

## فهرست مطالب



۵	مقدمه
۶	<b>فصل اول : تعاریف و اصطلاحات</b>
۷	۱-۱) دسته بندی سیستمهای لوله کشی
۸	۱-۲) تعاریف و اصطلاحات
۱۱	<b>فصل دوم : مروری بر انواع اتصالات، فلنجهها، شیرها</b>
۱۲	۲-۱) روشهای اتصال
۱۳	۲-۲) اتصالات لوله کشی Fitting
۱۳	۲-۳) فلنج ها: (Flanges)
۱۵	۲-۴) شیرها (Valves)
۱۸	<b>فصل سوم : محاسبات ضخامت دیواره لوله</b>
۱۹	۳-۱) محاسبه ضخامت دیواره تحت فشار داخلی
۲۲	۳-۲) محاسبه ضخامت لوله تحت فشار خارجی

- ۲۴ **فصل چهارم: روشهای انشعاب گیری**
- ۲۵ (۴-۱) انواع روشهای انشعاب گیری
- ۲۶ (۴-۲) نحوه محاسبه Reinforcing Pad
- ۳۰ **فصل پنجم: سایز کردن لوله ها**
- ۳۱ (۵-۱) محاسبه افت فشار در لوله
- ۳۵ (۵-۲) تعیین قطر لوله
- ۳۸ **فصل ششم: انواع تکیه گاههای ساده (Support)**
- ۳۹ (۶-۱) هدف از ساپورت گذاری
- ۴۰ (۶-۲) تعاریف واصطلاحات تکیه گاهی
- ۴۲ (۶-۳) انواع مهارکننده ها
- ۴۹ (۶-۴) محاسبات و فواصل مجاز تکیه گاهی
- ۵۱ (۶-۵) روش محاسبه تغییر مکان ها بر روی تکیه گاهها
- ۵۴ (۶-۶) روش محاسبه نیرو بر روی تکیه گاهها
- ۵۹ **فصل هفتم: تکیه گاههای خاص**
- ۶۰ (۷-۱) تکیه گاههای فنری
- ۶۵ (۷-۲) نوسان گیرها ( Sway brace )
- ۶۶ (۷-۳) ضربه گیر دینامیکی Snubber ( کمک فنرها )

- ۷۰ **فصل هشتم : آنالیز تنش در لوله ها**
- ۷۱ (۸-۱) اهداف انجام محاسبات تنش
- ۷۲ (۸-۲) تعیین خطوطی که می بایست در آنها آنالیز تنش انجام گیرد
- ۷۳ (۸-۳) تنش های اصلی در لوله کشی
- ۷۷ (۸-۴) انواع بارگذاری در لوله ها
- ۸۱ (۸-۵) انواع تنش در لوله
- ۸۶ (۸-۶) معیارهای طراحی براساس تنش های مجاز
- ۹۴ **فصل نهم : روشهای محاسباتی آنالیز تنش**
- ۹۵ (۹-۱) روش TubeTurn – Piping Engineering
- ۱۰۲ (۹-۲) روشهای ارائه شده توسط شرکت Grinnell
- ۱۰۵ (۹-۳) روش حل با استفاده از اینرسی خط ( Line Inertia )
- ۱۱۲ **فصل دهم : روشهای جذب انبساط حرارتی**
- ۱۱۳ (۱۰-۱) استفاده از Leg در مسیرهای لوله کشی
- ۱۱۸ (۱۰-۲) استفاده از Loop در مسیرهای لوله کشی
- ۱۲۰ (۱۰-۳) استفاده از روش Cold Spring
- ۱۲۲ (۱۰-۴) استفاده از Expansion Joint

۱۳۳

فصل یازدهم: پیوست ها و ضمایم

۱۸۲

منابع و مراجع

## مقدمه

با توسعه صنایع در جهان امروزه در تمامی صنایع بحث Piping وجود دارد حتی میتوان گفت که لوله کشی در زندگی روزمره ما مثل ساختمانها و تاسیسات وجود دارد بنابراین بحث Piping امروزه به عنوان یکی از شاخه های علم مکانیک به آن پرداخته میشود .

لوله کشی را میتوان انتقال سیالات از یک نقطه به نقطه دیگر تعریف نمود البته این نقاط در دو یا چند تجهیز ، دستگاه ، تاسیسات ، واحدها و ... متفاوت تعریف میگردد . کاربرد لوله کشی در صنایع مختلف متفاوت است و معمولا آنها بنابه کاربردشان طبقه بندی میگرددند که این طبقه بندی در استاندارد ASME – ANSI به آن رسید که عبارتند از :

Power Piping ( B-31.1 )

Fuel Gas Piping ( B-31.2 )

Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping ( B-31.3 )

Liquid Transportation System For Hydrocarbons, Liquid Petroleum Gas

Anhydrous Ammonia and Alcohols ( B-31.4 )

Refrigeration Piping ( B-31.5 )

Gas transmission and distribution Piping system ( B-31.8 )

Building Service Piping ( B-31.9 )

Slurry transportation Piping system ( B31.11 )

بنابراین با توجه به نوع و ماهیت کار میتوان استاندارد مورد نظر را انتخاب و مطابق آن کار طراحی را با بهینه ترین حالت به انجام رساند .

# فصل اول

## تعاریف و اصطلاحات

- آشنایی با دسته بندی سیستمهای لوله کشی
- طبقه بندی لوله کشی بر اساس Cold & Hot
- طبقه بندی لوله کشی بر اساس سایز
- آشنایی با تعاریف و اصطلاحات اولیه

## فصل اول : تعاریف و اصطلاحات

### ۱-۱) دسته بندی سیستمهای لوله کشی

سیستمهای لوله کشی عمدتاً به دو گروه تقسیم میشوند که خود دارای زیر گروههایی می باشند . این دو گروه عبارتند از لوله های گرم Hot Pipelines و لوله های سرد Cold Pipelines. اگر درجه حرارت لوله بیش از  $150^{\circ}F (66^{\circ}C)$  باشد به آن Hot Line گفته میشود و این بدان معنی است که این خطوط باید تحت انجام محاسبات تنش قرار گیرند تا تنشها نیروها و تغییر مکانها را بدست آورد . بدیهی است سیستمهایی که دارای درجه حرارت کمتر از از درجه حرارتهای فوق باشند در گروه Cold Lines قرار میگیرند .

علاوه بر سیستمهای Hot و Cold, هریک بر اساس قطر لوله به دو دسته لوله های با سایز بالا و لوله های با سایز پائین تقسیم میشوند . لوله هایی که دارای قطر 2" و کمتر هستند به Small Lines و لوله هایی که 3" و بالاتر هستند به Large Lines دسته بندی شده اند . ممکن است سیستمهای لوله کشی به سومین گروه نیز تقسیم شوند که البته این گروه توسط کد و استاندارد مشخص خواهد شد چرا که هر یک از استانداردهای لوله کشی بر حسب نیاز خود گروه بندی های خاصی را نیز بر سیستمهای لوله کشی اعمال میکنند .

اینکه براساس کدام کد محاسبات تنش انجام میشود امریست مهم چرا که بطور مثال ممکن است یک خط لوله که تحت استاندارد Nuclear Power Plant طراحی شده و در زمره Large Hot Line قرار دارد باید توسط نرم افزار چه به لحاظ استاتیکی و چه به لحاظ دینامیک ، تحت انجام آنالیز تنش قرار گیرد ولی اگر چنانچه لوله هایی را که دارای سایز نسبتاً بالا تحت استاندارد

B31.8 طراحی شده باشد میتوان در زمره Cold Line قرار داد و شاید احتمالا بتوان توسط محاسبات دستی و استفاده از چارتهای مربوطه محاسبه تنش را برای آنها انجام داد که البته این کاریست که توسط مهندس مربوطه تصمیم گیری میگردد .

## ۱-۲) تعاریف و اصطلاحات

چنانچه واضح است شاخه Piping با کلیه امور مهندسی در ارتباط می باشد بنابراین خیلی از تعاریف و اصطلاحات بکار رفته در سایر شاخه های مهندسی مکانیک و فرآیند ، ابزار دقیق ، ساختمان ، ... در Piping مورد استفاده قرار می گیرد و لذا با توجه به گستردگی مطلب اینجا تنها به ذکر مهمترین آنها پرداخته میشود :

- دیاگرام جریان یا فرآیند P.F.D

در این دیاگرام ارتباط مورد نیاز تجهیزات را به همراه اطلاعات فرآیندی از قبیل فشار و دما و موازنه جرم نمایش میدهد .

- دیاگرام لوله کشی به همراه ابزار دقیق P&ID

این دیاگرام مشخصات فرآیندی تجهیزات ، اجزاء و اقلام مورد نیاز در سیستم لوله کشی ، نیازهای ابزار دقیق و محل های قرارگیری آنها ، نحوه اتصالات لوله ها را بین تجهیزات مختلف همراه با شماره خط ها ( Line Number ) و ... را نشان میدهد .

- Line Number

تشکیل شده از یک سری عدد و حروف که به طور خلاصه این شماره معرف قطر اسمی لوله ، سرویس داخل لوله ، شماره سریال لوله و کلاس کاری لوله است در این خصوص میتوان به

IPS - E- PR-308 مراجعه نمود .



### - کلاس کاری Class Line

به مجموعه تعیین کننده سرویس لوله (مانند، جنس لوله ، فشار کاری ، دمای کاری و ....) گفته میشود .

### - Line List

به مجموعه طبقه بندی شده خطوط یک پروژه که شامل پارامترهای طراحی خط نظیر ، قطر لوله ، ضخامت دیواره ، نوع سیال ، دمای طراحی و دمای کاری، فشار طراحی و فشار کاری ، جنس ، ضخامت عایق و استاندارد بکار رفته می باشد .

### - Equipment List

مانند Line List به مجموعه طبقه بندی شده ای از تجهیزات بکار برده شده در پروژه می باشد .

### - Piping Specification

این نوع مدارک خط مشی پروژه را براساس مسائل فنی ، اقتصادی و غیره تعیین میکنند .

### - Plot Plan

این نقشه جانمایی تجهیزات یا Equipment Layout میباشد.

### - نقشه های ایزومتریک Piping

نمایش سه بعدی از سیستم لوله کشی است این نقشه ها در درک سه بعدی بسیار حائز اهمیت است و در نصب و اجراء مورد استفاده قرار می گیرند .

### - Piping Plan

این نقشه ها نمای از بالای مجموعه تجهیزات و لوله کشی های واقع در واحد است و دارای مقیاس بوده تا فضای اشغال شده و هم چنین وضعیت لوله ها را نسبت به هم مشخص می کند .

## سئوالات فصل اول

۱. ۱ (Q.۱) انواع دسته بندی سیستمهای لوله کشی را از نظر دمائی نام ببرید ؟
۲. ۱ (Q.۱) انواع دسته بندی سیستمهای لوله کشی را از نظر سایز نام ببرید ؟
۳. ۱ (Q.۱) تفاوت نقشه P & ID و PFD در چیست ؟
۴. ۱ (Q.۱) تفاوت نقشه های ایزومتریک در لوله کشی با Piping Plan در چیست ؟
۵. ۱ (Q.۱) Piping Specification چه مطالبی را عنوان می کند ؟
۶. ۱ (Q.۱) Plot Plan چه نوع نقشه ای است ؟

# فصل دوم

## مروری بر انواع اتصالات، فلنجه‌ها، شیرها

- مروری بر انواع اتصالات
- انواع روشهای اتصال
- مروری بر انواع Fitting
- مروری بر انواع فلنجه‌ها
- آشنایی با کلاس کاری فلنجه‌ها
- آشنایی با مشخصه های فلنج
- آشنایی و مقایسه انواع شیرهای صنعتی

## فصل دوم: مروری بر انواع اتصالات، فلنجه‌ها، شیرها

چنانچه در جزوه آشنایی با لوله کشی صنعتی به آن اشاره شده است در لوله کشی از مصالح و تجهیزات متفاوتی استفاده می شود. که در اینجا خلاصه ای از آن گفته می شود:

### ۱-۲) روشهای اتصال

جهت اتصال لوله به اتصالات سه روش وجود دارد:

الف) جوش لب به لب Butt-welded

در این روش ؛ لبه ضخامت اتصال می بایست معادل لبه ضخامت لوله باشد و معمولا برای  $Nps > 2$ " مورد استفاده قرار می گیرد.

ب) جوش ساکتی س Socket-Welded

در این روش معمولا برای  $Nps < 2$ " مورد استفاده قرار می گیرد و از مزایای آن تنظیم آسان و بالا رفتن سرعت اجرای کار می باشد این نوع اتصالات در کلاس کاری  $2000^{\#}$ ،  $3000^{\#}$ ،  $6000^{\#}$  و بنا به سفارش  $9000^{\#}$  ساخته می شوند.

ج) پیچی Screwed

بیشترین کاربرد این نوع در لوله کشی های گالوانیزه و یا آلیاژهای غیر فلزی می باشد. هرچند که سعی می شود از نوع دنده ای به علت ایجاد ایمنی بیشتر سیستم کمتر استفاده گردد اما در بعضی از جاها اجبارا می بایست از این نوع استفاده گردد مانند نصب فشار سنج ها. مشخصات دنده ها

در استاندارد ANSI B-1.20.1 تعریف شده است و به گونه ای طراحی شده است شکل (۱-۱۱) که با در گیر شدن دنده ها با یکدیگر آب بندی بهتری در دنده ها صورت می پذیرد.

اجزا و تجهیزات مختلف در لوله کشی مانند شیرها و صافی ها بر چهار گونه به سیستم لوله کشی متصل می شوند:

الف) فلنج Flange

ب) دنده ای Screwed

ج) جوش لب به لب Butt Welded

د) جوش ساکتی Socket – Welded

## ۲-۲) اتصالات لوله کشی Fitting

انواع اتصالات جوش از نوع Butt weld در شکل (۲-۱۱) و از نوع socket weld در شکل (۳-۱۱) و از نوع دنده ای در شکل (۴-۱۱) آمده است.

انواع دیگری از اتصالات را از لوله تهیه می کنند که از جمله می توان ساخت زانو (Miter Bend) سه راه و Reducer را نام برد که این نوع اتصالات دارای مشخصات و رفتارهای خاصی می باشند. معمولا این نوع اتصالات برای خطوط فشار پایین و با سایز  $10^3$  و بزرگتر به کار برده می شوند.

ضمنا افت فشار در Miter Bend حداقل دو برابر بیشتر از زانوی معمولی Long Radus می باشد.

## ۲-۳) فلنج ها: (Flanges)

فلنج ها برای اتصال سیستم لوله کشی به تجهیزات ثابت مانند مخازن، ظروف راکتورها، مبدلها، کوره ها، ..... و یا تجهیزات دوار مانند پمپها، کمپرسورها، توربین ها و ..... و یا شیرها، صافی ها

وتجهیزات کنترلی وبه طور کلی هر جایی که لازم باشد سیستم در مواقعی قابلیت جداسازی را داشته باشد بکار برده می شود. در شناسایی یک فلنج سه مشخصه می بایست معرفی گردد که عبارتند از:

۱-۳-۲) سطح تماس دو فلنج که اهم آنها عبارتند از:

الف) سطح صاف Flat Face: برای مکانهایی که حساسیت کار پایین است.

ب) سطح برجسته Raised Face: برای مکان هایی که نیاز به آب بندی مناسب دارند وعموما از این نوع اسفاده می شود. (شکل ۵-۱۱)

ج) رینگ دار Ring Face: برای مکانهایی که در شرایط سخت دما و فشار بالا کار می کنند. (شکل ۶-۱۱)

د) Lap Joint: تشکیل شده از یک قطعه لوله مانند، همراه با سطح برجسته و فلنج و برای کارهایی که تحت تنش خمشی نمی باشند. و در جاهایی که تنظیم سوراخهای پیچ دشوار است و یا قطعات S.S. می باشد کاربرد دارد. (شکل ۷-۱۱)

۲-۳-۲) از نظر نحوه اتصال به لوله (شکل ۷-۱۱)

I) Welding – Neck: در این حالت می بایست ضخامت لبه فلنج معادل با لبه ضخامت لوله باشد و معمولا برای  $Nps > 2$  استفاده می شود.

II) Socket Weld: معمولا برای  $Nps < 2$  استفاده می شود.

III) Screwed Weld: معمولا برای  $Nps < 2$  استفاده می شود.

IV) Slip-On: مقاومت این نوع تحت فشار داخلی تقریبا یک سوم مقاومت فلنج – Welding Neck مشابه است.

## ۳-۳-۲) از نظر مقاومت به فشار و دما

مهمترین عامل تعیین کننده یک فلنج مشخصه فشار و دما می باشد که به نام کلاس فلنج شناخته می شود. مشخصه فشار و دما برای هر جنس Material با یکدیگر متفاوت بوده که یک نمونه از آن برای جنس کربن استیل در (جدول ۸-۱۱) آمده است.

فلنج ها در کلاسهای  $150^{\#}$ ،  $300^{\#}$ ،  $600^{\#}$ ،  $900^{\#}$ ،  $1500^{\#}$  و  $2500^{\#}$  ساخته می شود البته از جنس های چدنی و غیر فلزی در کلاس  $125^{\#}$ ،  $250^{\#}$  نیز ساخته می شوند.

## ۴-۲) شیرها (Valves)

شیرها به منظور کنترل جریان مسیر بکار برده می شوند بنابر این انواع شیرها (اشکال ۹-۱۱) بر اساس کنترلهای مختلف بر پارامترهای جریان ساخته شده اند که اهم شیرهای مهم صنعتی را میتوان به شرح ذیل نام برد:

## Gate Valve –

پر مصرف ترین شیر در صنعت بوده و وظیفه آن On/Off کردن جریان است و استفاده آن جهت تنظیم جریان درست نمی باشد.

## Globe Valve –

این شیر جهت تنظیم جریان بکار برده می شود و در هنگام نصب می بایست جهت جریان در آن رعایت گردد.

## Needle Valve –

یک شیر کوچک و حساس است که برای کنترل و تنظیم دقیق جریان در سیالات بکار برده میشود.

## Angle Valve –

یک شیر زاویه دار است بطوریکه جهت جریان در یک راستا نبوده و نسبت به هم دارای زاویه می باشد. و این شیر برای تنظیم جریان بکار برده می شود.

## Butterfly Valve –

ساختمان این شیر به گونه است که با حجم کم، قادر به کنترل جریان می باشد و در دو نوع فلنجی و Wafer ساخته می شود.

## (Cock)Plug Valve –

از یک دیسک به صورت استوانه ای و یا مخروطی ساخته شده است و جهت On/Off جریان بکار برده می شود این نوع شیرها سریع عمل کرده اما از آبنندی مناسبی برخوردار نیستند.

## Ball Valve –

مکانیزم عملکرد آن شبیه به Plug Valve بوده اما به جای دیسک استوانه و یا مخروط از یک گوی استفاده می شود و به گونه ای طراحی شده است که از آبنندی مناسبی برخوردار است. و مصرف اصلی آن برای خطوط گاز و گازهای سیستم خلا می باشد.

## Check Valve –

به منظور عدم برگشت سیال بکار برده می شود و بطور کلی فقط از یک طرف شیر مسیر را باز نگه داشته و از طرف دیگر مانع عبور جریان می باشد و بستگی به ساختمان داخلی آنها انواع مختلفی دارد در هنگام نصب رعایت جهت جریان و مسیر افقی یا عمودی مهم است.

## Foot Valve –

این نوع شیرها برای ورودی تلمبه های شناور استفاده می شود و از یک شیر یک طرفه و صافی تشکیل شده است و همواره داخل سیال غوطه ور می باشد.

## Safty Valve –

شیر اطمینان یک شیری است که سریع باز می شود و جریان کاملی از هوا و سایر گازها را از خود عبور می دهد. (شکل ۱۰-۱۱)

## Relief Valve –

این نوع شیر فشار اضافی مایعات را در شرایطی که نیاز به تخلیه با جریان کامل نمی باشد و تخلیه حجم کمی از آنها موجب کاهش سریع فشار می شود را آزاد می نماید. (شکل ۱۰-۱۱)



## سئوالات فصل دوم

۱. Q.۲.۱) اتصال لوله به Fitting ها با چه روشهایی انجام می گیرد ؟
۲. Q.۲.۲) کلاسهای کاری اتصالات زیر 2" را نام ببرید ؟
۳. Q.۲.۳) تفاوت دندهای لوله با پیچهای صنعتی در چیست ؟
۴. Q.۲.۴) اجزاء و تجهیزات در لوله کشی ، با چه روشهایی میتوان به سیستم لوله کشی متصل کرد ؟
۵. Q.۲.۵) سه نوع Fitting که در سایز 2" وجود دارد و در سایزهای بالای 2" وجود ندارند را نام ببرید ؟
۶. Q.۲.۶) Miter Bend چیست و چه معایبی دارد ؟
۷. Q.۲.۷) انواع سطوح فلنج را نام برده و محل کاربردشان را شرح دهید ؟
۸. Q.۲.۸) Slip-on چه نوع فلنجی است ؟
۹. Q.۲.۹) کلاس کاری فلنج یعنی چه و آنها را نام ببرید ؟
۱۰. Q.۲.۱۰) چه شیرهایی برای کنترل جریان مناسب هستند ؟
۱۱. Q.۲.۱۱) تفاوت Safety Valve و Relief Valve در چیست ؟
۱۲. Q.۲.۱۲) Foot Valve چه نوع شیری است ؟

# فصل سوم

## محاسبات ضخامت دیواره لوله

- معرفی فاکتورهای تعیین کننده ضخامت لوله
- محاسبه ضخامت لوله تحت فشار داخلی
- انتخاب لوله استاندارد با توجه به ضخامت محاسبه شده
- تعریف فشار خارجی بر لوله
- راه های تقویت لوله تحت فشار خارجی
- محاسبه ضخامت لوله تحت فشار خارجی

## فصل سوم : محاسبات ضخامت دیواره لوله

محاسبه ضخامت لوله در استانداردهای مختلف با هم متفاوت می باشد بنابراین باید دقت شود که در کدام استاندارد معرفی شده در مقدمه باید محاسبات انجام شود لیکن روش کار در تمامی استانداردها نزدیک به هم می باشد و روش عنوان شده در اینجاستاندارد ANSI B- 31.3 برداشت شده است:

### ۳-۱) محاسبه ضخامت دیواره تحت فشار داخلی

برای محاسبه ضخامت دیواره لوله می بایست سه مرحله را انجام داد که عبارتند از:  
 ۳-۱-۱) در ابتدا حد اقل ضخامت براساس فرمول زیر به دست می آید.

$$t_m = \frac{PD_0}{2(SE + PY)} + C$$

$T_m$  : حداقل ضخامت لوله مورد نیاز برحسب (in)

$P$  : فشار طراحی بر حسب (psig)

$D_0$  : قطر خارجی بر حسب (in)

$S$  : تنش مجاز است و مقدار آن شدیداً بستگی به دمای طراحی دارد و مقدار آن در استاندارد

مربوطه و یا در ASME SEC II وجود دارد (جدول ۱۱-۱۱)

$E$  : ضریب راندمان اتصال طولی است و مربوط به نحوه ساخت می باشد مقادیر آن در جدول

(3-1) وجود دارد.

