خنک کننده در نیروگاه سیکل ترکیبی هستیم در پروژه مذکور مشاور مپنا (مدیریت پروژه های نفتی ایران) و شرکت توسعه سیلوهای ایران همکاری داشتند

مقدمه

چرا از برج های خنک کننده استفاده می شود؟

واحدهای پتروشیمی و پالایشگاه ها و نیروگاه ها که نیازهای اجتناب ناپذیر اجتماعات بشری امروز را پاسخگو هستند، در خلاصی از گرمای نا خواسته وجه اشتراک دارند. تاسیسات تهویه مطبوع در آپارتمان ها چند طبقه و اماکن ورزشی و تفریحی نیز با واحدهای صنعتی شیمیایی و تولید نیرو در حذف گرمای نا خواسته مسئله مشترک دارند. گرمای نا خواسته در این واحدها توسط آب حذف می گردد. بدین طریق که آب سرد از ادوات گرم درگیر در فرایند کار به جذب گرمای نا خواسته هدایت می شود. آب در این جریان گرم خواهد شد و لذا باید در رودخانه یا دریاچه تخلیه شود و یا اینکه سرد گردد و دوباره برای جذب گرمای نا خواسته مورد استفاده قرار گیرد. برای استفاده مجدد از آب حاوی گرمای نا خواسته، گرمای آن توسط مجموعه ای به نام برج خنک کننده در هوای دفع شده و آب سرد میشود. این روندی است که برای صرفه جوئی در مصرف آب و حفظ منابع آن، طراحی شده است.

مسئله مصرف آب در واحدهای صنعتی قید شده ابعاد چشمگیری دارد. چون این واحدها روزانه میلیون ها متر مکعب آب مصرف میکند که اگر در بازیافت آن همت نمی شد، عامل تخریب سریع آب بودند. دفع گرمای مزاحم در هوا باید به گونه ای اجرا شود که مسائل زیست محیطی در پی نداشته باشد. برج های خنک کننده برای دفع گرمای مزاحم در هوا، توسعه یافته اند و روند دفع گرمای نا خواسته توسط این برج ها طوری است که خسارت های اکولوژیکی به دنبال ندارد. لذا صنایع با تقبل سرمایه گذاری معقول در احداث برج قادرند قسمت عمده آب مصرفی خود را باز یابند.



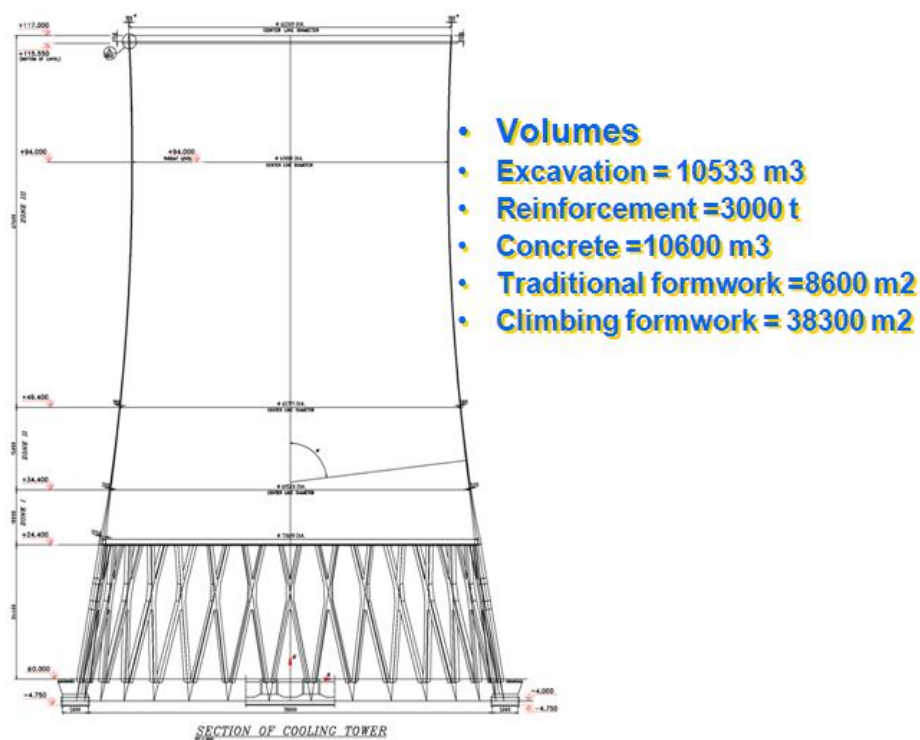
همانطور که ذکر شد ۳ برج خنک کننده در پروژه مذکور در کنار هم احداث شدند که شامل بخشهای سازه ای ۱-فونداسیون ۲-گلدانیها ۳- پایه های X شکل ۴- پوسته یا عشا ساز های بودند.



