

- مقدمه: ..... ۵
- فصل اول: معرفی مفازن ..... ۶
- ۱-۱- مفازن ذفیره ..... ۸
- ۱-۱-۱- مفازن ذفیره سرباز ..... ۸
- ۱-۱-۲- مفازن ذفیره بسته ..... ۸
- مفازن ذفیره سقف ثابت ..... ۹
- مفازن ذفیره با سقف شناور ..... ۱۱
- ۱-۲- مفازن تمت فشار ..... ۱۲
- ۱-۳- طبقه بندی مفازن تمت فشار ..... ۱۲
- ۱-۳-۱- طبقه بندی بر اساس شکل ..... ۱۲
- مفازن استوانه ای ..... ۱۲
- مفازن کروی ..... ۱۴
- مفازن غیر دایروی ..... ۱۴
- ۱-۳-۲- طبقه بندی بر اساس فشار ..... ۱۴
- مفازن تمت فشار داخلی ..... ۱۴
- مفازن تمت فشار خارجی ..... ۱۴
- ۱-۳-۳- طبقه بندی بر اساس حرارت ..... ۱۵
- مفازن تمت فشار حرارتی ..... ۱۵
- مفازن تمت فشار غیر حرارتی ..... ۱۵
- ۱-۳-۴- طبقه بندی بر اساس ضخامت جداره ..... ۱۵
- مفازن جدار نازک ..... ۱۵
- مفازن جدار ضخیم ..... ۱۵
- ۱-۴- فودآزمایی ..... ۱۶
- فصل دوم: اجزای مفازن تمت فشار ..... ۱۷
- ۲-۱- عدسیهای ظروف تمت فشار ..... ۱۹
- ۲-۱-۱- قرینه سازی ظرف با عدسیهای پیش ساخته ..... ۲۰
- معادلات تناسب برای ظروف استوانه ای با عدسیهای بیضوی ..... ۲۱

- ۲-۱-۲- انواع عدسیها..... ۲۵
- عدسی های فلنجی..... ۲۷
- عدسی های بشقابی ..... ۲۷
- عدسی های بشقابی مطابق با کد *ASME*..... ۲۸
- عدسیهای بیضوی مطابق با *API , ASME*..... ۲۸
- عدسی های نیم کروی..... ۲۸
- عدسیهای مخروطی ونیم مخروطی..... ۲۹
- انواع دیگر ..... ۲۹
- ۲-۲- سایر اجزای مخزن ..... ۳۲
- ۲-۲-۱- تکیه گاهها..... ۳۲
- تکیه گاه *skirt*..... ۳۳
- تکیه گاه *lug*..... ۳۳
- تکیه گاه *saddle*..... ۳۳
- ۲-۲-۲- رینگ های تقویتی ..... ۳۵
- ۲-۲-۳- دریچه ها (*Openings*) ..... ۳۵
- ۲-۲-۴- فلنج ها (*flanges*)..... ۳۶
- انواع فلنج ها..... ۳۶
- ۲-۲-۵- دستگاههای حفاظتی ..... ۳۸
- شیر ایمنی (*Safety Valve*)..... ۳۸
- شیر فشار شکن (*Relief Valve*)..... ۳۹
- صفحات انفجار (*Bursting Discs*) ..... ۳۹
- Fusible Plugs*..... ۳۹
- فصل سوم : مواد و آلیاژهای مورد استفاده در سافت مخازن..... ۴۱
- ۳-۱- نوع مواد و خصوصیات اصلی آنها..... ۴۴
- ۳-۱-۱- فولاد کربنی ..... ۴۴
- ۳-۱-۲- فولادهای کم آلیاژ ..... ۴۵
- ۳-۱-۳- فولادهای پر آلیاژ ..... ۴۶

- ۴-۱-۳- فولادهای روکش شده..... ۴۷
- ۵-۱-۳- فلزات غیر آهنی..... ۴۷
- ۲-۳- فودآزمایی..... ۴۹
- فصل چهارم: استانداردها و کدهای مرتبط با مفازن تحت فشار..... ۵۰
- ۱-۴- استانداردهای بین المللی طرामी و سافت مفازن تحت فشار..... ۵۲
- ۲-۴- استاندارد *ASME code section VIII*..... ۵۲
- ۱-۲-۴- *Division 1*..... ۵۳
- ۲-۲-۴- *Division 2*..... ۵۴
- ۳-۲-۴- *Division 3*..... ۵۵
- ۳-۴- سافتار *ASME section VIII division 1*..... ۵۶
- ۱-۳-۴- *Subsection A*..... ۵۶
- ۲-۳-۴- *Subsection B*..... ۵۶
- ۳-۳-۴- *Subsection C*..... ۵۶
- ۴-۴- فودآزمایی..... ۵۸
- فصل پنجم : سافت و بازرسی فنی مفازن..... ۵۹
- ۱-۵- سافت بوسیله جوشکاری..... ۶۱
- ۱-۱-۵- سیستم طبقه بندی اتصالات جوش..... ۶۳
- ۲-۱-۵- بازده اتصالات جوش..... ۶۴
- ۲-۵- سافت به روش فورجینگ..... ۶۷
- ۳-۵- سافت به روش لمیم کاری..... ۶۸
- ۴-۵- بازرسی فنی مفازن و ظروف تحت فشار..... ۶۸
- مرحله صفر : بازدید مدارک..... ۶۹
- مرحله اول : بازرسی چشمی (*visual ckeck*)..... ۷۰
- مرحله دوم: تست نشتی (*leak test*)..... ۷۰
- مرحله سوم: *Hydrostatic test*..... ۷۱
- مرحله چهارم: تست غیر مخرب رادیوگرافی..... ۷۲
- ۵-۵- فودآزمایی..... ۷۳

- فصل ششم: طراحی مفازن تمتم فشار..... ۷۴
- ۶-۱- طراحی پوسته ها تمتم فشار داخلی..... ۷۶
- ۶-۱-۱- طراحی پوسته های استوانه ای..... ۷۶
- تنش های محیطی (اتصالات و قط جوشهای محوری)..... ۷۶
- تنش های محوری (اتصالات و قط جوشهای محیطی )..... ۷۷
- ۶-۱-۲- طراحی پوسته های کروی..... ۷۸
- ۶-۲- طراحی برجهای بلند..... ۸۱
- ۶-۲-۱- آنالیز تنش های ناشی از باد..... ۸۱
- روش دیگر..... ۸۷
- ۶-۲-۲- وزن مخزن..... ۹۳
- ۶-۲-۳- ارتعاش..... ۹۵
- ۶-۲-۴- بارگذاری زلزله..... ۹۷
- ۶-۲-۵- بار خارج از مرکز..... ۱۰۲
- ۶-۲-۶- پایداری الاستیک..... ۱۰۳
- ۶-۲-۷- فتمش..... ۱۰۶
- ۶-۲-۸- تنش های مرکب..... ۱۰۷
- ۶-۳- فودآزمایی..... ۱۲۲
- منابع و مراجع :..... ۱۲۳

## مقدمه:

مخازن تحت فشار به مخازنی اطلاق می گردد که فشاری بالاتر از اتمسفر داشته باشند. این مخازن بطور وسیعی در صنایع مختلف نظیر صنایع پتروشیمی، غذایی و دارویی، شیمیایی، هسته ای و... بکار می روند. مخازن تحت فشار با توجه به کاربرد آنها دارای انواع مختلفی هستند. به علت وجود فشار، مخازن تحت فشار دارای مخاطراتی هستند. به همین دلیل باید در طراحی، ساخت، نصب، بازرسی و کاربرد آنها نهایت دقت به عمل آید تا این مخاطرات کاهش یابد. در این جزوه ابتدا معرفی مختصری از مخازن بطور عام آمده است و سپس تمرکز بحث روی مخازن تحت فشار قرار گرفته است. پس از آن اجزای مخزن تحت فشار معرفی شده و عدسی ها به عنوان یک جزء مهم در مخزن تحت فشار مورد توجه بیشتری قرار گرفته اند. در ادامه درباره مواد، ساخت مخازن، بازرسی و استانداردها و بویژه در مورد استاندارد ASME بعنوان استاندارد معتبر در زمینه مخازن بحث شده است. در قسمت آخر، طراحی مخازن آمده است. در مورد طراحی مخازن سعی شده است تا مطالب به شکل ساده تر و بدور از جزئیات غیر ضروری ارائه شود.

## فصل اول: معرفی مفازن

### اهداف فصل:

- ✓ آشنایی کلی با مفازن
- ✓ معرفی مفازن ذخیره و تمّت فشار
- ✓ آشنایی با انواع مفازن تمّت فشار

در فرآیندهای شیمیایی نیاز به حمل و نقل و نگهداری مواد است که برای این کار از مخازن استفاده می شود. این مخازن بسته به نوع ماده و خواص فیزیکی و شیمیایی آن گوناگون هستند. مخازن به دو گروه اصلی تقسیم می شوند:

- مخازن ذخیره
- مخازن تحت فشار

## ۱-۱- مخازن ذخیره

در این نوع مخازن، فشار سیال در محدوده فشار اتمسفر بوده و از آنها برای نگهداری مواد استفاده میشود.



شکل ۱-۱ مخزن ذخیره

### ۱-۱-۱- مخازن ذخیره سرباز

این مخازن برای ذخیره سیالاتی بکار می روند که نگهداری آنها بصورت سرباز امکان پذیر باشد.

### ۱-۱-۲- مخازن ذخیره بسته

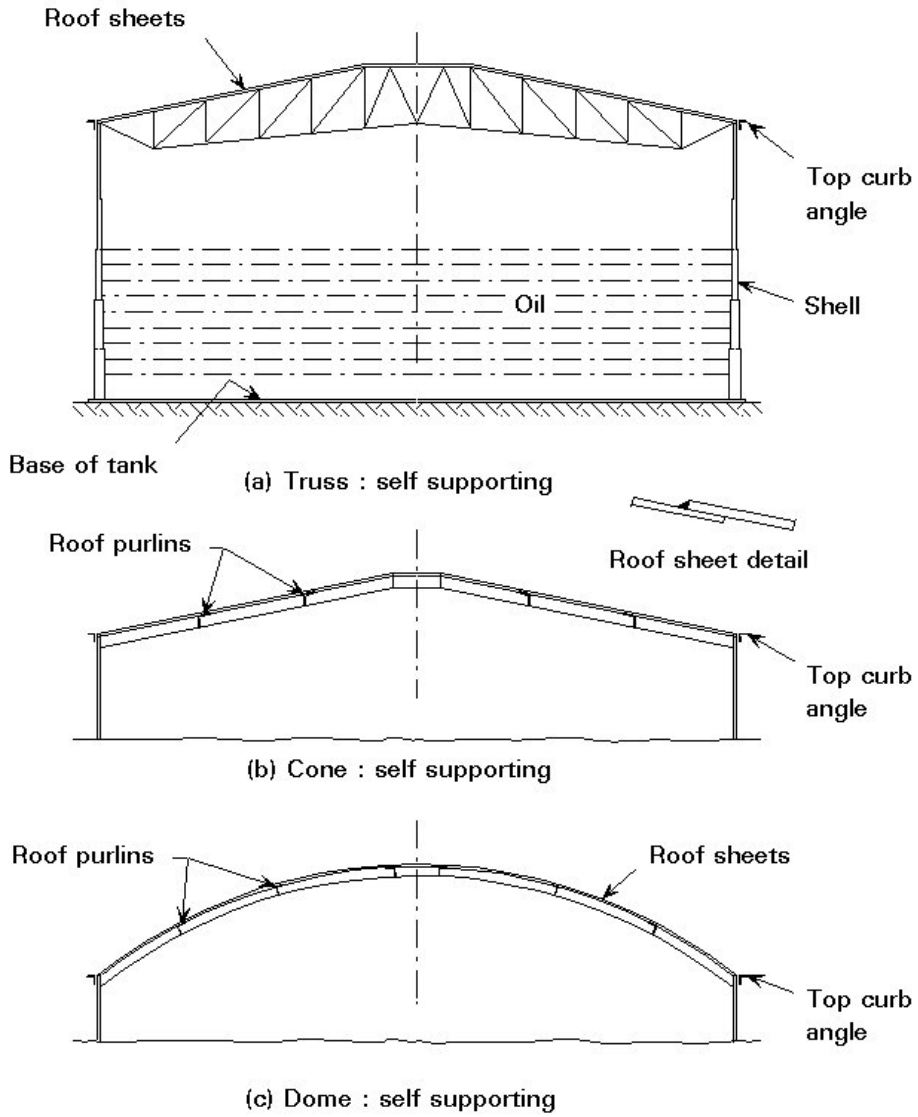
سیالات آتش گیر، گازها، مواد شیمیایی خطرناک و سیالاتی که گازهای سمی از آنها منتشر می شود در مخازن بسته نگهداری می شوند.



شکل ۱-۲ مخزن ذخیره بسته

### مفازن ذخیره سقف ثابت

این نوع مخازن، معمولاً بصورت استوانه ای، قائم و با سقف ثابت مخروطی یا گنبدی شکل بوده و برای نگهداری سیالاتی مانند فرآورده های گوناگون نفتی بکار می روند. عواملی نظیر فضای موجود برای نصب مخزن، تحمل فشار خاک زیر مخزن، فراریت سیال و سرعت ته نشین شدن ناخالصیها در انتخاب قطر و بلندی مخزن موثر است.



شکل ۱-۳ انواع مخازن ذخیره سقف ثابت

## مفازن ذفیره با سقف شناور

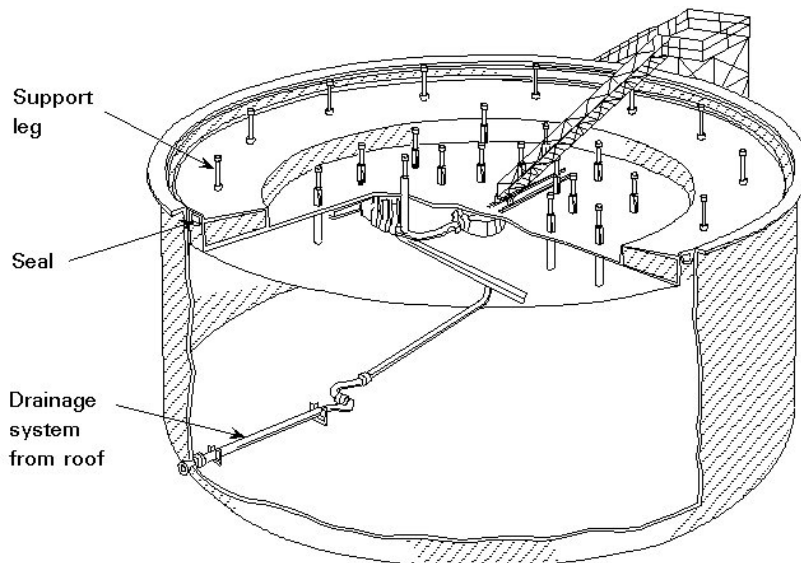
در این مفازن سقف روی مایع شناور بوده و با سیال بالا و پائین می رود. برای کاهش میزان تبخیر و جلوگیری از آتش سوزی مفازن فرآورده های نفتی، این نوع سقف ها از ورود هوا به مخزن و هم آمیزی با بخارهای نفتی ممانعت می کنند. از این رو از انفجار و آتش سوزی جلوگیری میشود. معمولاً دو نوع از این مفازن بیشتر از انواع دیگر به کار گرفته می شوند:

### سقف Pan type

این سقف مسطح بوده و از فولاد ساخته می شوند و دارای پایه های عمودی است که به محیط سقف متصل است. نقطه ضعف این سقف این است که به مجرد سوراخ شدن غرق می شود.

### سقف Pontoon type

در این نوع سقف خزینه ای جعبه مانند و توخالی پیرامون سقف نصب شده و آنرا شناور کرده است. برتری این سقف این است که با سوراخ شدن یک یا چند خزینه غرق نخواهد شد.



شکل ۴-۱ مخزن با سقف شناور *Patoon type*

## ۲-۱- مفازن تحت فشار

یک مخزن تحت فشار اغلب حاوی سیال، بخار یا گازی در فشاری بالاتر از فشار اتمسفر است. مخازن تحت فشار می توانند حاوی گستره وسیعی از مواد باشند که در صنایع مختلف مثل صنایع شیمیایی، داروسازی، غذایی، نفت و گاز و پلاستیک بکار می روند. این مخازن اغلب بصورت ظروف استوانه ای، با دو سر عدسی ساخته می شوند. عدسیها به شکلهای مختلفی مثل نیم کره، بیضوی و مخروطی وجود دارند. در بعضی موارد هم عدسیهای تخت بکار می روند.

ماده استفاده شده در مخزن و کاربرد آن تعیین کننده فاکتورهایی از قبیل جنس مخزن، اندازه، شکل، دما و فشار در طراحی مخزن است. فشار در مخزن ممکن است از چند صد *psi* تا *150,000 psi* باشد. محدوده اندازه مخازن، از مخازن کوچک محتوی فقط چند انس ماده تا مخازن خیلی بزرگ تا ظرفیت *95,000* گالن تغییر می کند

اغلب مخازن تحت فشار استوانه ای هستند اما مواد تحت فشار بالا، غالباً در مخازن مستحکم کره ای نگهداری میشوند.

## ۳-۱- طبقه بندی مفازن تحت فشار

### ۱-۳-۱- طبقه بندی بر اساس شکل

#### مفازن استوانه ای

اغلب بصورت یک پوسته استوانه ای با دو سر عدسی ساخته می شوند. این نوع مخزن، رایج ترین نوع مخزن است. مخازن استوانه ای بلند (برجها) ممکن است عمودی یا افقی باشند. اصولاً نیاز عملیاتی یک برج تعیین کننده نوع افقی یا عمودی آن است. برای مثال برجهای *packed* که نیاز به تقل جهت جداسازی فازها دارند بصورت عمودی نصب می شوند در حالیکه مبدلهای حرارتی یا

مخازن ذخیره هم می توانند بصورت افقی و هم بصورت عمودی نصب گردند. در مورد مبدل‌های حرارتی این انتخاب عموماً بوسیله روش انتقال گرما و سیر سیال صورت می گیرد. در مخازن ذخیره محل نصب عمدتاً عامل انتخاب می باشد.



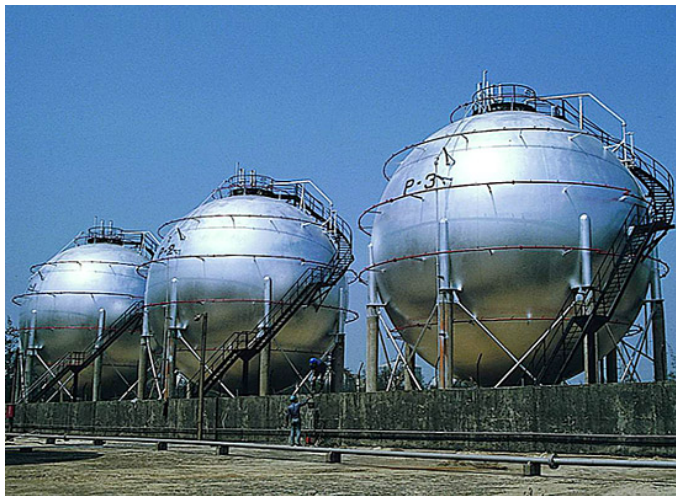
شکل ۱-۵ مخزن تحت فشار افقی



شکل ۱-۶ مخزن تحت فشار عمودی

## مفازن کروی

به علت استحکام ذاتی شکل کروی این مخازن اصولاً برای فشارهای بالا بکار می روند. مخازن ذخیره بزرگ که تحت فشار متوسط قرار دارند معمولاً شکل کروی یا شبه کروی دارند. محدوده ظرفیت از ۱۰۰۰۰ الی ۲۵۰۰۰ بشکه و محدوده فشار از ۱۰ پوند تا ۲۰۰ پوند متغییر است.



شکل ۷-۱ مخازن کروی

## مفازن غیر دایروی

این نوع مخازن کمتر رایج هستند و معمولاً برای ذخیره مواد در فشارهای پائین بکار می روند.

### ۲-۳-۱- طبقه بندی بر اساس فشار

#### مفازن تحت فشار داخلی

در این نوع مخزن معمولاً سیالی با فشار بالاتر از فشار اتمسفر وجود دارد.

#### مفازن تحت فشار خارجی

مخازن تحت فشاری که با شرایط خلاء مرتبط هستند باید برای فشار خارجی طراحی شوند در غیر این صورت متلاشی خواهند شد.

### ۳-۳-۱- طبقه بندی بر اساس حرارت

#### مفازن تمت فشار مرارتی

معمولاً در این نوع مخزن از سوخت برای تولید حرارت استفاده می شود. برای مثال می توان از بویلرها، کوره ها، حرارت دهنده های گازی آب و اتوکلاوها نام برد.

#### مفازن تمت فشار غیر مرارتی

این مخازن در معرض حرارت مستقیم قرار ندارند. حرارت فقط در حالتی که گرمای الکتریکی یا بخار در کار باشد و در بعضی مواقع در اثر واکنش های شیمیایی درون مخزن ایجاد می شود.

### ۳-۳-۲- طبقه بندی بر اساس ضخامت جداره

#### مفازن جدار نازک

یکی از متداولترین انواع مخازن است. در این نوع مخازن نسبت ضخامت پوسته به قطر کمتر از ده درصد است یا به عبارت دیگر قطر مخزن ۱۰ برابر یا بیش از ۱۰ برابر ضخامت پوسته است.

#### مفازن جدار ضخیم

در این نوع مخازن نسبت ضخامت پوسته به قطر بیشتر از ۱۰ درصد است. به عبارت دیگر قطر مخزن کمتر از ۱۰ برابر ضخامت پوسته است.