$Y$  : ضریب اصلاح دمایی است و مقدار آن در جدول (۳-۲) قابل دستیابی است.

ASME B31.1-1995 Edition

TABLE 104.1.2(A)  
VALUES OF  $y$ 

Temperature, °F	900 and Below	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250 and Above
Temperature, °C	482 and Below	510	538	566	593	621	649	677 and Above
Ferritic steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Austenitic steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7
Nickel Alloys UNS Nos. N08800, N08810, N08825	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7

## GENERAL NOTES:

- (a) The value of  $y$  may be interpolated between the 50°F (27.8°C) values shown in the Table. For cast iron and nonferrous materials,  $y$  equals 0.4.  
 (b) For pipe with a  $D_o/t_m$  ratio less than 6, the value of  $y$  for ferritic and austenitic steels designed for temperatures of 900°F (480°C) and below shall be taken as:

ASME B31.1-1995 Edition

TABLE 102.4.3

Type of Joint	Weld Joint Efficiency Factor $E$
Electric or gas fusion weld	
Single butt weld with filler metal	0.80
Single butt weld without filler metal	0.85
Double butt weld with or without filler metal	0.90
Single or double butt weld with or without filler metal with 100% radiography per Para. 136.4.5 or the material specifications, as applicable	1.00
Electric resistance weld	0.85
Furnace butt weld	0.60

جدول ۳-۲ ( ضریب اصلاح  
دمایی (E)

جدول ۳-۱ ( ضریب اتصال  
راندمان طولی (Y)

C: مقدار خوردگی، سائش مجاز است که می بایست هم برای خوردگی وهم سائیدگی داخلی وهم خارجی در نظر گرفته شود این مقدار متناسب با طول عمر سیستم تعیین می گردد. (1N)  
 ۳-۱-۲) پس از تعیین مقدار فوق می بایست مقدار تیرانس ساخت را هم بر آن اضافه کنیم. این مقدار معمولا 12.5٪ مقدار  $T_m$  در نظر گرفته می شود اما مقدار دقیق آن را می بایست از استاندارد ASTM پیدا نمود بنابراین خواهیم داشت :

$$t_m = t_m (1 + M)$$

$T_m$ : ضخامت لوله با تیرانس ساخت بر حسب اینچ

M: میزان تیرانس ساخت بر حسب در صد

۳-۱-۳) چونکه ممکن است ضخامت به دست آمده استاندارد نباشد در این مرحله اولین ضخامت افزایشی را بر اساس قطر لوله در جدول استاندارد لوله ها جدول (۱۲-۱۱) انتخاب کرده و بدین ترتیب ضخامت استاندارد شده لوله بدست خواهد آمد. منظور از ضخامت افزایشی آن است که ضخامت بالاتر را در نظر می گیریم.

در آخر یادآوری می گردد که بهتر است محاسبه ضخامت لوله براساس مراجع اصلی استاندارد انجام شده تا چنانچه شرایط خاصی وجود داشته باشد تمامی موارد در آن دیده شود و این فرمول تنها برای شرایط عمومی قابل استفاده می باشد.

## ۳-۲) محاسبه ضخامت لوله تحت فشار خارجی

معمولا فشار خارجی در لوله های با Jacket و یادر شرایطی که لوله در خلا می باشد اعمال می شود بنابراین در این حالت حداکثر اختلاف فشار بین آتمسفر و فشار داخل لوله برابر 14.3 psig و یا 1 barg خواهد بود.

برای مقاوم کردن لوله در برابر تحمل این فشار دوروش وجود دارد که عبارتند از :

روش اول: استفاده از لوله با ضخامت بیشتر جهت تحمل فشار خارجی

روش دوم: استفاده از لوله با ضخامت کمتر و استفاده از Stiffening Ring که در فواصل مشخصی از لوله به آن متصل می شود.

بطور کلی جهت محاسبه ضخامت لوله تحت فشار خارجی می بایست بر اساس استاندارد ASME Section VIII Division 1 و از بندهای UG-28 و UG-29 و UG-30 استفاده نمود .

این استاندارد مربوط به تعیین ضخامت ظروف تحت فشار خارجی می باشند. لیکن با توجه به گستردگی مطلب اینجا تنها به روش محاسبه برای روش اول پرداخته میشود. برای لوله هایی با

SCH 120 و کمتر در شرایط  $d_0/t > 10$  برقرار خواهد بود. و به ترتیب زیر عمل می کنیم:

۳-۲-۱) ابتدا ضخامتی برای لوله در نظر گرفته و بر اساس طول لوله مقادیر  $L/d_0$  و  $d_0/t$  را

بدست می آوریم.

۳-۲-۲) مقدار A را از روی نمودار (۱۱-۱۳) بدست آورده و برای این منظور می بایست در شکل G در Subpart 3 of Section II Part D مقادیر به دست آمده در بند (۳-۲-۱) را قرار داده و مقادیر فوق بدست آید در صورتیکه  $L/d_0 > 50$  مقدار را برابر 50 و برای کمتر از 0.05 مقدار 0.05 را برای  $L/D_0$  در نظر می گیریم.

۳-۲-۳) مقدار به دست آمده A را در جدول (۱۱-۱۴) Subpart 3 of Section II Part D بر اساس مواد و دما گذاشته می شود. در صورتیکه در سمت راست منحنی قرار گیرد مقدار B را بدست آورده در صورتی که در سمت چپ منحنی قرار گیرد مطابق بند ۳-۲-۶ عمل می گردد. ۳-۲-۴) بر اساس فرمول زیر مقدار  $P_a$  یعنی فشار ماکزیمم فشار خارجی را بدست می آوریم.

$$P_a = \frac{4B}{3(D_0/t)}$$

۳-۲-۵) این عدد باید بزرگتر از فشار خارجی باشد در غیر این صورت با تغییر مقدار t وظی مراحل ۳-۲-۱ تا ۳-۲-۴ را تکرار می نمایم تا با روش سعی و خطا بهترین ضخامت بدست آید. ۳-۲-۶) چنانچه در بند ۳-۲-۳ گفته شد اگر مقدار بدست آمده در روی منحنی در سمت چپ قرار گیرد از فرمول زیر محاسبه می گردد.

$$P_a = \frac{2AE}{3(D_0/t)}$$

مقدار E مدول الاستیسیته فلز در دمای طراحی (جدول ۱۱-۱۵) می باشد.

در اینجا نیز می بایست نتایج مطابق با بند ۳-۲-۵ مقایسه گردد تا بهترین ضخامت بدست آید.

## سئوالات فصل سوم

۱. Q.۳.۱ ضریب E در محاسبه ضخامت لوله معرف چیست ؟
۲. Q.۳.۲ عامل دما به چه صورت در فرمول ضخامت لوله در نظر گرفته شده است ؟
۳. Q.۳.۳ ضخامت نهایی لوله (SCH) چگونه از فرمول لوله به دست می آید ؟
۴. Q.۳.۴ راه های تقویت لوله تحت فشار خارجی چیست ؟
۵. Q.۳.۵ ضریب E در فرمول فشار خارجی چیست ؟
۶. Q.۳.۶ برای محاسبه ضخامت لوله تحت فشار خارجی از کدام استاندارد استفاده می گردد ؟

مسئله ۱ ( P.۳.۱ ) SCH لوله را برای شرایط کاری زیر محاسبه کنید:

$$Nps : 8''$$

$$T : 260^{\circ}C$$

$$P : 4135(Kpa) \ 600 \ Psig$$

$$C : 1.6(mm) \ 0.063(in)$$

$$Mat : ASTM \ A53 \ Gr \ B$$

مسئله ۲ ( P.۳.۲ ) برای لوله با شرایط ذیل تحت فشار خارجی ضخامت لوله را محاسبه کنید :

$$D_0 : 10.75$$

$$P_0 : 350 \ psig$$

$$T_0 : 300^{\circ}F$$

$$Mat : ASTM \ A53 \ Gr \ B$$

# فصل چهارم

## روشهای انشعاب گیری

- آشنایی با انواع روشهای انشعاب گیری
- آشنایی با انشعاب گیری Stub-In , Lateral
- تعریف Reinforcement Pad
- آشنایی با انواع O-Lot ها
- نحوه محاسبه Reinforcement Pad



## فصل چهارم: روشهای انشعاب گیری

از آنجایی که یکی از نقاط ضعیف در لوله کشی نقاط انشعابی هستند لذا جهت گرفتن انشعاب از روشهای مختلفی با توجه به فشار و دمای سیال خط اصلی (Header Line) استفاده می گردد.

### ۱-۴) انواع روشهای انشعاب گیری

الف) انشعاب گیری توسط اتصال سه راه (Tee) یا (Reducer Tee) می توان انشعاب هم سایز و یا انشعاب کوچکتری را گرفت. همچنین با استفاده از Cross یا چهار راهی می توان دو انشعاب را از یک خط داشت.

ب) استفاده از Half Coupling برای گزفتن انشعابات با سایز  $\leq 1\frac{1}{2}$ " از لوله های اصلی با سایز بزرگتر از 2"

گاهی اوقات از Coupling استفاده می گردد.

ج) انشعاب گیری توسط اتصال دهنده های Thred-0-Let , Sock -0-Let , Weld-0-Let این نوع تجهیزات مطابق شکل (۱۶-۱۱) بوده و برای انشعاب گیری دو سایز غیر اندازه مورد استفاده قرار می گیرد.

د) Sweep-0-Let نوع خاصی است که جهت لوله های تنش تسلیم بالا تولید می گردد. و با توجه به سطح زیاد آن موجب به حداقل رساندن تنش در محل انشعاب می گردد. (شکل ۱۶-۱۱)

ه) استفاده از Stub -In به منظور اتصال مستقیم لوله به لوله بوده و این روش برای مسیرهای با مقاومت کم (فشار و دما پایین) قابل استفاده است و کمترین هزینه را داراست.

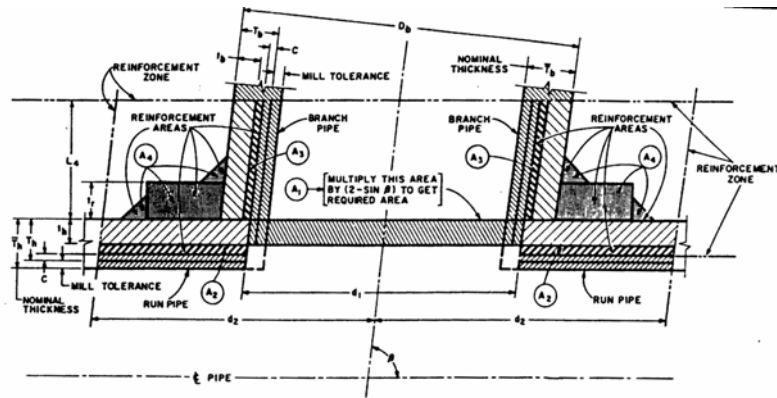
و) Lateral امکان انشعاب گیری از لوله اصلی را با زاویه دلخواه فراهم میکند و مانند Stub -In در مکانهایی که مقاومت کم در نظر است میتوان استفاده نمود. جدول (۱۷-۱۱)

ز) Threaded -Nip -O- Let و Socket-Nit-O-Let مطابق شکل (۱۶-۱۱) نیز جهت انشعاب گیری استفاده می شود در این حالت با یک Nipple می باشد.

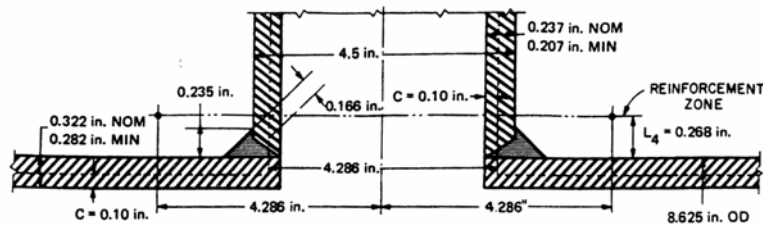
ح) استفاده از Stub- In یا lateral و صفحات تقویت کننده Rein forcing Pad ویا Reinforcing Saddle در جاهاییکه لازم باشد محل انشعاب تقویت شود مورد استفاده قرار گیرد. Reinforcing saddle مانند اتصالات باید مورد سفارش قرار گیرد و تهیه شود اما Reinforcing Pad در محل کارگاه قابل ساخت بوده بنابراین در بیشتر مواقع از این نوع تقویت کننده استفاده می گردد که دارای محاسبات خاصی می باشد.

## ۲-۸) نحوه محاسبه Reinforcing Pad

در استانداردها و کدهای مختلف روشهای متفاوتی برای محاسبه Reinforcing Pad وجود دارد اما آنچه مسلم است در این روشها ابتدا با توجه به سطح مقطع برداشته شده و مقاومت جوش داده شده لزوم وجود صفحه تقویت کننده را مورد بررسی قرار می دهند (شکل ۱-۸) و چنانچه پاسخ منفی باشد ادامه محاسبات متوقف می گردد و در صورت مثبت بودن ادامه محاسبات انجام شده تا ضخامت و پهنای رینگ تقویت کننده بدست آید. باید توجه داشت که نایستی ضخامت Pad از ضخامت لوله اصلی (Header) بیشتر باشد جهت محاسبه جداول خاصی مانند جدول (۲-۸) وجود دارد که با انجام مراحل قدم به قدم و پر کردن آن می توان به راحتی به جواب مورد نظر دسترسی پیدا نمود.



**Figure 7-2.** This figure illustrates the nomenclature used in ANSI Code B31.3, Section 304.3.3, 1980. It does not indicate complete welding details or a preferred method of construction. (Reprinted courtesy of the American Society of Mechanical Engineers.)



**Figure 7-3.** Figure of branch reinforcement for use in Example 7-1.

شکل ۱-۴) محاسبه صفحه تقویتی

شرح اصطلاحات در استاندارد B31.3 به قرار زیر است:

$b$  = SUBSCRIPT REFERRING TO BRANCH

$h$  = SUBSCRIPT REFERRING TO HEADER

$d_1$  = EFFECTIVE LENGTH REMOVED FROM PIPE @ BRANCH

$d_2$  = HALF WIDTH OF REINFORCEMENT ZONE

=  $d_1$  OR  $(T_b - C) + (T_h - C) + d_1/2$  WHICHEVER IS GREATER BUT IN ANY CASE NOT MORE THAN  $D_h$

$L_4$  = HEIGHT OF REINFORCEMENT ZONE OUTSIDE OF RUN PIPE

=  $2.5 (T_h - C)$  OR  $2.5 (T_b - C) + T_r$  WHICHEVER IS LESS

$T_r$  = MIN. THK. OF REINF. RING OR SADDLE MADE FROM PIPE

(USE NOM. THK. IF MADE FROM PLATE)

= 0 IF NO REINF. RING OR SADDLE

$t$  = PRESSURE DESIGN THK. OF PIPE ACC. TO THE CODE FORMULA

$\beta$  = SMALLER ANGLE BETWEEN AXES OF BRANCH & RUN (ALWAYS

$45^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ )

$T_h$  OR  $T_b$  = PIPE W.T. OF HDR . OR BRANCH ( MEASURED OR MIN . PER PURCHASE SPECIFICATION )

$\bar{T}_O \bar{T}_b$  = NOM . W.T. OF HDR OR BRANCH.

Piping Stress Handbook

BRANCH REINFORCEMENT																											
<p><b>304.1.2 Straight Pipe Under Internal Pressure</b>                      (a) For metallic pipe, the internal pressure design thickness (t) shall be not less than calculated by the following Equation 3, if t is less than <math>D_o/4</math>:</p> $t = \frac{PD_o}{2(SE + PY)} \text{ or } t = \frac{Pd}{2(SE + PY-P)} \dots\dots (3)$ <p>Table 304.1.1                      Values of Y for Ferrous Materials</p> <table border="1"> <tr> <td>Temperature Degree °F</td> <td>900 &amp; Below</td> <td>950</td> <td>1000</td> <td>1050</td> <td>1100</td> <td>1150 &amp; Above</td> </tr> <tr> <td>Ferritic Steels</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Austenitic Steels</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.7</td> </tr> </table>				Temperature Degree °F	900 & Below	950	1000	1050	1100	1150 & Above	Ferritic Steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	Austenitic Steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	DESIGN CONDITIONS: ..... psig ..... °F		
				Temperature Degree °F	900 & Below	950	1000	1050	1100	1150 & Above																	
Ferritic Steels	0.4	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7																					
Austenitic Steels	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7																					
		HEADER			BRANCH																						
Nominal Size																											
Outside Diameter		$D_{oh}$		$D_{ob}$																							
Nominal Wall		$T_h$		$T_b$																							
Actual or min. Wall		$T_h$		$T_b$																							
Material Spec. ASTM																											
Allowable Stress		$S_h$		$S_b$																							
Joint Efficiency		$E_h$		$E_b$																							
Y Coefficient		$Y_h$		$Y_b$																							
Mech./Corr. Allow.		$C_h$		$C_b$																							
Intersection Angle		$\beta$		$\beta$																							
<p>REQUIRED THICKNESS OF HEADER AND BRANCH:</p> $t_h = \frac{PD_{oh}}{2S_h E_h + 2Y_h P} = \frac{\dots\dots \times \dots\dots}{2 \times \dots\dots \times \dots\dots + 2 \times \dots\dots \times \dots\dots} = \dots\dots$ $t_b = \frac{PD_{ob}}{2S_b E_b + 2Y_b P} = \frac{\dots\dots \times \dots\dots}{2 \times \dots\dots \times \dots\dots + 2 \times \dots\dots \times \dots\dots} = \dots\dots$																											
<p>LIMITS OF REINFORCEMENT:</p> $d_1 = \frac{D_{ob} - 2(T_b - C_b)}{\sin \beta} = \frac{\dots\dots - 2 \times (\dots\dots - \dots\dots)}{\dots\dots} = \dots\dots$ $d_2 = d_1 \text{ or } = (T_b - C_b) + (T_h - C_h) + 0.5d_1 = (\dots\dots - \dots\dots) + (\dots\dots - \dots\dots) + 0.5 \times \dots\dots = \dots\dots$ <p>Select larger of the values, but not to exceed <math>D_{oh}</math> <math>d_2 = \dots\dots</math></p> $L_4 = 2.5(T_h - C_h) = 2.5(\dots\dots - \dots\dots) \text{ or } = 2.5(T_b - C_b) + t_e = 2.5(\dots\dots - \dots\dots) + \dots\dots$ <p>Select lesser of the values (<math>t_e = 0</math> if pad or saddle is not used) <math>L_4 = \dots\dots</math></p>																											
<p>REQUIRED AND AVAILABLE REINFORCEMENT AREA:</p> <p>Area = <math>t_h d_1 = \dots\dots \times \dots\dots = \dots\dots</math> sq. in. required.</p> $A_1 = (2d_2 - d_1)(T_h - t_h - C_h) = (2 \times \dots\dots - \dots\dots)(\dots\dots - \dots\dots - \dots\dots) = \dots\dots$ $A_2 = 2L_4(T_b - t_b - C_b) = 2 \times \dots\dots (\dots\dots - \dots\dots - \dots\dots) = \dots\dots$ $A_3 = t_e^2 = (\dots\dots)^2 = \dots\dots$ $A_1 + A_2 + A_3 = \dots\dots + \dots\dots + \dots\dots = \dots\dots$ sq. in. available.																											
<p>Area A - <math>(A_1 + A_2 + A_3) = \dots\dots - \dots\dots = \dots\dots</math> sq. in. of area in pad required - <math>A_4</math></p> $A_4 \div 2 = \text{sq. in. of pad on each side of nozzle} = \dots\dots \div 2 = \dots\dots$ $\frac{A_4 \div 2}{t_e} = L = \dots\dots \div \dots\dots = \dots\dots$ <p>QED use pad <math>t_e = \dots\dots \times L = \dots\dots</math></p>																											

Figure 7-1. Reproduction of ANSI/ASME Code B31.3, Section 304.3.3 giving detailed requirements for branch reinforcement.