قرار گیری ۳ برج خنک کننده در کنار هم در نیروگاه سیکل ترکیبی دماوند



احداث نهایی یکی از برجها (برج دوم در حال احداث)



احجام هر برج شامل خاکبرداری ۱۰۵۳۳ متر مکعب، آرماتوربندی ۳۰۰۰ تن، بتن ریزی ۱۰۶۶۰۰ مترمکعب، قالب بندی معمول ۸۶۰۰ متر مربع و قالب بندی بالاروند و لغزنده ۳۸۳۰۰ متر مربع بود



قطر فونداسیون دایروی ۸۳ متر و عمق آن ۱٫۵ تا ۲ متر و عرض فونداسیون ۵ متر و تراز آن در منفی ۴٫۷۵ مترو قالب بندی آجری ۱۰۰۰ متر مربع، آرماتوربندی ۶۲۷ تن و حجم بتن ریزی آن ۲۳۰۰۰ مترمکعب بود.







گلدانی شامل آرماتوربندی به حجم ۶۵ تن، قالب بندی فلزی به حجم ۲۴۲۰ متر مربع و بتن ریزی دیوار به حجم ۳۵۲ متر مکعب و بتن داخلی ۸۳۲ متر مکعب و قطعات مدفون در حدود ۳۵,۵ تن می باشند.



Formwork of Vases



Concrete of Vases





پایه های X ۲۴,۴ متر ارتفاع و زاویه تورب حدود ۸۰ درجه نسبت به افق و سطح مقطع ۱,۱۵*۰,۸ متر می باشد و قالب بندی فلزی ۴۹۳۳ متر مربع، قطعات مدفون حدود ۳۰ تن و تعداد پایه ها ۳۲ عدد و وزن هرکدام در حدود ۱۳۰ تن می باشد.



جوش دادن پشت به پشت آرماتورها به هم





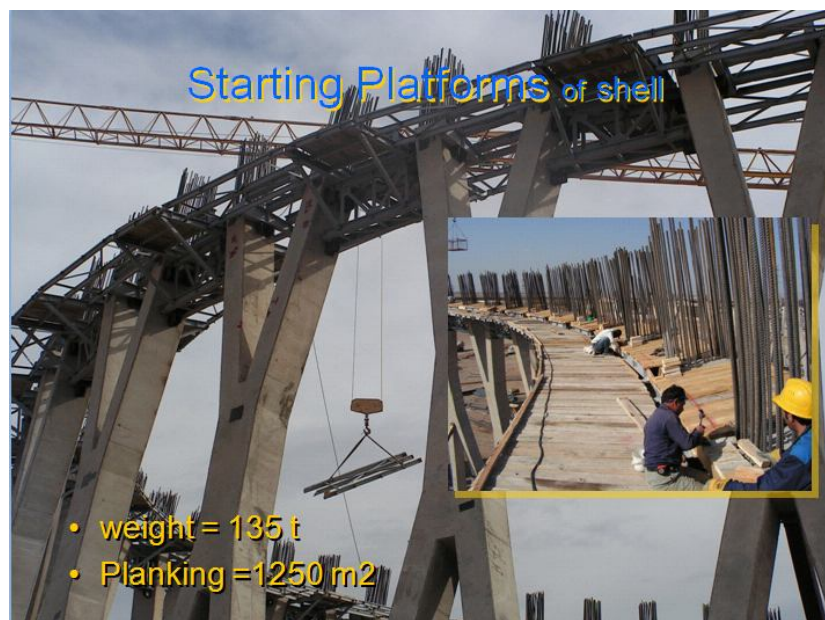


حجم آرماتور بندی پایه های X ۶۷۰ تن و بتن ریزی ۱۵۳۵ متر مکعب می باشد





ارتفاع پوشته یا غشا سازه ای ۱۱۷ مترو از ارتفاع ۲۴,۴ متری زمین (انتهای پایه های X شکل) شروع شده ، قطر خارجی ۷۲,۶ متر و داخلی ۶۱ متر و قطر در بالا کم شده و به ۶۲,۳ متر رسیده و ماکزیمم ضخامت پوشته ۲۵ سانتیمتر و حداقل آن ۱۸ سانتیمتر می باشد.