**۱-۱-۴- خودآزمایی**

- ۱- مخازن ذخیره به کدام دسته از مخازن اطلاق میگردد و انواع آن کدامند؟
- ۲- مزیت استفاده از سقف نوع *patoon* نسبت به نوع *pan* چیست؟
- ۳- مخازن تحت فشار را تعریف کنید.
- ۴- مخازن تحت فشار از نظر شکل به چند دسته تقسیم میشوند؟ توضیح دهید.
- ۵- انواع مخازن از نظر فشار، حرارت و ضخامت جداره کدامند؟ توضیح دهید.

## فصل دوم: اجزای مفازن تمّت فشار

#### اهداف فصل:

- ✓ معرفی اجزای اصلی مفازن تمّت فشار
- ✓ شناخت انواع عدسیها و عوامل موثر در انتخاب نوع عدسی

## ۱-۲- عدسیهای ظروف تحت فشار

ظروف و برجهای استوانه ای با عدسیهای پیش ساخته، کاربرد وسیعی در مواردی که استفاده از برجهای استوانه ای با کف صاف امکان پذیر نمی باشد، پیدا کردند. این موارد عموماً به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

۱. استفاده عملیاتی

۲. شرایط و محدودیت فشار

۳. محدودیت اندازه

دستگاههای فرآیندی از جمله برجهای تقطیر، برجهای دفع، برجهای *packed* تبخیر کننده ها، کریستال کننده ها و مبدلهای حرارتی بطور عمده در یکی از این سه دسته بندی قرار می گیرند. اگر شرایط فشار عملیاتی بالاتر از فشار اتمسفریک باشد نیز عموماً عدسیهای پیش ساخته مورد استفاده قرار می گیرند.



شکل ۱-۲ عدسیهای مخازن تحت فشار

## ۱-۱-۲- قرینه سازی ظرف با عدسیهای پیش ساخته

عموماً هزینه ساخت یک مخزن، متناسب با وزن فولاد بکار رفته در ساخت آن می باشد و به نظر می رسد که برای ذخیره یک مایع، تحت فشار یکنواخت، یک ظرف با حداقل سطح و حداقل ضخامت در حجم اقتصادی ترین حالت است. مخزن کروی دارای حداقل سطح در واحد حجم و حداقل ضخامت پوسته برای فشار و حجم داده شده است.

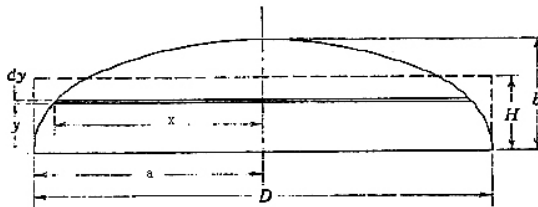
اگر هزینه ساخت عامل مهم نباشد، شکل کروی اقتصادی ترین شکل عدسی می باشد. در حالی که بالا بودن هزینه ساخت مخزن کروی کاربرد آن را محدود می کند، مخازن استوانه ای به راحتی ساخته و نصب می گردند و حمل و نقل آنها نیز ساده تر است. این مخازن استفاده وسیعی در صنایع فرآیندی دارند. برای یک مخزن استوانه ای ساده با عدسیهای پیش ساخته نسبت مطلوب ارتفاع به قطر  $L/D$  تابعی از هزینه در واحد سطح عدسیها می باشد. برای مخازن پیچیده مثل برجهای تقطیر و مبدلهای حرارتی جهت تعیین مطلوب این نسبت قطعات اضافی مانند سینی و باندل هم باید در نظر گرفته شوند. قرینه سازی برای یک مخزن ساده یا بر اساس هزینه در هر پوند مواد، یا هزینه در واحد سطح انجام می گیرد. مخازن استوانه ای با عدسیهای پیش ساخته برای فشارهای مختلف کاری تنوع ضخامت دارند و هزینه در واحد سطح هر کدام متفاوت است. هزینه زمین و فونداسیون عموماً برای این گونه مخازن اهمیت کمتری دارد. بنابراین به صرفه است که هزینه ساخت پوسته و عدسی را نسبت به واحد وزن بجای واحد سطح بکار ببریم.

## معادلات تناسب برای ظروف استوانه ای باعدسیهای بیضوی

## ارتباط حجمی

حجم یک ظرف استوانه ای که از دو طرف با عدسیهای بیضوی بسته شده باشد برابر با حجم

استوانه به اضافه حجم دو عدسی میباشد. با توجه به شکل ۲-۲:



شکل ۲-۲ عدسی بیضوی

معادله این بیضی عبارتست از:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

برای یک بیضی با نسبت قطر بزرگ به کوچک ۱:۲:

$$a = 2b$$

$$\frac{x^2}{4b^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$x^2 + 4y^2 = 4b^2$$

$$x^2 = 4b^2 - 4y^2 = 4(b^2 - y^2)$$

حل برای  $x^2$ :

اگر  $V$  حجم باشد بعد از حل معادله دیفرانسیل زیر بدست می آید:

$$dv = ady = \pi x^2 dy$$

$$v = \int_0^b \pi x^2 dy = 4\pi \int_0^b (b^2 - y^2) dy$$

$$v = 4\pi \int_0^b b^2 dy - 4\pi \int_0^b y^2 dy$$

$$v = 4\pi \left[ b^2 y - \frac{y^3}{3} \right]_0^b = \frac{8}{3} \pi b^3 = \frac{\pi a^3}{3}$$

$$v = \pi a^2 H$$

حجم استوانه معادل جانشین:

$$\pi a^2 H = \frac{\pi a^2}{3} \rightarrow H = \frac{a}{3} = \frac{D}{6}$$

بنابراین حجم دو عدسی بیضوی با نسبت قطر ۲:۱ برابر است با:

$$V_h = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \left( \frac{D}{6} \right) (2) = \frac{\pi D^3}{12}$$

حجم مخزن:

$$V_{vessel} = \left[ \left( \frac{nD^2}{4} \right) L + \frac{\pi D^3}{12} \right]$$

$$L = \left[ \frac{4V}{\pi D^2} - \frac{D}{3} \right]$$

ارتباط هزینه ها

قطر ورق دایره ای شکل لازم جهت ساخت عدسی بیضوی بطور تقریباً ۲۲٪ بزرگتر از قطر استوانه می باشد. هزینه عدسی ها نیز تقریباً ۵۰٪ بیشتر از هزینه فولاد ساخته شده است. افزایش هزینه بدلیل افزایش هزینه اضافی جهت برش دایره ای ورق و هزینه ورق کاری و ماشین کاری می باشد.

$C_s$ : هزینه ساخت پوسته استوانه ای (پوند وزن / دلار)

$1.5C_s$ : هزینه ساخت عدسی (پوند وزن / دلار)

$t$ : ضخامت پوسته و عدسی

$p$ : دانسیته فولاد  $lb/ft^3$

$$\text{هزینه ساخت پوسته} = C_s \rho \left( \pi D L \frac{t}{12} \right) = C_s \rho \pi D \frac{t}{12} \left( \frac{4v}{\pi D^2} - \frac{D}{3} \right)$$

$$\begin{aligned}
 \text{هزینه کل} &= C_s \rho \frac{t}{12} \left[ \frac{4v}{\pi D} - \frac{D^2}{3} + \frac{3}{4} (1.22D^2) \right] \\
 &= C_s \rho \pi \frac{t}{12} \left[ 1.275 \frac{V}{D} - \frac{D^2}{3} + 1.115D^2 \right] \\
 &= C_s \rho \pi \frac{t}{12} \left[ 1.275 \frac{V}{D} + 0.782D^2 \right] \\
 t &= \frac{pd}{2f} = \frac{PD}{24f} \\
 C &= C_s \rho \pi \frac{pD}{288f} \left[ 1.275 \frac{V}{D} + 0.782D^2 \right] \\
 (K &= \frac{\rho \pi P}{288f})
 \end{aligned}$$

رابطه  $L, D$

هزینه یک پوسته (*SHELL*) فاکتور ثابتی نیست و تابعی از وزن مخزن است که خود تابعی از قطر و فشار مخزن است، برای پوسته ها با ضخامت تا ۲ اینچ، هزینه مخزن تقریباً با نسبت عکس  $D^{1/3}$  متناسب است:

$$C_s = \frac{C's}{D^{1/3}}$$

با جانشین کردن در معادله قبل

$$\begin{aligned}
 C &= C'_s k \left[ 1.275 \frac{V}{D^{1/3}} + 0.782D^{8/3} \right] \\
 \frac{dC}{dD} &= -\frac{1}{3} \frac{1.275V}{D^{4/3}} + \frac{8}{3} (0.782)D^{5/3} = 0 \\
 6.25D^3 &= 1.275V \\
 D^3 &= 0.204V
 \end{aligned}$$

با جایگزینی معادل  $V$  خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}
 V &= \left[ \frac{D^3}{12} + \frac{D^2}{4} L \right] \\
 D^3 &= 0.204 \left[ \frac{\pi D^2}{4} L + \frac{\pi D^3}{12} \right] \\
 D &= 1.60L + 0.053D \\
 L &= 5.93D \approx 6D
 \end{aligned}$$

یا بعبارت دیگر برای ظروف تا ضخامت ۲ اینچ ارتباط  $L, D$  بصورت  $L/D=6$  است.

برای مخازنی که از ورق با ضخامت های بین ۲ الی ۶ اینچ ساخته میشوند، هزینه اضافه در واحد

وزن تعیین می شود که تقریباً با  $D^{1/4}$  نسبت عکس دارد یعنی:

$$C_s = \frac{C''_s}{D^{1/4}}$$

$$C = C''_s k [1.275 \frac{V}{D^{1/4}} + 0.782D^{2.75}]$$

$$\frac{dC}{dD} = -\frac{1}{4} \frac{1.275V}{D^{5/4}} + \frac{11}{4} (0.782)D^{1.75} = 0$$

$$8.60D^3 = 1.275V$$

$$D^3 = 0.148V$$

$$D^3 = 0.148 \left[ \frac{\pi D^2}{4} L + \frac{\pi D^3}{12} \right]$$

$$D = 1.116L + 0.039D$$

$$L = 8.28D \approx 8D$$

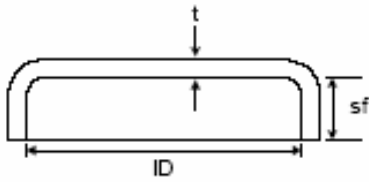
بنابراین برای ورق هایی با ضخامت ۲ الی ۶ اینچ می توان گفت:

$$L/D=8$$

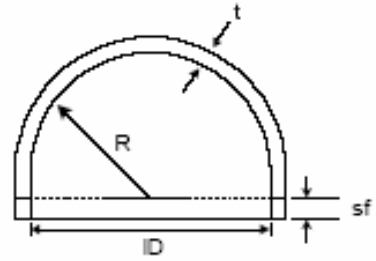
## ۲-۱-۲- انواع عدسیها

برای جوشکاری عدسی به بدنه انواع مختلف شکل لبه های ماشین کاری شده مورد استفاده قرار می گیرد. در زیر به برخی از انواع مختلف شکل عدسیها اشاره می شود.

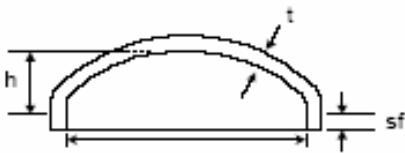
۱. عدسی های فلنجی (*flanged only heads*)
  ۲. عدسی های بشقابی (*flanged STD.dished & flanged shallow dished*)
  ۳. عدسی های بشقابی مطابق با کد *ASME* (*flanged& dished heads (torispherical)*)
  ۴. عدسیهای بیضوی مطابق با *API , ASME* (*ellipsoidal heads*)
  ۵. عدسی های نیم کروی (*hemispherial heads*)
  ۶. عدسی های مخروطی و نیم مخروطی (*conical & toriconical heads*)
- انواع مختلف شکل عدسیها را در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



Flanged



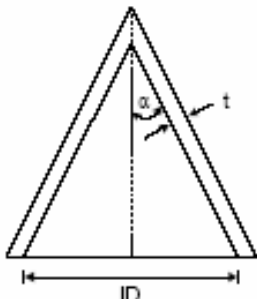
Hemispherical



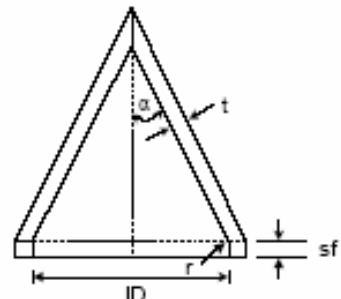
Elliptical



Flanged and Dished  
(torispherical)



Conical



Toriconical

شکل ۲-۳ انواع مختلف شکل عدسیها

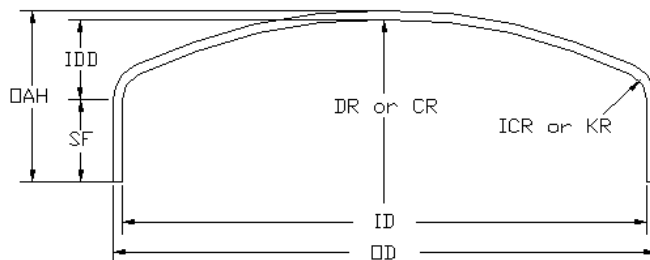
## عدسی های فلنجی

این عدسی نوعی عدسی تخت است که تغییر تدریجی در لبه ها باعث کاهش در تنش موضعی آن شده است. ساخت این عدسی بسیار اقتصادی است و در واقع ارزاترین نوع عدسیها نوع فلنجی آن است. این نوع عدسی بطور وسیعی برای سرپوش مخازن ذخیره در فشار اتمسفریک و برای مایعاتی که فشار بخار کمی دارند (مانند نفت، بنزین،...) بکار می رود.

## عدسی های بشقابی

اگر شعاع عدسی بزرگتر از قطر خارجی اش باشد این نوع عدسی بشقابی نامیده می شود. این نوع عدسی مطابق با کد ساخته نمی شود و از ورق بصورت بشقابی در آورده می شود. استفاده عمده آنها در ساخت مخازن ذخیره می باشد. در این نوع عدسی دو شعاع وجود دارد. **Knuckle**: شعاع گوشه ای، که برای کم کردن تنشهای موضعی در اتصال عدسی به پوسته در نظر گرفته می شود.

**Crown**: شعاع اصلی یا شعاع پروفیل عدسی



شکل ۴-۲ نمایش شعاع **Knuckle (KR)** و **Crown (CR)**

### عدسی های بشقابی مطابق با ASME

با کم کردن تنشهای موضعی در گوشه ها، می توان میزان تحمل فشار را برای عدسی های بشقابی افزایش داد. این کار با شکل دادن عدسی بطریقی که شعاع گوشه حداقل دو برابر ضخامت عدسی باشد امکان پذیر است. این نوع عدسی ها برای مخازن تحت فشار در محدوده ۱۵ الی ۲۰۰ پوند بر اینچ مربع استفاده می شوند. در فشارهای بالاتر از ۲۰۰ پوند عدسی های نوع بیضوی از نقطه نظر اقتصادی کاربرد بهتری دارند.

### عدسیهای بیضوی مطابق با API, ASME

این نوع عدسی نسبت به نوع بشقابی برای ساخت مخازن با فشار ۲۰۰ پوند ترجیح داده می شوند. این عدسیها توسط پرس و در قالبهایی با شکل بیضوی فرم داده می شوند. در صورتی که نسبت قطر بزرگ به کوچک ۲:۱ باشد مقاومت عدسی تقریباً برابر با مقاومت استوانه بدون درز با قطر مشابه است. به همین دلیل اغلب سازندگان این نسبت قطری را رعایت می کنند. عمق بیضی نصف قطر کوچک و برابر ۱/۴ قطر داخلی عدسی است.

حجم این نوع عدسی نیز از فرمول زیر بدست می آید:

$$V=0.000076dt^3$$

$$di = \text{قطر داخلی مخزن}$$

### عدسی های نیم کره

برای یک ضخامت یکسان این نوع عدسی در بین عدسیهای فرم دار قویترین نوع است. این عدسیها می توانند در برابر فشاری تا ۲ برابر فشاری که یک عدسی بیضوی با همان ضخامت می تواند تحمل کند مقاومت کنند. هزینه فرم دهی این نوع عدسی از انواع دیگر بیشتر است. انواع کوچک به روش *spining* و انواع بزرگتر به روش *forging* ساخته می شوند. اندازه های بزرگ

این نوع عدسی با تکه تکه ساختن و جوش دادن در محل نصب ساخته می شوند. عدسی های کروی بطور وسیعی برای ساخت مخازن تحت فشار سنگین بکار می روند.

### عدسیهای مخروطی و نیم مخروطی

عدسیهای مخروطی بطور وسیعی در تجهیزات فرآیندی مثل *Spray driers Evaporators* و... بکار می روند. خاصیت ویژه این نوع عدسی در انباشت و تخلیه مواد جامد است. کاربرد رایج دیگر سرهای مخروطی مسیر ساختن تغییر قطر آرام بین دو بخش با قطرهای متفاوت در مخازن فرآیندی است. روش ساخت این نوع عدسی رول کردن ورق مطابق با زاویه مخروط است. این عدسی ها به دلیل اینکه از ورق صاف تهیه شده و تنش های ایجاد شده در گوشه ها یکنواختند استفاده زیادی در ساخت مخازن تحت فشار دارند.

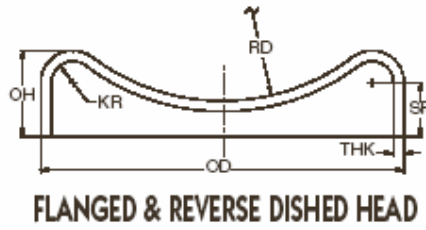
### انواع دیگر

سه نوع دیگر عدسی مطابق با آنچه در شکل ۵-۲ دیده میشود ساخته میشوند..

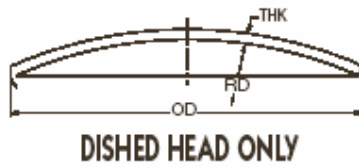
نوع (a) اکثراً در سرپوش پائینی برجها استفاده می شوند.

نوع (b) بعنوان قطعه میانی عدسیهای کروی استفاده می شود و گاهی نیز برای مخازنی که استفاده از فلنج در آنها عملی نیست کاربرد دارد.

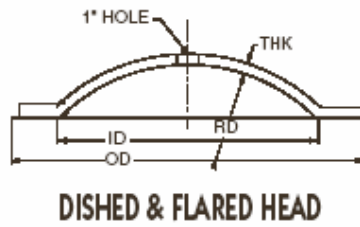
نوع (c) بعنوان سرپوش مخازن اتمسفری بکار گرفته می شود و در اندازه های ۱۸ الی ۱۳۲ اینچ ساخته می شود.



(a)

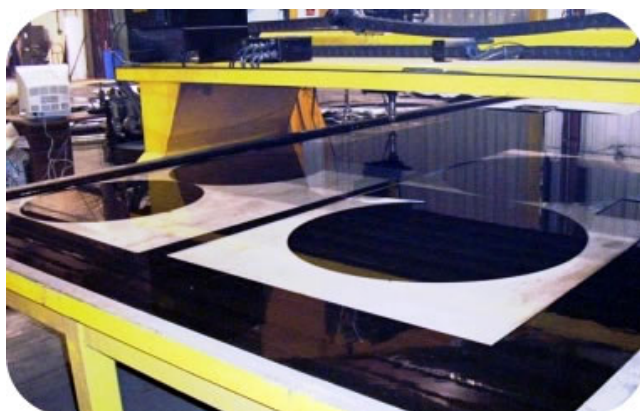


(b)



(c)

شکل ۵-۲ انواع دیگر عدسی



شکل ۶-۲ مراحل ساخت یک عدسی

## ۲-۲- سایر اجزای مخزن

### ۲-۲-۱- تکیه گاهها

طراحی یک مخزن تحت فشار بدون طراحی و انتخاب تکیه گاه مناسب و نیز آزمایش اثر تکیه گاه کامل نمی شود. مخازن با توجه به الزامات فرآیندی ممکن است بصورت عمودی یا افقی قرار گیرند. برای مخازن عمودی تکیه گاههای زیر رایج هستند:

**Skirt support** •

**Bracket or lug support** •

**Leg support** •

**Ring support** •

برای مخازن افقی تکیه گاههای رایج عبارتند از:

**Saddle support** •

**Leg support** •

**Ring support** •

انتخاب نوع خاصی از تکیه گاهها در مخازن افقی و عمودی بستگی به اندازه، شکل و وزن مخزن، دما و فشار طراحی، موقعیت اتصالات مختلف به مخزن و آرایش ساختمان داخلی و خارجی مخزن دارد. هنگام انتخاب تکیه گاهها باید توجه شود که تکیه گاهها بتوانند در برابر نیروها مقاومت کنند بدون اینکه باعث تغییر شکل دیواره مخزن شوند و یا تنش های موضعی را بیش از حد افزایش داده و باعث عدم ثبات مخزن شوند.

طراحی تکیه گاهها باید مطابق با کدی باشد که مخزن طبق آن طراحی می شود. تکیه گاهها باید اجازه حرکت مخزن در اثر تغییرات دمایی را بدهند و طوری طراحی شوند که از انباشت آب در زیر مخزن جلوگیری شود. مخزن و تکیه گاه باید بر فونداسیون محکم نصب شوند.

**تکیه گاه skirt**

یکی از رایج ترین روشهای نگهداری مخازن عمودی توسط یک پوسته رول شده به شکل استوانه یا مخروط ناقص است که *skirt* نامیده می شود.