### سئوالات فصل چهارم

۱. Q.۴.۱) چند نوع O-Let را نام برده و محل مصارفشان را بیان کنید؟

۲. Q.۴.۲) منظور از انشعاب گیری Lateral چیست و تفاوت آن با Stub-In در چیست؟

۳. Q.۴.۳) صفحه تقویت کننده Reinforcement Pad به چه منظوری و در کجا به کار برده می

شود؟

۴. Q.۴.۴) تفاوت Reinforcement Pad با Saddle Pad در چیست؟

۵. Q.۴.۵) حداقل ضخامت در نظر گرفته شده برای Reinforcement Pad بر چه مبنائی تعیین

می شود؟

مسئله (P.۴.۱) اگر از یک لوله 10" یک انشعاب 6" گرفته شود چند درصد فشار قابل تحمل لوله

Header را میتوان Operate کرد؟

مسئله (P.۴.۲). برای لوله با مشخصات ذیل تعیین کنید که آیا Reinforcement Pad

میخواهد یا خیر؟ و در صورت نیاز مشخصات آن چیست؟

$$DN = 200$$

$$\bar{T}_h = 8.2 \text{ mm}$$

Header Material: A53 GrB

$$E = 0.85$$

$$T = 204^\circ\text{C}$$

$$P = 4135 \text{ Kp}$$

$$C = 2.5$$

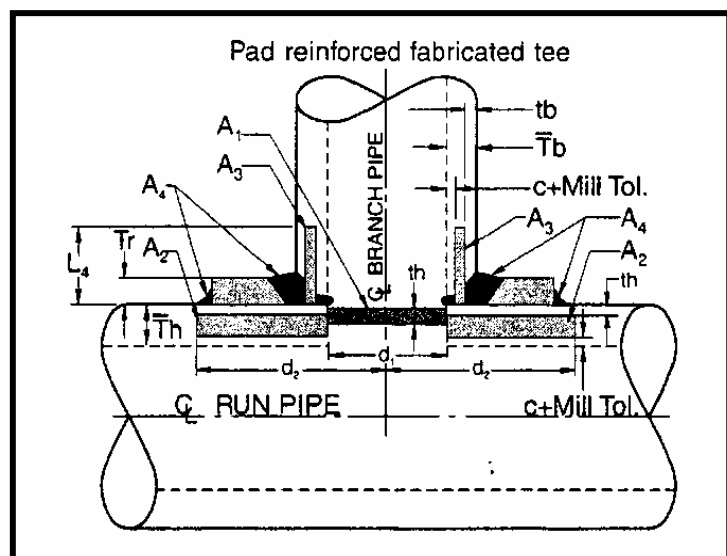
$$D_b = 114.3$$

$$\bar{T}_b = 6.0 \text{ mm}$$

Branch Material: A53 GrB

$$E = 1$$

$$T_r = (8.2 - 1.0) = 7.2 \text{ mm}$$



## فصل پنجم

# سایز کردن لوله ها

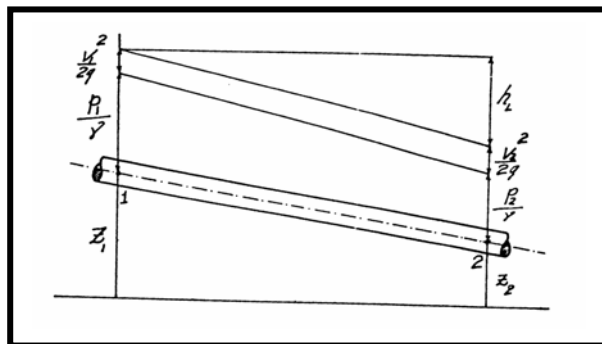
- منظور از سایز کردن لوله
- محاسبه افت فشار در لوله ها
- معادله برنولی در لوله ها
- افت فشار خطی در لوله
- عوامل موثر در افت فشار موضعی
- روشهای مختلف جهت محاسبه افت فشار موضعی
- تعیین قطر لوله بر اساس سرعت مجاز
- تعیین قطر لوله بر اساس افت فشار مجاز

## فصل پنجم: سایز کردن لوله ها

منظور از سایز کردن لوله تعیین قطر نامی لوله می باشد که برای این منظور می بایست پارامترهای مختلفی را در نظر گرفت ولی از آنجاییکه این بحث بسیار مفصل بوده و از حوصله این جزوه خارج است در این فصل فقط به بررسی جریان سیالات غیر قابل تراکم تک فازی که عمومی ترین مصرف را در صنایع دارند پرداخته خواهد شد. به منظور بررسی و آشنایی بیشتر با سایز کردن لوله ها میتوان به منابع دیگری از جمله دو مرجع زیر مراجعه نمود:

- Ludwig E.E, Applied Process Design For Chemical And Petrochemical Plants, Vol I, Gulf Publishing Co
- Glavde B Nolte, Optimum Pipe Size Selection, Trans Tech Publication

### ۵-۱) محاسبه افت فشار در لوله



شکل ۵-۱) هیدرولیک لوله ها

افت فشار در لوله ها به علت اصطکاک ذرات سیال بروی یکدیگر و یا با جداره لوله بوجود می

آید که در نتیجه آن موجب کاهش انرژی قابل تبدیل به کار می گردد. ( $h_f$ )

از طرفی با سیستم های تولید کننده انرژی ( $h_p$ ) مانند پمپها می توان مقداری از  $h_1$  را جبران نمود بنابراین این معادله برنولی را میتوان به صورت کلی زیر نوشت. (شکل ۵-۱)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - H_L + H_p = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

به طور کلی افت فشار به دو صورت افت فشار خطی و یا افت فشار موضعی ظاهر می گردد.

#### ۵-۱-۱) افت فشار خطی

محاسبه افت فشار خطی را در یک لوله مستقیم از رابطه اصلی دارسی می توان بدست آورد:

$$H_L = f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \times \rho \frac{V^2}{2}$$

$H_L$ : افت فشار بر حسب متر

$L$ : طول لوله بر حسب متر

$V$ : سرعت متوسط سیال بر حسب متر بر ثانیه

$D$ : قطر داخلی لوله بر حسب متر

$f$ : ضریب اصطکاک بدون بعد

$g$ : شتاب جاذبه بر حسب متر بر مجذور ثانیه

$\Delta P$ : افت فشار

$\rho$ : جرم مخصوص سیال

$\nu$ : ویسکو زیتة سینامیک مایع  $m^2/s$

این معادله برای جریانهای آرام (Laminar flow) و یا در هم (turbulent flow) استفاده نمود. اما

عدد  $f$  برای دو نوع جریان متفاوت بوده و براساس عدد رینولدز ( $R_e = \frac{D \cdot V}{\nu}$ ) تعیین می گردد.



مقدار  $f$  برای جریان آرام  $Re < 2000$  فقط تابع عدد  $Re$  می باشد و برابر است با :

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64\nu}{DV}$$

بنابر این برای مقدار افت فشار خواهیم داشت:

$$H_L = \frac{64\nu LV}{2gD^2}$$

$$\Delta P = 64LV \frac{\nu}{2D^2}$$

مقدار  $f$  برای جریان درهم  $Re > 4000$  ضریب اصطکاک تابعی از عدد رینولدز نیست بلکه به زبری سینی لوله یعنی  $\epsilon/D$  نیز بستگی دارد  $\epsilon$  زبری جداره است، روابط زیادی در خصوص تعیین مقدار  $f$  وجود دارد اما کاربردی ترین آنها استفاده از نمودار مودی (نمودار ۲-۵) می باشد.

۲-۱-۵) افت فشار موضعی

افت فشار موضعی در شیرها، زانوئی ها و دیگر اتصالات بوجود می آید. این افت حاصل از دو عامل می باشد :

◇ عامل اول : افت فشار در داخل اتصالات که این مقدار بر اثر اصطکاک سیال در سطوح داخلی اتصالات بوجود می آید و در مواقعی که موجب تغییر جهت جریان میگردد حرکت سیال را مغشوش کرده و افت فشار بیشتری تولید می کند .

◇ عامل دوم : بر اثر وجود اتصال و یا تغییر سطح مقطع در مسیر لوله حرکت سیال بعد و قبل از آن مغشوش شده و افت فشاری را موجب میگردد .

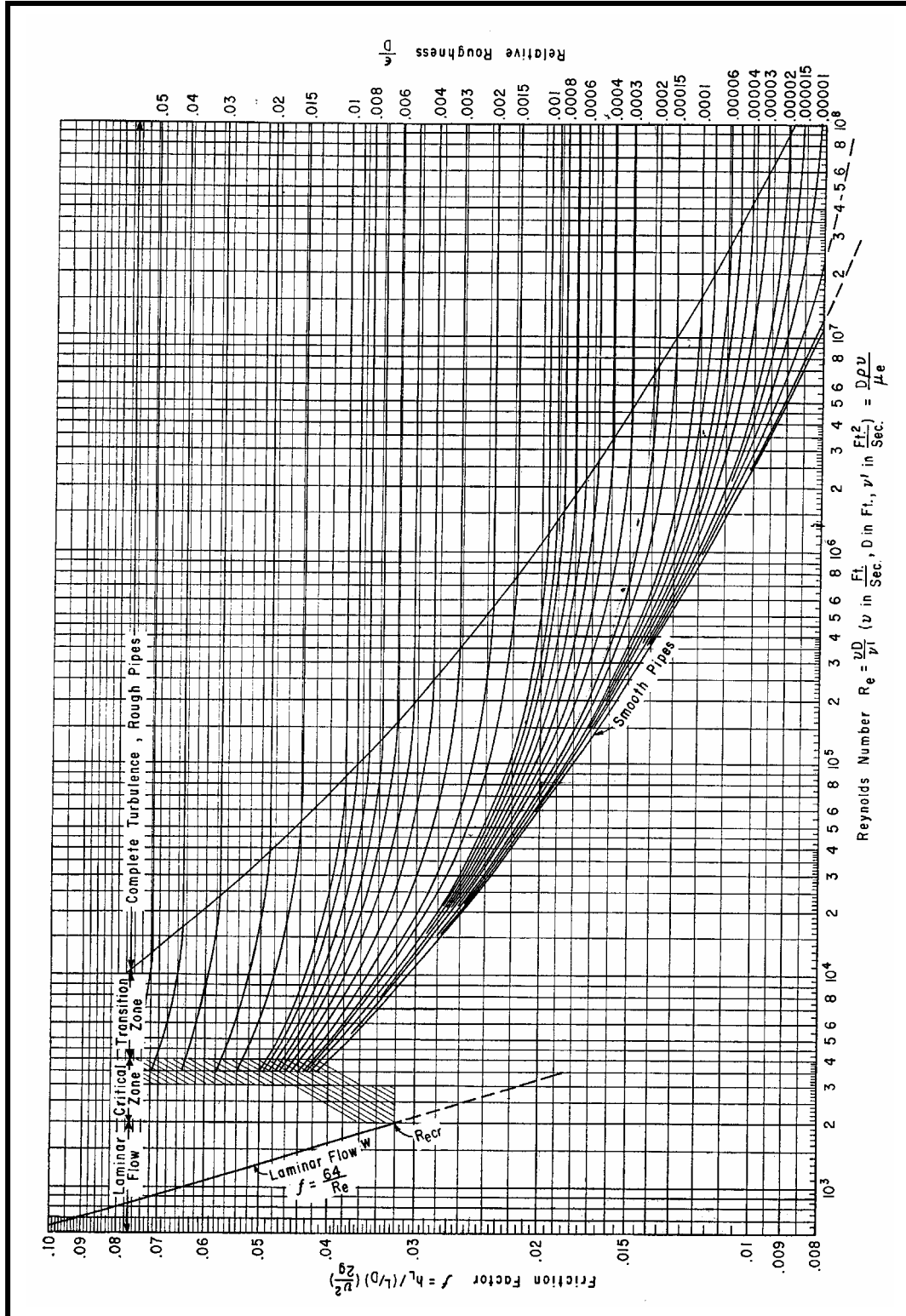
افت فشار موضعی معمولاً به یکی از دو روش زیر محاسبه می گردد:

الف) روش مستقیم: در این روش افت فشار در هر یک از اجزای لوله کشی از رابطه زیر بدست می آید:

$$H_L = K \frac{V^2}{2g}$$

ضریب  $K$  از جدول (۱۱-۱۸) برای اجزای مختلف لوله کشی بدست می آید.

با این روش مقدار  $H_L$  برای هر جزء بدست آمده و با  $H_L$  بدست آمده برای لوله مستقیم جمع می گردد و مقدار  $H_L$  کلی مسیر بدست می آید.



نمودار ۲-۵) نمودار مودی

ب) روش طول معادل

در این روش افت فشار در اجزای لوله کشی بر اساس طول معادل لوله مطابق نمودار (۱۹-۱۱) بدست می آید و سپس طولهای معادل را با طول لوله جمع و طول جدید را در محاسبات قرار داده و مقدار  $H_L$  را بدست می آورند.

## ۵-۲) تعیین قطر لوله

به منظور تعیین قطر لوله (سایز کردن) می بایست مراحل زیر را دنبال نمود:

۵-۲-۱) تعیین داده ها که معمولا نوع سیال، مقدار دبی، فشار، دمای سیال مشخص است.

۵-۲-۲) دانسیته و ویسکوزیته بر اساس داده های بند اول مشخص می گردد.

۵-۲-۳) با توجه به بند ردیف اول و جداول (۲۰-۱۱) سرعت سیال را مشخص می کنیم. در فرض اول حداکثر سرعت را در نظر می گیریم.

۵-۲-۴) با توجه به معادل پیوستگی و بر اساس معادله ذیل می توان قطر اولیه را بدست آورد:

$$Q = AV$$

$$\Rightarrow 1.1287 \sqrt{\frac{Q}{V}} \quad (I)$$

$$A = \pi \frac{D_i^2}{4}$$

$D_i$ : قطر داخلی لوله بر حسب متر

$Q$ : دبی جریان بر حسب  $m^3/s$

$V$ : سرعت متوسط عمود بر سطح جریان  $m/s$

۵-۲-۵) قطر بدست آمده می بایست به قطر اسمی لوله مطابق جدول استاندارد لوله ها

جدول (۱۲-۱۱) اصلاح شود و نزدیکترین اندازه و بیشتر به آن تعیین شود.

۵-۲-۶) با تعیین قطر لوله مطابق آنچه که در فصل سوم گفته شده است ضخامت لوله را بدست می آوریم.

۵-۲-۷) با قطر اسمی لوله و ضخامت بدست آمده قطر داخلی حساب و مجددا سرعت در لوله براساس فرمول (I) محاسبه می گردد در صورتیکه سرعت سیال در لوله در محدوده مجاز باشد مراحل بعدی را ادامه می دهیم و در غیراین صورت می بایست از مرحله ۵-۲-۳ کار را تکرار کنیم.

۵-۲-۸) با توجه به مسیر در نظر گرفته شده و مطالب گفته شده افت فشار را در مسیر بدست می آوریم.

۵-۲-۹) در صورتیکه مقدار افت فشار در حد مجاز باشد (این مقدار را می توان از روی جداول ۱۱-۲۰) بدست آورد و یا در بعضی از موارد توسط بهره بردار مشخص می گردد) قطر تعیین شده صحیح می باشد در غیر این صورت مطابق مرحله بعدی اقدام میگردد.

۵-۲-۱۰) با توجه به داشتن دبی و افت فشار مجاز و قطر لوله سرعت را در لوله بدست می آوریم. برای بدست آوردن سرعت در لوله با داشتن  $Q$  و  $h_l$  می توان از نمودار (۱۱-۲۱) استفاده نمود. و مقدار  $f$  را بدست آورد پس با استفاده از فرمول زیر می توان سرعت را در لوله بدست آورد.

$$h_l = f \frac{L}{D} \quad \frac{V^2}{2g}$$

۵-۲-۱۱) در صورتیکه سرعت در محدوده مجاز باشد که قطر بدست آمده مورد قبول است در غیر این صورت می بایست مراحل از بند ۵-۲-۳ تکرار می شود و این عمل آنقدر تکرار شود تا بهترین حالت بدست آید.

## سوالات فصل پنجم

Q.۵.۱) منظور از سایز کردن لوله چیست ؟

Q.۵.۲) افت فشار در لوله حاصل چیست و چه تاثیری بر سیستم دارد ؟

Q.۵.۳) جایگاه افت فشار و مولد فشار در رابطه برنولی به چه صورتی می باشد؟

Q.۵.۴) عوامل موثر در افت فشار موضعی را نام ببرید ؟

Q.۵.۵) روش طول معادل چیست و کجا کاربرد دارد ؟

Q.۵.۶) افت فشار کلی در لوله چگونه محاسبه می شود ؟

Q.۵.۷) بر اساس معادله پیوستگی قطر لوله چگونه تعیین می گردد ؟

Q.۵.۸) الگوریتم ، سایز کردن لوله را شرح دهید .

مسئله ۱. P.۵) افت فشار 100 ft لوله 6" Sch40 جهت نفت سفید در دمای  $321^{0F}$  با دبی

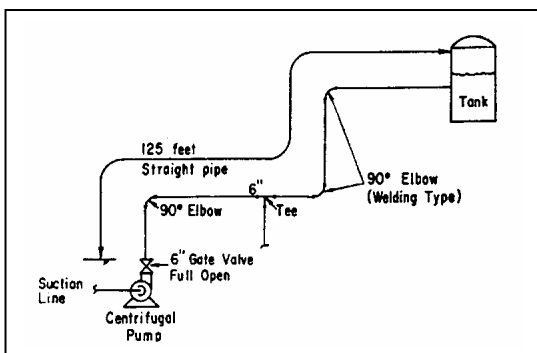
جریان  $Q_{60^{\circ}f} = 900 \text{ Gpm}$  چقدر است ؟

$$\mu = 0.3 \text{ cp at } 321^{0F}$$

$$f = 44.9 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \text{ at } 321^{0F}$$

$$SG_{60^{\circ}f} = 0.82$$

$$SG_{321^{\circ}f} = 0.72$$



مسئله ۲. P.۵) در شکل روبرو پمپی می خواهد

مسیری به طول 125 ft با لوله Sch40, 6" از جنس

C.S. با دبی  $Q_{70^{\circ}f} = 500 \text{ Gpm}$  آب را تا ارتفاع 30ft

پمپ کند حساب کنید Head مورد نیاز؟

مسئله ۳. P.۵) سایز لوله به طول 200ft که میزان  $Q=1500 \text{ Gpm}$  آب را عبور دهد را بدست

آورید. فرض کنید که مسیر مستقیم است

# فصل ششم

## انواع تکیه گاههای ساده (Support)

- هدف از ساپورت گذاری
- تعاریف و اصطلاحات اولیه ساپورت ها
- انواع مهار کننده ها از نظر تحمل بار
- آشنایی با تکیه گاههای وزنی مانند Rod Hanger و .....
- آشنایی با مهار کننده های صلب مانند U-Bolt و Rigid strut
- فرمول خیز در لوله کشی
- نحوه تعیین فاصله مجاز تکیه گاهی در مسیرهای مستقیم
- فاکتورهای مهم در تعیین فاصله تکیه گاهی
- روش محاسبه تغییر مکان ها بر روی تکیه گاهها
- روش محاسبه نیرو بر روی تکیه گاهها

## فصل ششم: انواع تکیه گاههای ساده (Support)

### ۱-۶) هدف از ساپورت گذاری

تکیه گاه ها در یک سیستم لوله کشی می توانند آن سیستم را به سوی هدفهایی همچون افزایش ایمنی سیستم، کاهش نیروها و ممانها روی تجهیزات متصل به لوله کشی، کاهش تنش در لوله و انتقال نیرویی خارجی مثل باد و زلزله به مهارکننده ها و غیره سوق دهد. بنابر این انتخاب غلط تکیه گاهی نه تنها ما را از هدف دور می کند بلکه در مواردی نیز موجب افزایش نیروها در سیستم، دستگاهها و تجهیزات می گردد و در نهایت موجب ایجاد نا امنی در سیستم می گردد. گاهی برای جبران این نا امنی مجبور به تغییر مسیر طراحی می گردیم که نتیجه آن مسیری نامناسب خواهد بود پس به راحتی می توان نتیجه گرفت که می باست در تعیین ساپورت گذاری وقت و دقت کافی را بکار برد تا بهترین نتیجه را بدست آورد در اینجا ملاحظه موارد ذیل می تواند ما را در انتخاب ساپورت گذاری مناسب کمک نماید.

الف) در نظر گرفتن درجه حرارت طراحی لوله به منظور تعیین استحکام و نوع متریال تکیه گاه و تمهیدات لازم جهت عایق کاری و غیره

ب) داشتن اطلاعات کافی در مورد متریال سیستم لوله کشی و متعلقات ساپورت به منظور کاهش واکنشهای گالوانیک در نقاط اتصال تکیه گاه به لوله

ج) حداکثر استفاده از سازه های موجود به ویژه سازه های اصلی به منظور کاهش تعداد ساپورتها

د) استفاده از ساپورتهای مشابه و استاندارد کردن انواع ساپورتها به منظور کاهش تنوع آنها

ه) ممانعت از ساپورت کردن متعلقات لوله کشی تا حد امکان

و) مطالعه در خصوص تسهیلات موجود به منظور امکان تهیه تکیه گاهها وسایر تجهیزات

لوله کشی

ز) نزدیک کردن تکیه گاه ها تا حد امکان به اجزای نیروهای متمرکز مانند شیر آلات و فلنجهها، و

لوله های عمودی و...

ح) بررسی وضعیت نگهداری و تعمیرات سیستم لوله کشی

ط) در نظر گرفتن تغییر مکانهای لوله و تجهیزات و پرهیز از صلب کردن سیستم لوله کشی

ی) در نظر گرفتن نیروهای خارجی مانند باد، زلزله، نیروهای داخلی همچون تخلیه شیرهای

اطمینان

ک) در نظر گرفتن سایر تجهیزات کناری عبوری لوله به طوری که انبساط لوله در اندازه فاصله

های خالی میان لوله ها و تجهیزات و نیز نیروی اصطکاکی مد نظر قرار گیرد.

## ۲-۶) تعاریف واصطلاحات تکیه گاهی

- Restraint: هر وسیله ای که در مقابل تغییر مکانهای ناشی از تغییر درجه حرارت لوله مقاومت

ویا آنرا محدود کند Restraint نامیده می شود.

- Support: هر وسیله ای که نیروی وزن ویا نیروی عمودی ایجاد شده در سیستم لوله کشی را

تحمل کند ساپورت گفته می شود.

- Hanger: ساپورتی که لوله در آن به یک سازه آویخته شده و نیروهای عمودی لوله کشی را

به صورت کششی تحمل کند.

- Anchor: هر مهار کننده صلبی که در مقابل هر گونه حرکت انتقالی و چرخشی مقاومت کند.



- Stop : هر وسیله ای که اجازه چرخش در لوله را داده ولی حداقل در یک جهت در مقابل حرکت‌های انتقالی مقاومت کند.

- Guide : هر وسیله ای که باعث جلوگیری از تغییر مکان‌های جانبی لوله و آزاد گذاشتن آن در جهت طولی می‌گردد.

- Shoe : وسیله ای که زیر لوله متصل و بر روی فولاد ساپورت بندی قرار می‌گیرد و عمدتاً جهت کاهش تنش ناشی از اصطکاک خطوط در معرض حرکت بکار می‌رود و عایق بندی را امکان پذیر می‌سازد.

- Saddle : یک اتصال جوش برای لوله هایی که نیاز به عایق بندی داشته و در معرض حرکت طولی یا پیچشی قرار دارند.

- Sleeper : به ساپورتهای که روی زمین قرار گرفته و تعدادی لوله در مسیرهایی مانند pipe rack روی آنها قرار می‌گیرند اطلاق می‌گردد و معمولاً از نوع بتنی ساخته می‌شود.

- Dummy Leg : یک قطعه طولی از لوله یا یک مقطع فولادی گرد که جهت ساپورت خطی به یک زانویی جوش داده می‌شود.

- Two Axis Stop : هر وسیله ای که در مقابل تغییر مکان لوله در دو محور مقاومت کند.

- Slide Plate : دو ورق به کار رفته و یا پوشاننده شده از یک ماده کم اصطکاک و مقاوم در برابر تنش مکانیکی و تغییرات حرارتی است.

- Resilient Support : به ساپورتهای که شامل یک ویا چند عضو الاستیک باشند مانند spring گفته می‌شود.

- Snubber , Hydraulic Dampener یا Suppressor : این وسیله قابلیت انبساط یا انقباض جهت مهار حرکت‌های آهسته را داشته ولی در برابر حرکت‌های سریع به صورت صلب عمل میکنند.

- Sway Bracer , Sway Arrestor : این وسیله جهت دفع ضربات حاصله از ارتعاشات و امواج است.

Constant Spring Hanger: این وسیله شامل یک فنر کوئلی و مکانیزم اهرمی در محفظه میباید و بگونه ای طراحی شده است که تغییری در نیروی نگهدارنده لوله کشی بوجود نیاورد.

Variable Spring Hanger: این وسیله شامل یک فنر و محفظه فلزی می باشد و بگونه ای طراحی شده است که در اکثر تغییرات ناشی از حرکت، نیروی متناسب به سیستم لوله کشی اعمال می کند.

### ۳-۶) انواع مهارکننده ها

انواع مهارکننده را میتوان به چهار گروه اصلی تقسیم کرد:

- تکیه گاههای وزنی ( Weight Support )

- مهارکننده های صلب ( Rigid Restraint )

- مهارکننده های دینامیکی ( Snubbers )

- Sway Brace

در این فصل تنها به بررسی پاره ای از تکیه گاههای وزنی و مهارکننده های صلب پرداخته میشود و در فصل هفتم به دو نوع دیگر از تکیه گاههای وزنی یعنی Variable Spring Hanger و Constant Spring Hanger و مهارکننده های دینامیکی و Sway Brace پرداخته می شود.