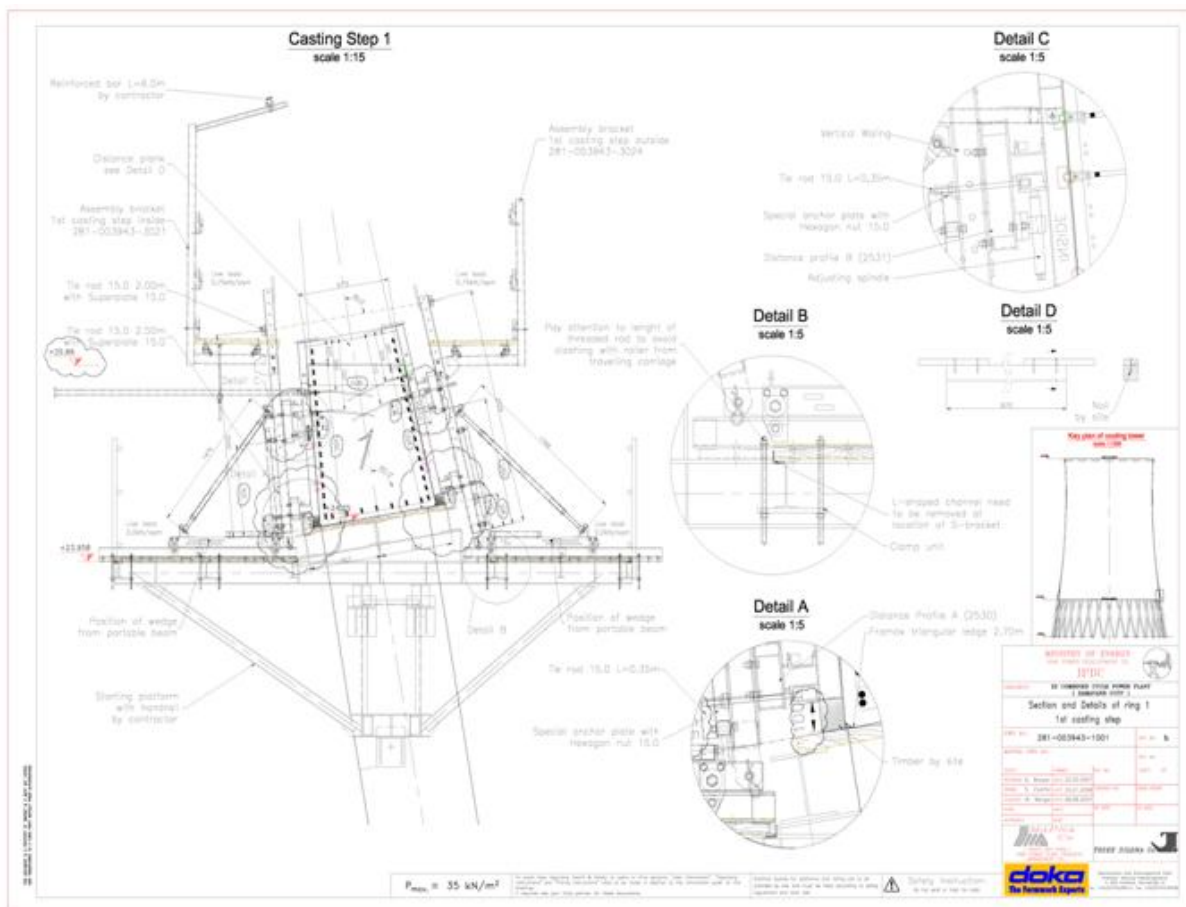
وزن سکو احداث پوشته ۱۳۵ تن و سطح آن ۱۲۵۰ متر مربع می باشد



حجم آرماتوربندی پوسته در حدود ۱۷۰۰ تن می باشد.