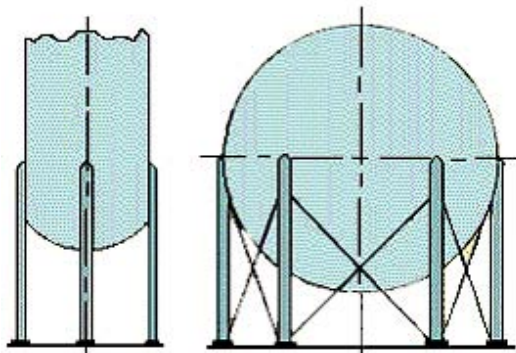
**تکیه گاه lug**

این نوع تکیه گاه یکی از کم خرج ترین راههای نگهداری یک مخزن عمودی است که با حداقل مقدار جوش به مخزن متصل می شود.

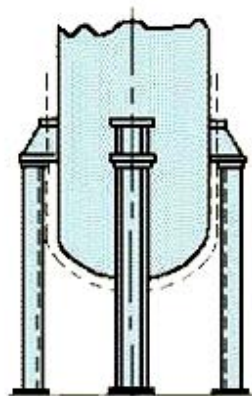
**تکیه گاه saddle**

یکی از روشهای رایج نگهداری مخازن افقی با ابزاری زینی شکل بنام *saddle* است. بیشتر مخازن استوانه ای بزرگ توسط دو تکیه گاه نگهداری می شوند که زاویه تماس در آنها ترجیحاً ۱۲۰ تا ۱۵۰ درجه است.

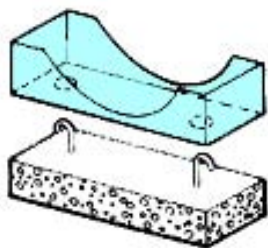
در شکل ۷-۲ انواع تکیه گاههای رایج برای مخازن تحت فشار نشان داده شده است.



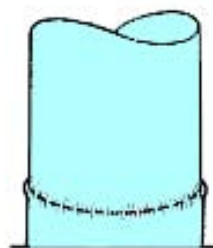
*Leg support*



*Lug or Ring Support*



*Saddle support*



*Skirt support*

شکل ۲-۷ انواع مختلف تکیه گاههای مخازن

### ۲-۲-۲- رینگ های تقویتی

رینگ های تقویتی از پروفیل های استاندارد ساختمانی یا از ورق که بصورت یک رینگ در می آید ساخته می شود. این اجزا برای جلوگیری از کماتش مخزن تحت فشار اضافه می شوند. اتصال آنها می تواند هم در داخل پوسته استوانه ای و هم در خارج ان باشد ولی اتصال خارجی این رینگ ها معمول تر است. همچنین این رینگ ها می توانند به عنوان تقویت برای تکیه گاههای مخازن افقی نیز استفاده قرار گیرند.



شکل ۲-۸  
رینگ تقویتی

### ۲-۲-۳- دریچه ها (Openings)

در مخازن تحت فشار، بسته به نیازی که فرآیند مشخص می کند، یکسری اتصالات باید به مخزن وصل شود. عمده این اتصالات لوله های استاندارد هستند که اغلب برای ورود و خروج ماده، مورد استفاده قرار می گیرند برای جایگذاری این اتصالات، نیاز به سوراخ کردن پوسته مخزن است. به دلیل وجود این سوراخها در مخزن و وجود جوش در این نقاط، احتمال گسیختگی آنها از

سایر قسمت‌ها بیشتر است. به همین خاطر در پاره ای اوقات نیاز به تقویت این اتصالات است که معمولاً این امر با یک ورق دایروی تو خالی که قطر داخلی آن قطر خارجی لوله است صورت می گیرد. دریچه ها می توانند در قسمت‌های سیلندری یا مخروطی مخازن قرار گیرند و به شکل‌های دایروی، بیضوی یا **obround** وجود دارند. دریچه **obround** دریچه ای مستطیلی است که دو انتهای آن دایروی است.

### ۱۴-۲-۲- فلنج ها (flanges)

فلنج ها در اتصالات مخازن بکار رفته و امکان جدا کردن قطعات از یکدیگر به منظور تعمیر، تعویض و تغییرات در سیستم را می دهند. همچنین فلنج ها باعث تسهیل در عملیات مونتاژ مجموعه می گردند.

### انواع فلنج ها

۱. فلنج های ( *integral or welding neck* )

۲. فلنج های ( *loose type or slip-on* )

۳. فلنج های معکوس ( *reverse flanges* )

۴. فلنج های رینگی ( *ring flanges* )

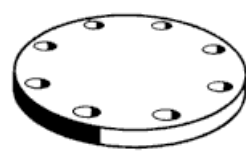
۵. فلنج های کور ( *blind flanges* )



*Welding neck flange*



*Slip-on flange*



*Blind flange*

شکل ۹-۲ چند نمونه از انواع فلنجها

طراحی فلنجهای با در نظر گرفتن دو حالت زیر انجام می گیرد:

۱. حالت بسته شده فلنج (*gasket seating condition*)

۲. حالت کارکرد (*operating condition*)

برای فلنج های با فشار بالا، نیروی حالت کارکرد تنش اصلی را بوجود می آورد و برای فلنج های با فشار پائین، نیروی حالت بسته شده فلنج تنش اصلی را بوجود می آورد. در فلنجهای فشار پائین استفاده از تعداد پیچ بیشتر با قطر کوچکتر باعث کم شدن قطر دایره گذرنده از مرکز پیچها شده و در نتیجه ممان حاصل از نیروی پیچها کم شده و حداقل ضخامت مورد نیاز برای فلنج کاهش می یابد. برای فلنجهای فشار بالا، برای مقاومت در برابر فشار هیدرواستاتیکی نیاز به پیچها با قطر زیاد است. پیچهای بزرگ باعث افزایش قطر دایره ای می شود که از مرکز پیچها عبور میکند و افزایش قطر دایره مزبور باعث افزایش بازوی ممان می شود و در نتیجه برای پخش شدن نیروی پیچها فلنجهای ضخیمتر و هابهای بزرگ لازم است.

نوع ومحل نشستن گسکت (*gasket*)

نوع محل نشستن گسکت بستگی به شرایط کارکرد، مایع یا گاز بودن سیال، فشار، دما، شوک حرارتی، ارتعاش و نوع گسکت دارد.

نشیمن گاههایی که گسکت را به صورت نری- مادگی، زبانه- شیار (*tingue-groov*) و رینگگی (*ring joint*) مقید می کنند ایمنی بیشتری درمقابل انفجار دارند.

برای انتخاب فلنج در مخازن تحت فشار معمولاً از فلنجهای استاندارد استفاده می شود فلنجهای استاندارد عددی بنام محدوده تحمل فشار (*pressure rating*) دارند که بر اساس آن حداکثر فشاری که فلنج می تواند تحمل کند. معلوم می شود. (نیروهای خارجی بصورت فشار معادل محاسبه می گردند).

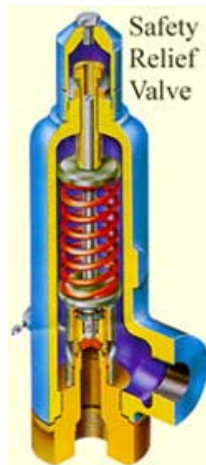
فلنجهای استاندارد با توجه به اندازه آنها و محدوده تحمل فشار انتخاب می شوند. در مواقعی که نیاز به طراحی فلنجهای خاص باشد باید نیروهای و ممانهای ایجاد شده روی فلنج محاسبه گردد و با توجه به این نیروها و ممانها، تنش های ایجاد شده در مکانهای مختلف فلنج محاسبه شده و با میزان مجاز آن مقایسه می شود.

### ۵-۲-۲- دستگاههای حفاظتی

تمام مخازن تحت فشار باید مجهز به ابزارهای فشار شکن باشند که اجازه بالارفتن فشار بیشتر از ۱۱۰ درصد فشار طراحی را ندهد. در مورد مخازن حرارتی، دستگاههای فشار شکن نباید اجازه بالا رفتن فشار بیشتر از ۱۲۱ درصد فشار طراحی را بدهند. انواع رایج دستگاههای فشار شکن در زیر آمده اند:

#### شیر ایمنی (Safety Valve)

شیر ایمنی هنگامی که فشار از فشار تعیین شده بالاتر رود سیال را به جو تخلیه می کند و بعد از رسیدن به شرایط نرمال بسته می شود. این شیر برای سیال های تراکم پذیر که نیاز به پائین آوردن سریع فشار اضافی دارند، بکار می رود.



شکل ۱۰-۲ شیر ایمنی

### شیر فشار شکن (Relief Valve)

این شیر سیال را بصورت اتوماتیک به داخل جو تخلیه می کند با این تفاوت که برای مایعات بکار می رود.

### صفحات انفجار (Bursting Discs)

در جایی بکار می روند که افزایش فشار خیلی سریع است.

### Fusible Plugs

از فلزات با نقطه ذوب پائین ساخته می شود و ممکن است در شیرهای ایمنی، فشار شکن یا صفحات انفجاری نیز بکار رود. کاربرد **Fusible Plug** این است که اگر مخزن در معرض آتش قرار گیرد و افزایش فشار ناگهانی پیدا کند، عمل کند.

### ۳-۲- خود آزمایی

- ۱- چه عواملی در انتخاب عدسیها برای مخازن تحت فشار موثرند؟
- ۲- انواع عدسیهای رایج که در ساخت مخازن تحت فشار بکار میروند را نام ببرید.
- ۳- عدسیهای فلنجی به کدام دسته از عدسیها گفته میشود و در کجا استفاده میشوند؟
- ۴- انواع تکیه گاههای مورد استفاده برای مخازن تحت فشار افقی و عمودی کدامند؟
- ۵- انواع فلنجهایی که در ساخت مخازن تحت فشار بکار میروند را نام ببرید.

فصل سوم : مواد و آلیاژهای مورد استفاده در ساخت مفازن

### اهداف فصل:

- ✓ شناخت عوامل موثر در انتخاب مواد
- ✓ آشنایی با موادی که در سافت مفازن یا اجزای آنها بکار میروند.

برای طراحی مخازن تحت فشار ابتدا باید مواد ساختمانی مشخص شوند. این کار پیش نیاز آنالیز تنش است. انتخاب مواد تحت تاثیر عوامل مختلفی است که استحکام مکانیکی و مقاومت در برابر خوردگی از مهمترین آنها هستند. برای انتخاب مواد ساخت تجهیزات فرآیندی و تعادل برقرار کردن میان خصوصیات نظیر قیمت، مقاومت در برابر خوردگی یا استحکام مکانیکی باید به نکات زیر توجه داشت:

#### (۱) طبیعت شرایط کاری

نوع بارگذاری، دمای کاری و طبیعت سیال بکار رفته و...

#### (۲) مشخصات مواد

مقاومت و سایر خصوصیات مکانیکی نظیر ازدیاد و کاهش سطح، مقاومت برشی، سختی و مقاومت فرسایش، خزش و استحکام شکست و ...

#### (۳) عوامل فرآیندی

اثر روشهای ساخت نظیر نورد، برش و ... عملیات حرارتی و قابلیت جوشکاری

#### (۴) رفتار در محیط

مقاومت در برابر خوردگی یا سایر عوامل مخرب در محیط، اثرات خاص روی مواد و شناسایی خواص ویژه مواد که به احتمال شکست ماده مرتبط هستند.

#### (۵) هزینه

ایجاد تعادل میان ملاحظات قیمت و طول عمر و خطر شکست

#### (۶) دسترسی تجاری

## ۱-۳- نوع مواد و خصوصیات اصلی آنها

موادی که عموماً در ساخت مخازن فرآیندی بکار می روند ممکن است بصورت زیر دسته بندی شوند:

(۱) فولاد

کربنی، کم آلیاژ، روکش شده با فولاد ضد زنگ یا سایر فلزات.

(۲) غیر آهنی:

آلومینوم، مس، نیکل، سرب و آلیاژهای آنها

(۳) فلزات خاص:

تیتانیوم، زیرکونیم

(۴) مواد غیر فلزی:

پلاستیک، بتن

### ۱-۱-۳- فولاد کربنی

این گروه از فولادها نسبتاً ارزان هستند و بیشترین کاربرد را در ساخت مخازن فرآیندی و سیستمهای پایپینگ دارند. این فولادها آلیاژ کم کربن با درصد کربن کمتر از 0.25 درصد به اضافه مقاداری Mn و Si هستند.

فولاد با 0.4 درصد کربن برای پیچها و مهره ها بکار می رود. بسته به میزان اکسیژن گیری، فولاد ممکن است Rimmed, Semi-Killed یا Killed باشد.

فولادهای Rimmed بخاطر عدم همگنی شیمیایی بندرت در ساخت مخازن فرآیندی بکار می روند.

فولادهای semi-killed از نظر اکسیژن گیری بین دو گروه killed , rimming قرار دارند. این فولاد ارزان ترین نوع فولاد است که برای کارهای سبک و عمومی بکار می رود.

تقریباً تمام ورقهایی که در ساخت مخازن فرآیندی برای کارهای سبک بکار می روند (تا ضخامت 25mm) از نوع semi-killed هستند.

فولادهای کشته سیلیکونی که بصورت کامل اکسیژن گیری شده اند همگن تر هستند و برای ساخت مخازن ضخیم تر و پر کار تر بکار می روند. اغلب AL به مقدار کم اضافه می شود تا مقاومت در برابر برش ماده را افزایش دهد.

فولادهای کربنی در دمای محیط دارای استحکام متوسط ، قابلیت چکش خواری خوب، فرم پذیری و جوشکاری آسان هستند. تنش کششی این فولادها با بالا رفتن دما کاهش می یابد.

## ۲-۱-۳- فولادهای کم آلیاژ

در این گروه از فولادها عناصر آلیاژی کمتر از ده درصد هستند و معمولاً از Ni, Mo, Cr بعنوان عناصر آلیاژی استفاده می شود. فولادهای کم آلیاژ نسبت به فولادهای کربنی معمولی در برابر گسیختگی ناشی از خزش دارای استحکام بالاتری هستند. در هنگام ساخت و جوشکاری این فولادها نیاز به کنترل دقیق تری میباشد.

بطور کلی Cr و Mo خواص مکانیکی را مخصوصاً در دماهای بالا بهبود می بخشند و این فولادها کاربرد وسیعی در دماهای بالا پیدا می کنند. از طرف دیگر Ni خاصیت استحکام برشی را در دماهای پایین (تا 80°C) افزایش می دهد.

فولادهای کم آلیاژ نیکل، با 2-3.5 درصد نیکل در جایی بکار می روند که مقاومت در برابر شکست بر اثر ترد شدن در دماهای پایین مهم باشد.

گرچه این فولادها از نوع کربنی گرانتز هستند اما خواص بهبود یافته آنها اجازه می دهد تا تنش طراحی بزرگتری بکار رود و در نتیجه در مصرف مواد صرفه جویی قابل توجه اتفاق می افتد.

### ۳-۱-۳- فولادهای پر آلیاژ

فولادهای پر آلیاژ در صنایع نیروگاهی، هسته ای و تاسیسات شیمیایی هنگامی که لازم است مواد در برابر خوردگی مقاوم باشند و آلودگی اتفاق نیافتد، بکار می روند.

این نوع از فولادها دو گونه اند:

(۱) فولادهای ضد زنگ آهن دار

(۲) فولادهای ضد زنگ استینیتیک

نوع اول فقط شامل Cr بعنوان عنصر آلیاژی است و میزان کرم آن 11-25 درصد است.

این فولادها دارای مقاومت خوبی در برابر خوردگی و اکسیداسیون در دماهای بالا هستند.

فولادهای استینیتیک تشکیل گروه بزرگی از فولادهای مقاوم در برابر خوردگی را می دهند که در

صنایع مختلف شیمیایی بکار می روند. مقدار Cr آنها بین 18 تا 25 درصد و مقدار نیکل در این

فولادها بین 8 تا 25 درصد متغیر است میزان کربن از 0.04 تا 0.25 درصد متغیر است. این

فولادها استحکام و قابلیت چکش خواری خوبی دارند اما قابلیت سخت کاری بوسیله عملیات

حرارتی را ندارند اما سختی کششی بالایی دارند. استحکام کششی و سختی آنها بطور قابل ملاحظه

- ای در فرآیندهای سرد کارافزایش می یابد. همچنین به آسانی فرم دهی می شوند و جوشکاری

آنها آسان است اما در ساخت آنها باید نهایت احتیاط صورت گیرد تا مقاومت مطلوب در برابر

خوردگی در آنها حفظ شود.

### ۳-۱-۴- فولادهای روکش شده

این فولاد در حقیقت محصول ویژه ای است که دارای ترکیبی از مقاومت در برابر خوردگی فولادهای آستینیتیک، فولادهای ضد زنگ آهن دار، نیکل یا آلیاژهایش، همراه باقیمت فولاد کربنی است. این فولاد ترکیبی از فلز پایه که همان فولاد کربنی است و پوشش فولاد ضد زنگ که به ضخامت 2-5mm بصورت پیوسته در یک سمت آن نورد شده است .

خواص مکانیکی این فولاد با فولاد کربنی یکسان است در عین حال مقاومت خوردگی آن برابر با پوشش فولاد ضد زنگ است. البته این در صورتی است که پوشش بصورت همگن و سالم و با ضخامت کافی (معمولاً 10-20 درصد ضخامت کل 2-5mm است) اضافه شود.

### ۳-۱-۵- فلزات غیر آهنی

فلزات غیر آهنی که در ساخت مخازن یا اجزای آنها بکار می روند عبارتند از:  
 آلومینیوم، مس، نیکل و آلیاژهایشان پلاتینیوم، نقره و سرب نیز به تنهایی یا بعنوان پوشش ممکن است بکار روند. علاوه بر آن تیتانیوم زیرکونیوم، و ... موجب بهبود کارکرد مواد می شوند.  
 در جدول ۱-۳ مشخصات فنی معادل مواد در پنج استاندارد آمریکایی، اروپایی، آلمانی، انگلیسی و ژاپنی آمده است.

جدول ۳-۱ مشخصات معادل مواد در استانداردهای کشورهای مختلف

EQUIVALENT & COMPARABLE MATERIALS OF FOREIGN COUNTRIES					
U.S.A.	European Standard	Germany	United Kingdom	Japan	
SA 285 Gr B	P 235 GH	H I	161 Gr 400	SB 410	
SA 515 Gr 60	P 265 GH	H II	161 Gr 430	SB 480	
SA 515 Gr 70	P 295 GH	17 Mn 4	224 Gr 340	SPV 315	
SA 299	P 355 GH	19 Mn 6	225 Gr 490	SPV 356	
SA 204 Gr A	16 Mo 3	15 Mo 3	—	SB 480 M	
SA 387 Gr 12 Class 2	13-Cr Mo 4-5	13-Cr Mo 44	630 Gr 27	SCMV2 Div. 2	
SA 387 Gr 22 Class 2	10 Cr Mo 9-10	10 Cr Mo 910	620 Gr 31	SCMV4 Div. 4	
SA 516 Gr 60	P 275 NH	WStE 285	164 Gr 400, Lt 20	SGV 450	
SA 516 Gr 70	P 355 NH	WStE 355	225 Gr 490, Lt. 20	—	
SA 572 Gr 65	P 460 NH	WStE 460	—	—	
SA 240 - 410 S	X6 Cr 13	1.4000	403 S 17	410 S	
SA 240 - 405	X6 Cr Al 13	1.4002	405 S 17	405	
SA 240 - 304	X5 Cr Ni 18-10	1.4301	304 S 31	304	
SA 240 - 304 L	X2 Cr Ni 19-11	1.4306	304 S 11	304 L	
SA 240 - 316	X5 Cr Ni Mo 17-12-2	1.4401	316 S 31	316	
SA 240 - 316 L	X2 Cr Ni Mo 17-12-2	1.4404	316 S 11	316 L	
SA 240 - 317 L	X2 Cr Ni Mo 18-15-4	1.4438	—	317 L	

## CODES, STANDARDS, SPECIFICATIONS

ASME Code II.	EN 10028-2,	DIN 17 102,	BS 1501, 4360,	JIS G 3103, 3115, 4109,
	10028-3, 10088	17155, 17440	970, 1449	3118, 4304 sus

## ۲-۳- خودآزمایی

- ۱- چه عواملی در انتخاب مواد برای ساخت مخازن تحت فشار موثر است؟
- ۲- مواد رایجی که در ساخت مخازن بکار میروند را نام ببرید و از هر کدام چند مثال بزنید.
- ۳- فولاد کم آلیاژ به چه فولادهایی اطلاق میشود و خواص این نوع فولاد چیست؟
- ۴- در مورد فولاد روکش شده توضیح دهید.
- ۵- فلزات غیر آهنی که در ساخت مخازن یا اجزای آن بکار میروند کدامند؟

فصل چهارم: استانداردها و کدهای مرتبط با مفازن تمّت فشار

#### اهداف فصل:

✓ آشنایی با استانداردهای معتبر در زمینه مفازن تمت فشار

✓ معرفی بخشهای مختلف استاندارد *ASME Sec. VIII*

## ۱-۴- استانداردهای بین المللی طراحی و سافت مخازن تحت فشار

بعضی از استانداردهای شناخته شده که در زمینه طراحی مخازن تحت فشار و مخازن ذخیره موجودند به قرار زیرند:

- *ASME boiler and pressure vessel code*
- *API*  
*API 620*  
*Design and construction of large low- pressure storage tanks*  
*API 650*  
*Welded steel tanks for oil storage*
- *BS 5500*
- *AD MERK BLLAT(DIN)*

استاندارد *BS 5500* استاندارد کشور انگلستان در زمینه طراحی مخازن تحت فشار است.

استاندارد *DIN* استاندارد کشور آلمان در این زمینه است.