#### ۱-۳-۶) تکیه گاههای وزنی

وظیفه این نوع تکیه گاهها مقاومت در مقابل نیروهای عمودی مانند وزن و یا سایر نیروهای حاصل از عبور سیال و یا زلزله بکار برده میشود انواع آن در شکل ( ۱-۶ ) موجود می باشد و در کتابچه های سازندگان میتوان به جزئیات بیشتری از آنها دستیابی نمود اما توجه به این امر مهم است که نوعی که استفاده می کنیم متناسب و سازگار با نیروی محاسبه شده باشد.

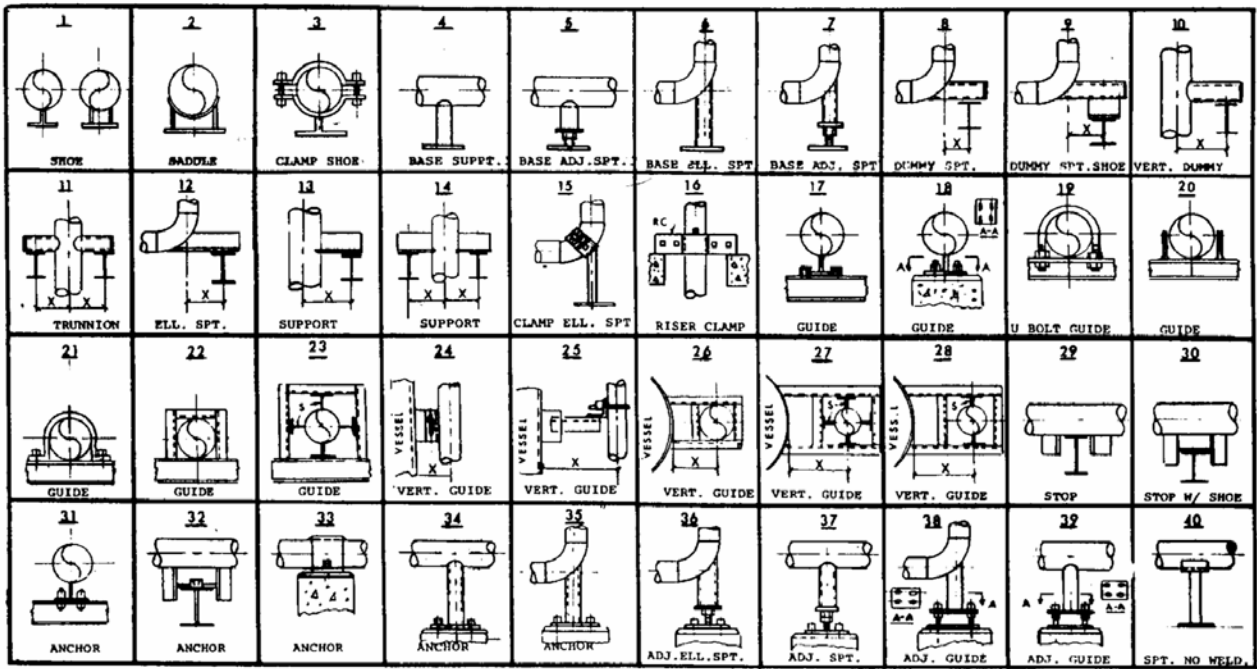


Figure 13-1 Structural supports

HR 1 HANGER DATA				FIELD WELD TO STRUCTURAL MEMBER OR TO FS 6, 7, 8, 9, 11 OR 12 UNLESS FIELD WELD TO AN UPPER PIPE IS NOTED ON THE PIPING DRAWING	HR 3 HANGER DATA				FIELD WELD TO STRUCTURAL MEMBER OR TO FS 6, 7, 8, 9, 11 OR 12 UNLESS FIELD WELD TO AN UPPER PIPE IS NOTED ON THE PIPING DRAWING
DRAWING	CLEVIS SIZE	USE ON PIPE SIZE OR COLD INSUL. CRADLE #	HR 1 HANGER ALLOWABLE LOAD		DRAWING	CLAMP SIZE	T" MIN.	MAX HANGER ALLOWABLE LOAD	
SPOOL	1	3/4" AND 1"	303	115	SPOOL	1 1/2"	533	277	
	2	1 1/2" AND 2"	341	115		2"	559	277	
	3	3" AND C1	287	155		3"	572	512	
	4	4" C2 AND C3	292	181		4"	584	512	
	6	6" C4 AND C5	338	278		6"	650	1021	
	8	8" C6 AND C7	432	406		8"	711	1021	
	10	10" C8, C9 AND C10	470	1601		10"	737	1310	
	12	12" C11, C12 AND C13	508	1706		12"	762	1310	
	14	14" C14 AND C15	572	1905		14"	826	1735	
	16	16" C16 AND C17	610	2086		16"	851	1735	
	18	18" C18 AND C19	660	2176		18"	876	1735	
	20	20" C20 AND C21	711	2176		20"	902	2220	
24	24" C22, C23, C24 AND C25	800	2176	24"	953				

HR 2		HR 4	
DRAWING	HR 2	DRAWING	HR 4
SPOOL	UPPER PIPE SIZE HR 2, 3, 4 LOWER CLEVIS SIZE	SPOOL	UPPER PIPE SIZE HR 2, 3, 4 LOWER CLAMP SIZE
LIST	THIS ASSEMBLY ON LINE (SPOOL)	LIST	THIS ASSEMBLY ON LINE (SPOOL) UPPER PIPE

شکل ۱-۶) انواع نگهدارنده وزنی

مهمترین انواع آن را میتوان به شرح ذیل نام برد :

Rod Hanger : وسیله ای که توسط یک میله از بالا آویزان شده و لوله را نگهداری میکند .  
جابجائی افقی لوله نباید زاویه ای بیش از  $4^{\circ} \pm$  با محور عمودی را در حین کار ایجاد کند و از آنجائیکه ممکن است بارهای دیگری مانند زلزله را متحمل کند می بایست پیش بینی باری بیشتر از ۵۰٪ از بار کل رادر نظر گرفت. Rod Hanger ها از اجزای مختلفی مانند Turn , ...  
Beam Clamps , Pipe Clamps , Rod , Buckles تشکیل شده اند که بنا به قطر لوله ، دمای طراحی ، ظرفیت تحمل بار و بطور کلی مورد استفاده شان باید بدرستی از روی کاتالوگ سازندگان انتخاب گردد .

Sliding Support : قطعاتی هستند که زیر لوله نصب میگردند مانند Roller , Saddle , Shoe که امکان حرکت لوله را نیز میدهند که نوع آن با توجه به تغییر مکان لوله ، عایق ، فاصله لوله تا سازه فلزی تعیین میگردد .

در هنگام استفاده از این تکیه گاهی باید نیروی اصطکاک را در طراحی و آنالیزتنش در نظر گرفت ضرائب اصطکاک در جدول ( ۲-۶ ) موجود است .

Values for Coefficient of Friction	
Contacting Surface	$\mu$ (sliding)
Steel on steel (dry)	0.3
Steel on steel (lubricated)	0.2
Steel on Lubrite	0.1
Steel on concrete (lubricated)	0.4
Metal on wood	0.5
Teflon on Teflon	0.06
Metal on asbestos	0.4

جدول ( ۲-۶ ) ضرائب اصطکاک

## ۲-۳-۶) مهارکننده های صلب

وظیفه این مهارکننده ها مقاومت در مقابل نیروهای وزن ، تغییر مکان ناشی از حرارت نیروهای خارجی مانند باد و زلزله می باشد . این مهارکننده ها می تواند از قابهای صلب با استفاده از فولادهای ساختمانی مانند ناودان ، نبشی ، تیر آهن و یا اینکه از اشکال پیچیده مانند Rigid Strut ساخته شوند انتخاب این که از Strut استفاده شود و یا از قابهای صلب معمولا بستگی به ملاحظاتمانند محدودیت فضا ، تعداد جهاتی که باید به طور همزمان مقید شوند و زمان تحویل تکیه گاه و مسائل اقتصادی می باشد .

## U – Bolt

یکی از عمومی ترین مهار کننده ها U – Bolt ها هستند که از شکل دادن یک Rod به شکل u ساخته می شوند . این مهارکننده در مقابل تغییر مکان های لوله در دو جهت مقاومت دارد و اصولا ظرفیت برشی آن بسیار پایینتر از ظرفیت کششی می باشد . بنابراین معمولا در مواقعی که نیروهای جانبی کم باشد مورد استفاده قرار می گیرند . اصولا مقادیر مجاز مقاومت برشی و کششی آنها توسط سازنده ها اعلام میگردد ولی در مواردیکه هر دو نیروی جانبی و کششی وجود داشته باشند علاوه بر اینکه می باید این دو نیرو از مقادیر مجاز کمتر باشند ترکیب این دو نیرو در رابطه زیر نیز بررسی گردد .

$$\frac{T_{applied}}{T_{allowable}} \div \frac{S_{applied}}{S_{allowable}} \leq 1.0$$

$T_{applied}$  : نیروی کششی وارد شده :

$S_{applied}$  : نیروی برشی وارد شده :

$T_{allowable}$  : نیروی کششی مجاز:

$S_{allowable}$  : نیروی برشی مجاز:

U – Bolt اصولاً بعنوان Guide در سیستم های لوله کشی استفاده می گردند ولی می توان بسته به نوع قرار گیری مهره های U – Bolt از آنها بعنوان Anchor برای نیروهای کم و سائزهای پایین نیز استفاده کرد در شکل (۱۹-۱-۶) نوع Guide آن نشان داده شده است .

در حالتی که نیروهای جانبی از مقادیر مجاز U – Bolt بیشتر گردند می توان از مهار کننده های تسمه ای استفاده کرد . و در بارهای بالاتر می توان از فولادهای ساختمانی استفاده نمود . در شکل (۲۲-۱-۶) دو نمونه از آن نشان داده شده است .

گاهی اوقات مانند شکل ( ۲۳&۲۷-۱-۶ ) از یک اتصال واسطه نیز استفاده می شود . در اینگونه مهار کننده ها علاوه بر محاسبه ساپورت به منظور تحمل نیروی جانبی با توجه به خط تماس لوله با فولادهای ساختمانی ضخامت لوله نیز از جهت نیروی متمرکز باید چک گردد .

با استفاده از اتصالات واسطه می توان محدودیتهای مورد نیاز را در تمام جهات محورهای مختصات فراهم کرد در هر حال این اتصالات واسطه معایبی همچون :

الف ) تنش های موضعی بالا ممکن است بدلیل اتصال بدون درجه آزادی پدید آمده در لوله به وجود آید .

ب ) جوش های زده شده به دلیل اینکه جزئی از مرز فشار لوله به شمار می آیند نیاز به بازرسی پیاپی دارند .

از انواع این اتصالات واسطه Shear lugs , Trunnion , Bearing Lugs ها را میتوان نام برد . Bearing Lugs برای انتقال نیروی جانبی به مهار کننده های اصلی و از Shear Lugs برای جلوگیری از حرکتها در جهت محوری لوله استفاده می شود . اتصال واسطه Trunion نیز که از لوله ساخته می شود جهت مهار کردن بارهای جانبی و یا محوری به لوله اصلی جوش داده میشود در صورتیکه اینگونه اتصالات واسطه به منظور محدود ساختن حرکت انتقالی و چرخشی

لوله در تمام جهات محورهای مختصات استفاده گردد آنرا Anchor می نامند. قیود Anchor را میتوان از جوش دادن اجزاء سوار شده بر لوله و سازه فلزی بوجود آورد.

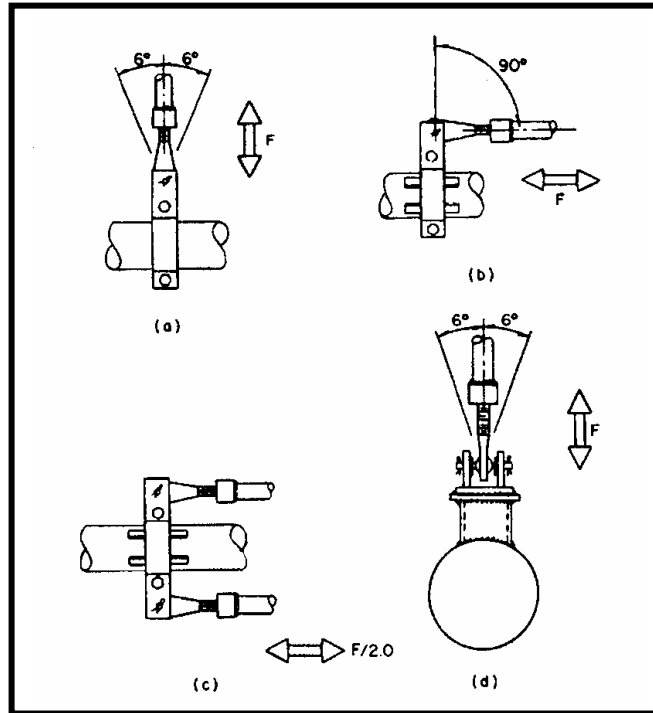
### Rigid Strut

این وسیله نیز یکی دیگر از انواع مهار کننده هاست که در شکل ( ۱۱-۲۲ ) یک نمونه از آن نشان داده شده است. کاربرد این ساپورت مهار کردن حرکت فقط در یک محور میباشد و اجازه حرکت در دیگر محورها را می دهد. این مهار کننده شامل یک لوله میانی می باشد که قابل تنظیم در هنگام نصب است. اینگونه مهار کننده ها با توجه به بار مورد نیاز از کاتالوگ سازندگان میتوانند انتخاب گردند. بارهای داده شده توسط سازندگان برای یک طول مشخص از پین تا پین این مهار کننده میباشد. که با افزایش این طول مقدار بار مجاز کاهش می یابد این مهار کننده ها دارای محدودیت تغییر زاویه در محور مهار کننده می باشند که این محدودیت حدودا  $\pm 6^\circ$  می باشد.

قیود از نوع Strut ممکن است با Clamp و یا اتصالات جوشی به لوله متصل شوند. Clamp ها در سه شکل اساسی موجودند که اندازه Stock و Pin در آنها با توجه به ظرفیت بار متغیر است. اولین نوع Clamp برای بارهایی است به صورت شعاعی ( $\pm 6^\circ$ ) به لوله وارد می شوند که در شکل (۶- ۲a) نمایش داده شده است.

نوع دوم، با Stock پهن تر و پین خارج از مرکز، قابلیت تحمل ممان های ناشی از بارهای خارج از مرکز را دارند. در این نوع Clamp ( شکل ۶-۲b ) بایستی از Shear lug برای جلوگیری از لغزش Clamp در طول لوله استفاده نمود.

در صورتی که قید طولی مورد نظر باشد و نیروی خارج از مرکز نخواهیم، باید از Riser Clamp استفاده کرد. ( این نوع Clamp به این دلیل به این نام معروفند که برای تکیه گاه شدن



شکل ۴-۶) وضعیتهای نگهدارنده RIGID STRUT

برای Riser ها به کار می روند . شکل (۶-۲c) clamp ها که دو Strut در هر طرف لوله را شامل می شوند را نمایش می دهند .

البته می توان به جای Clamp ، قلاب Strut را به طور مستقیم به اتصال جوشی لوله جوش زد . مشابه دسته نشان داده شده در شکل (۶-۲ d) که این مکانیزم جهت گیری Strut در دامنه  $180^\circ$  نسبت به لوله و  $\pm 6^\circ$  نسبت به محور را ممکن می سازد .

Strut را همین طور می توان مستقیماً به اسکلت ساختمان وصل کرد . به طوری که پایه روی سازه های فولادی و یا تکیه گاه های فولادی ساخته شده سوار می شود .

به منظور در نظر گرفتن مسائل اقتصادی در طراحی استفاده از چند Strut است . بهترین راه استفاده از زاویه حامل میان Strut در حدود  $30^\circ$  تا  $120^\circ$  است .



## ۴-۶) محاسبات و فواصل مجاز تکیه گاهی

فواصل مجاز تکیه گاهی براساس حداکثر خیز مجاز در لوله تعیین میشود و عوامل موثر در تعیین فاصله مجاز تکیه گاهها عبارتند از :

I - محدود کردن تنش ناشی از ممان خمشی به مقادیر مجازش

II - حفظ شکل ظاهری لوله از نظر خیز لوله

III - کنترل فرکانس طبیعی سیستم به منظور جلوگیری از ارتعاشات سیستم

عامل دوم با توجه به نیاز سیستم رعایت میگردد و عامل سوم باتوجه به اهمیت سیستم در مقابل بارهای دینامیکی می بایست مورد توجه قرار گیرد ، بنابر این روش محاسبه فاصله مجاز تکیه گاهها معمولا براساس عامل اول تعیین میگردد .

از آنجائیکه لوله به صورت نیروی گسترده می باشد و بسته به شرایط مرزی انتهای دو سر لوله میتوان به صورت تکیه گاه ساده ( I ) و یا تکیه گاه ثابت ( II ) در نظر گرفت .

$$\delta = \frac{ML^2}{8Z} \quad \text{حالت (I)}$$

$$F = \frac{WL}{2}$$

$$\delta = \frac{WL^2}{12Z} \quad \text{حالت (II)}$$

$$F = \frac{WL}{2}$$

در هر حال چون عملا رفتار لوله بین دو حالت فوق می باشد از فرمول زیر استفاده میگردد :

$$\delta = \frac{WL^2}{10Z}$$

$$F = \frac{WL}{2}$$

چنانچه سیستم حداکثر تنش مجاز را تحمل کند بنابراین میتوان حداکثر فاصله تکیه گاهی را

بدست آورد :

$$L = \sqrt{\frac{10ZS}{\omega}}$$

اما این فاصله براساس ترکیب تنش خمشی و برشی مجاز و ماکزیمم خیز تعیین میگردد بنابراین به منظور ساده سازی و کاربردی کردن این فرمولها در استانداردهای مختلف جداولی ارائه شده است که نمونه آن در استاندارد IPS - D - PI - 102 میتوان یافت .

نمونه های دیگری برای متریهالهای متفاوت در جداول ( ۱۱-۲۳ ) ارائه شده است .

اما از آنجائیکه اکثر سیستم لوله کشی ها فقط در مسیر مستقیم و یکنواخت استفاده نمی شود لذا رعایت موارد ذیل در طراحی الزامی است .

الف ) محل تعیین تکیه گاهها تا جایی که امکان دارد نزدیک به نیروهای متمرکز مانند شیرها ، فلنجهها و سایر تجهیزات قابل نصب بر روی سیستم لوله کشی در نظر گرفته شود .

ب ) با توجه به آنکه در صورت تغییر مسیر لوله در افق چنانچه یک زانو باشد فاصله آن دو تکیه گاه ( Span ) در ضریب 0.75 و در صورت داشتن دو زانو در ضریب 0.65 ضرب میگردد پس بهتر است که ساپورتها نزدیک به زانو قرار گیرد .

ج ) در تعیین ساپورت گذاری می بایست مسائلی مانند تعمیرات و نگهداری آتی آن و یا امکان دسترسی عملیات واحد به آنها مدنظر قرار گیرد .

د ) ساپورت گذاری باید بگونه ای باشد که مزاحمت برای نفرات و یا خودروهای تعمیراتی بوجود نیورد .

ه ) ساپورت گذاری نبایستی بر روی اجزای لوله کشی قرار گیرد بلکه تا حد امکان بایستی در مسیر مستقیم قرار گیرد .

و ) در فواصل عمودی فواصل Span قابل استفاده نیست و در این حالت باید سعی گردد که از بالاترین نقطه لوله مهار شود و در نقاط میانی از Guide مناسب استفاده شود . فواصل Guide را میتوان تا دو برابر فواصل Span مشابه در نظر گرفت .

در هر صورت می بایست بارگذاری روی ساپورتها محاسبه گردد تا بارگذاری اضافی روی ساپورتها جلوگیری گردد و یا اینکه ساپورت مربوطه براساس Load محاسبه شده طراحی گردد.

### ۵-۶) روش محاسبه تغییر مکان ها بر روی تکیه گاهها

پس از آنکه محل ساپورت گذاری بر روی لوله ها تعیین گردید میتوان مقدار تغییر مکان لوله را بر روی ساپورت با روش ساده دستی زیر بدست آورد.

مرحله اول - ابتدا نقشه Isometric با مقیاس تهیه میگردد و بر روی آن محل دقیق Support ها تعیین میگردد.

مرحله دوم - یک نقطه را به صورت نقطه در نظر گرفته و تمام حرکتها را براساس آن در نظر می گیریم.

مرحله سوم - با توجه به ضریب انبساط طولی لوله (جدول ۲۴-۱۱) مقدار آن را استخراج کرده و براساس طول لوله میتوان مقدار  $\Delta$  را برای هر مسیر بدست آورد.

مرحله چهارم - با داشتن مقدار جابجائی برای نقاط اتصال لوله به تجهیزات که معمولا توسط سازندگان ارائه میشود میتوان با تحلیل هندسی مقادیر Movement را در نقاط مختلف بدست

آورد برای درک بهتر این مطلب مثال زیر از کتاب Piping Handbook ارائه میگردد:

**Thermal Movement Calculations.** The calculation of piping movements to a high degree of accuracy necessitates a very complicated study of the piping system. Fortunately, in the case of high-temperature critical systems subjected to formal machine stress analysis, movements at the various reference points are given along with the stress results. For systems not subjected to machine analysis, thermal movements at the hanger points are normally determined by approximate methods. The simplified method shown below is one which gives satisfactory approximations of the piping movements. Whenever differences occur between the approximations and actual movements, the approximation of the movement will always be the greater amount.

*Step 1.* The piping system of Fig. 4 is drawn and on it are shown all known vertical movements of the piping from its cold to hot, or operating, position. These movements will include those supplied by the equipment manufacturers for the terminal point connections. For the illustrated problem, the following vertical

5-10 Hangers and Supports

movements are known:

- Point A—2 in. up, cold to hot
- Point B— $\frac{1}{16}$  in. up, cold to hot
- Point C— $\frac{1}{8}$  in. down, cold to hot
- H-4—0 in, cold to hot

The operating temperature of the system is given as 1050 F, and the coefficient of expansion for low-chrome steel at 1050 F is 0.0946 in./ft.