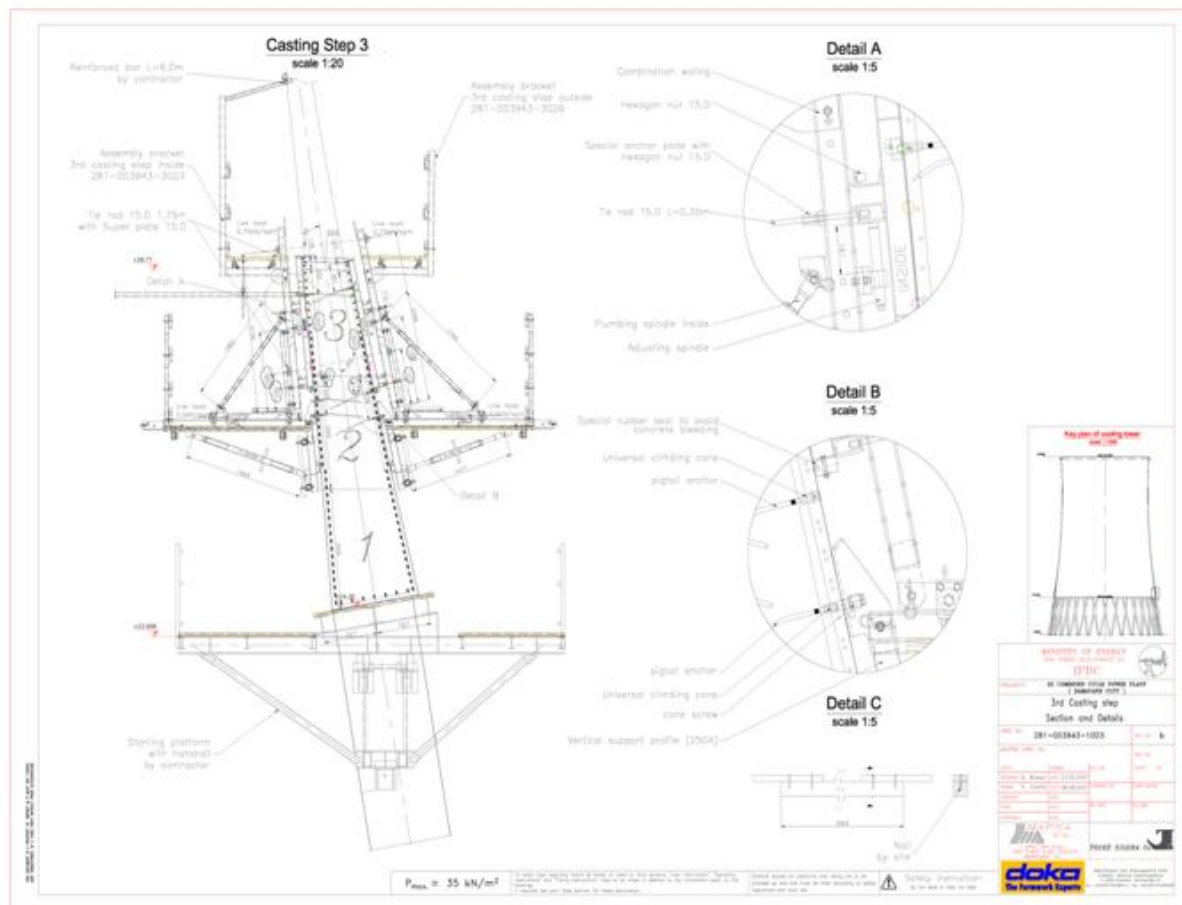






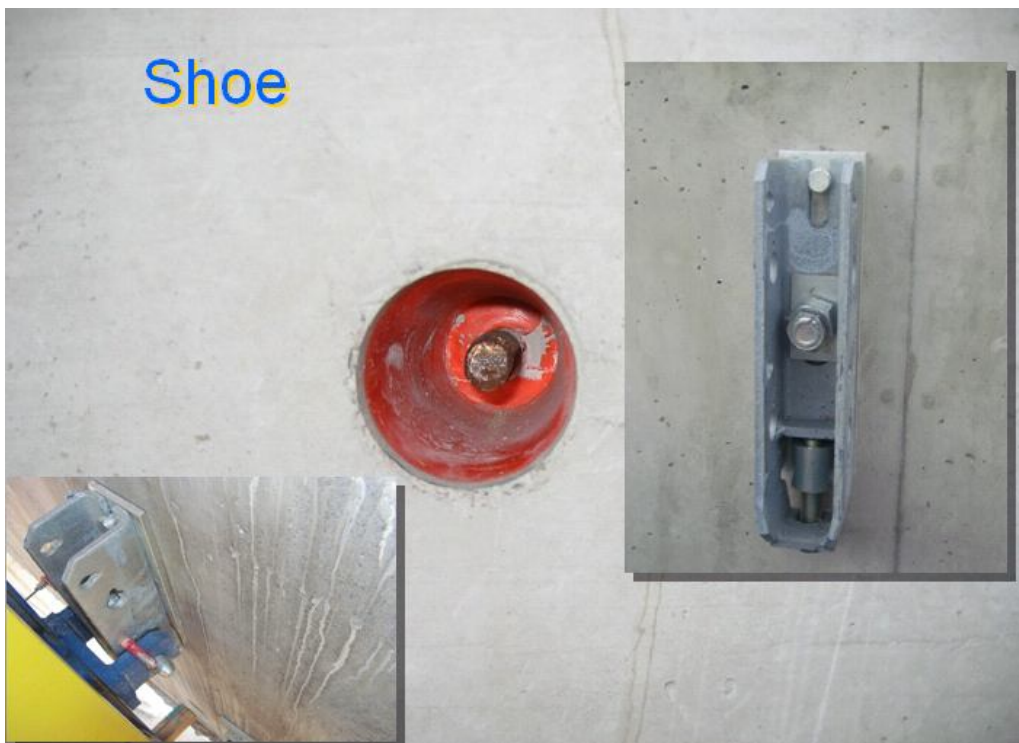


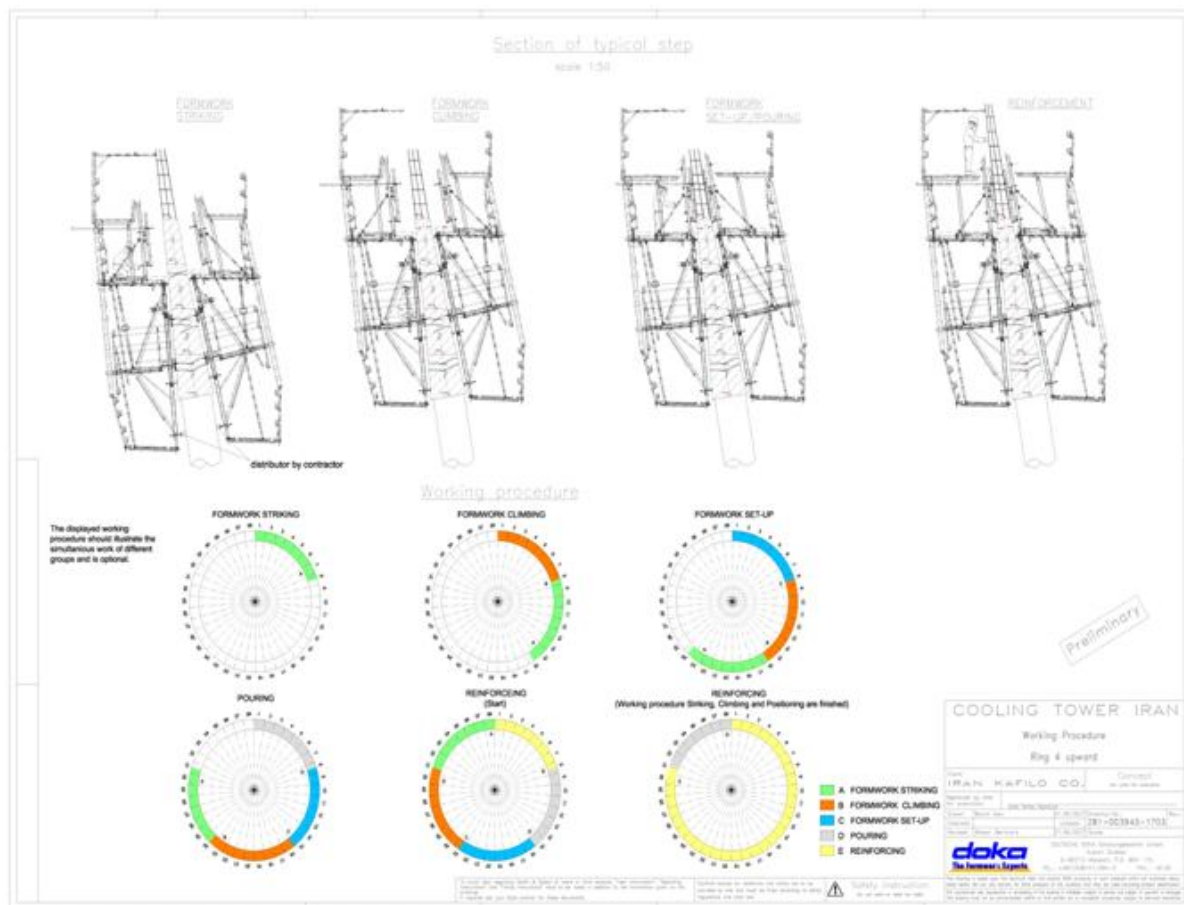