استاندارد *API* استانداری در زمینه طراحی مخازن ذخیره است.

## ۲-۴- استاندارد *ASME code section VIII*

مخازن تحت فشار غالباً مطابق با *ASME code section VIII* طراحی می شوند.

*section VIII* این استاندارد خود به سه قسمت زیر تقسیم می شود:

- *Division 1*
- *Division 2*
- *Division 3*

*Division 1* بخاطر اینکه شامل الزامات کافی برای اغلب کاربرهای مخزن تحت فشار است، کاربرد

بیشتری دارد.

هدف اصلی کد *ASME* پایه گذاری حداقل الزاماتی است که برای ساخت و کارکرد ایمن مخازن لازم می باشد. این کد با تعیین الزامات مواد، طراحی، ساخت، بازرسی و تست که برای دست یابی به طراحی ایمن لازم هستند نقش مهمی در کمک به ایمنی انسانی دارد.

تجربه نشان می دهد که احتمال خرابی فاجعه بار مخازن تحت فشار با کاربرد کد *ASME* تا حد قبولی کاهش می یابد. این کد برای کاربرد در صنایع مختلف نوشته شده و بنابراین نمی توانند تمام جزئیات طراحی و کارکرد را مشخص کند. بنابراین استفاده کنندگان باید برای هر صنعت و کاربرد خاص موارد تکمیلی را که در این کد بحث نشده است را مشخص کنند.

### **Division 1 -۴-۲-۱**

این *division* برای فشارهای بالاتر از *15 psig* و کمتر از *3000 psig* بکار می رود. در فشارهای پائین تر از *15 psig* کد *ASME* اعمال نمی شود. در فشار بالاتر از *3000 psig* قوانین طراحی اضافی لازم است تا الزامات مربوط به طراحی و ساخت را که در چنین فشار بالایی نیاز هستند را پوشش دهد.

کد *ASME* برای اجزای سیستم پایپینگ که به مخازن تحت فشار متصل هستند قابل اعمال نیست. بنابراین در نازل‌های مخزن، کد *ASME* فقط برای اولین اتصالی که به لوله وصل است بکار می رود. این اتصال ممکن است در مکانهای زیر باشد:

- اتصالات جوشی از اولین اتصال محیطی
- اولین اتصال رزوه ای برای اتصالات پیچ و مهره ای
- پیشانی اولین فلنج برای اتصالات فلنجی پیچی
- اولین سطح آب بندی در اتصالات خاص یا *fittings*

کد همچنین برای بخشهای غیر فشاری که بصورت جوشی یا غیر جوشی به قسمتهای حامل فشار متصل اند بکار نمی رود. اما جوشهایی که موجب اتصال به قسمتهای فشاری می شوند باید از قوانین کد پیروی کنند. بنابراین مواردی مانند اجزای داخلی مخزن تحت فشار یا تکیه گاههای خارجی نیازی به پیروی از کد ندارند، بجز اجزایی که به مخزن جوش داده می شوند.

کد *ASME* همچنین موارد خاص دیگری را مشخص می کند که در آنجا اعمال نمی شود از جمله :

- *fired process tubular heaters leg., furnaces*
- *pressure containers that are integral parts mechanical device(e.g) pump, turbine, or compressor casing).*
- *Piping system and their components*

## Division 2 - ۲-۲-۴

هدف *div 2* با *div 1* یکسان است اما *div 2* شامل الزاماتی است که با آنچه در *div 1* موجود است متفاوت است. حوزه هایی که *div 2* با *div 1* در آنجا تفاوت دارد در زیر آمده است:

### تنش

حداکثر تنش پوسته ای اولیه برای یک مخزن تحت فشار در *div 2* بزرگتر از مقدار آن در *div 1* است. مخزن در *div 2* نازکتر است و مواد کمتری در ساخت آن بکار می رود و به جهت بالاتر بودن مقدار تنش مجاز پوسته ای اولیه، مستحکم تر است.

### محاسبات تنش

*Div 2* یک متد پیچیده از فرمولها و چارتهای را بکار می برد که در نتیجه محاسبات تنش نسبت به *div 1* دقیق تر انجام می گیرد.

### طراحی

بعضی از جزئیات طراحی که در *div 1* مجازند در *div 2* مجاز نیستند.

### کنترل کیفیت

کنترل کیفیت مواد در *div 2* سختگیرانه تر از *div 1* است.

### ساخت و بازرسی

*Div 2* الزامات سخت تری نسبت به *div 1* دارد.

انتخاب بین *div 1* و *div 2* بستگی به شرایط اقتصادی دارد. جاهایی که *div 2* محافظه کار از *div 1* است به قیمت مخزن افزوده می شود.

کاهش هزینه ای که بخاطر کاربرد مواد کمتر (بخاطر تنش پویسته ای مجاز بالاتر) در *div 2* ایجاد می شود باید بیشتر از افزایش هزینه ناشی از محافظه کارتر بودن *div 2* نسبت به *div 1* باشد تا طراحی بوسیله *div 2* جذابیت اقتصادی پیدا کند.

طراحی با *div 2* بیشتر برای مخازنی جذابیت دارد که به ضخامت جداره بزرگتری نیاز دارند. (مثلاً بالای 2 in.) همچنین برای مخازن تحت فشار خیلی بزرگ که کاهش ناچیز در ضخامت جداره لازم، کاهش بزرگی در وزن و بار وارده بر فونداسیون دارد استفاده از *div 2* مناسبتر است.

### Division 3 - ۳-۲-۱۴

*Div 3* برای طراحی، ساخت، بازرسی، تست و تایید مخازن تحت فشار حرارتی یا غیر حرارتی بکار می رود که عموماً در فشار (داخلی یا خارجی) بالاتر از 10,000 psi کار می کنند. این فشار ممکن است توسط یک منبع خارجی، واکنش فرآیندی، بوسیله بکارگیری حرارت یا ترکیب این موارد ایجاد شود. *Div 3* بر پایه حداکثر محدودیت های فشاری که در *div 1* یا *div 2* وجود دارد پایه گذاری نمی شود و هیچ حد فشاری نیز وجود ندارد.

## ۳-۴-۱- ساختار ASME section VIII division 1

*Div 1* به سه زیر بخش تقسیم می شود که در زیر آمده اند:

### ۱-۳-۴-۱ Subsection A

شامل قسمت *UG*، الزامات عمومی که برای تمام مخازن صرف نظر از روش ساخت یا مواد بکار می روند.

### ۲-۳-۴-۱ Subsection B

الزاماتی را پوشش می دهد که برای روشهای مختلف ساخت بکار می روند. *Subsection B* از بخش های *UB, UF, UW* که بترتیب با روشهای ساخت جوشکاری، فورجینگ و لحیم کاری سرو کار دارند تشکیل شده است.

### ۳-۳-۴-۱ Subsection C

این قسمت الزاماتی را پوشش می دهد که برای کلاسهای مختلف مواد بکار می روند و از قسمت های زیر تشکیل شده است:

- *UCS (carbon and low- alloy atell)*
- *UNF (nonferrous metals)*
- *UHA (high – alloy steel)*
- *UCI (cast iron)*
- *UCL (clad and lined material)*
- *UCD(cast ductile iron)*
- *UHT (ferritic steel with properties enhanced by heat treatment)*
- *ULW (layered construction)*
- *ULT (low- temperature materials)*

## جدول ۱-۴ بخشهای مختلف استاندارد ASME

<i>Section</i>	<i>Topic</i>
<i>I</i>	<i>Rules for Construction of Power Boiler</i>
<i>II</i>	<i>Material</i> <i>Part A- Ferrous Material Specification</i> <i>Part B- Nonferrous Material Specification</i> <i>Part C- Specifications for Welding Rods, Electrodes and Fillet Material</i> <i>Part D- Properties</i>
<i>III</i>	<i>Subsection NCA – General Requirements for Division 1 and Division 2</i>
<i>III</i>	<i>Division 1</i> <i>Subsection NB- Class 1 Components</i> <i>Subsection NC- Class 2 Components</i> <i>Subsection ND- Class 3 Components</i> <i>Subsection NE- Class MC Components</i> <i>Subsection NF- Supports</i> <i>Subsection NG- Core Support Structures</i> <i>Subsection NH- Class 1 Components in Elevated Temperature Service</i> <i>Appendix</i>
<i>III</i>	<i>Division 2- Code for Concrete Reactor Vessels and Containments</i>
<i>III</i>	<i>Division 3 – Containment System for Storage and Transport Packaging of Spent Nuclear Fuel and High Level Radioactive Material and Waste</i>
<i>IV</i>	<i>Rules for Construction of Heating Boilers</i>
<i>V</i>	<i>Nondestructive Examination</i>
<i>VI</i>	<i>Recommended Rules for the Care and Operation of Heating Boiler</i>
<i>VII</i>	<i>Recommended Guidelines for the Care or Power Boiler</i>
<i>VIII</i>	<i>Rules for Construction of Pressure Vessels</i> <i>Division 1</i> <i>Division 2- Alternative Rules</i> <i>Division3- Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels</i>
<i>IX</i>	<i>Welding and Brazing Qualifications</i>
<i>X</i>	<i>Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels</i>
<i>XI</i>	<i>Rules for In service Inspection of Nuclear Power Plant Components</i>

## ۱۴-۱۴- خود آزمایی

- ۱- استانداردهای رایجی که در زمینه مخازن تحت فشار موجودند را نام ببرید.
- ۲- محدوده کاربرد *Division 1* استاندارد *ASME* چیست؟
- ۳- موارد تفاوت *Division 2* با *Division 1* کدامند و استفاده از هر کدام چه مزایا و معایبی دارد؟
- ۴- *Division 3* در مورد کدام دسته از مخازن بکار می‌رود؟
- ۵- زیر بخشهای *Division 1* کدامند و موضوع بحث هر کدام چیست؟

## فصل پنجم : سافت و بازرسی فنی مخازن

#### اهداف فصل:

- ✓ آشنایی با روشهای سافت مفازن تمّت فشار
- ✓ آشنایی با جوشکاری مفازن به عنوان روش رایج سافت
- ✓ آشنایی با بازرسی فنی مفازن تمّت فشار

نیازهای عمومی برای ساخت مخازن تحت فشار در *UG-75* تا *UG-84* استاندارد *ASME*

*section VIII Div1* آمده است.

*ASME sec.VIII Div1* به سه زیر بخش تقسیم می شود. زیر بخش *B* قوانینی را برای روشهای جوشکاری، فورجینگ و لحیم کاری در ساخت مخازن ارائه می دهد. این روشها می توانند با هم بیا بصورت مجزا بکار روند.

### ۱-۵- سافت بوسیله جوشکاری

قسمت *UW (Unfired welded)* استاندارد *ASME* شامل قوانینی برای ساخت مخازن بوسیله جوشکاری است.

*UW-9* اجازه می دهد که جوش هایی لب به لب (*butt welds*) با بکار گیری فرآیندهای جوشکاری تحت فشار که در زیر لیست شده اند ساخته شوند:

- جوشکاری شعله ای (*flash welding*)
- جوشکاری القائی (*induction welding*)
- جوشکاری مقاومتی (*resistance*)
- جوشکاری فشاری حرارتی (*thermit pressure welding*)
- جوشکاری فشاری گاز (*gas pressure welding*)
- جوشکاری دوران سریع و فشار سطوح (*inertia welding*)
- *Contionous drive ftiction welding*
- جوشکاری انفجاری (*explosive welding*)

در تمام این فرآیندها، فشار یا ضربه در طول فرآیند ذوب به ماده وارد می شود.

جوشکاری قوس و جوشکاری گاز می توانند برای ساخت جوش های شیاری (*groove welds*)، جوشهای نواری (*fillet welds*) و *over lay welds* بکار روند.

جوشهای قوسی به فرایندهای داده شده در *UW-27(a)* محدود می شود که در زیر به آنها اشاره شده است.

- *shielded metal arc welding (SMAW)*
- *submerged arc welding (SAW)*
- *gas metals arc welding (GMAW)*
- *gas tungsten arc welding (GTAW)*
- *plasma arc welding (PAW)*
- *electroslag welding (ESW)*
- *electrode gas welding (EUW)*
- *electron beam welding (EBW)*
- *laser beam welding (LBW)*
- *hydrogen metal arc welding*



شکل ۱-۵ *submerged arc welding (SAW)*

## ۱-۱-۵- سیستم طبقه بندی اتصالات جوش

در *ASME Sec. VIII* نیازهای جوش بر طبق تنش اصلی در اتصال جوشی، ناشی از فشار داده شده است. چهار وضعیت از هندسه تنش تعیین شده و با نامهای دسته *A*، دسته *B*، دسته *C* و دسته *D* نامگذاری شده اند.

### دسته *A*

شامل اتصالات محوری و اتصالات محیطی بین عدسی های کروی و پوسته

### دسته *B*

جوشهای محیطی در طول بدنه اصلی مخزن و نازلها، محل تقاطع قطرهای مختلف و جوشهای محیطی در محل اتصال به عدسی

### دسته *C*

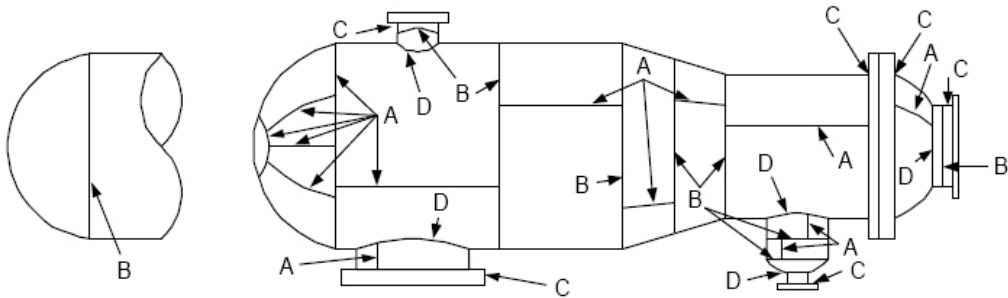
اتصالات *Flat head , tube sheet , flanges*

### دسته *D*

دسته *D* شامل اتصالاتی هستند که بین متعلقات و مخزن تحت فشار و یا اجزای فرعی قرار دارند.

( اتصالات *flange to shell* و کلیه اتصالات نازلها به بدنه اصلی )

شکل ۲-۵ چگونگی اختصاص این دسته بندیها را روی یک مخزن تحت فشار نشان میدهد.



شکل ۲-۵ نمایش طبقه بندی اتصالات جوش

## ۲-۱-۵- بازده اتصالات جوش

بازده اتصال جوش، یک فاکتور اطمینان است که بر پایه فرآیند اتصال، نوع اتصال، جزئیات و درجه آزمایش اتصال، به اتصالات اختصاص می یابد. این فاکتور بر پایه یکپارچی ساختاری ماده اختصاص می یابد. به محصول فورج شده بعنوان پایه استاندارد، بازده  $E=1$  اختصاص می یابد. این عدد با توجه به رادیو گرافی اتصال تعیین می شود و در مقدار تنش مجاز ماده ضرب می شود با ضرب این مقدار ضریب اطمینان و به تبع آن ضخامت قطعه افزایش می یابد. در حقیقت استاندارد *ASME VIII.div1* با در نظر گرفتن بازده اتصال روی اتصالات اصلی مقادیر مختلفی را برای ضریب اطمینان در نظر می گیرد به عنوان مثال یک اتصال اصلی روی پوسته استوانه ای که به طور کامل رادیوگرافی شده است دارای بازده اتصال  $E=1$  است. در این حالت ضریب اطمینان همان  $3/5$  است. حال اگر اتصال اصلی بصورت کامل رادیو گرافی نشود و  $E=0.7$  باشد، بدون معناست که ضریب اطمینان ۵ در نظر گرفته شده است و در نتیجه ضخامت مورد نیاز ورقها ۴۳

درصد نسبت به زمانی که رادیوگرافی کامل انجام می شود، افزایش پیدا می کند. همانطور قبلاً اشاره شد، در *ASME VIII.1* چهار دسته مختلف برای اتصالات اصلی محوری و محیطی در نظر گرفته شده است که با *D, C, B, A* شناخته می شوند.

در جدول ۱-۵ حداکثر بازده اتصال مجاز برای جوشهای قوس و گاز داده شده است.

## جدول ۵-۱ حداکثر بازده مجاز اتصال برای جوشهای گاز و قوس

**MAXIMUM ALLOWABLE JOINT EFFICIENCIES<sup>(1)</sup> FOR ARC- AND GAS-WELDED JOINTS**

Type No.	Joint Description	Limitations	Joint Category	Degree of Radiographic Examination		
				a Full	b Spot	c None
(1)	Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surfaces to agree with the requirements of UW-35. Welds using metal backing strips which remain in place are excluded.	None	A, B, C & D	1.0	0.85	0.70
(2)	Single-welded butt joint with backing strip other than those included under (1)	(a) None except as shown in (b) below	A, B, C & D	0.90	0.80	0.65
		(b) Circumferential butt joints with one plate offset, see UW-13(c) and Fig. UW-13.1(k).	A, B & C	0.90	0.80	0.65
(3)	Single-welded butt joint without use of backing strip	Circumferential butt joints only, not over 5/8 in. thick and not over 24 in. outside diameter	A, B & C	NA	NA	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	Longitudinal joints not over 3/8 in. thick	A	NA	NA	0.55
		Circumferential joints not over 5/8 in. thick	B & C	NA	NA	0.55
(5)	Single full fillet lap joints with plug welds conforming to UW-17	(a) Circumferential joints <sup>(2)</sup> for attachment of heads not over 24 in. outside diameter to shells not over 1/2 in. thick	B	NA	NA	0.50
		(b) Circumferential joints for the attachment to shells of jackets not over 5/8 in. in nominal thickness where the distance from the center of the plug weld to the edge of the plate is not less than 1-1/2 times the diameter of the hole for the plug.	C	NA	NA	0.50
(6)	Single full fillet lap joints without plug welds	(a) For the attachment of heads convex to pressure to shells not over 5/8 in. required thickness. Only with use of fillet weld on inside of shells, or				
		(b) For attachment of heads having pressure on either side. To shells not over 24 in. inside diameter and not over 1/4 in. required thickness with fillet weld on outside of head flange only.	A & B	NA	NA	0.50

## Notes:

(1) E = 1.0 for butt joints in compression.

(2) Joints attaching hemispherical heads to shells are excluded.

## ۲-۵- ساخت به روش فورجینگ

ساخت به روش فورجینگ در قسمت UF (Unfired Forged) استاندارد ASME آمده است. مخازن ممکن است بطور کامل به روش فورجینگ ساخته شوند. این بخش برای اجزای مخزن نیز که به روش فورجینگ ساخته می شوند، بجز اجزائی که بصورت سنتی Fittings نامیده می شوند، بکار می رود.

مخازنی که بطور کامل بروش فورجینگ ساخته می شوند ممکن است بخاطر اندازه کوچک مخزن از section VIII مستثنی باشند. گرچه هنگامی که بوسیله سایر کدها، قوانین یا الزامات قرار داد تعیین شده باشد ممکن است برطبق الزامات division ساخته شوند.



(b)



(a)

شکل ۳-۵ اجزای مخازن تحت فشار ساخته شده به روش فورجینگ

(a) عدسی انتهایی (b) فلنج LWN

### ۳-۵- سافت به روش لحیم کاری

قسمت UB (Unfired Brazed) شامل قوانینی برای ساخت بروش اتصال لحیم کاری (BRAZING) است.

UB-1 لحیم کاری را بعنوان یک فرآیند اتصال مواد معرفی می کند که با کاربرد یک فلز پر کننده غیر آهنی بدست می آید. نقطه ذوب این فلز از  $840^{\circ}\text{F}$  ( $449^{\circ}\text{C}$ ) بزرگتر است اما از نقطه ذوب فلزاتی که بهم متصل می شوند کمتر است. فاصله بین دو فلزی که متصل می شوند باید به اندازه کافی کوچک باشد تا اطمینان حاصل شود که استحکام اتصال را به اندازه کافی بالا است. *Soldring* یک فرآیند اتصال است که فلزات پر کننده با نقطه ذوب کمتر از  $840^{\circ}\text{F}$  ( $449^{\circ}\text{C}$ ) را بکار می برد. استفاده از این روش برای ساخت مخازن تحت فشار مجاز نیست.

### ۴-۵- بازرسی فنی مخازن و ظروف تحت فشار

نحوه انجام بازرسی مخازن تحت فشار مطابق با استاندارد *ASME* به شرح زیر است:

- مرحله صفر: بازدید مدارک (*document review*)
- مرحله اول: بازدیدهای چشمی (*visual check*)
- مرحله دوم: تست نیوماتیک (*pneumatic test*)
- مرحله سوم: تست هیدرواستاتیک (*hydrostatic test*)
- مرحله چهارم: انجام یکی از تست های *RADI* غیر مخرب که در صنایع نفت و گاز عمدتاً تست *RT* در مورد مخازن تحت فشار سفارش می شود.

مرحله دوم و سوم در *ASME sec.V* یک مرحله تحت عنوان *leak test* تلقی می شوند.

## مرحله صفر : بازدید مدارک

در این مرحله وظیفه بازرس مشاهده کلیه مدارک مانند *RT MAP, WELD MAP, WPS* و نقشه طراحی مخزن می باشد که در زیر هر کدام از این موارد توضیح داده می شود:

### الف - WPS

بازرس باید *WPS (WELDING PROCEDURE SPECIFICATION)* که بیانگر روش

جوشکاری است را بطور دقیق مطالعه کرده و به این نتیجه برسد که سازنده بر طبق *WPS* جوشکاری نموده است. *WPS* عمدتاً توسط طرح ارائه می گردد که در آن نحوه آماده سازی قطعات تا پایان مراحل جوشکاری ارائه شده است. سازنده می بایست کاملاً بر طبق *WPS* ارائه شده، جوشکاریهای لازم را پیش ببرد.