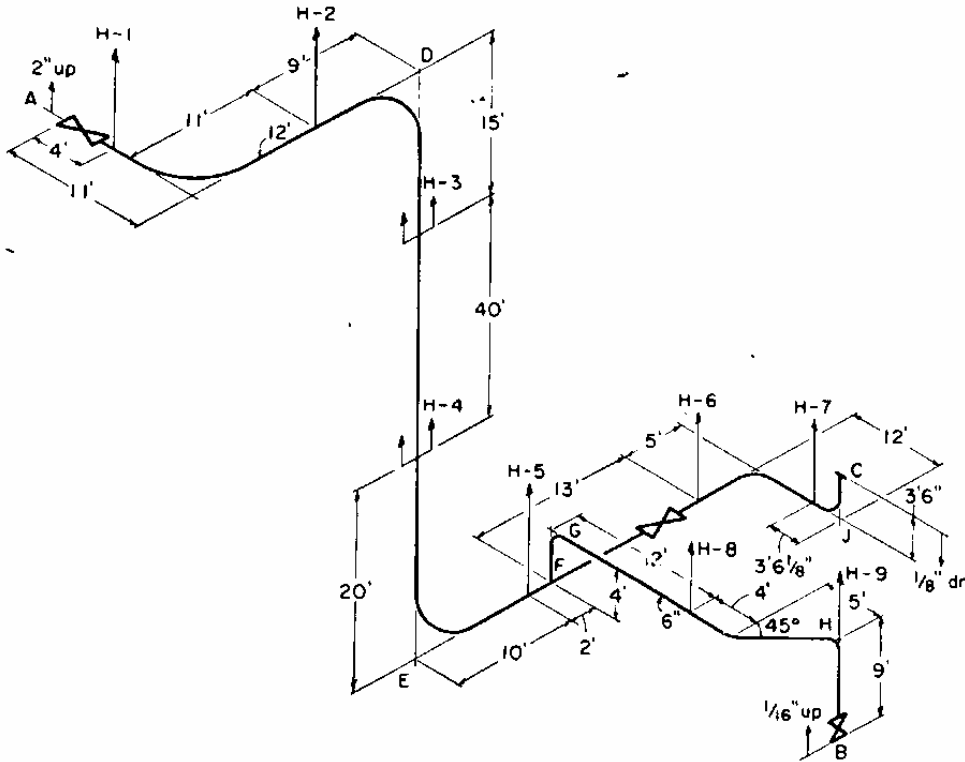


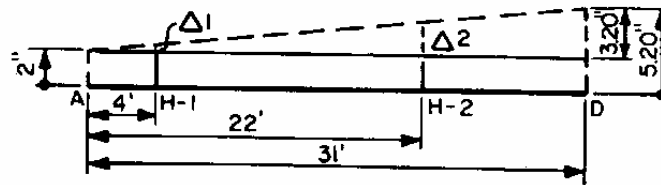
FIG. 4. One-line piping diagram for calculation of hanger movements. Points A, B, and C are equipment connections. H-1, H-2, etc., represent hanger locations.

The movements at points D and E are calculated by multiplying the coefficient of expansion by the vertical distance of each point from the position of zero movement on the riser DE:

$$55 \text{ ft} \times 0.0946 \text{ in./ft} = 5.20 \text{ in. up at D}$$

$$20 \text{ ft} \times 0.0946 \text{ in./ft} = 1.89 \text{ in. down at E}$$

Step 2. A simple drawing is made of the piping between two adjacent points of known movement, extending the piping into a single plane as shown for the portion of the system between A and D.



(a)

## Design Engineering of Support Systems 5-11

The vertical movement at any hanger location will be proportional to its distance from the end points:

$$\Delta_1 = \frac{4}{31} \times 3.20$$

$$\Delta_1 = 0.41 \text{ in.}$$

The vertical movement at H-1 = 0.41 in. + 2 in.

$$\Delta H-1 = 2.41 \text{ in. up}$$

$$\Delta_2 = \frac{22}{31} \times 3.20$$

$$\Delta_2 = 2.27 \text{ in.}$$

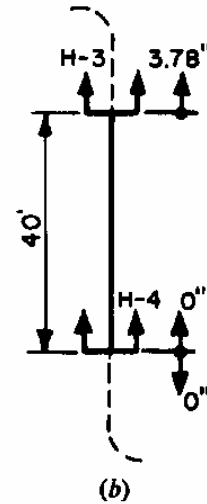
The vertical movement at H-2 = 2.27 in. + 2 in.

$$\Delta H-2 = 4.27 \text{ in. up}$$

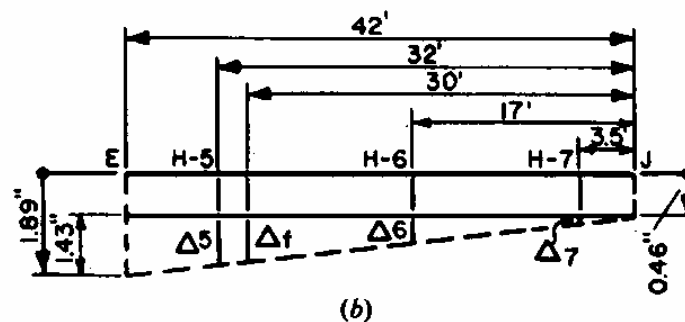
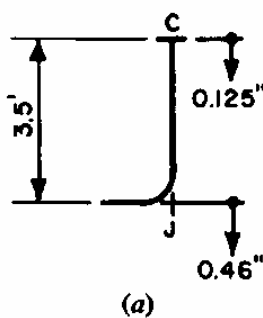
*Step 3.* To calculate the vertical movement at H-3, multiply its distance from H-4 by the coefficient of expansion.

$$40 \text{ ft} \times 0.0946 \text{ in./ft} = 3.78 \text{ in.}$$

$$\Delta H-3 = 3.78 \text{ in. up}$$



*Step 4.* The next section of pipe on which there are two points of known movement is the length E-J. The movement at E was calculated as 1.89 in. down.



The movement at J is equal to the movement at the terminal point C ( $\frac{1}{8}$  in. down) plus the amount of expansion of the leg C-J:

$$\Delta J = 0.125 \text{ in.} + 3.5 \text{ ft} \times 0.0946 \text{ in./ft}$$

$$\Delta J = 0.46 \text{ in. down}$$

$$\Delta_7 = \frac{3.5}{42} \times 1.43 = 0.12 \text{ in.}$$

$$\Delta H-7 = 0.12 \text{ in.} + 0.46 \text{ in.}$$

$$\Delta H-7 = 0.58 \text{ in. down}$$

$$\Delta_6 = \frac{17}{42} \times 1.43 = 0.58 \text{ in.}$$

$$\Delta H-6 = 0.58 + 0.46 \text{ in.}$$

$$\Delta H-6 = 1.04 \text{ in. down}$$

$$\Delta_7 = \frac{30}{42} \times 1.43 = 1.02 \text{ in.}$$

$$\Delta F = 1.02 + 0.46$$

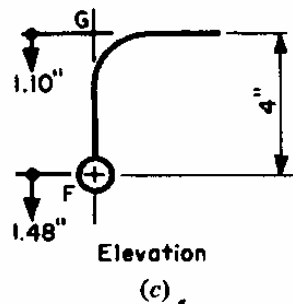
$$\Delta F = 1.48 \text{ in. down}$$

$$\Delta_5 = \frac{32}{42} \times 1.43 = 1.09 \text{ in.}$$

$$\Delta H-5 = 1.09 + 0.46$$

$$\Delta H-5 = 1.55 \text{ in. down}$$

## 5-12 Hangers and Supports



Step 5. In the section  $G-H$ , the movement at  $G$  is equal to the movement at  $F$  minus the expansion of the leg  $GF$ :

$$\Delta G = 1.48 \text{ in. down} - 4 \text{ ft} \times 0.0946 \text{ in./ft}$$

$$\Delta G = 1.10 \text{ in. down}$$

The movement at  $H$  is equal to the movement of the terminal point  $B$  ( $1/16$  in. up) plus the expansion of the leg  $B-H$ :

$$\Delta H = 0.0625 \text{ in. up} + 9 \text{ ft} \times 0.0946 \text{ in./ft}$$

$$\Delta H = 0.91 \text{ in. up}$$

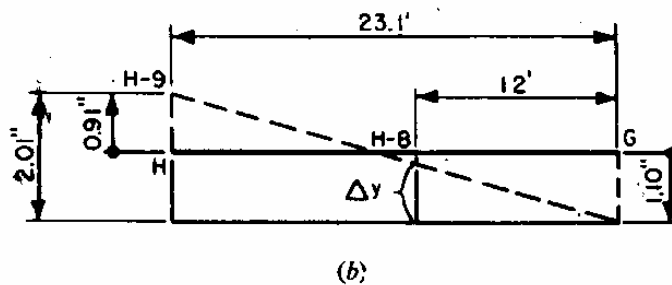
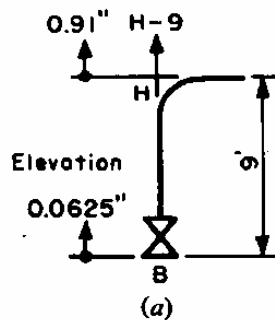
Since  $H-9$  is located at point  $H$ ,

$$\Delta H-9 = \Delta H = 0.91 \text{ in. up}$$

$$\Delta_y = 12/23.1 \times 2.01 = 1.04 \text{ in.}$$

$$\Delta H-8 = 1.10 - 1.04$$

$$\Delta H-8 = 0.60 \text{ in. down.}$$



After calculating the movement at each hanger location it is often helpful, for easy reference when selecting the appropriate type hanger, to make a simple table of hanger movements.

Hanger number	Movement, in.
H-1	2.41 up
H-2	4.27 up
H-3	3.78 up
H-4	0
H-5	1.55 down
H-6	1.04 down
H-7	0.58 down
H-8	0.06 down
H-9	0.91 up

۶-۶) روش محاسبه نیرو بر روی تکیه گاهها

پس از تعیین تغییر مکانها با روش ساده دستی میتوان مقدار نیروها را بر روی تکیه گاهها بدست

آورد برای این منظور از روش ممان گیری حول محورهای تعیین شونده و مشخصات هندسی

المانها ( جدول ۲۵-۱۱ ) و داشتن نیروها و وزن های اجزاء لوله کشی ( جدول ۲۶-۱۱ ) قابل

محاسبه می باشد که برای درک بهتر مطلب مثال زیر مورد بررسی قرار میگیرد :

**Reaction Calculations.** A formal solution for movement and loads would approach that of pipe-stress calculations in complexity. In general, these costly, time-consuming calculations can be replaced by simple, practical solutions that give results well within the pipe tolerances that can be expected in a normal installation. It is usual practice to calculate loads by use of the simple beam method in which each segment of pipe, fitting, and valve is distributed between two adjacent hangers by taking moments and solving for the reactions at each hanger point. Calculation of moments can be simplified by representing the piping in plan and scaling off the distances to the center of gravity of the various elements. Hanger load calculations

account for all the elements that make up the total weight of the piping system. Elements include pipe, valves, fittings, insulation, and operating contents. Weights of the more common piping elements are shown in Table 4, Chap. 7. Weights of other or special items should be obtained from the manufacturer. In calculating loads on critical systems such as those for main steam and hot reheat, piping may be mainly spring supported, it is recommended that actual piping weights be used when available. The following typical examples serve to illustrate the method and systematic presentation which prove to be a valuable aid to the elimination of errors and of assistance to others in checking.

**Load Calculation by Weight Balance.** The following example is used to illustrate a method by which hanger loadings may be determined. The method consists of locating the center of gravity of the specific piping configuration and then, by taking moments, to determine the resultant loads at particular hangers.

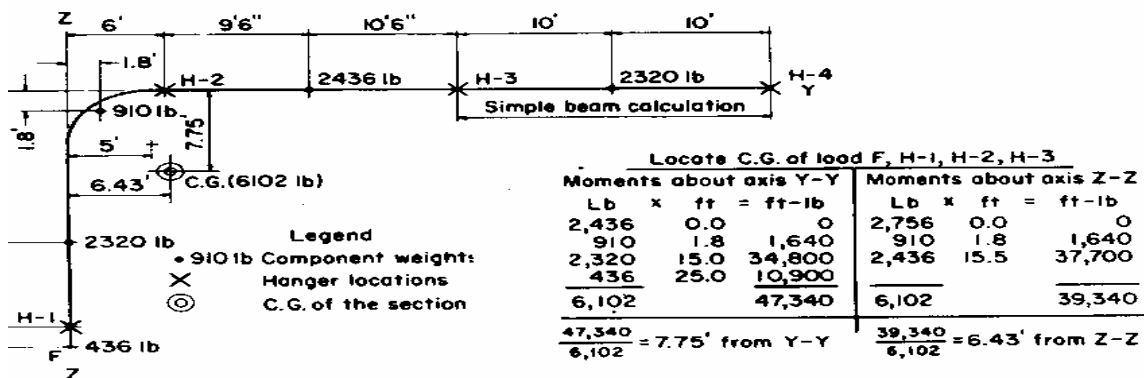


Fig. 5. One-line piping diagram for illustration of load calculation by weight balance.

A single-plane bend is shown in Fig. 5. Hangers are indicated as H-1, H-2, and H-4. The effects of uniform and concentrated loads are indicated at the points at which these loads act; it is noted that the weight of the 90-deg bend acts at the centroid of a quarter circle which, in this example, is located 1.8 ft distant from the center line of the pipe run. The straight pipe length between hangers H-1 and H-4 is not included in this calculation because it can be analyzed by simple weight-beam theory.

For the piping section which lies between equipment flange F and hanger H-3, moments are taken about the Y-Y and Z-Z axes. As an example, let the center of gravity of this configuration be located Y ft from the Y-Y axis. Then, from equilibrium considerations, the following equation may be written:

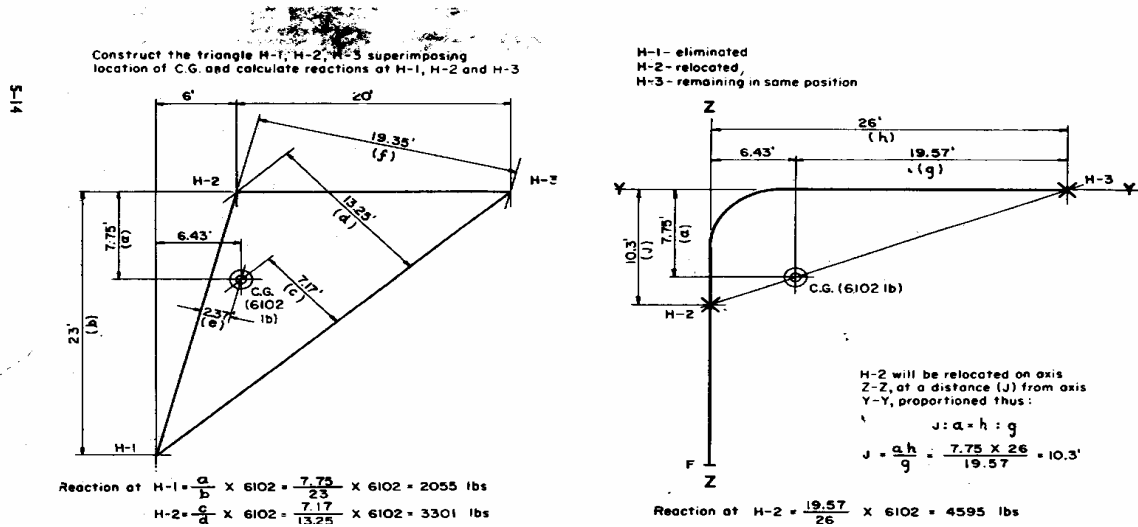
$$2,436(0) + 910(1.8) + 2,320(15) + 436(25) = 6,102 Y$$

A solution to this equation results in  $Y = 7.75$  ft.

Similarly, the distance from the Z-Z axis to the center of gravity is found to be 6.43 ft.

For convenience, the calculations are made frequently in a tabular fashion as shown on Fig. 5.

It will now be required to determine hanger loadings for the piping configuration shown in Fig. 5 with the stipulation that no load due to weight be imposed on the



**Design Engineering of Support Systems 5-15**

equipment flange *F*. This is accomplished easily by use of simple geometrical relationships, and the solution is as indicated in Fig. 6.

If it were desired to support the piping with two, rather than three, hangers, it would be convenient to eliminate *H-1* and to relocate *H-2* to a position at which it would be colinear with the center of gravity and hanger *H-3*. The construction for this arrangement and the associated hanger-load calculations are shown in Fig. 7.

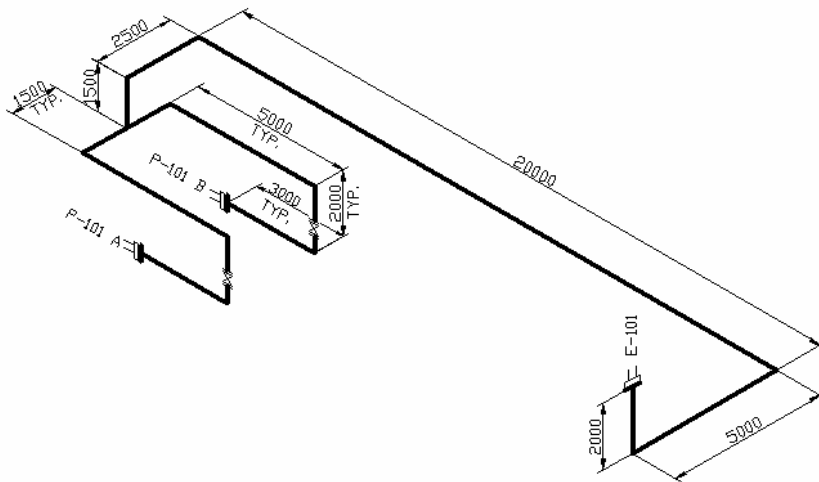
In each of the two above cases, one-half of the 2,320-lb load between *H-3* and *H-4* has been included in the calculations for hanger loading on *H-3*. Thus *H-4* would be required to support 1,160 lb plus, of course, any additional piping load to the right of *H-4* in Fig. 5.



## سئوالات فصل ششم

۱. (Q.۶) اهداف اصلی از ساپورت گذاری را نام ببرید؟ ( حداقل ۶ مورد )
۲. (Q.۶) فرق Hanger با Support در چیست؟
۳. (Q.۶) Stop , Guide , Shoe , Anchor را تعریف کنید؟
۴. (Q.۶) Dummy Leg کجا به کار برده می شود؟
۵. (Q.۶) انواع مهار کننده ها از نظر تحمل بار را نام ببرید؟
۶. (Q.۶) Rod Hanger چیست و کاربرد آن چیست؟
۷. (Q.۶) وظیفه مهار کننده های صلب چیست؟
۸. (Q.۶) trunnion چه نوع ساپورتی است؟
۹. (Q.۶) Rigid Strut چیست و کجا کاربرد دارد و محدودیت نصب آن چیست؟
۱۰. (Q.۶) عوامل موثر در تعیین فاصله مجاز تکیه گاهها چیست؟
۱۱. (Q.6) خیز لوله بر اساس ترکیب چه تنش های بدست می آید؟
۱۲. (Q.۶) چه فاکتورهایی را می با یست در تایین فواصل تکیه گاهی رعایت نمود؟
۱۳. (Q.۶) الگوریتم محاسبه تغییر مکان برای تکیه گاهها با روش دستی را بیان کنید؟
۱۴. (Q.۶) مبنای محاسبه نیرو برای تکیه گاهها چیست؟

مسئله ۱.۶ (P) لوله کشی با مشخصات مسیر به شکل زیر را پایه گذاری کنید .



$$D_0 = 3'' \text{ Sch40}$$

$$T = 300^\circ\text{C}$$

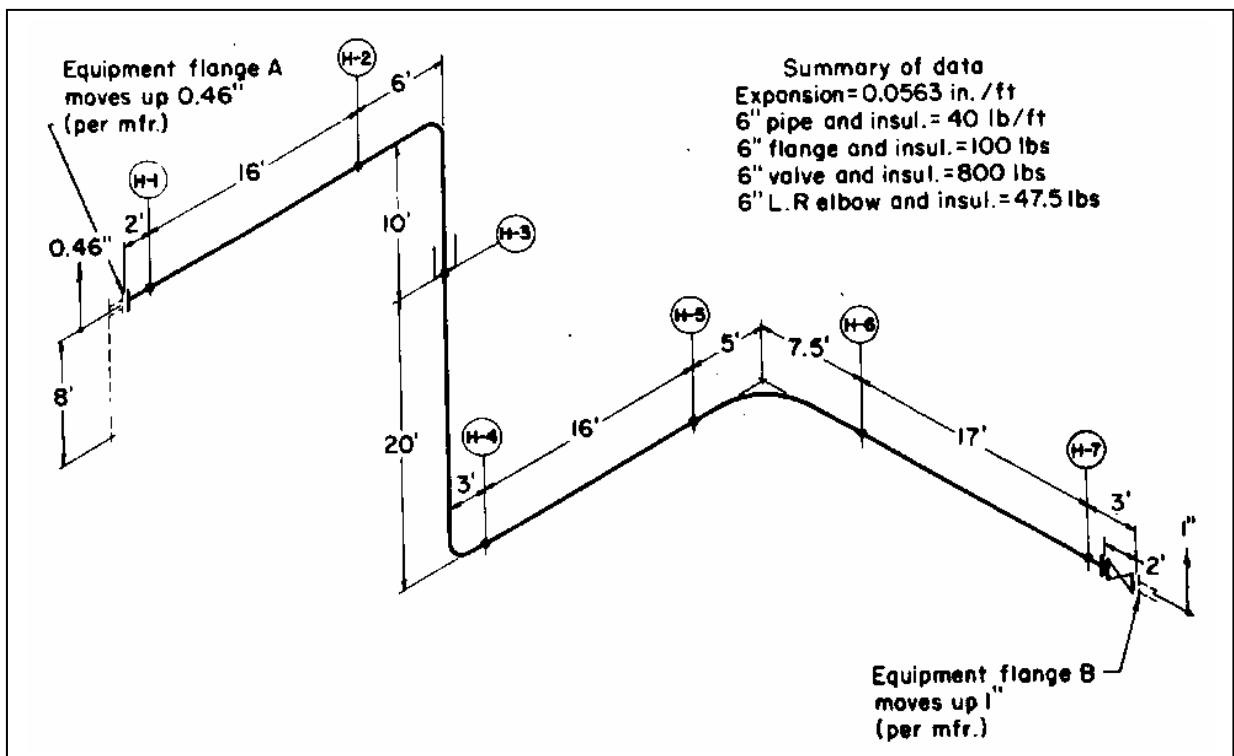
$$P = 200 \text{ psi}$$

$$\text{Mat} = A53 \text{ GrB}$$

$$\text{Insulation} = 2''$$

مسئله ۲.۶ (P) حساب کنید جابجایی H-1 تا H-7 و همچنین نیروهای وارده بر آنها را در شکل

زیر برای لوله 6" SCH 40 بدست آورید .



## فصل هفتم

# تکیه گاههای خاص

▪ آشنایی با تکیه گاههای خاص

▪ آشنایی با تکیه گاههای فنری

▪ تفاوت Variable Load با Constant Load

▪ نحوه تعیین Variable Spring Hanger

▪ نحوه تعیین Constant Spring Hanger

▪ آشنایی با نوسان گیرهای Sway Brace

▪ آشنایی با Snubber

▪ مکانیکی Snubber

▪ هیدرولیکی Snubber

## فصل هفتم : تکیه گاههای خاص

چنانچه در فصل قبل به آن اشاره شد دو نوع از تکیه گاهها وزنی ساختاری با فنر داشته و از آنجائیکه برای تعیین این نوع تکیه گاهها نیاز به دقت و روش خاصی وجود دارد در این فصل بصورت مجزا به آنها پرداخته میشود .