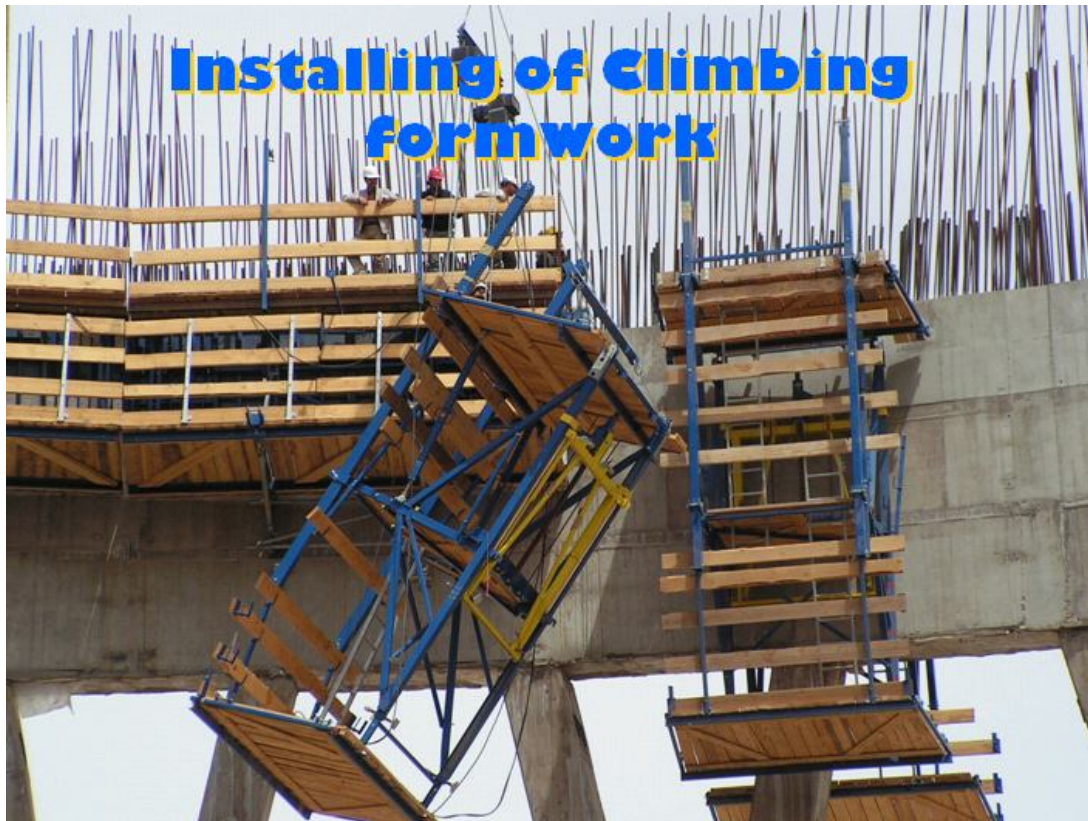














استفاده از وینچ برای بالابردن قالبهای لغزنده پوسته

۱- ایمان الیاسیان، اجرا و مقاوم سازی سازه های خاص، انجمن ملی مقاوم سازی ایران

۲- اطلاعات فنی شرکت مپنا و توسعه سیلوهای ایران