### ب - WELD MAP

قسمت اعظم بازرسی جوش در این مرحله انجام می گیرد. بازرس با مطالعه *WELD MAP* آنرا با خطوط جوش انجام شده روی مخزن تطبیق می دهد تا مطمئن شود خطوط جوش در جای اصلی خود قرار دارند.

### ج - RT MAP

در این جا روی نقشه مشخص شده که کدام جوش یا جوشها باید مورد آزمایش رادیوگرافی قرار گیرد که معمولاً با علامت *V* یا *C* مشخص می گردند.

بازرس می باید از نتایج رادیوگرافی روی این نقاط مطلع گردد. در صورت عدم وجود *RESHOO* رادیوگرافی انجام گرفته مورد قبول است و در غیر این صورت جوش باید اصلاح گردد.

**د- (WELDED PROCEDURE QUALITY) WPQ**

در این مرحله بازرسی می بایست کلیه جوشکارها را زیر نظر بگیرد و از آنها در ارتباط با جوشکاری که قرار است انجام دهند گواهینامه جوشکاری در خواست کند. **WPQ** مطابق با **ASME sec. IX** نوشته می شود و بازرسی نیز بر همین اساس انجام می گیرد. بطور مثال هر شش ماه باید مجدداً از جوشکارها تست گرفته شود.

**مرحله اول : بازرسی چشمی (visual ckeck)**

در این مرحله بازرسی بصورت چشمی جوشها را بازرسی کرده و عیوب احتمالی را مشخص می کند. سپس در جهت دفع این عیوب اقدام می کند.

در این نوع بازرسی فقط سطح مورد بازمینی قرار می گیرد و بازرسی تنها قادر است عیوبی را که با چشم غیر مسلح قابل بررسی است تشخیص دهد. در صورت مشاهده عیوب از سایر روشهای خاص مانند **PT, MT** استفاده می شود. برای مثال اگر ترکی روی خطوط جوش مشاهده گردد ابتدا سنگ زده می شد و در جایی که سنگ زنی دیگر مجاز نیست، برای مشاهده نحوه گسترش ترک از تست **PT** استفاده می شود..

**مرحله دوم: تست نشتی (leak test)****Pneumatic test**

برای بازرسی جوش **rain furce pads** یا **pad flanges** از تست نیوماتیک استفاده می شود.

برای خروج گازهای ناشی از جوشکاری در دور تا دور **pad** ها سوراخی که به آن **telltale hole** گفته می شود روی **pad** ها که محل قرار گیری نازلها می باشند ایجاد می شود.

روش کار به این صورت است که ابتدا کمپرسور را روشن کرده و با استفاده از یک لوله شروع به دمیدن هوا با فشار متوسط به داخل **telltale** می کنند و اطراف **pad** مربوطه یا عبارتی جوش دور

*pad* را با کف صابون (*soap*) می پوشانند. در صورت وجود درز جوش، ترک، حفره یا هر عیبی از جوش که باعث عدم اتصال کامل شده باشد هوا وارد آن قسمت شده و روی خطوط جوش حباب ظاهر می شود. این کار هم از خارج و هم از داخل مخزن انجام می شود.

در صورت وجود هر گونه نشتی (*leakage*) باید آن قسمت دوباره جوش داده شده و سنگ زده شود و مجدداً تست گردد.

نکته مهم این است که بعد از تست نیوماتیک *pad* ها، هیچ عملیات دیگری نباید انجام شود چرا که ممکن است باعث زخمی شدن جوش گردد.

### مرحله سوم: *Hydrostatic test*

این قسمت مهمترین قسمت در بازرسی مخازن تحت فشار است. بر طبق استاندارد *ASME sec.V* برای تست هیدرواستاتیک هر مخزن تحت فشار، فشار آب باید تا ۱/۵ برابر فشار کاری مخزن بالا رود. زمان انجام تست معمولاً ۱ ساعت است. برای مثال اگر فشار کاری مخزن *8 bar* باشد، مخزن می بایست تا فشار *13 bar* تست شود. تست مخزن در همان حالتی انجام خواهد شد که مخزن قرار است در آن حالت کار کند.

تست هیدرواستاتیک بمنظور پیدا کردن نقاط نشتی روی خطوط جوش انجام می شود. در صورتی که نشتی یا رطوبتی روی خطوط جوش وجود داشته باشد و موجب افت فشار *GAGE* گردد،

تست متوقف شده و محل نشتی روی خطوط جوش مشخص شده و سپس این محل دوباره

جوشکاری می شود. (طبق *WPS* جدید) سپس دستور *RT* توسط بازرسی صادر می شود تا صحت

جوشکاری در این قسمت تایید شود. پس از آن مجدداً *Hydrotest* انجام می شود.

مشاهده هر گونه رطوبت، افت فشار یا تغییر شکل مخزن باعث مردود شدن هیدروتست می گردد. لذا تست زمانی قابل قبول است که هیچکدام از عیوب فوق دیده نشود. انجام هر گونه عملیات مکانیکی بعد از تست هیدرواستاتیک مردود می باشد.



شکل ۴-۵ انجام تست هیدرواستاتیک روی یک مخزن تحت فشار

### مرحله چهارم: تست غیر مفرب (رادیوگرافی)

در هنگام انجام تست رادیوگرافی باید به فاکتور مهمی بنام بازده اتصال (*joint efficiency*) جوش توجه شود. بازده اتصال قبلاً در قسمت ساخت بوسیله جوشکاری توضیح داده شد. طبق استاندارد *ASME* این ضریب عددی از بین *0.65* تا *1.0* است.

ضریب ۱ به خطوط جوشی تعلق می گیرد که بصورت کامل رادیوگرافی شده باشند. کلیه خطوط جوش باید رادیوگرافی شوند و نتیجه این تست ها توسط بازرس ارزیابی گردد. در صورتی که قسمتی از جوش *RESHOOT* داشته باشد دستور تعمیر داده می شود و مجدداً تست انجام می شود. بازرسی می بایست قبل از بازرسی نتایج رادیوگرافی، نقاطی را که باید تست شوند بخوبی بشناسد.

## ۵-۵- خودآزمایی

- ۱- انواع فرآیندهای جوشکاری که در ساخت مخازن تحت فشار کاربرد دارند را نام ببرید.
- ۲- در مورد طبقه بندی اتصالات جوش در استاندارد *ASME Sec VIII* توضیح دهید. هر کدام از دسته های *A*، *B*، *C* و *D* به کدام نوع از اتصالات اختصاص مییابد؟
- ۳- بازده اتصال جوش چیست و چگونه تعیین میشود؟
- ۴- مراحل مختلف انجام بازرسی فنی را نام ببرید و مختصری درباره هر کدام توضیح دهید.
- ۵- دو نمونه از روشهای انجام تست نشتی را نام برده و در مورد هر کدام توضیح دهید.

## فصل نهم: طراحی مفازن تحت فشار

### اهداف فصل:

✓ آشنایی با طراحی پوسته های استوانه‌ای و کروی

✓ آشنایی با طراحی برجهای بلند

## ۱-۶- طراحی پوسته ها تحت فشار داخلی

### ۱-۱-۶- طراحی پوسته های استوانه ای

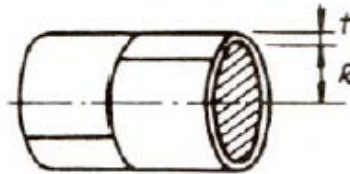
حداقل ضخامت برای پوسته های استوانه ای باید بزرگتر از ضخامت های محاسبه شده توسط فرمولهای زیر باشد. همچنین حداکثر فشار کاری مجاز باید از فشار محاسبه شده توسط فرمولهای زیر کوچکتر باشد. در ساخت مخازن تحت فشار برای به شکل سیلندر در آوردن ورقها یک سری خط جوش محوری بوجود می آید. همچنین برای اتصال چند سیلندر به هم نیاز به خط جوشهای محیطی است. به خاطر ایجاد تنش در هر دو راستا طراحی به صورت زیر انجام می گیرد.

### تنش های محیطی (اتصالات و خط جوشهای مموری)

الف) هنگامی که  $(t \leq 0.5R , P \leq 0.385SE)$

$$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$$

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$$



$P$ : فشار طراحی یا حداکثر فشار کاری مجاز ( $Psi$ )

$S$ : حداکثر تنش مجاز ماده ( $psi$ )

$E$ : بازده اتصالات، بازده اتصال برای اتصالات غیر از پیچ و مهره تعریف می شود. در مورد

اتصالات جوشی این فاکتور نشان دهنده میزان مرغوبیت جوشهای موجود در یک مخزن تحت

فشار است و با توجه به نوع تستی که روی جوش اعمال می شود به دست می آید.

این ضریب معمولاً در تنش مجاز ماده ( $S$ ) ضرب می شود.

$R$ : شعاع داخلی پوسته قبل از اعمال خوردگی مجاز

$t$ : حداقل ضخامت لازم برای پوسته بدون در نظر گرفتن خوردگی

$C.A$ : خوردگی مجاز ( $in$ )

ب) هنگامی که ضخامت از نصف شعاع داخلی بیشتر شود یا فشار از ( $0.385SE$ ) تجاوز کند:

$$t = R(Z^{\frac{1}{2}} - 1)$$

که در آن:

$$Z = \frac{SE + P}{SE - P}$$

$$P = SE \left( \frac{Z - 1}{Z + 1} \right)$$

که در آن:

$$Z = \left( \frac{R + t}{R} \right)^2$$

### تنش های مموری (اتصالات و قط جوشهای ممیطی )

الف) وقتی که ضخامت از نصف شعاع داخلی بیشتر نشود و فشار از  $1.25SE$  تجاوز

نکند. ( $t \leq 0.5R$  ,  $P \leq 1.25SE$ )

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P}$$

$$P = \frac{2SE}{R - 0.4t}$$

ب) هنگامی که ضخامت از نصف شعاع داخلی بیشتر شود یا فشار از  $1.25SE$  تجاوز کند.

$$(t > 0.5R, P > 1.25SE)$$

$$t = R(Z^2 - 1)$$

که در آن:

$$Z = \left(\frac{P}{SE} + 1\right)$$

$$P = SE(Z - 1)$$

$$Z = \left(\frac{R+t}{R}\right)^2$$

که در آن:

لازم به ذکر است که از فرمولهای تنش محوری وقتی استفاده می شد که :

- بازده اتصالات در راستای محیطی کمتر از نصف بازده در راستای محوری باشد. (برای پوسته های استوانه ای تنش محوری نصف تنش محیطی است.)
- هنگامی که بارهای دیگری از قبیل نیروهای باد و خمش های ناشی از عکس العمل تکیه گاهها و غیره روی مخزن اعمال شوند که این مسأله موجب افزایش تنش محوری می شود.

#### ۲-۱-۶- طراحی پوسته های کروی

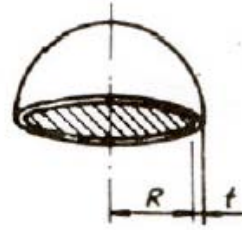
به خاطر اینکه در یک پوسته کروی تنش در تمامی جهات مساوی است، خط جوش در طراحی مخازن کروی اهمیتی ندارد. پوسته های کروی معمولاً از اتصال یک سری ورقهای فرم داده شده گلبرگ مانند به وجود می آیند.

الف) هنگامی که ضخامت پوسته کروی از  $0.365R$  بیشتر نشود و فشار از  $0.665SE$  تجاوز نکند:

$$( t \leq 0.365R , P \leq 0.665SE )$$

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$$

$$P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$$



ب) هنگامی که ضخامت پوسته کروی از  $0.365R$  بیشتر شود و یا فشار از  $0.665SE$  تجاوز کند:

$$( t > 0.365R , P > 0.665SE )$$

$$t = R(y^{\frac{1}{3}} - 1)$$

که در آن:

$$y = \frac{2(SE + P)}{2SE - P}$$

$$P = 2SE \left( \frac{y - 1}{y + 2} \right)$$

که در آن:

$$y = \left( \frac{R + t}{R} \right)^3$$

مثال:

برای داده های زیر ضخامت لازم پوسته را محاسبه کنید.

$$P = 100 \text{ psi}$$

$$S = 20000 \text{ psi}$$

(مقدار تنش ورق SA515-70 در  $500^\circ F$ )

بازده اتصالات *spot-examined* پوسته و عدسی نیم کروی به پوسته:

$$E = 0.85$$

بازده اتصال عدسی های بدون درز:

$$E = 1.00$$

$$R^* = 48 \text{ (in)}$$

$$D^* = 96 \text{ (in)}$$

$$t = \text{ضخامت لازم (in.)}$$

$$C.A. = 0.125 \text{ (in)}$$

\*: در شرایط خوردگی بزرگتر از میزان مجاز

$$t = \frac{100 \times 48.125}{20000 \times 0.85 - 0.6 \times 100} = 0.284 \text{ (in)}$$

$$t + C.A. = 0.284 + 0.125 = 0.409 \text{ (in)}$$

از ورق  $0.500 \text{ (in)}$  استفاده می شود.

حداکثر فشار کاری مجاز  $P$  برای ضخامت  $0.500 \text{ (in)}$  پوسته هنگامی که مخزن در شرایط جدید

است را محاسبه کنید.

$$P = \frac{20000 \times 0.85 \times 0.500}{48 + 0.6 \times 0.500} = 176 \text{ (psi)}$$

ضخامت لازم  $t$  را برای عدسی نیم کروی محاسبه نمایید.

$$t = \frac{100 \times 48.125}{2 \times 20000 \times 0.85 - 0.2 \times 100} = 0.142 \text{ (in)}$$

$$t + C.A. = 0.142 + 0.125 = 0.267$$

از ورق  $0.3125 \text{ (in)}$  استفاده شود.

حداکثر فشار کاری مجاز  $P$  برای عدسی با ضخامت  $0.3125 \text{ (in)}$  هنگامی که در شرایط جدید

است را محاسبه نمایید.

$$P = \frac{2 \times 20000 \times 0.85 \times 0.3125}{48 + 0.2 \times 0.3125} = 221 \text{ (psi)}$$

## ۲-۶- طراحی برجهای بلند

بعد از نصب مخازن در محل سرویس دهی آنها، به خاطر وجود باد و امکان وقوع زلزله، ممکن است یک سری نیروهایی روی مخزن اعمال شوند که در زمان طراحی مخزن باید در نظر گرفته شوند و ضخامت بدست آمده در طراحی مخزن تحت فشارهای داخلی و خارجی برای تحمل این نیروها کنترل شود.

### ۱-۲-۶- آنالیز تنش های ناشی از باد

این آنالیز بر پایه استاندارد *ANSI/ASCE 7-95* مصوب *1996* است

- سرعت پایه باد باید از نقشه باد گرفته شود. این نقشه برای کشور آمریکا در صفحات بعد آمده است.
- حداقل فشار طراحی باد نباید از *10 lb/sq.ft* کمتر باشد.
- فشار باد روی مساحت تصویر شده یک برج استوانه ای توسط فرمول زیر محاسبه می شود.

$$F = q_z G C_f A_f$$

$F$ : نیروی طراحی باد بر حسب (*lb*) در مساحت تصویر شده برج

$A_f$ : مساحت تصویر شده برج (*sq.ft.*)

$$A_f = D \times H$$

$D$ : قطر خارجی برج

$H$ : ارتفاع مد نظر برج

$C_f$ : فاکتور شکل

برای برج های استوانه ای  $C_f = 0.8$

**G:** فاکتور واکنش باد ( $Gh&Gz$ )

این فاکتور بستگی به ناحیه جغرافیایی قرار گیری برج دارد و سه ناحیه بصورت زیر تعریف می شود:

**ناحیه B**

برای مناطق شهری یا حومه شهر این فاکتور  $0.8$  در نظر گرفته می شود.

**ناحیه C**

برای مناطق باز با موانع پراکنده مقدار  $0.85$  در نظر گرفته می شود.

**ناحیه D**

برای مناطق صاف و بدون مانع مقدار  $0.85$  در نظر گرفته می شود.

$q_z$ : فشار سرعت در ارتفاع  $z$  بالای سطح زمین ( $lb/sq.in.$ )

$$q_z = 0.00256 k_z k_{zt} V^2 I$$

**I:** فاکتور اهمیت سازه

برای سازه هایی که در اثر وقوع شکست خطر کمی برای جان انسان ایجاد کنند:  $I=1.0$

**V:** سرعت باد ( $mph$ )

**$K_{zt}$ :** فاکتور توپوگرافی

هنگامی که وزش باد سریع بر روی تپه ها و شیب تند وجود ندارد:

$$K_{zt} = 1.0$$

**$K_z$ :** فشار سرعت

جدول ۱-۶ برای بدست آوردن مقدار  $q$  استفاده می شود.

جدول ۶-۱ فشار باد بر حسب سرعت

<b>VELOCITY PRESSURE, <math>q</math></b>							
<b>Basic wind speed, mph, <math>V</math></b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>120</b>	<b>130</b>
<b>Velocity pressure psf <math>0.00256V^2, q</math></b>	<b>13</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>31</b>	<b>37</b>	<b>44</b>

جدول زیر مقدار  $G$  در نواحی  $D, C, B$  را نشان می دهد.

جدول ۶-۲ مقدار فاکتور  $G$  بر اساس ارتفاع در مناطق  $B, C, D$

<b>COFFICIENT <math>G</math></b>			
<b>Gust response factor combined with Exposure Coefficient</b>			
<b>HIGHT</b> <b>Above Ground ft.</b>	<b>EXPOSURE B</b>	<b>EXPOSURE C</b>	<b>EXPOSURE D</b>
<b>0-15</b>	<b>0.6</b>	<b>1.1</b>	<b>1.4</b>
<b>20</b>	<b>0.7</b>	<b>1.2</b>	<b>1.5</b>
<b>40</b>	<b>0.8</b>	<b>1.3</b>	<b>1.6</b>
<b>60</b>	<b>0.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.7</b>
<b>80</b>	<b>1.0</b>	<b>1.5</b>	<b>1.8</b>
<b>100</b>	<b>1.1</b>	<b>1.6</b>	<b>1.9</b>
<b>140</b>	<b>1.2</b>	<b>1.7</b>	<b>2.0</b>
<b>200</b>	<b>1.4</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>
<b>300</b>	<b>1.6</b>	<b>2.0</b>	<b>2.2</b>
<b>500</b>	<b>1.9</b>	<b>2.3</b>	<b>2.4</b>

- مساحت قفسه نردبان ممکن است به اندازه (  $1 \text{ sq.ft.}$  ) بر  $\text{ft.}$  خطی تقریب زده شود.
- مساحت تصویر شده سکو (  $\text{plat form}$  ) (  $8 \text{ sq.ft.}$  ) در نظر گرفته می شود.

معمولاً مشتریان مخازن فشار باد را بدون مراجعه به مناطق ارتفاع روی نقشه نواحی، برای

سازندگان مشخص می کنند. برای مثال  $30 \text{ lb/sq.ft.}$

این فشار مشخص شده باید برای تمام مخزن بطور یکنواخت در نظر گرفته شود. فشار نهایی روی

برج محصول فشار واحد و مساحت تصویر شده برج است.

با قرار گیری درست تجهیزات، ناحیه در معرض باد بطور قابل ملاحظه ای کم می شود برای مثال،

با قرار گیری قفسه نردبان در زاویه  $90^\circ$  از خط بخار.

مثال:

نیروی باد  $F$  را محاسبه نمایید.