هم چنین با مهارکننده های دینامیکی Sway Brace , Snubbers در این فصل آشنا میشویم .

### ۱-۷) تکیه گاههای فنری

برای تعیین تکیه گاهها فنری می بایست اطلاعات لازم ذیل در دسترس باشد و با توجه به موارد ذیل براحتی میتوان به این نتیجه رسید که می بایست برای هر نقطه تکیه گاهی در سیستم لوله کشی به تنهایی و بطور اخص نوع تکیه گاه فنری را تعیین نمود :

الف ) تعیین محل نصب تکیه گاه فنری

ب ) تعیین کردن میزان تغییر مکان ( Movement ) برای هر تکیه گاه ضمنا می بایست جهت حرکت از حالت سرد به گرم نیز مشخص باشد .

ج ) محاسبه بار اعمالی ( Load )

د ) مشخص نمودن نوع تکیه گاه از نظر Variable Load و یا Constant Load

ه ) تعیین Type تکیه گاه فنری براساس محل قرارگیری آن و محدودیت های موجود مانند فاصله تا محل Support ها ، سینی ها ، کابل ها ، دستگاهها و تجهیزات جانبی و ..... .

## Variable Load Hanger (۷-۱-۱)

تکیه گاههای فنری عمدتاً در مکانهایی از سیستم تعبیه میشوند که تغییر مکانهای عمودی نسبتاً زیادی در این محلها وجود دارد. تکیه گاههای فنری از نوع بار متغیر با توجه به میزان تغییر مکان، نیروهای تکیه گاهی متغیری را بر سیستم اعمال خواهند کرد. بنابراین انبساط و انقباض سیستم لوله کشی در محلهایی که لوله بصورت عمودی قرار گرفته است (Vertical Lines) موجب نیروهای تکیه گاهی متفاوتی می باشد که میزان تغییرات نیروهای تکیه گاهی برابر است با حاصلضرب مقدار تغییر مکان در سختی فنر. این نوع تکیه گاهها معمولاً در سیستمهای که دارای حساسیت خاص نیستند استفاده میشوند (Non – Critical Piping) و یا اینکه در سیستمهای حساس نیز اگر چنانچه تغییر مکانها زیاد نباشند (تقریباً کمتر از 50mm) بکار برده خواهند شد.

تجربه نشان داده است که درصد تغییرات نیروی حاصل از تغییر شکل فنر در این نوع تکیه گاهها روی خطوط لوله تا حداکثر 25% قابل قبول است (Load Variation ≤ 25%) و به منظور انتخاب تکیه گاههای فنری از نوع Load Variation می بایست به کاتالوگهای سازندگان مراجعه کرد در اینجا از کاتالوگ شرکت Carpenter & Paterson استفاده شده است.

جهت انتخاب و یا به عبارت دیگر Spring Sizing ابتدا نمادهای مربوط به روابط مذکور را بیان میداریم.

HOT LOAD	( N )
COLD LOAD	( N )
CALCULATED TRAVEL	( mm )
SPRING RATE	( N/mm )

برای محاسبه نیروی تکیه گاهی، با در نظر گرفتن تغییر مکان لوله به سمت بالا و یا پائین، از روابط زیر استفاده خواهد شد.

$$\text{COLD LOAD ( MVT . UP )} = \text{HOT LOAD} + (\text{MVT} * \text{SPRING RATE}) \quad (\text{I})$$

$$\text{COLD LOAD ( MVT . DOWN )} = \text{HOT LOAD} - (\text{MVT} * \text{SPRING RATE}) \quad (\text{II})$$

رابطه ( I ) برای تغییر مکان به سمت بالا و رابطه ( II ) برای تغییر مکان به سمت پائین بکار برده میشود. مقدار تغییرات بار ( Load Deviation ) با استفاده از رابطه زیر بدست خواهد آمد که این رابطه تغییرات مذکور را بصورت درصدی بیان میکند.

$$\% \text{LOAD DEVIATION} = \frac{\text{Movement} \times \text{Spring Rate}}{\text{Hot Load}} \times 100 \quad (\text{III})$$

برای انتخاب تکیه گاه به روش زیر عمل مینمائیم:

الف) ابتدا HOT Load را محاسبه می نمائیم که در واقع بار اعمال شده به سیستم تکیه گاهی در شرایط عملیاتی ( Operation ) می باشد.

با در دست داشتن Hot load به جدول ( ۲۷-۱۱ ) مراجعه و تکیه گاه فنری مناسب را انتخاب کنید. ( بعنوان انتخاب اول )

ج) با توجه به میزان جابجایی میتوان Size آنرا انتخاب نمود.

د) با توجه به سایز ضریب فنری تعیین میگردد.

ه) مقدار بدست آمده را در فرمول ( III ) قرار داده در صورتیکه از 25% کمتر باشد مورد قبول است در غیر اینصورت مقدار Spring Rate را تغییر میدهیم.

و) میزان بار گذاری اولیه Preset Load براساس فرمول زیر بدست می آید.

PRESET LOAD=ACTUAL LOAD – (MOVEMENT\*SPRING RATE)

مثال نمونه جهت روشن شدن مطلب از کاتالوگ Carpenter & Paterson در زیر ارائه شده:

EXAMPLE:-

Actual Load (Hot Load) = 10789 N.  
Pipe Movement 20mm down cold to hot.  
Maximum variation from cold to hot load = 25%.

From lower chart select spring rate for DV35 Size 12 = 157.6 N/mm

$$V = \frac{20 \times 157.6 \times 100}{10789} = 29.2\%$$

### Using N Selection Table

Enter table at 10789 N. This is located in size 12 column. Since the pipe movement is down, move up the column

for a distance of 20 mm. This travel is acceptable for all travel series, therefore unit size 12 is selected.

This would not be acceptable.  
Select spring rate for DV70 size 12 = 78.8 N/mm

$$V = \frac{20 \times 78.8 \times 100}{10789} = 14.6\%$$

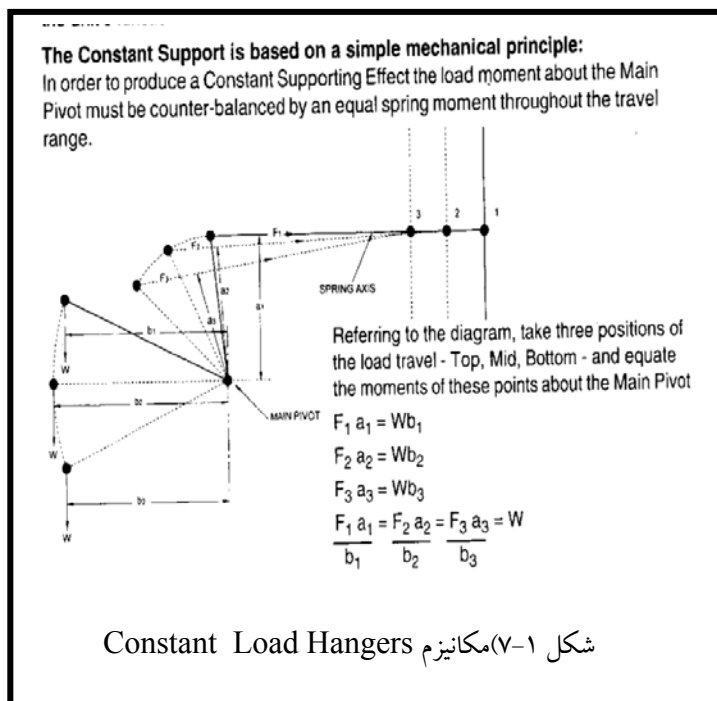
### Check Variability

Variability =  $\frac{\text{Movement} \times \text{Spring Rate}}{\text{Hot Load}} \times 100$   
(% Load Change)

This is acceptable.  
UNIT SELECTED WOULD BE DV70 SIZE 12  
Preset Load = Actual Load - (Movement x Spring Rate)  
Preset Load = 10789 - (20 x 78.8) = 9213N  
Unit to be ordered would be DV70 Size 12.  
Preset Load = 9213N Hot Load = 10789 N.

## Constant Load Hangers (۷-۱-۲)

این نوع تکیه گاه به نحوی طراحی شده است که تقریباً همواره نیروی ثابتی را در شرایط عملیاتی و در Range تغییر مکان لوله به سیستم اعمال خواهد کرد. این تکیه گاه از یک سیستم اهرمی و



یک فنر مطابق شکل (۷-۱) تشکیل

شده است چنانچه در شکل دیده

میشود وجود سیستم اهرمی باعث

ثابت ماندن نیروی تکیه گاهی میشود

بطوریکه همواره حاصلضرب بازوی a

و نیروی اعمالی از طرف لوله برابر با

حاصلضرب بازوی b و نیروی عکس

العملی فنر خواهد بود و به همین

دلیل زمانی از این نوع تکیه گاه استفاده میشود که بخواهیم انتقال تغییرات نیروهای تکیه گاهی به

نقاط اتصال به تجهیزات و یا تکیه گاههای مجاور در حد مینیمم و یا صفر باشد و در نتیجه این نوع

تکیه گاه در سیستمهای حساس لوله کشی بکار برده میشود.

برای انتخاب این تکیه گاه از جدول ( ۱۱-۲۸ ) این بخش استفاده خواهیم کرد . این جدول از کاتالوگ شرکت Carpentere & paterson برداشت شده است و روش انتخاب این تکیه گاه را ذیلا تشریح خواهیم نمود .

الف ) ابتدا نیرو و تغییر مکانی را که باید توسط تکیه گاه جذب گردد محاسبه کنید .

ب ) با مراجعه به جدول ( ۱۱-۲۸ ) مشاهده میشود که در این جدول حداکثر تغییر مکان عمودی داده شده است . این نکته را نیز توجه کنید که برای این تکیه گاه ها باید مقداری Over Travel در نظر گرفته شود که نهایتا بتوان میزان تغییر مکان را جهت طراحی و انتخاب تکیه گاه معین نمود . مقدار Over Travel که توسط سازنده فوق پیشنهاد میشود 25% تغییر برای تغییر مکان تا 175 میلی متر محاسبه شده و یا برای تغییر مکان بیشتر از 175 میلی متر ، 25mm در نظر گرفته میشود . در هر حال باید توجه داشت که هر یک از شرکتهای سازنده تکیه گاههای فوق برای میزان Over Travel پیشنهادات مخصوص به خود را دارند که در زمان انتخاب تکیه گاه باید به آنها توجه نمود .

ج ) در این مرحله باید نوع تکیه گاه را انتخاب کرد . این تکیه گاهها بسته به اینکه در چه فضایی استفاده شوند، انواع مختلف دارند که با توجه به امکانات فضای موجود در اطراف لوله مورد نظر انتخاب نوع تکیه گاه صورت می پذیرد .

د ) مقدار بند ( ب ) را تا میزان  $15^{mm}$  افزایش داده گرد کرده ، مقدار Over Travel بدست می آید .  
ه ) با توجه به بند ۱ فوق و با مشخص کردن Total Travel ، در همان ردیف ، به سمت راست حرکت کرده تا به بار موردنظر برسید و اگر بار محاسبه شده در جدول موجود نبود باید باری بیشتر از آنچه که محاسبه شده است انتخاب شود و نه کمتر از آن .



## ۷-۲) نوسان گیرها ( Sway brace )

نوسان گیرها برای محدود کردن اثرات ارتعاشی لوله مورد استفاده قرار می گیرند و همواره در جاهایی استفاده می شوند که کنترل دقیق نیروهای ضربه ای مورد نیاز نباشد ، این قطعات کمی کوچکتر از فنرهای متغییر ( Variable Spring ) هستند که در صفحه افقی عمل میکنند . وقتی Sway brace نصب می شود ، بار از پیش قرار داده شده فنر، زمانی که لوله در وضعیت کاری قرار می گیرد بر روی صفر تنظیم می شود . وقتی که لوله در حین کار شروع به نوسان میکند Sway brace نیروی عکس العملی ایجاد می کند که برابر است با حاصل ضرب ثابت فنر Sway brace در جابجایی لوله، اثر Sway brace روی سیستم Piping موجب افزایش مقدار K در معادله زیر است :

$$MX''(t) + GX(t) + K(t) = F(t)$$

در مقابل این اثر باعث می شود فرکانس های طبیعی مدهای ارتعاشی افزایش یابد و در نتیجه پاسخ لوله به بارهای دینامیکی و ارتعاشی کاهش یابد و احتمال رسیدن به رزونانس یا تشدید لوله کم شود .

Sway brace ها نیز همانند فنرها ، تنش های حرارتی ناشی از انبساط را در لوله کمی افزایش می دهند ( البته کمتر از آنچه که قیود صلب ایجاد می کنند ) . لذا بهتر است که مکان نصب Sway brace طوری انتخاب شود که در آنجا انبساط حرارتی در راستای قید کم باشد تا این اثر به حداقل برسد .

نمونه هایی از آن در جدول ( ۲۹-۱۱ ) آمده است .

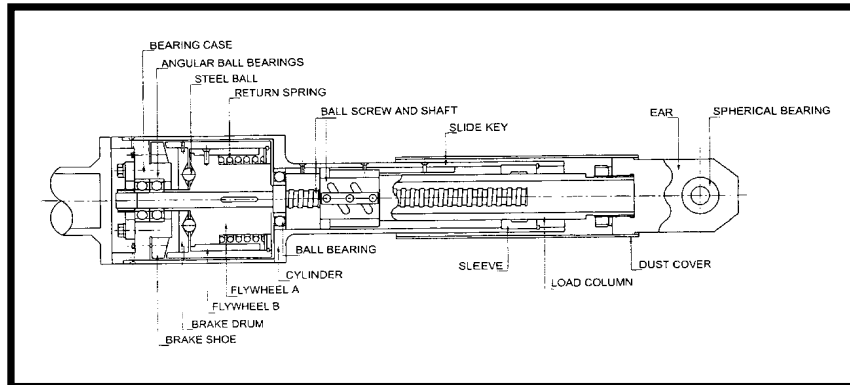
### ۳-۷) ضربه گیر دینامیکی Snubber ( کمک فنرها )

همان طوری که گفته شد ، قیود صلب زمانی استفاده می شود که طراحی به صورتی باشد که لوله قرار است نیروهای افقی نظیر زمین لرزه یا بادهای شدید و یا بارهای دینامیکی دیگری مثل برخورد شدید سیال را تحمل کند . از طرف دیگر زمانی که سیستم باید در دمای زیاد کار کند ، بکارگیری قیود صلب به دلیل عدم امکان انبساط حرارتی تنش های موضعی حرارتی بسیار بالا را در برخی نقاط در پی خواهد داشت . در چنین حالتی ، می توان از کمک فنرها یا Snubber ها به جای فنر استفاده نمود . به علاوه زمانی که جابجایی حرارتی امکان استفاده از Rigid Hanger را محدود می کند .

به جز اینکه Snubber ها مکانیزمی دارند که اجازه می دهد مقداری حرکت در زمان اعمال بارهای استاتیکی و یا بارهایی که به آرامی وارد می شوند ، وجود داشته باشد و در عین حال در صورتی که بار به سرعت وارد شود قفل می شوند . به این ترتیب Snubber ها در برابر بارهای دینامیکی مقاومت نشان می دهد در حالی که جلوی حرکت و انبساط طبیعی لوله را نمی گیرند . توجه داشته باشید که از Snubber ها نمی توان به عنوان تکیه گاه وزنی استفاده کرد و این ناشی از عملکرد خاص مکانیزم فوق است . به همین دلیل وقتی که لازم باشد نیروهای وزن و نیروهای دینامیکی به صورت همزمان مقید و تحمل شوند ، لازم است طراح از یک فنر ( Spring ) هم استفاده نماید . Spring یا فنر بار وزن را تحمل می کند و Snubber بار دینامیکی را تحمل خواهد کرد و در عین حال هر دو اجازه جابجایی های حرارتی مورد نیاز را می دهند. Snubber ها در دو نوع هیدرولیکی و مکانیکی ساخته میشوند.

نوع متداول از SNUBBER هیدرولیکی از یک پیستون و یک مخزن و دو CHAMBER تشکیل می شود . ضربه پیستون که در نتیجه نرخ جریان سیال به حد مشخصی میرسد ، یک سوپاپ ( Valve )

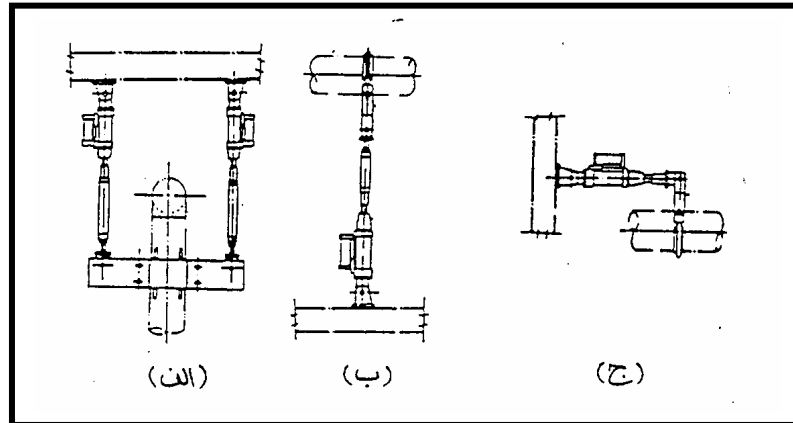
مجرای میان دو Chamber را می بندد. در این وضعیت نیروی اعمال شده روی Snubber به وسیله تراکم سیال تحمل می شود.



شکل ۲-۷) مکانیکی Snubber

نوع مکانیکی Snubber بطور کامل براساس مقاومت مکانیکی عمل می نماید و به نحوی طراحی میشود که حرکت سیستم را در مقابل شتاب خاصی کاملاً محدود نمایند. بنابراین اگر چنانچه شتاب حرکت کمتر از شتاب مورد نظر باشد در مقابل تغییر مکانها مقاومت نمی کند. هر دو نوع این تکیه گاهها دارای معایبی نیز می باشند. بطورمثال نوع هیدرولیکی بواسطه مسئله آب بندی کامل روغن ممکن است دچار نشتی گردد و یا اینکه در محیط های رادیو اکتیو روغن آن خاصیت اولیه خود را از دست بدهد و باعث خوردگی گردیده و عمر تکیه گاه را کوتاه کند. در نوع مکانیکی نیز مسئله به نوع دیگری بروز می نماید. بدین معنی که ممکن است به یکباره جعبه دنده آن قفل نماید و تکیه گاه تبدیل به یک تکیه گاه صلب شود شکل (۲-۷) نوع مکانیکی تکیه گاه Snubber را نشان میدهد.

به هنگام بکار بردن Snubber مسایل دیگری را نیز همواره باید در نظر داشت بطور مثال وقتی دو Snubber بطوریکه در شکل الف (۳-۷) نشان داده شده است بعنوان یک تکیه گاه دینامیک برای لوله مورد استفاده قرار گیرند، اگر چنانچه نیروی دینامیکی در آن نقطه  $F$  باشد. قابلیت جذب نیرو برای هر یک از دو Snubber باید به اندازه  $F$  باشد و نه  $F/2$ ، چرا که همواره احتمال



شکل ۳-۷) نحوه قرارگیری snubber

این هست که یکی از آنها در هنگام اعمال نیرو نتواند ایفای نقش نماید بنابراین طراح باید جهت اطمینان هر دو آنها را با قابلیت جذب نیروی  $F$  در نظر بگیرد.

مسئله دیگری که باید لحاظ گردد اینست که Snubber نوع هیدرولیکی وقتی نیروی مقاومت از خود نشان میدهد که سرعت روغن در محفظه هیدرولیکی که ناشی از سرعت تغییر مکان لوله اصلی است به حد معینی برسد و این مسئله در نوع مکانیکی وقتی اتفاق می افتد که شتاب حرکت به حد معینی رسیده باشد بنابراین ملاحظه می شود که تغییر مکان در نوع هیدرولیکی بیش از نوع مکانیکی است و این مسئله در هنگام انتخاب Snubber باید لحاظ گردد.

جهت انتخاب Snubber به کاتالوگ سازندگان مراجعه کنید. در کاتالوگهای مذکور نحوه انتخاب نیز بطور کامل شرح داده شده است. از سازندگان معتبر این نوع تکیه گاهها می توان Grinnell و Carpentere & paterson را نام برد. جدول (۳۰-۱۱) برای نوع هیدرولیکی و جدول (۳۱-۱۱) برای نوع مکانیکی از کاتالوگ Carpentere & paterson آورده شده است.

به طور کلی استفاده از Snubber ضمن آنکه شامل هزینه زیاد نصب، تست کردن و نیاز به بازرسی این کمک فنرها است بلکه به منظور بهینه کردن آنها لازم به تعیین محل نصب مناسب و نوع آنها می باشد در غیر اینصورت نه تنها سیستم را ایمن نمی سازد بلکه موجب پایین آوردن ایمنی سیستم نیز میگردد.

## سئوالات فصل هفتم

۱. Q.۷.۱) تکیه گاههای خاص را نام ببرید؟ (Q.۷.۱)

۲. Q.۷.۲) عوامل تعیین کننده در انتخاب تکیه گاههای فنری چیست؟

۳. Q.۷.۳) تفاوت تکیه گاههای فنری از نوع Variable و Constant را با ترسیم مکانیزم آنها

شرح دهید.