داده ها:

$$V = 100 \text{ m.p.h} \quad (\text{سرعت باد})$$

$$D = 6 \text{ ft.} \quad (\text{قطر برج})$$

$$H = 80 \text{ ft.} \quad (\text{ارتفاع برج})$$

برج در ناحیه صاف و بدون مانع یعنی در ناحیه  $D$  واقع شده است.

$$F = q_z \times G \times C_f A_f$$

$$Q = 26 \text{ psf} \quad \text{از جدول}$$

$$G = 1.8 \quad \text{از جدول}$$

$$= 0.8 \quad \text{فاکتور شکل}$$

مساحت:

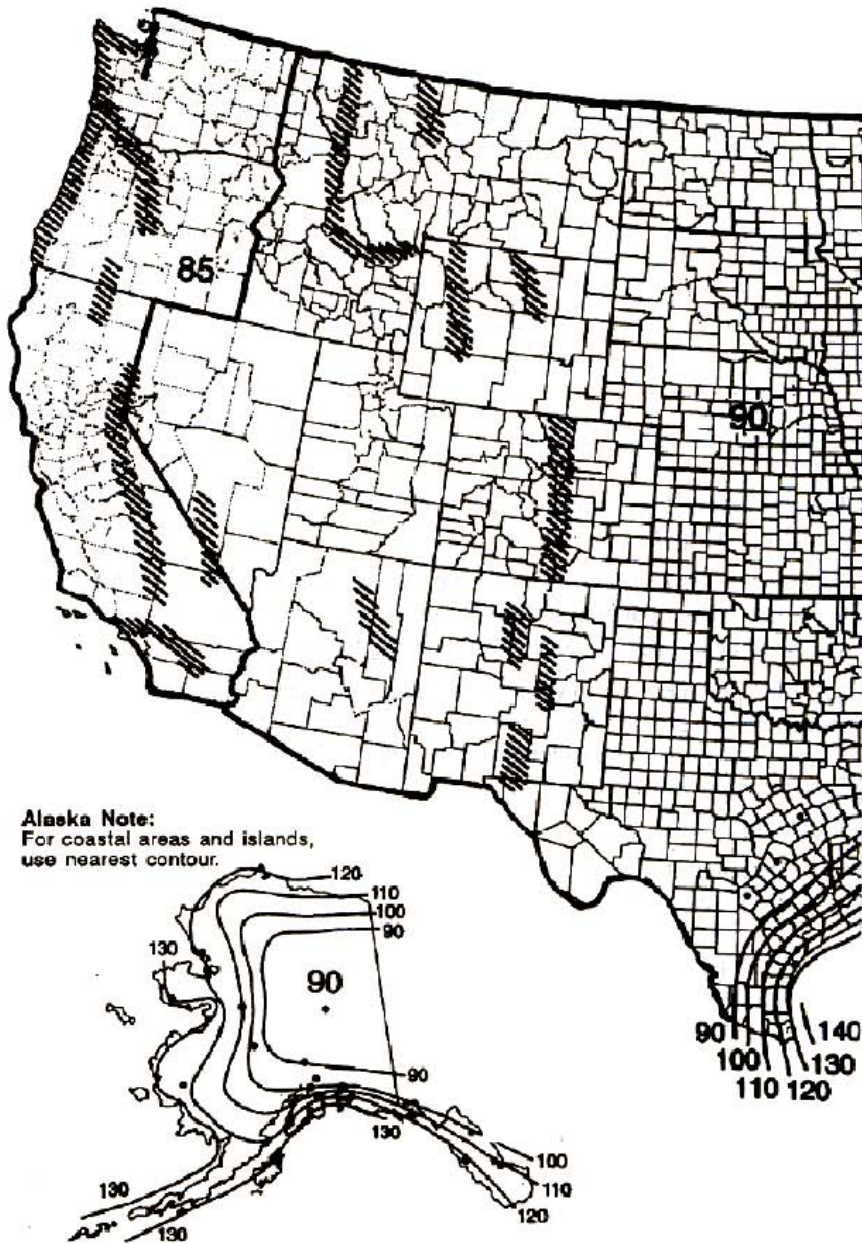
$$A_f = DH = 6 \times 80 = 480 \text{ sq. ft.}$$

بنابراین:

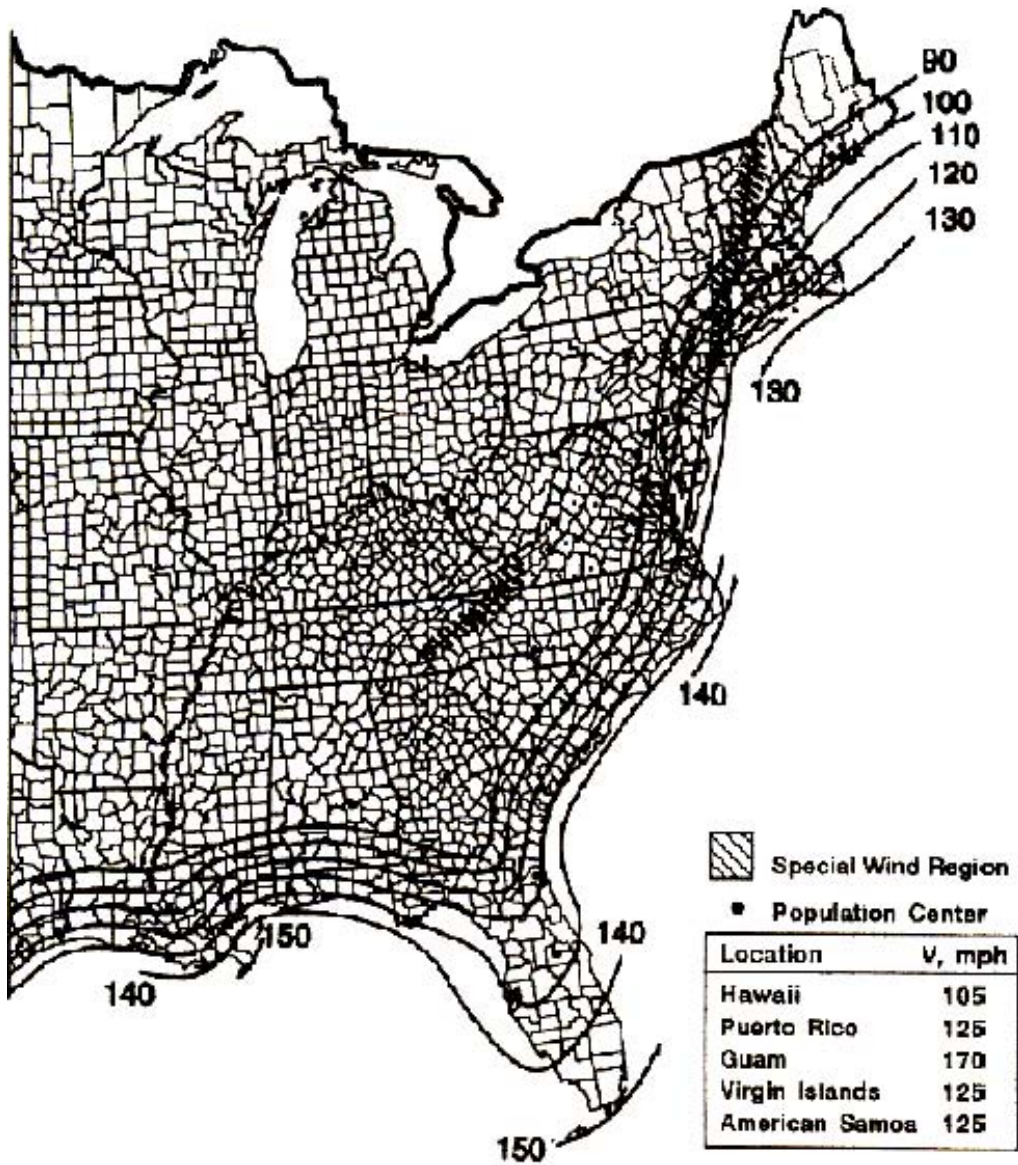
$$F = 26 \times 1.8 \times 0.8 \times 480 = 17,971 \text{ lbs.}$$

شکل ۳-۶ نقشه سرعت باد در ایالات متحده آمریکا

### MAP OF WIND SPEED, V (miles per hour)



ANSI/AASCE STANDARD 7-95  
Courtesy of American Society of Civil Engineers



## روش دیگر

روش جایگزین محاسبه نیروی باد بر پایه استاندارد *ASA A58. 1-1955* است. این استاندارد منسوخ شده است اما هنوز در برخی کشورها و کدها مورد استفاده قرار می گیرد. سرعت باد در *30ft* بالای سطح زمین در ایالات متحده آمریکا در صفحه بعد نشان داده شده است. جدول زیر فشار باد را برای ارتفاعهای مختلف بالای سطح زمین مناطقی که در نقشه آمده است نشان می دهد.

جدول ۳-۶ فشار باد بر حسب ارتفاع

فشار باد $P_w$ هنگامی که سطح مقطع، افقی مربع یا مستطیل است.							
مناطق نقشه							ناحیه ارتفاع <i>ft.</i>
۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	
۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۵	۲۰	۱۵	کمتر از ۳۰
۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵	۲۰	۳۰ تا ۴۹
۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۰	۲۵	۵۰ تا ۹۹
۷۵	۷۰	۶۰	۵۵	۴۵	۴۰	۳۰	۱۰۰ تا ۴۹۹

- مقدار  $P_w$  باید برای مقطع شش وجهی یا هشت وجهی در  $0.80$  و برای سطح مقطع دایروی یا بیضوی در  $0.60$  ضرب شود.

مثال:

فشار باد  $P_w$  را از نقشه بیابید.

مخزن در *oklahoma* قرار دارد که در نقشه فشار باد با عدد ۳۰ مشخص شده است.

در این نقشه نواحی فشار باد برای مناطق ارتفاعی مختلف به قرار زیر است:

$$30ft \text{ در منطقه ارتفاعی کمتر از } 25 \frac{lb}{sq.ft.}$$

$$49ft \text{ تا } 30ft \text{ در منطقه ارتفاعی از } 30 \frac{lb}{sq.ft.}$$

برای برجهای استوانه ای این مقادیر باید در فاکتور شکل 0.6 ضرب شوند، سپس فشار باد برای

مناطق مختلف به ترتیب 15, 18 پوند بر فوت مربع خواهد بود. اگر تجهیزات زیادی به برج متصل

شوند، افزایش فاکتور شکل (مطابق *Brownell*) تا 0.88 برای مخازن استوانه ای توصیه می شود.

رابطه بین فشار باد و سرعت وقتی که سطح مقطع دایروی است بوسیله فرمول زیر بدست می آید:

$$P_w = 0.0025 \times V_w^2$$

که در آن:

$$P_w: \text{فشار باد بر حسب } \frac{lb}{sq.ft.}$$

$$V_w: \text{سرعت باد } mph$$

مثال:

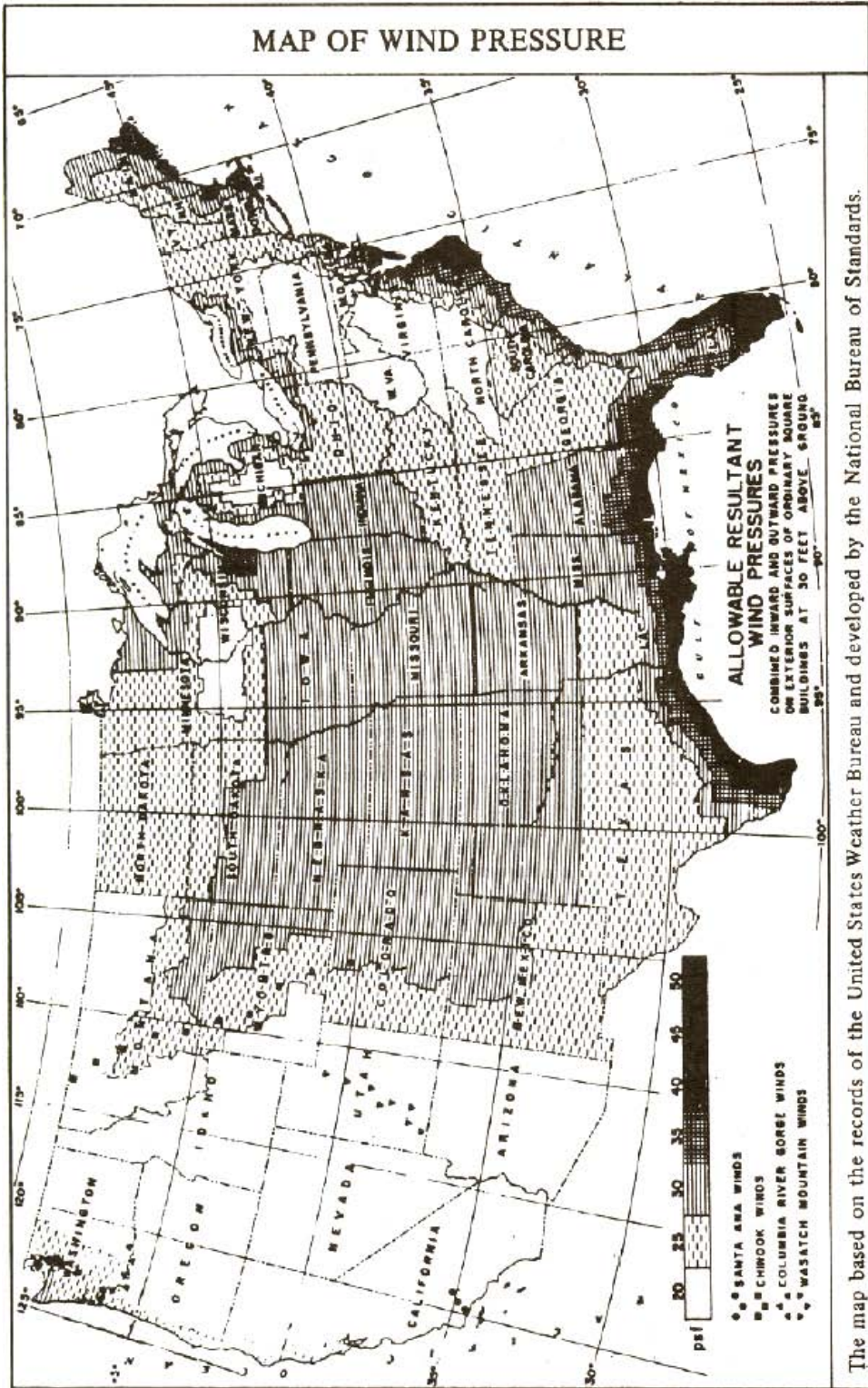
فشاری که باد با سرعت 100 mph اعمال می کند را حساب کنید.

$$P_w = 0.0025 \times V_w^2 = 0.0025 \times 100^2 = 25 \text{ lb}^2/sq.ft.$$

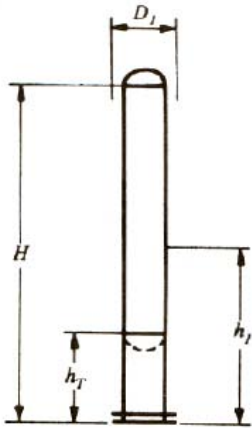
این مقدار، فشار روی مساحت تصویر شده مخزن در ارتفاع 30 ft بالای سطح زمین است.

فشار نهایی روی برج، محصول فشار واحد و مساحت تصویر شده برج است.

شکل ۴-۶ نقشه سرعت باد در 30 ft. بالای سطح زمین در ایالات متحده



با توجه به شکل:



نیروی برشی:

$$V = P_w D_{1,2} H_{1,2}$$

ممان:

$$M = P_w D_{1,2} H_{1,2} h_{1,2}$$

ممان در ارتفاع  $h_T$ :

$$M_T = M - h_T (V - 0.5 P_w D_1 h_T)$$

تنش:

$$t = \frac{12M}{R^2 \pi S E}$$

$D_1 D_2$ : عرض مخزن با عایق و غیره... (ft.)

$E$ : بازده اتصالات جوش

$h_1 h_2$ : بازوی گشتاور (ft.)

$H, H_1 H_2$ : طول مخزن یا یک بخش از مخزن (ft.)

$M$ : ممان ماکزیمم (ft.lb.)

$M_t$ : ممان در ارتفاع  $h_T$  (ft.lb.)

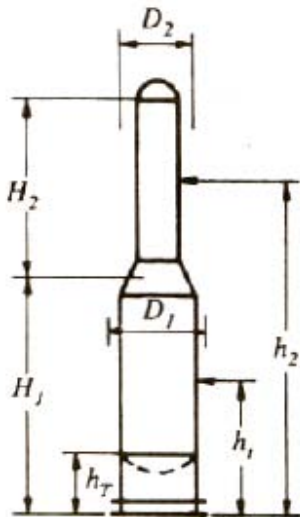
$P_w$ : فشار باد (lb./sq.ft.)

$R$ : شعاع متوسط مخزن (in.)

$S$ : مقدار تنش ماده یا تنش واقعی (psi.)

$V$ : نیروی برشی نهایی (lb.)

$t$ : ضخامت لازم به استثناء خوردگی (in.)



مثال:

داده ها:

$$D_1 = 4 \text{ ft.}$$

$$D_2 = 3 \text{ ft.}$$

$$H_1 = 56 \text{ ft.}$$

$$H_2 = 44 \text{ ft.}$$

$$h_T = 4 \text{ ft.}$$

$$P_w = 30 \text{ psf}$$

محاسبه ممان ناشی از باد:

$$h_1 = H_{1/2} = 28 \text{ ft.}$$

$$h_2 = H_1 + (H_2/2) = 78 \text{ ft.}$$

$$M = V \times h = H \times D \times P_w$$

برای بخش پایینی:

$$V_L = 30 \times 4 \times 56 = 6720$$

$$M_L = V \times h = 6720 \times 28 = 188,160$$

برای بخش بالایی:

$$V_U = 30 \times 3 \times 44 = 3,960$$

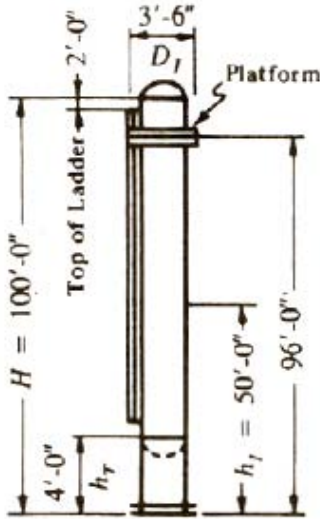
$$M_U = 3,960 \times 78 = 308,880$$

$$V_T = V_1 + V_2 = 6720 + 3960 = 10,680$$

$$M = 188,160 + 308,880 = 497,040 \text{ ft. lb.}$$

ممان در خط تانژانت پائین:

$$\begin{aligned}
 M_T &= M - h_T(V - 0.5P_w D_I h_T) \\
 &= 497,040 - 4(10,680 - 0.5 \times 30 \times 4 \times 4) \\
 &= 455,280 \text{ ft.lb.}
 \end{aligned}$$



مثال:

$M_T$  را محاسبه نمایید.

داده ها:

$$\begin{aligned}
 D_I &= 3\text{ft}.6\text{in.} \\
 H &= 100\text{ft}.0\text{in.} \\
 H_T &= 4\text{ft}.0\text{in.} \\
 P_w &= 30\text{psf}
 \end{aligned}$$

محاسبه ممان ناشی از باد:

$$H_I = H/2 = 50\text{ft}.0\text{in.}$$

$$M = V \times h_I = P_w \times D_I \times H$$

برای مخزن:

$$V_V = 30 \times 3.5 \times 100 = 10,500$$

$$M_V = 10,500 \times 50 = 525,000$$

برای نردبان:

$$V_L = 30 \times 98 \text{ lin.ft.} = 2,940$$

$$M_L = 2,440 \times 49 = 144,060$$

برای سکو:

$$V_p = 30 \times 8 \text{ lin.ft.} = 240$$

$$M_p = 240 \times 96 = 23,040$$

در نتیجه:

$$V = V_v + V_L + V_P = 10,500 + 2,490 + 240 = 13,680$$

$$M = M_v + M_L + V_P = 525,000 + 144,060 + 23,040 = 692,100 \text{ ft.lb.}$$

ممان در خط تانژانت پائین:

$$M_T = M - h \cdot (V - 0.5 P_w D_T h_T) = 692,100 - 4(13,680 - 0.5 \times 30 \times 3.5 \times 4)$$

$$= 638,220 \text{ ft.lb.}$$

### ۲-۲-۶- وزن مخزن

هنگامی که بار خارج از مرکز وجود ندارد و برآیند نیروی وزن با محور مخزن هم راستاست، وزن مخزن باعث ایجاد تنش فشاری می شود. اغلب فشردگی ناشی از نیروی وزن ناچیز است و کنترل

نمی شود. محاسبه وزن مخزن در شرایط مختلف بصورت زیر است:

الف- وزن حالت ایستاده که شامل وزن اجزای زیر است:

۱. پوسته

۲. عدسی ها

۳. صفحات کاری داخلی (*internal plate work*)

۴. تکیه گاه سینی ها

۵. رینگ های عایق کاری

۶. دریچه ها

۷. *skirt*

۸. رینگ اصلی

۹. *anchor ring*

۱۰. *anchor lugs*

۱۱. سایر قسمتها

۱۲. به اضافه ۶ درصد از وزن موارد ۱ تا ۱۱ برای اضافه وزن ورق ها و وزن اضافه شده بوسیله

جوشکاری

وزن تجهیزات شامل:

۱۳. عایق کاری

۱۴. عایق کاری حرارتی

۱۵. سکو (*platform*)

۱۶. نردبان (*ladder*)

۱۷. لوله کشی

۱۸. سایر

وزن حالت ایستاده وزن موارد ۱ تا ۱۸ است.

ب- وزن عملیاتی که شامل موارد زیر است:

۱. مخزن در شرایط ایستاده

۲. سینی ها

۳. سیال عملیاتی

پ- وزن تست که شامل وزن موارد زیر است:

۱. مخزن در شرایط ایستاده

۲. آب تست

$$S = \frac{W}{ct}$$

تنش فشاری ناشی از وزن بوسیله فرمول مقابل داده شده است:

که در آن:

$C$ : محیط پوسته یا *skirt* در قطر متوسط

$S$ : تنش واحد (*psi*)

$W$ : وزن مخزن بالاتر از بخش مورد نظر (*lb.*)

$t$ : ضخامت پوسته یا *skirt* (*in.*)

### ۳-۲-۶- ارتعاش

بعنوان یک پیامد باد، ارتعاش برج های بلند افزایش می یابد. بخاطر اینکه پریود طبیعی ارتعاش زیاد می تواند منجر به شکست ناشی از خستگی شود، پریود ارتعاش باید محدود باشد. آنچه ارتعاش هارمونیک نامیده می شود در اینجا مورد بحث قرار نمی گیرد چرا که سینی ها و تکیه گاههایشان که اغلب بکار می روند از بوجود آمدن این مسئله جلوگیری می کنند.

پریود ارتعاش:

$$T = 0.0000265 \left( \frac{H}{D} \right)^2 \sqrt{\frac{wD}{t}} \quad T(\text{Sec.})$$

حداکثر پریود مجاز ارتعاش:

$$T_a = 0.80 \sqrt{\frac{WH}{Vg}}$$

که در این فرمولها:

$D$ : قطر خارجی مخزن (*ft.*)

$H$ : طول مخزن شامل *skirt* (*ft.*)

$g$ : شتاب  $32.2 \text{ ft/sec}^2$

$t$ : ضخامت *skirt* در پایه

$V$ : نیروی برش نهایی  $CW(lb.)$

$w$ : وزن برج بر هر فوت ارتفاع  $(lb.)$

مثال:

مقدار واقعی و حداکثر پیروید مجاز ارتعاش را محاسبه کنید.

داده ها:

$$D=3.125 \text{ ft.}0 \text{ in.}$$

$$H=100\text{ft.}0\text{in.}$$

$$g=32.2 \text{ ft. /sec}^2$$

$$t= 0.75 \text{ in.}$$

$$V=1440 \text{ lb.}$$

$$W=36,000 \text{ lb.} \quad \text{در شرایط عملیاتی}$$

$$w=360$$

$$T = 0.0000265 \left( \frac{100}{3.125} \right)^2 \sqrt{\frac{360 \times 3.125}{0.75}} = 1.05 \text{ Sec.}$$

$$T_a = 0.80 \sqrt{\frac{36000 \times 100}{1440 \times 32.2}} = 7.05 \text{ Sec.}$$

بنابراین ارتعاش واقعی از ارتعاش مجاز تجاوز نمی کند.

## ۴-۲-۶- بارگذاری زلزله

شرایط بارگذاری برای برج، تحت اثر نیروی زلزله مشابه یک تیر یک سر گیر دار است هنگامی که بار بطور یکنواخت به سمت سر آزاد تیر افزایش می یابد.

روش طراحی زیر بر پایه کد *uniform building code 1997 (UBC)* بیان می شود

نیروی برشی:

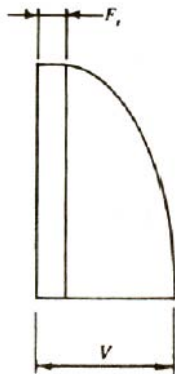
$$V = \frac{ZIC}{R_w} W$$

ممان:

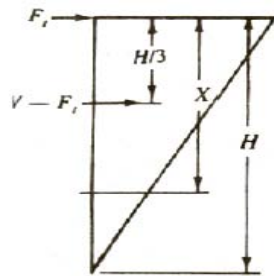
$$M = [F_t \times H + (V - F_t) \times (2H/3)]$$

$$M_x = [F_t \times X] \text{ for } X \leq H/3$$

$$M_x = [F_t \times H + (V - F_t) \times (X - H/3)] \text{ for } X > H/3$$



b) Seismic Shear



a) Seismic Loading Diagram

برش در پایه

برش در پایه، برش نهایی افقی ناشی از زلزله در پایه برج است. در شکل (a) و (b) الگوی بار مثالی

و دیاگرام برشی شکل برج ناشی از بارگذاری زلزله نشان داده شده است.

فرض می شود بخش  $F_t$  از نیروی نهایی افقی زلزله،  $V$ ، در نوک برج اعمال می گردد.

باقیمانده برش اصلی در طول آن تا نوک برج توزیع می شود.

### ممان واژگونی

ممان واژگونی در هر سطح، جمع جبری ممانهای تمام نیروها در بالای آن سطح است.

$$C: \frac{2.355}{T^{2/3}} = \text{ضریب عددی (نباید از 2.75 تجاوز کند).}$$

$$C: \text{ضریب عددی} = 0.035$$

$D$ : قطر خارجی مخزن (ft.)

$E$ : بازده اتصالات جوش

$F_t$ : نیروی نهایی افقی زلزله در بالای مخزن (lb.) که از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$F_t = 0.07 TV$$

( $F_t$  نباید از  $0.25V$  تجاوز کند)

$$F_t = 0 \text{ For } T \leq 0.7$$

$H$ : طول مخزن شامل skirt (ft.)

$I$ : فاکتور اهمیت سازه (برای مخازن  $1.0$  بکار رود).

$M$ : ممان ماکزیمم (در پایه) (ft.lb.)

$R$ : شعاع متوسط مخزن (in.)

$R_w$ : ضریب عددی (برای مخازن  $2.9$  بکار رود).

$S$ : ضریب مکان برای مشخصات خاک

نوع خاک:

الف) مواد سنگی شکل با سرعت برشی موج بزرگتر از  $2500 \text{ Feet/sec}$  یا با سایر ابزارهای مناسب

$$S = 1.0 \text{ طبقه بندی}$$

ب) شرایط خاک سفت، یا با دانه بندی ریز که عمق خاک از  $200 \text{ ft.}$  کمتر باشد.  $S = 1.0$

- شرایط خاک سفت با دانه بندی ریز که عمق خاک از  $200\text{ feet}$  تجاوز کند.  $S=1.2$
- نوع خاک با عمق ۴۰ پا یا بیشتر و حاوی بیشتر از ۲۰ پا خاک رس نرم با سفتی متوسط که مقدار رس نرم آن از ۴۰ پا بیشتر نباشد.  $S=1.5$
- نوع خاکی که حاوی بیشتر از ۴۰ پا رس نرم است.  $S=2.0$

$S_t$  = تنش کششی مجاز ماده ورق مخزن ( $psi$ )

$T$  = پیروید اصلی نوسان

$$T = C_t \times H^{3/4}$$

$t$  ضخامت مورد نیاز برای خوردگی مخزن ( $in.$ )

$$t = \frac{12M}{\pi R^2 S_t E} \quad \text{or} \quad t = \frac{12M_x}{\pi R^2 S_t E}$$

$V$ : برش نهایی زلزله در پایه ( $lb.$ )

$W$ : وزن نهایی برج ( $lb.$ )

$X$ : فاصله از خط تانژانت بالا تا سطح مورد نظر ( $ft.$ )

$Z$ : فاکتور ناحیه زلزله

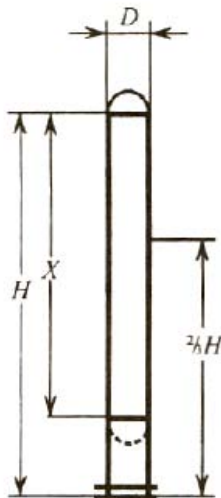
✓  $0.075$  برای ناحیه ۱

✓  $0.15$  برای ناحیه  $2A$

✓  $0.2$  برای ناحیه  $2B$

✓  $0.3$  برای ناحیه ۳

✓  $0.4$  برای ناحیه ۴



برای تعیین ناحیه نقشه شکل ۱۱-۶ را ببینید که برای ایالات متحده می باشد و برای خارج از

ایالات متحده باید به **Appendix chapter 23 of UBC:1991** مراجعه کرد.

مثال:

ممان واژگونی در اثر زلزله در پایه و در فاصله  $x$  از خط تانژانت بالا را محاسبه کنید.

داده ها:

$2B$ : ناحیه زلزله

$$D = 37.5 \text{ in.} = 3.125 \text{ ft.}$$

$$H = 100 \text{ ft.} 0 \text{ in.}$$

$$Z = 0.2$$

$$X = 96 \text{ ft.} 0 \text{ in.}$$

$$W = 35,400 \text{ lb.}$$

ابتدا باید پیروی اصلی نوسان محاسبه شود.

$$T = C_t \times H^{3/4} = 0.035 \times 100^{3/4} = 1.1 \text{ Sec}$$

$$I = 1, S = 1.5, R_w = 2.9,$$

$$C = \frac{1.25S}{T^{2/3}} = \frac{1.25 \times 1.5}{1.1^{2/3}} = 1.76$$

مقدار بدست آمده از 2.75 کمتر است.

$$V = \frac{ZIC}{R_w} \times W = \frac{0.2 \times 1 \times 1.76}{2.4} \times 35,400 = 4,296 \text{ lb.}$$

$$F_t = 0.07TV = 0.07 \times 1.1 \times 4,246 = 330 \text{ lb.}$$

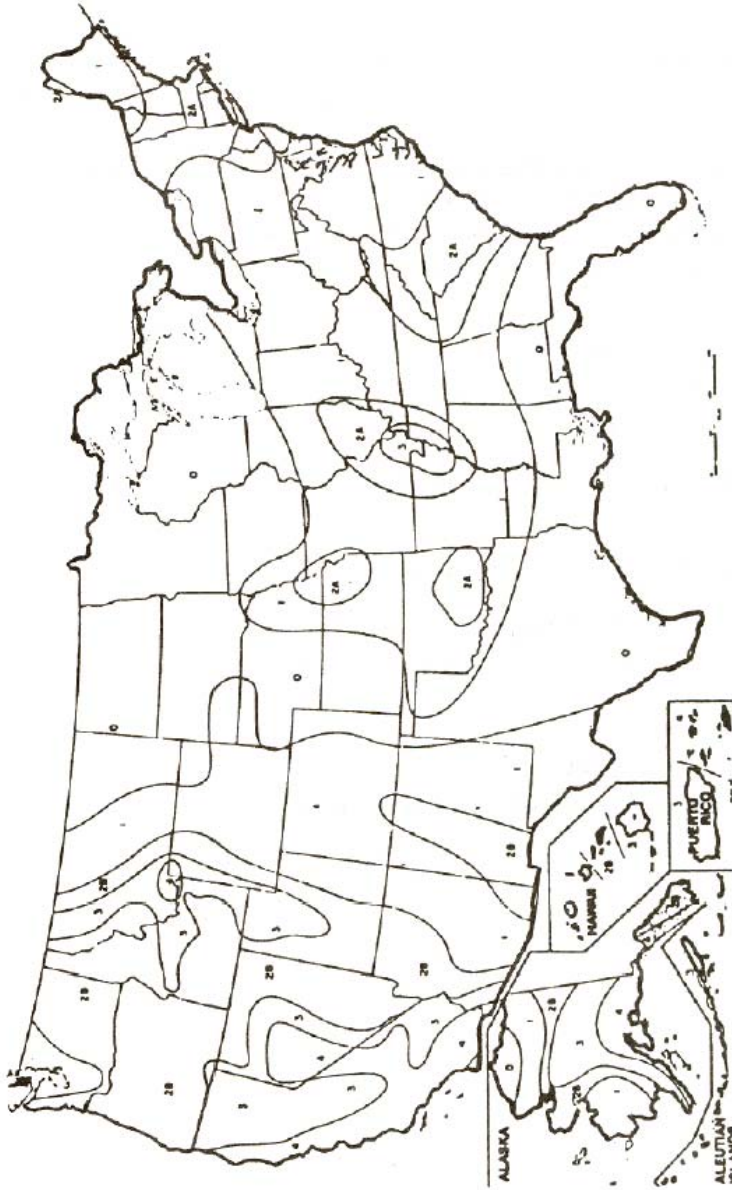
$$M = [F_t H + (V - F_t)(2H/3)] = [330 \times 100 + (4,296 - 330)(2 \times 100/3)] = 294,756 \text{ ft.-lb.}$$

$X > H/3$  بنابراین:

$$M_x = [F_t X + (V - F_t)(X - H/3)] = (330 \times 96 + (4,296 - 330)(100 - 33)) = 281,138 \text{ ft.-lb.}$$

شکل ۱۱-۶ نقشه نواحی زلزله برای ایالات متحده آمریکا

SEISMIC ZONE MAP OF THE UNITED STATES



For areas outside of the United States, see Appendix Chapter 23 of UBC :1991

## ۵-۲-۶- بار خارج از مرکز

برجها و تجهیزات داخلی شان اغلب حول محور عمودی مقارنند و در نتیجه وزن مخزن تنها تنش فشاری ایجاد می کند.

تجهیزات متصل به مخزن در خارج، می توانند موجب توزیع نامتقارن نیروی ناشی از وزن و در نتیجه ایجاد تنش خمشی گردند.

برای تجهیزات کوچک، لوله کشی و دریچه ها این آرایش نامتقارن ممکن است نادیده گرفته شود، اما برای تجهیزات سنگین، تنش خمشی اعمال شده، به تنش خمشی ناشی از نیروی باد یا زلزله اضافه می شود.

$$M = We :$$

ممان:

$$S = \frac{12We}{\pi R^2 t} :$$

تنش:

$$t = \frac{12We}{R^2 \pi S E} :$$

ضخامت موردنیاز:



$e$ : خروج از مرکز، فاصله از محور برج تا مرکز نیروی خارج از مرکز ( $ft.$ )

$E$ : بازده اتصالات

$M$ : ممان ناشی از نیروی خارج از مرکز  $ft./lb.$

$R$ : شعاع میانگین مخزن ( $in.$ )

$S$ : مقدار تنش ماده یا تنش خمشی واقعی  $psi$

$T$ : ضخامت مخزن، به استثنای میزان خوردگی مجاز ( $in.$ )

$W$ : بار خارج از مرکز ( $lb.$ )

مثال:

ممان  $M$  و تنش  $S$  را محاسبه کنید.

داده ها:

$$e = 4 \text{ ft.} 0 \text{ in.}$$

$$R = 15 \text{ in.}$$

$$t = 0.25 \text{ in.}$$

$$W = 1000 \text{ lb.}$$

$$M \text{ ممان} = We = 1000 \times 4 = 4000 \text{ ft. lb.}$$

$$S = \frac{12We}{\pi R^2 t} = \frac{12 \times 1000 \times 4}{3.14 \times 15^2 \times 0.25} = 272 \text{ psi}$$

وقتی که بیش از یک بار خارج از مرکز وجود دارد، از برآیند نیروهای خارج از مرکز برای بدست آوردن ممان استفاده می شود.

### ۶-۲-۶- پایداری الاستیک

یک برج تحت اثر نیروی فشار محوری، به دو علت ناشی از ناپایداری ممکن است دچار شکست شود:

(۱) با کمانش تمام مخزن (کمانش اولر)

(۲) با کمانش موضعی

در مخازن جدار نازک (هنگامی که ضخامت پوسته کمتر از یک دهم شعاع داخلی است.) کمانش موضعی ممکن است در بار واحدی کمتر از آنچه برای شکست تمام مخزن لازم است بوجود آید.

از حالت دایروی خارج شدن پوسته، فاکتور مهمی در نتیجه ناپایداری است. فرمولهایی که در اینجا برای تحقیق پایداری الاستیک داده شده اند بوسیله *Newmark, Wilson* بسط یافته اند. اجزای مخزن که اصلاً به منظورهای دیگری بکار می روند (مانند تکیه گاههای سینی ومیله های *downcomer*) اگر با دقت جاسازی شوند، ممکن است به عنوان تقویت در مقابل کماتش نیز در نظر گرفته شوند.

تقویت کننده های طولی (*longitudinal stiffeners*) سختی برج را موثرتر از تقویت های محیطی افزایش می دهند. اگر رینگ های دور پوسته، پیوسته نباشند اثر سختی آنها باید با شروطی که بطور خلاصه در رکد *UG-29 (c)* آمده است، محاسبه شود.

تنش مجاز (*S*)

بدون کاربرد تقویت :

$$S = 1,500,000 \frac{t}{R} \quad (\leq \frac{1}{3} \text{ yield point})$$

با کاربرد تقویت:

$$S = \frac{1,500,000}{R} \sqrt{t_y t_x} \quad (\leq \frac{1}{3} \text{ yield point})$$

$A_x$ : سطح مقطع عرضی تقویت کننده طولی (*sq.in.*)

$A_y$ : سطح مقطع عرضی تقویت کننده محیطی (*sq.in.*)

$d_x$ : فاصله بین تقویت های طولی (*in.*)

$d_y$ : فاصله بین تقویت های محیطی (*in.*)

$R$ : شعاع متوسط مخزن (*in.*)

$S$ : تنش فشاری مجاز ( $psi$ )

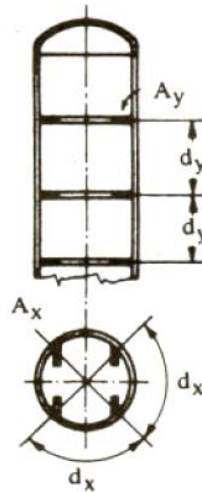
$t$ : ضخامت پوسته ( $in.$ )

ضخامت معادل پوسته هنگامی که بصورت طولی تقویت شده است:

$$t_x = t + \frac{A_x}{d_x} \quad (in.)$$

ضخامت معادل پوسته هنگامی که بصورت محیطی تقویت شده است:

$$t_y = t + \frac{A_y}{d_y} \quad (in.)$$



مثال:

تنش فشاری مجاز  $S$  را محاسبه کنید.

داده ها:

$$R = 18 \text{ in.}$$

$$T = 0.25 \text{ in.}$$

$$A_y = 1 \text{ sq.in.}$$

$$D_y = 24 \text{ in}$$

$$S = \frac{1,500,000 \times t}{R} = \frac{1,500,000 \times 0.25}{18} = 20,833 \text{ psi}$$

محاسبه تنش فشاری مجاز ( $S$ ) هنگامی که رینگ های تقویتی بکار روند:

تقویت طولی بکار نمی رود بنابراین:

$$t_x = t = 0.25 \text{ in}$$

$$t_y = t + \frac{1}{24} = 0.25 + 0.04 = 0.29$$

$$s = \frac{1,500,000}{R} \sqrt{t_x t_y}$$

$$= \frac{1,500,000}{18} \sqrt{0.25 \times 0.29} = 22,438 \text{ psi}$$

### ۷-۲-۶- خمش

برج ها باید به گونه ای طراحی شوند که بیشتر از  $6 \text{ in.}$  در هر  $100 \text{ ft.}$  از ارتفاع دچار خمش نشوند. خمش ناشی از باد میتواند با کاربرد فرمول تیر یکسر درگیر با بارگذاری یکنواخت محاسبه

$$\Delta_M = \frac{P_w D_1 H (12H)^3}{8EI}$$

شود



$\Delta_M$ : حداکثر خمش (در نوک برج) (in.)

$D_1$ : عرض برج با عایق و غیره ft.

$E$ : مدول الاستیسیته (psi)

$H$ : طول مخزن، شامل skirt (ft.)

$I = \pi R^3 t$  ممان اینرسی برای پوسته استوانه ای جدار نازک

(هنگامی که  $R > 10t$ )

$R$ : شعاع متوسط برج (in.)

$t$  ضخامت *skirt* (in.)

$P_w$ : فشار باد (psf)

مثال:

حداکثر خمش  $\Delta_m$  را محاسبه کنید.

داده ها:

$$D_1 = 2 \text{ ft. } 6 \text{ in.}$$

$$E = 30,000,000$$

$$H = 48 \text{ ft. } 0 \text{ in.}$$

$$I = R^3 \pi 0.3125$$

$$P_w = 30 \text{ psf}$$

$$R = 12 \text{ in.}$$

$$T = 0.3125 \text{ in.}$$

$$\Delta_M = \frac{P_w D_1 H (12H)^3}{8EI}$$

$$\Delta_M = \frac{30 \times 2.5 \times 48 (12 \times 48)^3}{8 \times 30,000,000 \times 12^3 \times 3.14 \times 0.3125} = 1.69 \text{ in.}$$

حداکثر خمش مجاز  $6 \text{ in.}$  بر هر  $100 \text{ ft.}$  ارتفاع است.

$$\text{برای } 48' - 0'' = \frac{48 \times 6}{100} = 2.88 \text{ in.}$$

هنگامی که خمش واقعی از این حد تجاوز نکند، ضخامت طراحی *skirt* کافی است.

## ۸-۲-۶- تنش های مرکب

تنش های ایجاد شده بوسیله بارهایی که قبلاً به آنها اشاره شد باید بصورت ترکیبی نیز بررسی

شوند تا تنش های حاکم مشخص شوند.

ترکیب نیروی باد (یا نیروی زلزله)، فشار داخلی و وزن مخزن:

شرایط تنش:

سمت در معرض باد:

- تنش ناشی از باد با علامت ( + )
- تنش ناشی از فشار داخلی با علامت ( + )
- تنش ناشی از وزن با علامت ( - )

در سمت پشت به باد:

- تنش ناشی از باد با علامت ( - )
- تنش ناشی از فشار داخلی با ( - )
- تنش ناشی از وزن با ( - )

علامت + نشان دهنده تنش کششی و علامت منفی بمعنی تنش فشاری است.

مجموع تنش ها نشان می دهد که کشش یا فشار کدامیک حاکم است. فرض می شود که بارهای ناشی از باد و زلزله بطور همزمان بوجود نمی آیند. بنابراین برج باید برای نیروی باد یا زلزله هر کدام که بزرگتر باشند طراحی شود.

تنش خمشی ناشی از خروج از مرکز باید با تنش ناشی از باد یا زلزله جمع شود.

تنش ها باید در محل های زیر محاسبه شوند:

۱. در پایین برج
۲. در محل اتصال *skirt* به عدسی
۳. در اتصال عدسی پایین به پوسته
۴. در محل تغییر قطر یا ضخامت مخزن

همچنین تنش ها باید در شرایط زیر بررسی شوند:

۱. در حین نصب یا پیاده سازی

۲. در حین تست

۳. در طول کار

در این شرایط مختلف، وزن مخزن و در نتیجه شرایط تنش نیز متفاوتند. از طرف دیگر، در طول نصب یا پیاده سازی، مخزن تحت فشار داخلی یا خارجی نیست.

در اینجا برای تحلیل مقاومت برج های بلند تحت اثر بارهای مختلف از تئوری تنش حداکثر استفاده شده است. ممان ناشی از باد از پائین تا بالای برج کاهش می یابد، از این رو، ضخامت ورق مخزن نیز می تواند کاهش یابد.

جدول **A** و شکل **B** به پیدا کردن فاصله از بالای برج برای هر ضخامت مطمئن کمک می کنند.

جدول ۴-۶ پیدا کردن فاصله از بالای برج برای هر ضخامت

$t_w/t_p$	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
$m$	1.0	0.91	0.84	0.79	0.74	0.71	0.67	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54
$t_w/t_p$	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.3	3.6	4.0	4.5	5.0
$m$	0.53	0.51	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.41	0.39	0.37	0.35	0.33	0.32

از آنجایی که تنش خطی ناشی از فشار داخلی یک دوم تنش محیطی است، نصف ضخامت لازم

دیواره برای فشار داخلی برای مقاومت در برابر نیروی خمشی ناشی از باد قابل استفاده است.