۴. Q.۷.۴) الگوریتم تعیین Variable Spring Hanger را بیان کنید.

۵. Q.۷.۵) الگوریتم تعیین Constant Spring Hanger را بیان کنید.

۶. Q.۷.۶) کاربرد Sway brace در کجاست و چه محدودیتهایی دارد؟

۷. Q.۷.۷) کاربرد Snubber در کجاست و انواع آن را نام ببرید؟

۸. Q.۷.۸) مشکلات Snubber مکانیکی و هیدرولیکی چیست؟

مسئله ۱. p.۷.۱) نوع Constant Spring Hanger را با اطلاعات زیر تعیین کنید.

$$\text{Actual Load} = 15 \text{ kn}$$

$$\text{Actual Movement (vertical)} = 170 \text{ mm Up}$$

مسئله ۲. p.۷.۲) نوع Variable Spring Hanger را با اطلاعات زیر تعیین کنید.

$$\text{Actual Load} = 15 \text{ kn}$$

$$\text{pipe Movement } 25 \text{ mm down cold to hot}$$

مسئله ۳. p.۷.۳) نوع Snubber از نوع هیدرولیکی را با اطلاعات زیر تعیین کنید.

$$\text{Actual Load} = 18000 \text{ kn}$$

$$\text{Stroke} = 270 \text{ mm}$$

# فصل هشتم

## آنالیز تنش در لوله ها

- اهداف انجام محاسبات تنش .
- تعیین خط مشی کلی در خصوص خطوطی که بایستی آنالیز تنش شوند .
- تعیین خطوطی که می بایست آنالیز تنش شوند بر اساس استاندارد

### B 31.1

- تنش های اصلی در لوله
- بار گذاری Sustained
- بار گذاری Occasional
- آشنایی با تنش های مجاز سرد و گرم و ترکیب آنها
- انواع تنش ها در لوله بر اساس استاندارد ANSI B 31.1
- انواع تنش ها در لوله بر اساس استاندارد ANSI B 31.3
- معیارهای طراحی بر اساس تنش های مجاز
- حد مجاز تحمل ممان و نیرو بر روی پمپها ، توربین ها ، کمپرسورهای گریز از مرکز و کولر های هوایی

## فصل هشتم: آنالیز تنش در لوله ها

### ۱-۸) اهداف انجام محاسبات تنش

هدف اصلی در یک سیستم لوله کشی صنعتی تضمین طراحی موجود برای ایجاد یک Operating مطمئن در شرایط عادی و شرایط اضطراری و راه اندازی و هم چنین ضربات ناگهانی مانند ضربات هیدرولیکی، زلزله، باد و... در طول مفید کارکرد دستگاهها را میتوان عنوان کرد لذا در این راستا بایستی سیستم را بدرستی طراحی نمود و رفتار سیستم لوله کشی را در مقابل تغییرات ناشی از دما و فشار مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. در این میان انتخاب صحیح تکیه گاهها موجب محدود کردن و کنترل تنش در نقاط مختلف سیستم میگردد و بطور کلی در انجام محاسبات تنش اهداف کلی زیر دنبال میگردد:

الف) نگهداری تنش نقاط مختلف سیستم لوله کشی زیر حد مجاز.

ب) نگهداری بار ( Load ) وارد بر نازلها و تجهیزات از طرف سیستم لوله کشی زیر حد مجاز نازلها

ج) نگهداری تنش وارد بر نازلها و تجهیزات از طرف سیستم لوله کشی زیر حد مجاز.

د) بررسی و تعیین میزان بارگذاری وارد بر تکیه گاهها و مقایسه با حد مجاز تحمل آنها.

ه) بررسی تغییر مکانهای نقاط لوله کشی (المانها) و مقایسه آنها با حد مجاز و مهار کردن آنها.

و) جلوگیری از ایجاد کرنشهای ( Strain ) اضافی در محل اتصال لوله کشی به تجهیزات مکانیکی.

ز) اطمینان تغییرات پلاستیکی وابسته به زمان مانند خزش Creep و آسودگی ( Relaxation ) بطوریکه در حد ناچیزی باشد.

## ۲-۸) تعیین خطوطی که می بایست در آنها آنالیز تنش انجام گیرد .

بطور کلی انجام محاسبات تنش در خطوط مختلف بر حسب درجه اهمیت اینکه سیستم لوله کشی در چه شرایطی کار میکند و شرایط عملیاتی آن چیست، تعیین میگردند. لذا خطوط زیر در هر حالتی می بایست بر روی آنها آنالیز تنش انجام پذیرد :

۱-۲-۸) خطوطی که حامل سیالات خطرناک و سمی هستند و در مناطق ( Hazardous ) کار میکنند .

۲-۲-۸) خطوطی که در فشار و دمای بالا و یا فشار دمای زیر صفر کار میکنند که اصطلاحاً به آنها خطوط ( Critical ) گفته میشود .

۳-۲-۸) کلیه خطوط مربوط به Regeneration یا Decoking و یا ورودی و خروجی به کوره ها و بویلرها .

۴-۲-۸) کلیه خطوط فرآیندی ورودی و یا خروجی از کمپرسورها و دمنده ها .

۵-۲-۸) تمام خطوط بخار ورودی و خروجی از توربینها .

۶-۲-۸) خطوط فشار بالای بخار ( فشار بالاتر از 290 Psig ) .

۷-۲-۸) خطوط مشعل ( Flare ) .

۸-۲-۸) تمامی خطوط متصل بر کولرهای هوایی .

۹-۲-۸) تمامی خطوط ورودی و خروجی به پمپها با قطر  $D \geq 4$  و دمای عملیاتی بیشتر از  $120^\circ$

۱۰-۲-۸) تمام خطوط که دارای Jaketing می باشند .

۱۱-۲-۸) تمامی خطوط که بر حسب نیاز حس میگردد که می باست آنالیز تنش گردد بایستی

بر روی آنها آنالیز انجام گردد .



اما بطور کلی چنانچه رابطه زیر برقرار شود احتیاج به آنالیز تنش نداریم مطابق استاندارد ( ASME B31.1 ).

$$\frac{Dy}{(L-U)^2} \leq K1$$

$$K1 = 30 \frac{Sa}{Ea} \quad Ksi (BS)$$

$$K1 = 208/000 \frac{Sa}{Ea} \quad Mpa (SI)$$

$$Y = \Sigma l \times e$$

mm ( 1n )

D: قطر خارجی لوله

mm ( 1n )

Y: مقدار کل تغییر مکان ( جمع جبری )

m ( ft )

L: طول توسعه داده شده

m ( ft )

U: کوتاهترین طول و یا طول مستقیم

$$\left(\frac{mm}{m}\right)^2 \left(\frac{1n}{ft}\right)^2$$

K1

Ksi (BS) OR Mpa ( SI )

Sa: مقدار تنش مجاز

Ea: مدول الاستیسیته در دمای

$$21^{\circ}C \quad (70^{\circ}F)$$

e: ضریب انبساط طولی

برای استفاده در این فرمول فوق محدودیتهای زیر وجود دارد :

الف ) برای سیستمهایی که تحت بار Cyclic هستند کاربرد ندارد .

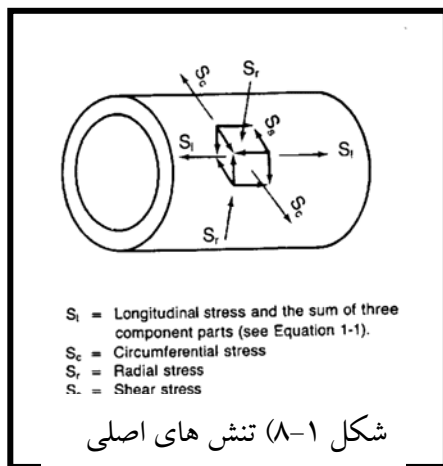
ب) برای سیستمی که ضریب شدت تنش در آنها بزرگتر و یا مساوی  $5 \geq i$  باشد یعنی کاربرد ندارد.

ج) برای شکلهای Unequal-U-Bends که در آنها نسبت  $l/u$  بزرگتر از 2.5 باشد جواب معقول ندارد.

د) این رابطه فقط شکل لوله کشی را در نظر می گیرد و در مورد نیروهای تکیه گاهی سخنی به میان نمی آورد.

### ۳-۸) تنش های اصلی در لوله کشی

تنش های اصلی در لوله کشی



در یک سیستم لوله کشی چهار تنش اصلی وجود دارد مطابق شکل (۱-۸) که ممکن است با یکدیگر ترکیب شوند.

#### ۱-۳-۸) تنش طولی

تنش خمشی حاصل از دما، وزن، بارهای زنده و بارهای مرده (مانند عایق، برف، یخ) باد و زلزله (در صورت لزوم) که بوسیله رابطه زیر محاسبه میشود:

$$S_b = \frac{\sqrt{(M_i I_i)^2 + (M_o I_o)^2}}{Z}$$

$S_b$ : تنش خمشی

$I_i$ : ضریب تشدید تنش درون صفحه ای

$I_o$ : ضریب تشدید تنش بیرون از صفحه ای

$M_i$ : گشتاور خمشی تنش درون صفحه ای (N-mm) (1n - lb)

$M_o$ : گشتاور خمشی خارج از صفحه ای (N-mm) (1n - lb)

$Z$ : مدول مقطع لوله ( $mm^3$ ) ( $1n^3$ )

تنش طولی مستقیم حاصل از دما، وزن بوسیله رابطه زیر محاسبه میشود:

$$S_{dl} = Fa / A$$

Fa: نیروی عمود بر سطح لوله (N) (lb)

A: سطح مقطع لوله (mm<sup>2</sup>) (in<sup>2</sup>)

تنش طولی حاصل از فشار داخلی عبارتست از:

$$S_p = \frac{PD}{4t}$$

P: فشار داخلی لوله (N/mm<sup>2</sup>) (lb/in<sup>2</sup>)

D: قطر خارجی لوله (mm) (in)

T: ضخامت جداره لوله (mm) (in)

بنابراین نیروی طولی حاصل از ترکیب تنش های بالا که در یک راستا قرار گرفته باشند عبارتست از:

$$S_l = S_b + S_p + S_{dl}$$

البته در رابطه بالا تنش حاصل از حرارت در نظر گرفته نشده است که در صورتی که این مقدار وجود داشته باشد باید در نظر گرفته شود.

مقدار تنش حرارتی از روی کد (Code) استخراج میشود که در بخش مربوط به آن توضیح داده میشود.

۲-۳-۱) تنش محیطی Sc که حاصل از فشار داخلی است:

$$S_c = \frac{PD}{Zt}$$

۳-۳-۱) تنش شعاعی که حاصل فشار داخلی است و به علت یکنواختی فشار داخل لوله برابر است با

$$S_r = P$$

۳-۳-۸) تنش برش  $S_s$  از دو قسمت تشکیل شده است قسمت اول حاصل از تنش های پیچشی و قسمت دوم حاصل از تنش های برشی مستقیم می باشد که معمولا مقدار آن کم و قابل صرف نظر کردن می باشد لذا داریم :

$$S_s = S_t + 2.0 \frac{Fs}{A}$$

$$S_t = \frac{T}{2Z}$$

$S_s$  : تنش برشی

$S_t$  : تنش پیچشی

$T$  : گشتاور پیچشی ( lb - in ) ( N - mm )

$A$  : سطح مقطع (  $mm^2$  ) (  $in^2$  )

$F_s$  : نیروی برشی ( lb ) ( N )

$Z$  : مدول مقطع لوله (  $mm^3$  ) (  $in^3$  )

باید توجه داشت که در استاندارد ANSI مقدار تنش حرارتی را بطور مجزا از تنش های اصلی حاصل از فشار ، وزن و بارهای خارجی در نظر گرفته است که می بایست با تنش های اصلی ترکیب شوند . بنابراین حداکثر تنش اصلی در لایه خارجی لوله از فرمول زیر محاسبه میگردد :

$$S_1 = \frac{1}{2} \left[ S_t + S_c + \sqrt{4S_t^2 + (S - S_c)^2} \right]$$

$$S_2 = \frac{1}{2} \left[ S_t + S_c - \sqrt{4S_t^2 + (S + S_c)^2} \right]$$

هر کدام از مقادیر  $S_1$  یا  $S_2$  که بزرگتر باشند در نظر گرفته میشوند یامیتوان از معادله زیر بدست آورد :

$$\sqrt{4S_t^2 + (S - S_c)^2}$$

روش فوق بر مبنای روش ماکزیمم تنش برشی ( Tresca ) محاسبه گردیده است .

## ۸-۴) انواع بارگذاری در لوله ها

### Sustained Loads ( ۸-۴-۱)

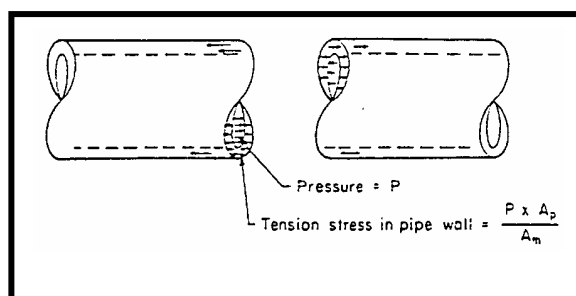
این نوع بارگذاری شامل بارهایی است که عمدتاً توسط نیروهای مکانیکی بر سیستم اعمال میشوند و در تمام طول عمر عملیاتی سیستم وجود دارند و شامل نیروهای وزنی و فشاری میباشند .

### الف) Sustained Loads -Weight

یک سیستم لوله کشی باید به نحوی طراحی شود که نیروهای وزنی در آن تحت کنترل باشد . بنابراین باید از تکیه گاه مناسب در آن سیستم استفاده شود این تکیه گاهها باید طوری طراحی شوند تا در مقابل وزن لوله ، وزن سیال داخل آن ، وزن عایق ، وزن متعلقات ( مانند شیرآلات ، اتصالات و غیره ) و همینطور وزن خود تکیه گاه بطور مناسب و مطمئن مقاومت نمایند .

### ب) Sustained Loads – Pressure

خطوط لوله توسط سیال داخل آن تحت بارگذاری فشاری قرار می گیرند . این نیروی فشاری معمولاً باعث ایجاد تنش در لوله شده و بعنوان بار خارجی بر روی تکیه گاه لوله تاثیر چندانی ندارند . این به واسطه اینست که نیروهای فشاری توسط سطح مقطع لوله ( Metal Area ) تحمل میشوند و سیستم به حال تعادل میرسد . این مطلب در شکل ( ۸-۲ ) نشان داده شده است .



شکل ۸-۲) نیروهای فشاری توسط

## ۲-۴-۸) بارگذاری Occasional

بارهایی که در مدت زمان کوتاهی در طول عمر عملیات واحد صنعتی بر سیستم لوله کشی اعمال میگردند بارهای Occasional گفته می شوند که معمولا مدت عملکرد اینگونه بارها را یک تا ده درصد عمر عملیاتی در نظر می گیرند . اینگونه بارها شامل بارهای پرودیک مانند بار ناشی از وزن برف ، باد و زلزله ، عملکرد شیرهای اطمینان و غیره میباشد .

معمولا جهت اعمال این نیروها بر سیستم لوله کشی به صورت افقی ( Horizontal ) بوده که گاهی هم ممکن است به شکل عمودی باشد در حالی که نیروهای ناشی از بارهای Sustained معمولا عمودی هستند . به همین دلیل محل استقرار تکیه گاههایی که برای بارهای Occasional انتخاب می شوند با محل استقرار تکیه گاههای مربوط به بارهای Sustained الزاما یکی نیستند لیکن توصیه میشود که در صورت امکان مهندس طراح محل استقرار این دو نوع تکیه گاه را در یک محل انتخاب نماید که البته این مسئله وابسته به شرایط طراحی سیستم است . یکی از راههایی که می توان این کار را انجام داد اینست که فاصله ( Span ) نقاط تکیه گاهی مربوط به بارهای Occasional را تا رسیدن به فاصله نقاط تکیه گاهی بارهای Sustained کم نمود . که البته این کار تا حدی هزینه طرح را بالا خواهد برد .

بارهای Occasional عموما بارهای دینامیکی هستند و بارهای دینامیکی توسط تیکه گاههای صلب ( Rigid Support ) بهتر مهار میشوند لیکن اگر چنانچه تغییر مکانها در سیستم لوله کشی خیلی زیاد باشند باید جهت مهار بارهای Occasional از تکیه گاههای Snubber استفاده نمود که قابلیت جذب تغییر مکان سیستم را در حالت استاتیک داراست لیکن در وضعیت دینامیکی از تغییر مکان ناگهانی سیستم جلوگیری می نماید .

آنچه که در خصوص بارهای Occasional بیان شد حاکی از آن بود که این بارها اولاً "دینامیکی هستند و ثانياً همیشه در سیستم وجود ندارند. بنابراین در استانداردهای مختلف میزان Allowable Stress بیشتری را جهت محاسبات تنش چه برای سیستم لوله کشی و چه برای تکیه گاهها ارائه داده اند. این تنش مجاز بالاتر به واسطه اینست که بارهای دینامیکی در زمان کوتاهی اعمال می شوند و شکست ناشی از خزش (Creep) را شتاب نمی دهند.

#### الف) Occasional Load – Wind

بار ناشی از باد در واقع نیرویی است که به صورت فشار دینامیکی بر سیستم لوله کشی تاثیر می گذارد. لوله هایی که در محیط باز قرار دارند در معرض چنین نیرویی قرار خواهند گرفت. بنابراین باید از نقطه نظر بارهای دینامیکی ناشی از باد نیز کنترل شوند بزرگی سرعت باد بستگی به مکانی دارد که سیستم در آنجا نصب می شود و هر چه ارتفاع بیشتر شود تاثیر آن نیز بیشتر خواهد شد معمولاً در ارتفاعاتی بالاتر از ۹ متر تاثیر باد قابل توجه می شود. مهمترین دلیل ایجاد نیروی باد در واقع اینست که باد در اثر برخورد با سیستم لوله کشی دچار تغییر مومنوم خواهد شد علیرغم بوجود آمدن تغییرات سرعت در محل اصابت به سیستم لوله کشی فرض را بر آن می گذاریم که فشار باد بر سطح تصویر در طول لوله (Projected Length) اثر خواهد گذاشت.

#### ب) Occasional Load – Relief Valva Discharge

ماهیت عملکرد اینگونه شیرها به نحوی است که نیروی ضربه ای نسبتاً زیادی (بسته به میزان فشار) در هنگام باز شدن به سیستم اعمال خواهد کرد. بنابراین باید این نیرو را بدست آورده و در محاسبات تنش و هم چنین محاسبه تکیه گاهها لحاظ نمود. استاندارد ANSI B31.1 برای

محاسبه نیروی حاصل از تخلیه شیرهای اطمینان که به اتمسفر باز می شوند روابطی را پیشنهاد می دهد لذا با مراجعه به استاندارد میتوان از این روابط نیروها را محاسبه نمود .

### ج ( Occasional Load – Seismic )

یک شکل دیگر از بارهای Occasional بارهای ناشی از زلزله می باشد بنابراین اگر چنانچه یک واحد صنعتی در محلی احداث گردد که احتمال وقوع زلزله در آن بالا باشد باید سیستم جهت مقابله با نیروهای ناشی از زمین لرزه به اندازه کافی توانمند باشد .

### د ( بارهای ارتعاشی ناشی از تجهیزات دوار )

یک نوع دیگر از بارگذاری ، بارهای ارتعاشی یا Vibration Loads بوده که از طریق ماشینهای دوار مثل کمپرسورها ، پمپها ، توربین ها ، موتورها و غیره بر سیستم لوله کشی تحمیل می گردند . دوران شافت و پرده های این ماشینها تولید نامیزانی سینوسی هارمونیک نموده که این امر نیز باعث اعمال نیروی دینامیک بر سیستم لوله کشی میگردد . اگر چنانچه یک ماشین دوار به درستی بالانس نشود و یا اینکه فونداسیون آن مناسب نباشد نیروهایی که به واسطه این نقایص بر سیستم لوله کشی اعمال خواهد گشت نیروهای بزرگی بوده و اگر فرکانس دوران در نزدیکی فرکانس طبیعی سیستم لوله کشی باشد سیستم لوله کشی دچار شکست خواهد شد .

### ۳-۴-۸ ( بارهای ناشی از انبساط حرارتی )

این بارها بواسطه تغییرات درجه حرارت و وجود نقاط تکیه گاهی نا مناسب بر سیستم اعمال می گردند . چنانچه سیستمی توسط تکیه گاههایی مقید شده باشد و امکان انبساط نداشته باشند نیروهای بزرگی در نقاط قفل شدگی بوجود می آید و تنش های زیادی را در لوله ایجاد خواهد نمود لذا می بایست این تنش ها از سیستم حذف گردد که در فصل دهم به آن پرداخته خواهد شد .



## ۵-۸) انواع تنش در لوله

چنانچه در مقدمه به آن اشاره شده است تنش ها در سری استانداردهای ANSI B31 ممکن است به گونه های مختلفی ظاهر شود اما از آنجائیکه در صنعت پتروشیمی بیشترین کاربرد را استاندارد B31.1 , B31.3 دارد در اینجا فقط به موارد ذکر شده در این استانداردها پرداخته میشود .

### ۱-۵-۸) تنش های مجاز $S_h, S_c$

تنش مجاز در یک سیستم لوله کشی می بایست براساس تنش مجاز پایه در حداقل دمای فلز  $S_c$  و تنش مجاز در شرایط گرم  $S_h$  محاسبه گردد .

تنش های مجاز پایه ماده یعنی  $S_h, S_c$  را می توان برای اکثر مواد برابر حداقل مقادیر زیر در نظر گرفت :

- یک سوم حداقل استحکام کششی در دمای محیط
  - یک سوم استحکام کششی ماده در دمای طراحی
  - دو سوم حداقل استحکام تسلیم در دمای محیط
  - دو سوم استحکام تسلیم ماده در دمای طراحی ( به غیر از فولادهای استنلس استیل و برخی آلیاژهای نیکل که در آنها این مقدار می تواند تا  $0.9S_y$  نیز باشد ) .
  - ۱۰۰ درصد از تنش میانگین برای 0.01 درصد نرخ خزش در 1000h
  - ۶۷ درصد از تنش میانگین برای شکستن و متلاشی شدن پس از مدت 100 . 000 h
  - ۸۰ درصد از تنش مینیمم برای متلاشی شدن پس از 100.000h
- این مقادیر برای برخی مواد و دماهای کاری در ضمیمه A از کد B31.1 و B31.3 ارائه شده اند .

## ۲-۵-۸) استاندارد

## ANSI B31.1

بارگذاری هایی که در B31.1 لازم است در نظر گرفته شوند عبارتند از فشار، وزن ( بارهای زنده Live، مرده Dead و تحت آزمایش )، ضربه ( برای مثال ضربه قوچ )، باد، زمین لرزه ( در صورت وجود )، ارتعاشات و بارهایی که از انبساط و انقباض حرارتی به وجود می آیند. در این فرض معمولاً فرض شده که بار ناشی از باد و زمین لرزه بطور همزمان به سیستم وارد نمی شوند.

معادلات مطرح شده در کد B31.1 مستقیماً در این فصل آورده شده اند. توجه داشته باشید که هر دو واحد متریک ( SI ) و واحد سیستم متداول ایالات متحده ( USCS ) آورده شده اند.

## I) تنش های ناشی از بارگذاری پایدار Sustained loadings

اثرات فشار، وزن و دیگر بارهای مکانیکی ثابت باید در معادله زیر صدق کنند.

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{0.75iM_A}{Z} \leq 1.0S_h \quad (\text{واحد USCS})$$

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{1000(0.75i)M_A}{Z} \leq 1.0S_h \quad (\text{واحد SI})$$

که در آن:

P فشار داخلی (نسبی) برحسب Psi ( Kpa )

$D_o$  قطر خارجی لوله برحسب in ( mm )

$t_n$  ضخامت اسمی دیواره لوله برحسب in ( mm )

$M_A$  گشتاور خمشی معادل در مقطع عرض ناشی از وزن و بارهای پایدار دیگر،

in – lb ( N – mm )

Z مدول مقطع لوله،  $in^3$  (  $mm^3$  )

i ضریب تشدید تنش ( Stress Intensification Factor ) ( حاصلضرب 0.75i هیچگاه کوچکتر از 1 در نظر گرفته نمی شود ).