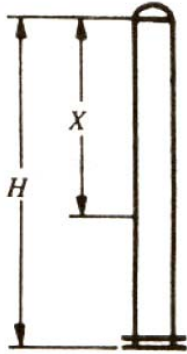
با کاربرد فاکتور  $m$  می توان فاصله  $X$  از خط تانژانت بالا را که در آن ضخامت محاسبه شده تحت

فشار داخلی برای مقاومت در برابر فشار باد نیز کافی است، بدست آورد.

$$X = H \times m$$

$t_p$  ضخامت لازم برای فشار داخلی (in.)

$t_w$  ضخامت لازم برای فشار باد در اتصال عدسی پایین به پوسته (in.)



$$t_p = 0.233 \text{ in.}$$

$$t_w = 0.644 \text{ in.}$$

$$t_p/t_w = 0.644/0.233 = 2.7$$

$$H = 100 \text{ ft.}$$

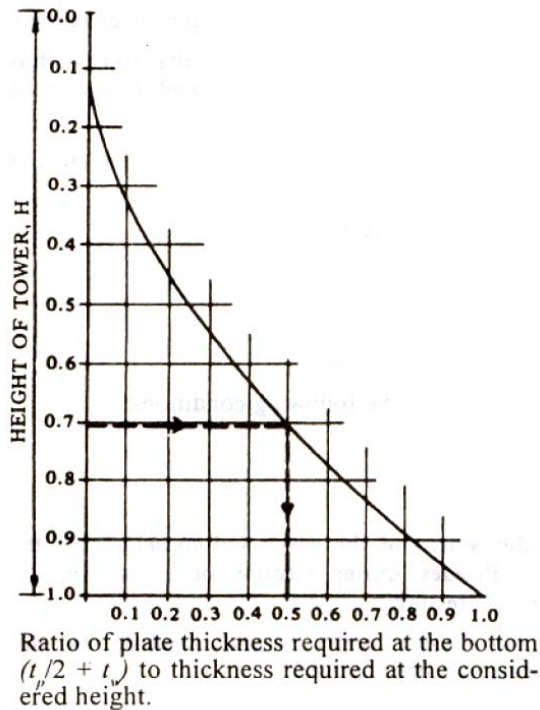
از جدول  $M=0.43$

مثال:

$$X = mH = 0.43 \times 100 = 43 \text{ ft.}$$

شکل ۱۷-۶ ممان دیاگرام برج تحت فشار باد را نشان می دهد. نمودار همچنین می تواند برای

انتخاب ضخامت مناسب ورق در ارتفاعهای مختلف نیز بکار رود.



شکل ۱۶-۶ ممان دیاگرام برج تحت اثر نیروی باد

مثال:

ضخامت لازم ورق در ارتفاع  $0.71 H$  را پیدا کنید اگر این ضخامت  $0.5$  برابر ضخامت لازم در پایین باشد.

$$t_p = 0.250 \text{ in.}$$

ضخامت لازم برای فشار داخلی:

$$t_w = 0.625 \text{ in.}$$

برای نیروی باد:

ضخامت لازم در پایین:

$$t_{p/2} + t_w = 0.250/2 + 0.625 = 0.750 \text{ in.}$$

در ارتفاع  $0.71H$ 

$$0.5(t_{p/2} + t_w) = 0.5(0.750) = 0.375 \text{ in.}$$

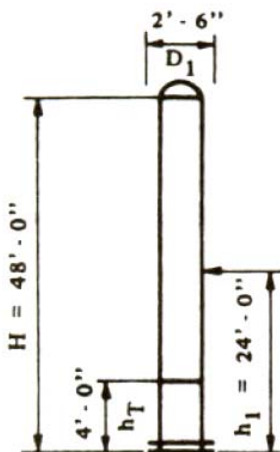
ضخامت لازم برای فشار داخلی:

$$t_{p/2} = 0.250/2 = 0.125$$

ضخامت لازم در ارتفاع  $0.71H$ :

$$T = 0.375 + 0.125 = 0.500 \text{ in.}$$

مثال A



ضخامت مورد نیاز برای پوسته استوانه ای تحت فشار داخلی و نیروی باد را محاسبه کنید.

داده ها:

$D = 2 \text{ ft. } 0 \text{ in.}$  قطر داخلی مخزن:

$D_1 = 2 \text{ ft. } 6 \text{ in.}$  عرض برج با عایق کاری و غیره:

$E = 0.75$  بازده اتصالات جوش:

$H = 48 \text{ ft. } 0 \text{ in.}$  طول برج:

$h_T = 4 \text{ ft. } 0 \text{ in.}$  فاصله از پایه تا محل اتصال عدسی پایین به پوسته:

$P = 250 \text{ psi}$  فشار داخلی:

$P_w = 30 \text{ psf}$  فشار باد:

$R = 12 \text{ in.}$  شعاع داخلی مخزن:

$S = 15700 \text{ psi}$

مقدار تنش ماده  $SA 285 C$  در دمای  $200^\circ F$

$V =$  نیروی برش نهایی  $lb.$

خوردگی مجاز وجود ندارد.

مقدار حداقل ضخامت برای فشار داخلی با در نظر گرفتن مقاومت خطوط اتصال بلند:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{250 \times 12}{15,700 \times 0.85 - 0.6 \times 250} = \frac{3,000}{13,195} = 0.228 \text{ in.}$$

مقدار حداقل ضخامت برای فشار داخلی با در نظر گرفتن مقاومت خطوط اتصال دوری:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0.4P} = \frac{250 \times 12}{2 \times 15,700 \times 0.85 + 0.4 \times 250} = \frac{3,000}{26,790} = 0.112 \text{ in.}$$

ضخامت مورد نیاز برای خمش طولی ناشی از فشار باد

ممان در پایه:

$$V = P_w \times D_1 \times H$$

$$V = 30 \times 2.5 \times 48 = 3,600$$

$$M = V \times h_1 = 3,600 \times 24 = 86,400 \text{ ft. lb.}$$

ممان در خط اتصال پائین:

$$\begin{aligned} M_T &= M - h_T(V - 0.5P_w D_1 h_T) \\ &= 86,400 - 4(3,600 - 0.5 \times 30 \times 2.5 \times 4) \\ &= 86,400 - 13,800 = 72,600 \text{ ft. lb.} \\ &= 72,600 \times 12 = 871,200 \text{ in. lb.} \end{aligned}$$

ضخامت لازم:

$$t = \frac{M_T}{R^2 \pi S E} = \frac{871,200}{12^2 \times 3.14 \times 15,700 \times 0.85} = \frac{871,200}{6,037,135} = 0.145 \text{ in.}$$

ضخامت مورد نیاز محاسبه شده با مقاومت خط اتصال دور پائین:

$$0.145 \text{ in.}$$

برای فشار باد:

$$0.112 \text{ in.}$$

برای فشار داخلی:

$$0.145 + 0.112 = 0.257$$

ضخامت نهایی:

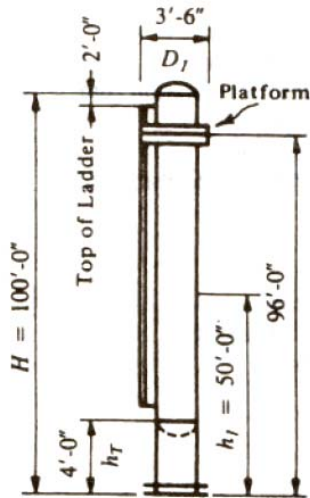
این مقدار بزرگتر از ضخامت محاسبه شده با مقاومت خط اتصال طولی است بنابراین حداقل

ضخامت  $0.257 \text{ in.}$  بکار خواهد رفت.

مثال B:

محاسبه ضخامت لازم پوسته استوانه ای تحت اثر بارهای ترکیبی فشار داخلی، باد و وزن مخزن.

داده ها:



$$D = 3\text{ft.}0\text{in.}$$

قطر داخلی:

$$D_1 = 3\text{ft.}6\text{in.}$$

عرض مخزن با عایق، لقی برای لوله کشی و ...:

$$E = 0.85$$

بازده درزهای جوشکاری شده:

$$h_T = 4\text{ft.}0\text{in.}$$

فاصله از پایه تا محل اتصال عدسی پائین به:

$$H = 100\text{ft.}0\text{in.}$$

طول مخزن:

$$P = 150\text{ psi}$$

فشار داخلی:

$$P_w = 30\text{ psf}$$

فشار باد:

$$R = 18\text{ in.}$$

شعاع داخلی مخزن:

$$S = 15700\text{ psi}$$

مقدار تنش ماده SA-285C در دمای 200 °F:

$$V = (\text{lb.}) \text{ نیروی برش نهایی}$$

عدسی: بیضوی بدون درز با نسبت 2:1

$C_m = (in.)$  محیط پوسته در قطر متوسط

(خوردگی مجاز لازم نیست.)

حداقل ضخامت مورد نیاز برای فشار داخلی با در نظر گرفتن مقاومت خط اتصال طولی پوسته:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} = \frac{150 \times 18}{15,700 \times 0.85 - 0.6 \times 150} = 0.204 \text{ in.}$$

باید از ورق با ضخامت  $0.25 \text{ in.}$  استفاده کرد.

حداقل ضخامت مورد نیاز برای فشار داخلی با در نظر گرفتن مقاومت خط اتصال دور پوسته:

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.4P} = \frac{150 \times 18}{2 \times 15,700 \times 0.85 + 0.4 \times 150} = 0.101 \text{ in.}$$

حداقل ضخامت مورد نیاز برای عدسی:

$$t = \frac{PD}{2SE + 0.2P} = \frac{150 \times 36}{2 \times 15,700 \times 0.85 - 0.2 \times 150} = 0.203 \text{ in.}$$

برش ناشی از نیروی باد:

$$V_w = P_w \times D_1 \times H$$

$$V_V = 30 \times 3.5 \times 100 = 10,500 \text{ lb.}$$

مخزن:

$$V_P = 30 \times 8 \text{ lin.ft.} = 240 \text{ lb.}$$

سکو:

$$V_L = 30 \times 98 \text{ lin. ft.} = 2,940$$

نردبان:

$$V = 10,500 + 240 + 2,940 = 13,680$$

$$M = V \times h$$

ممان:

$$= (10,500 \times 50) + (240 \times 96) + (2,940 \times 49) = 692,100 \text{ ft. lb.}$$

ممان در خط اتصال عدسی پائین:

$$M_T = M - h_T(V - 0.5P_w D_1 h_T)$$

$$= 692,100 - 4(13,680 - 0.5 \times 30 \times 3.5 \times 4)$$

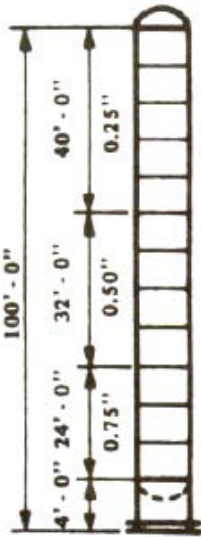
$$= 638,220 \text{ ft. lb.}$$

$$t = \frac{12M_t}{R^2 \pi SE} = \frac{12 \times 638,220}{18^2 \times 3.14 \times 15,700 \times 0.85} = \frac{7,658,640}{13,583,556} = 0.564 \text{ in.}$$

به این مقدار باید ضخامت لازم برای فشار داخلی را اضافه کرد.

$$T = 0.564 + 0.101 = 0.665 \text{ in.}$$

ورق با ضخامت **0.750** را باید بکار برد.



محاسبات اولیه برای تعیین ضخامت مورد نیاز دیواره نشان می دهد که در پایین ورق با ضخامت تقریبی **0.75in** نیاز است تا در برابر نیروی باد و فشار داخلی مقاومت کند درحالیکه که در بالا نیروی باد تعیین کننده نیست و برای فشار داخلی (*hoop tension*) فقط ورق **0.25** کافی است.

از نظر اقتصادی امکان پذیر است که از ورق با ضخامت های متفاوت

در ارتفاعهای مختلف برج استفاده کرد. ضخامت (**0.25 in.**) همچنین برای مقاومت در برابر

نیروی باد در یک فاصله مطمئن از نوک برج بکار گرفته می شود.

فاصله (**X**) از جدول ۴-۶ پیدا می شود.

$$t_w/t_p = 0.564/0.204 = 2.7$$

پس:

$$X = 0.43 \times H = 43 \text{ ft}$$

.

از دیاگرام شکل ۱۷-۶ می توان ضخامت موردنیاز و طول بخش های میانی پوسته را پیدا کرد. با

کاربرد ورق با عرض **8ft.** مخزن از قسمت های زیر ساخته خواهد شد:

۵ عدد ورق  $0.75 \text{ in.}$  ضخامت با عرض  $8 \text{ ft.}$

۴ عدد ورق  $0.50 \text{ in.}$  ضخامت با عرض  $8 \text{ ft.}$

۳ عدد ورق  $0.75 \text{ in.}$  ضخامت با عرض  $8 \text{ ft.}$

$$\text{جمع} = (5 \times 8 + 4 \times 8 + 3 \times 8) = 96 \text{ ft.}$$

وزن برج:

از جداول استاندارد وزن اجزای مخزن:

پوسته $40 \times 97$	3880
$32 \times 195$	6240
$24 \times 294$	7056
عدسی بالا $0.3125 \text{ nom.}$	160
عدسی پائین $0.8125 \text{ nam.}$	393
صفحات داخلی	800
تکیه گاههای سینی	110
رینگ های عایق کاری	220
دریچه ها	900
	19,756
+6%	1184
	20,943 lb. $\approx 21,000 \text{ lb.}$

<i>Skrit 4×195</i>	780
<i>Base ring</i>	720
<i>Anchor ring</i>	260
<i>Anchor lug</i>	120
	1,880
6%	113
	1,993≈2,000 lb.
عایق کاری	4,600
سکو	1,160
نردبان	2,800
لولہ کشی	1,400
	9,960≈10,000 lb.

وزن نہایی ایستاده :

$$W = 21,000 + 10,000 = 33,000 \text{ lb.}$$

وزن ایستاده + وزن سیال عملیاتی + وزن سینی ها = وزن نہایی عملیاتی

$$= 600 + 2,400 + 33,000 = 36,000 \text{ lb.}$$

وزن نہایی تست:

وزن ایستاده + وزن آب تست = وزن نہایی تست

$$= 42,000 + 33,000 = 75,000 \text{ lb.}$$

وزن آب داخل مخزن از جداول استاندارد بدست می آید.

کنترل تنش با ضخامت های ورقی که قبلاً محاسبه شد:

تنش در پوسته در محل اتصال عدسی پائین به پوسته:

ضخامت ورق  $0.75 \text{ in.}$

تنش در اثر فشار داخلی:

$$S = \frac{PD}{4t} = \frac{150 \times 36.75}{4 \times 0.75} = 1837 \text{ psi}$$

تنش در اثر باد:

$$S = \frac{12M_T}{R^2 \pi t} = \frac{12 \times 638,220}{18.375^2 \times 3.14 \times 0.75} = 9,632 \text{ psi}$$

تنش در اثر وزن:

$$S = \frac{W}{C_m t} = \frac{31,000}{115.5 \times 0.75} = 358 \text{ psi}$$

در شرایط ایستاده:

$$S = \frac{W}{C_m t} = \frac{34,000}{115.5 \times 0.75} = 392 \text{ psi}$$

در شرایط عملیاتی:

ترکیب تنش ها	
در حالت خالی (ایستاده)	
در طرف بادگیر	در طرف پناه باد
تنش ناشی از باد <b>+9,640</b>	تنش ناشی از باد <b>-9,640</b>
تنش ناشی از وزن <b>-358</b>	تنش ناشی از وزن <b>-358</b>
<b>+9,282 psi</b> (در حین نصب فشار داخلی وجود ندارد)	<b>-9,998 psi</b>

در شرایط عملیاتی		
تنش ناشی از فشار داخلی	+1,837	تنش در اثر باد -9640
تنش ناشی از باد	+9,640	تنش در اثر وزن -392
	+11477	-10,032
تنش ناشی از وزن	-392	تنش ناشی از فشار داخلی +1,837
	+11,085	-8,195 psi

تنش کششی  $11,085 \text{ psi}$  در شرایط عملیاتی در سمت بادگیر برج اعمال می شود. تنش مجاز برای جنس ورق با بازده اتصال  $13,345 \text{ psi } 0.85$  است.

بنابراین ورق انتخاب شده با ضخامت  $0.75 \text{ in}$  در پایین مخزن کافی است.

تنش در پوسته در  $72 \text{ ft}$  پائین تر از نوک برج ( ضخامت ورق  $0.5 \text{ in}$  )

تنش ناشی از باد:

$$V = P_w \times D_1 \times X$$

نیروی برشی:

$$30 \times 3.5 \times 72 = 7,560$$

پوسته:

$$30 \times 8 \text{ lin-ft.} = 240$$

سکو:

$$30 \times 70 \text{ lin-ft.} = 2,100$$

نردبان:

ممان نهایی  $M_x$ :

$$M_x = V \times \frac{x}{2} = (7,560 \times 36 + 240 \times 68 + 2,100 \times 35) = 361,980 \text{ ft.} - \text{lb.}$$

$$S = \frac{12M_x}{R^2 \pi t} = \frac{12 \times 361,980}{18.25^2 \times 3.14 \times 0.50} = 8,303 \text{ psi}$$

به این مقدار باید تنش ناشی از فشار داخلی که قبلاً محاسبه شده اضافه شود.

$$S = 8,303 + 1,837 = 10,140 \text{ psi}$$

محاسبه تنش ها در سر پایین نشان می دهد که تنش در سمت بادگیر در شرایط عملیاتی حاکم است و اثر نیروی وزن ناچیز است. بنابراین بدون محاسبات اضافی می توان مشاهده کرد که تنش کششی  $10,140 \text{ psi}$  از تنش مجاز  $13,345 \text{ psi}$  تجاوز نمی کند. پس ضخامت ورق  $0.50 \text{ in.}$  انتخاب شده کافی است. تنش در پوسته در  $40\text{ft.}$  پائین از نوک برج (ورق با ضخامت  $0.25$ )

تنش ناشی از باد:

$$30 \times 3.5 \times 40 = 4,200 \quad \text{پوسته:}$$

$$30 \times 8 \text{ lin.} = 240 \quad \text{سکو:}$$

$$30 \times 38 \text{ lin. ft.} = 1,140 \quad \text{نردبان:}$$

ممان نهایی  $M_x$ :

$$M_x = V \times \frac{X}{2} = (4,200 \times 20 + 240 \times 36 + 1140 \times 19) = 114,300 \text{ ft.} - \text{lb.}$$

$$S = \frac{12M_x}{R^2 \pi t} = \frac{12 \times 114,300}{18.125^2 \times 3.14 \times 0.25} = 5,316 \text{ psi}$$

به این مقدار باید تنش ناشی از فشار داخلی که قبلاً محاسبه شده اضافه شود:

$$S_{total} = 5,316 + 1,837 = 7,153 \text{ psi}$$

ورق با ضخامت  $0.25 \text{ in.}$  برای پوسته در فاصله  $40\text{ft.}$  از نوک برج کافی است و محاسبات اضافی

طبق آنچه گفته شد لازم نیست.

## ۳-۶- خودآزمایی

۱- وزن عملیاتی و وزن تست شامل چه مواردی است؟ توضیح دهید.

۲- برای داده های زیر ضخامت پوسته استوانه ای را بدست آورید.

$$P = 150 \text{ psi}$$

$$S = 2000 \text{ psi}$$

$$E = 0.85$$

$$R = 52 \text{ in.}$$

۳- فشاری که باد با سرعت  $200 \text{ mph}$  اعمال می کند را محاسبه کنید.

۴- برای داده های زیر نیروی برشی ناشی از زلزله را در پایه برج حساب کنید.

$$S = 1.5$$

$$H = 120 \text{ ft.}$$

$$C_t = 0.35$$

$$Z = 0.2$$

$$I = 1$$

$$R_w = 2.9$$

۵- تنش  $S$  ناشی از بار خارج از مرکز را برای یک برج با مشخصات زیر محاسبه کنید.

$$E = 2 \text{ ft.}$$

$$R = 20 \text{ in.}$$

$$T = 0.25 \text{ in.}$$

$$W = 1500 \text{ lb.}$$

## منابع و مراجع :

1- Eugene F. megyesy, "Pressure Vessel Handbook" twelfth edition, Pressure Vessel Publishing Inc.

2- Will J. carter, Ph.D., P.E. Bruce E. Ball, ph.D., P. Eng. " ASME Section VIII Div.1 Pressure Vessels ", 2nd edition, CASTI Publishing Inc., September 2000

3- B.C. Bhattacharyya, " Chemical Equipment Design ( Mechanical Aspects)" CBS Publichers & Distributors, 1985 , Reprint:2003

۴- حمید زارع زاده بغداد آبادی ، " طراحی مخازن تحت فشار" ، مرکز گسترش فن آوری

اطلاعات (مگفا)، ۱۳۸۳

۵- علیرضا احمدی ، " اصول و مبانی طراحی، ساخت و بازرسی ظروف تحت فشار در صنایع

نفت، گاز و پتروشیمی" ، انتشارات سپهر فاطمی ، ۱۳۸۳

۶- علیرضا احمدی ، " اصول و مبانی طراحی، ساخت و بازرسی و ایمنی مخازن ذخیره در صنایع

نفت، گاز و پتروشیمی" ، انتشارات سپهر فاطمی ، ۱۳۸۳

7- [www.pressure-vessel.net](http://www.pressure-vessel.net)

8- <http://iqsdirectory.com/info/pressure-vessels>

9- <http://www.safetyline.wa.gov.au/institute/level2/course24/lecture74/index.asp>

10- <http://www.safetyline.wa.gov.au/institute/level2/course24/lecture22/l222-19.asp>