$S_h$  تنش مجاز ماده در حداکثر دما از جداول تنشهای مجاز ،  $(K P_a) Psi$

(II) تنش های ناشی از بارگذاری Occasional

اثرات فشار ، وزن ، دیگر بارهای پایدار و بارهای Occasional شامل زمین لرزه باید در روابط زیر صدق کنند .

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{1000(0.75i)M_A}{Z} \leq 1.0S_h \quad (\text{واحد USCS})$$

$$\frac{PD_o}{4t_n} + \frac{1000(0.75i)M_A}{Z} + \frac{1000(0.75i)M_B}{Z} \leq KS_h \quad (\text{واحد SI})$$

که در آن :

K : برابر 1.15 برای بارهای Occasional که در کمتر از 10 درصد پیوند کاری اعمال می شوند  
برابر 1.2 برای بارهای Occasional که در کمتر از 1 درصد پیوند کاری اعمال می شوند .

$M_B$  : ممان خمشی معادل در سطح مقطع ، ناشی از بارهای Occasional ، چنانچه زمین لرزه باید در نظر گرفته شود ، تنها نصف گشتاور ناشی از لرزش زمین لرزه باید استفاده شود.

( N – mm ) in – lb

لازم بذکر است که مقادیر تنش های تسلیم و حد گسیختگی در استاندارد B31.1 موجود است فاکتور شدت تنش S.I.F که به عنوان ضریب اطمینان در روابط فوق قرار گرفته است در استاندارد B31.1 شامل  $I_0$  ,  $I_i$  نبوده و از یک عدد مشترک برای این منظور استفاده میشود و مقادیر آن نیز در استاندارد مذکور موجود است .

## ANSI B 31.3 استاندارد (۸-۵-۳)

مواردی که کد B31.3 آنها را شامل نمی شود عبارتند از Piping حامل سیال بی خطر با فشار نسبی داخلی کمتر از 15 Psi ( 103 Kpa ) و دمای کمتر از  $366F (180^{\circ}C)$  Piping حامل آب تغذیه و بخار ؛ تاسیسات ساختمانی ، لوله کشی فاضلاب و سیستم اطفاء حریق که در B31.4 B31.1 یا B31.8 به آنها پرداخته میشود.

بارهایی که در B31.3 باید در نظر گرفته شوند عبارتند از : فشار ، وزن ( بارهای زنده و مرده ) ، ضربه ( شامل شوک های هیدرولیکی ) ، باد ، نیروهای افقی ناشی از زمین لرزه ، عکس العمل های ارتعاش ناشی از تخلیه سیال ، بارهای حرارتی ناشی از انبساط و انقباض ، گرادیان های دما و بارهای ناشی از حرکت های پایانه های بارگیری ، لنگرها و تکیه گاه ها ، الزامات ذکر شده در کد ANSI B31.1 به صورت زیر می باشد :

## I) تنش های ناشی از بارهای ثابت

مجموع تنش های طولی  $S_L$  ناشی از فشار ، وزن و بارهای ثابت دیگر نباید از  $S_h$  تجاوز کند . در محاسبه  $S_L$  ، در ضخامت لوله مورد استفاده نباید چیزی برای خوردگی ، فرسایش ، رزوه و یا عمق شیار در نظر گرفته شده باشد .

## II ) تنش های ناشی از بارهای Occasional

مجموع تنش های طولی ناشی از فشار ، وزن و دیگر بارهای ثابت و همین طور تنش های ایجاد شده به وسیله بارهای Occasional از قبیل باد یا زلزله نباید از  $1.33S_h$  تجاوز کند . یادآوری می شود که نیروهای باد و زلزله لازم نیست به طور همزمان در نظر گرفته شوند .

(III) دامنه تنش ناشی از بارهای انبساطی

دامنه تنش جابجایی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$S_E = (S_b^2 + 4S_t^2)^{1/2}$$

که در آن :

$S_b$  تنش خمشی معادل (Kpa)Psi

$$S_t = \frac{M_t}{2Z} \text{ : تنش پیچشی ، Psi و برابر } \frac{1000M_t}{2Z} \text{ kpa}$$

$M_t$  = ممان پیچشی ، ( N-mm )in - lb

$Z$  = مدول مقطع لوله ،  $(mm^3)in^3$

تنشهای خمشی  $S_b$  برای استفاده در معادله فوق بصورت زیر محاسبه می شود :

$$S_b = \left[ \frac{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}{Z} \right]^{1/2} \text{ (USCS)(13-7)}$$

$$S_b = 1000 \left[ \frac{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}{Z} \right]^{1/2} \text{ (SI)}$$

$i_i$  ضریب تشدید تنش درون صفحه ای

$i_o$  = ضریب تشدید تنش بیرون از صفحه ای

$M_i$  گشتاور تشدید تنش درون صفحه ای ( N-mm )in-lb

$M_o$  گشتاور خمشی خارج از صفحه ای ، ( N-mm )in-lb

در ضمن حد زیر برای تنش ناشی از جابجایی باید لحاظ شود :

$$S_E \leq S_A$$

که در آن :

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad \text{(Kpa)Psi}$$

یا

$$S_A = f[1.25(S_c + S_h) - S_L] \quad \text{(Kpa)Psi}$$

TABLE13-1 Stress Range Reduction Factor  $f$ 

Number of equivalent temperature cycles	$f$
<7000	1.0
7000- 14,000	0.9
14,000- 22,000	0.8
22,000- 45,000	0.7
45,000-100,000	0.6
>1000,000	0.5

SOURCE: B31.1 Piping Code. (Courtesy of ASME.)

$S_c$  = تنش مجاز پایه در حداقل دمای فلز  
(Kpa)Psi

$S_L$  = تنش های طولی محاسبه شده ناشی از

فشار ، وزن و بارهای پایدار دیگر ، (Kpa)psi

$f$  = ضریب کاهش دامنه تنش در شرایط

### جدول ۳-۸) STRESS RANGE REDUCTION

سیکلی برای تعداد کل سیکل های کاری در حداکثر دما در طول عمر پیش بینی شده در جدول (۳-۸)

در کد B31.3 لازم است ضرایب تشدید تنش جداگانه برای بارهای خمشی درون صفحه ای و خارج از صفحه ای استفاده شود ، در حالی که برای بار پیچشی هیچ گونه ضریب تشدید تنشی لازم نیست .

روابط لازم برای ضرایب تشدید تنش در جدول (۳۲-۱۱) آورده شده اند .

### ۶-۸) معیارهای طراحی براساس تنش های مجاز

چنانچه پیشتر به آن اشاره شده است یکی از معیارهای طراحی نگهداری بار ، ممان و تنش بر روی نازل های تجهیزات از طرف سیستم لوله کشی در حد مجاز است. مقادیر مجاز در استانداردها و یا گاهها توسط سازندگان تجهیزات مشخص میگردد . با استفاده از استانداردهای زیر میتوان مقادیر مجاز را پیدا نمود :

۱- API 610 : جهت نازل های پمپ های گریز از مرکز

۲- API 617 : جهت نازل های کمپر سوره های گریز از مرکز

۳- API 611 : جهت نازل های پمپ های رفت و آمدی

- ۴- API 661 : جهت نازل‌های کولرهای هوایی
- ۵- API 650 : جهت نازل‌های مخازن نگهداری
- ۶- WRC 107 : جهت نازل‌های مخازن کروی
- ۷- WRC 297 : جهت نازل‌های مخازن کروی
- ۸- NEMA SM23 : جهت نازل‌های توربین‌های گازی
- ۹- ASME I : جهت نازل‌های دیگهای بخار
- ۱۰- ASME VIII : جهت نازل‌های ظروف تحت فشار دیگهای حرارتی

در اینجا فقط به قسمت مهم بعضی از استانداردها که کاربرد بیشتری دارند اشاره می‌گردد .

### ۱-۶-۸) حد مجاز تحمل ممان و نیرو بر روی پمپهای Steel

با توجه به استاندارد فوق نیروها و ممانهای بر هر یک از نازل‌های پمپ که از آنالیز تنش بدست

می آید نبایستی از دو برابر مقادیر جدول ( ۸-۴ ) بیشتر باشد هم چنین می بایست در معادله

زیر صدق کند :

Nozzle Loadings									
Force/Moment	Nominal Size of Nozzle Flange (in.)								
	≤ 2	3	4	6	8	10	12	14 <sup>b</sup>	16 <sup>b</sup>
Each top nozzle									
F <sub>x</sub>	160	240	320	560	850	1,200	1,500	1,600	1,900
F <sub>y</sub> (compression)	200	300	400	700	1,100	1,500	1,800	2,000	2,300
F <sub>y</sub> (tension)	100	150	200	350	530	750	920	1,000	1,200
F <sub>z</sub>	130	200	260	460	700	1,000	1,200	1,300	1,500
Each side nozzle									
F <sub>x</sub>	160	240	320	560	850	1,200	1,500	1,600	1,900
F <sub>y</sub>	130	200	260	460	700	1,000	1,200	1,300	1,500
F <sub>z</sub>	200	300	400	700	1,100	1,500	1,800	2,000	2,300
Each end nozzle									
F <sub>x</sub>	200	300	400	700	1,100	1,500	1,800	2,000	2,300
F <sub>y</sub>	130	200	260	460	700	1,000	1,200	1,300	1,500
F <sub>z</sub>	160	240	320	560	850	1,200	1,500	1,600	1,900
Each nozzle									
M <sub>x</sub>	340	700	980	1,700	2,600	3,700	4,500	4,700	5,400
M <sub>y</sub>	260	530	740	1,300	1,900	2,800	3,400	3,500	4,000
M <sub>z</sub>	170	350	500	870	1,300	1,800	2,200	2,300	2,700

F = Force, lb                      y = Vertical 90° to shaft  
M = Moment ft-lb                z = Horizontal 90° to shaft  
x = Axis parallel to shaft

Reproduced from Centrifugal Pumps for General Refinery Services, Sixth Edition, 1981, Standard 610 Table 2. Reprinted courtesy of the American Petroleum Institute.

جدول ۴-۸) حد مجاز تحمل نیرو و ممان بر روی پمپ

$$(F_a / F_r) + (M_a / M_r) \leq 2$$

$$F_a / F_r \leq 2$$

$$M_a / M_r \leq C$$

C: برابر با 2 برای نازل‌های 6" و کوچکتر و برابر با  $(D + 6) / 6$  برای نازل‌های بزرگتر از 8"

$M_a$ : ممان منتج شده بر روی نازل

$F_a$ : نیروی منتج شده بر روی نازل

$M_r$ : ممان وارده از روی جدول ( ۸ - ۴ )

$F_r$ : نیروی وارده از روی جدول ( ۸ - ۴ )

D: قطر نامی نازل

۲-۶-۸) حد مجاز ممان و نیرو بر روی توربینهای Steel

در درجه حرارت Operating مقدار ممان خمشی از  $S_H/4$  برای سایزهای 4" و بیشتر، مقدار

$S_H/3$  برای زیر 3" تجاوز ننماید و هم چنین مقدار نیروی برشی و برآیند آنها بر روی فلنج از

2000 lb بیشتر نگردد حدود نیروها به شرح ذیل می باشد:

→ Individual Components

$$F_x \leq 1.3W \leq 160D$$

$$F_y \leq 0.6W \leq 130D$$

$$F_z \leq W \leq 160D$$

→ Resultant Components

Algebraic Summation Of  $F_{rx} \leq 1.6W$

Algebraic Summation Of  $F_{ry} \leq W$

Algebraic Summation Of  $F_{rz} \leq 1.6W$

→ Combined resultant

$$\left( (F_{rx})^2 + (F_{ry})^2 + (F_{rz})^2 \right)^{1/2} \leq 2W$$



مجموع کل نیروها و ممانهای بدست آمده بر روی هر نازل نبایستی از مقدار زیر تجاوز کند :

$$F = \frac{(500D_c - M)}{3}$$

F: نیروی بدست آمده شامل نیروی حاصل از فشار در جاییکه Unrestrained Expansion

Joints بکار رفته به جزء خروجی های عمودی

M: ممان بدست آمده

$$D_c = (16 + IPS)/3 \text{ برای سایز بزرگتر تا } 8'' \text{ و برای سایز کوچکتر}$$

نتایج بدست آمده در خروجی و ورودی و خروجی های فرعی ( extraction connection ) که

بر روی محور اصلی گذارا از Shaft کمپرسور محاسبه میگردند در دو حالت زیرنبایستی از آنها

تجاوز کنند :

$$F_r \leq \frac{(250D_r - M_r)}{2} \quad (I)$$

$F_r$ : ترکیب نیروها

$M_r$ : ترکیب ممانها

$D_r$ : قطر معادل با مجموع سطوح نازلهای مورد محاسبه چنانچه بیشتر از 9" گردد از مقدار زیر

$$D_r = (18 + \text{equivalent diameter})/3 \quad \text{بدست می آید .}$$

(II)

$$F_{rx} \leq 50D_r$$

$$M_{rx} \leq 250D_r$$

$$F_{ry} \leq 125D_r$$

$$M_{ry} \leq 125D_r$$

$$F_{rz} \leq 100D_r$$

$$M_{rz} \leq 125D_r$$

۳-۶-۸) حد مجاز تحمل ممان و نیرو بر روی کمپرسورهای گریز از مرکز

در درجه حرارت Operating مقدار ممان خمشی از  $S_H/4$  برای سایزهای 4" و بیشتر، و مقدار  $S_H/4$  برای سایزهای 3" و کمتر تجاوز ننماید. هم چنین مقدار نیروی برشی و برآیند آنها بر روی فلنج از 500 lb بیشتر نگردد.

حدود نیروها به شرح ذیل می باشد:

• *Individual Components*

$$F_x \leq 1.3W \leq 40D$$

$$F_y \leq 0.6W \leq 35D$$

$$F_z \leq W \leq 40D$$

• *Resultant Components*

*Algebraic Summation Of*  $F_{rx} \leq 1.6W$

*Algebraic Summation Of*  $F_{ry} \leq 1.0W$

*Algebraic Summation Of*  $F_{rz} \leq 1.6W$

• *Combined Resultant*

$$\left(F_{rx}^2 + F_{ry}^2 + F_{rz}^2\right)^{1/2} \leq 2W$$

مجموع کل نیروها و ممانهای بدست آمده بر روی هر نازل نبایستی از مقدار زیر تجاوز کند:

$$F \leq \frac{(500D_c - M)}{3}$$

F: نیروی بدست آمده شامل نیروی حاصل از فشار در جاییکه Unrestrained expansion

Joints به کار رفته به جزء خروجی های عمودی

M: ممان بدست آمده

$D_c$ : قطر نازل سایز لوله تا 8" و برای سایز بزرگتر  $D_c = (16 + IPS)/3$  نتایج بدست آمده در

خروجی و ورودی و خروجی های فرعی (extraction connection) که بر روی محور اصلی

گذرا از Shaft کمپرسور محاسبه میگردند در دو حالت زیر بایستی از آنها تجاوز نکنند.

$$F_r \leq \frac{(250D_r - M_r)}{2} \quad (I)$$

$F_r$ : ترکیب نیروها

$M_r$ : ترکیب ممانها

$D_r$ : قطر معادل با مجموع سطوح نازلهای مورد محاسبه چنانچه بیشتر از 9" گردد از مقدار زیر

$$D_r = (18 + \text{equivalent Diameter}) / 3 \quad \text{بدست می آید:}$$

(II)

$$F_{rx} \leq 92D_r$$

$$M_{rx} \leq 460D_r$$

$$F_{ry} \leq 230D_r$$

$$M_{ry} \leq 230D_r$$

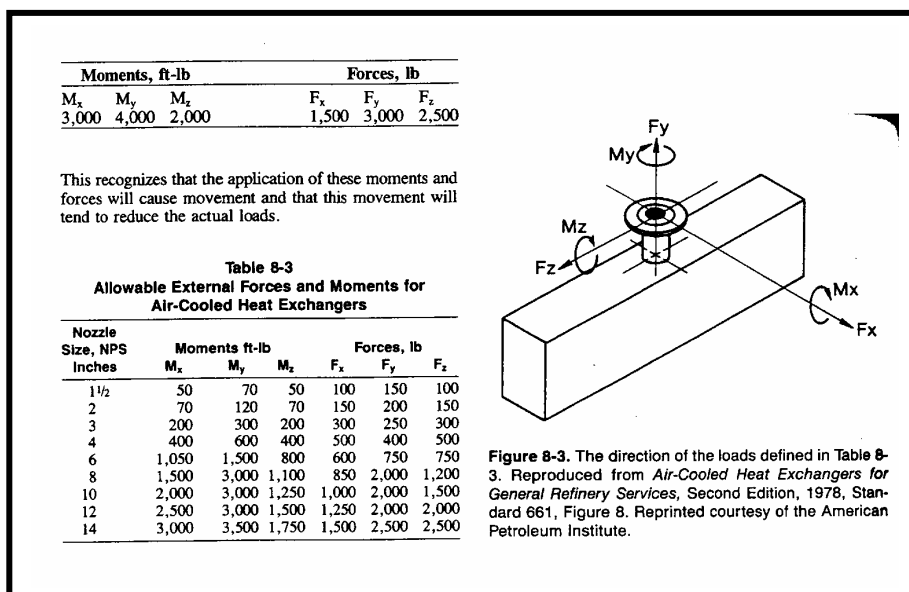
$$F_{rz} \leq 185D_r$$

$$M_{rz} \leq 230D_r$$

ع-۶-۸) محاسبه نیروها و ممانها بر روی کولرهای هوایی

بر روی هر نازل براساس طراحی بر روی Header ثابت نبایستی مقادیر از جدول (۵-۸) تجاوز کند، اما چونکه مقدار جابجایی (Movement) تاثیر گذار بر این مقدار می باشد لذا مقدار واقعی نیروها و ممانها از جدول (۵-۸) تبعیت می کند.

برای چند باندل این مقادیر میتواند حداکثر تا سه برابر افزایش یابد.

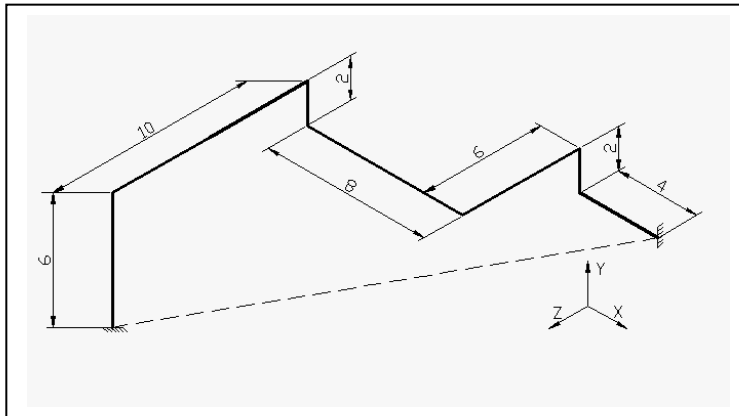


جدول ۴-۸) حد  
مجاز تحمل نیرو و  
ممان بر روی  
AIRCOOLER

## سئوالات فصل هشتم

۱. Q.۸ هدف از انجام محاسبات تنش چیست ( حداقل ۶ مورد ) را نام ببرید؟
۲. Q.۸ چه خطوطی باید در آنها، آنالیز تنش انجام گیرد ( حداقل ۶ مورد ) را نام ببرید ؟
۳. Q.۸ تنش های اصل را در لوله کشی نام ببرید ؟
۴. Q.۸ کدامیک از تنش های  $S_p$  یا  $S_c$  بیشتر است چرا ؟
۵. Q.۸ عامل مدول مقطع  $Z$  در  $S_t$  به چه صورت تاثیر گذار است ؟
۶. Q.۸ بار گذاری Sustained به چه نوع بار گذاری اطلاق می شود ؟
۷. Q.۸ بار گذاری occasional به چه نوع بار گذاری اطلاق می شود ؟
۸. Q.۸ انواع بار گذاری را occasional را نام برده و تعریف کنید ؟
۹. Q.8 چه نوع بار گذاری هایی در B 31.1 باید در نظر گرفته شود ؟
۱۰. Q.۸ چه تنش هایی در B 31.1 در نظر گرفته می شود ؟
۱۱. Q.۸ چه نوع بار گذاری هایی در B 31.3 باید در نظر گرفته شود ؟
۱۲. Q.۸  $S_c$  و  $S_h$  چیست چه کاربردی دارد ؟
۱۳. Q.۸ چند استاندارد که در آنها مقادیر مجاز را مشخص می کند، (حداقل ۶ مورد ) را نام ببرید؟
۱۴. Q.۸ الگوریتم تعیین حد مجاز تحمل ممان بر روی پمپها چیست ؟
۱۵. Q.۸ الگوریتم تعیین حد مجاز تحمل ممان بر روی توربین ها چیست ؟
۱۶. Q.۸ الگوریتم تعیین حد مجاز تحمل ممان بر روی کولرهای هوایی چیست ؟

مسئله ۱. P.۸) آیا مسیر زیر نیاز به آنالیز تنش دارد یا خیر؟



$$pipe = 6'' Sch 40$$

$$Mat = A53 GrB$$

$$T = 400^{0F}$$

مسئله ۲. P.۸) مقدار  $S_a$  را برای A-106 GrB در دمای  $260^{0C}$  ( $500^{0F}$ ) و طول عمر

18000(cycle) بدست آورید؟

مسئله ۳. P.۸) مقدار تنش ناشی از بارهای انبساطی برای زانو 10'' با SCH 40 با شرایط زیر

بدست آورید.

$$M_i = 11300 \text{ N-M}$$

$$M_o = 2825 \text{ N-M}$$

$$M_l = 1017 \text{ N-M}$$

$$Z = 4.8 \times 10^{-4} M^3$$

## فصل نهم

# روشهای محاسباتی آنالیز تنش

▪ با استفاده از نمودار، تعیین خطوطی که نیاز به آنالیز تنش دارند.

▪ آشنایی با روش Tube-Turn Piping Engineering

▪ آشنایی با روش Grinnell

▪ روش حل با استفاده از اینرسی خط (Line Inertia)

## فصل نهم: روشهای محاسباتی آنالیز تنش

چنانچه در فصل قبل به آن اشاره شده است بعضی از خطوط می بایست در آنها آنالیز تنش انجام گیرد در چنین مواردی آنالیز تنش بایستی توسط نرم افزارهای کامپیوتری مانند Caesar II انجام گیرد.

در بعضی از سیستم های لوله کشی با توجه به فرمول ارایه شده در بخش ۲ - ۸ نیز ممکن است نیاز به آنالیز تنش نداشته باشد هم چنین با استفاده از نمودار (۳۳-۱۱) میتوان پی برد که چه خطوطی نیاز به آنالیز تنش دارند.

G-۱ نیاز به آنالیز تنش کامپیوتری دارند

G-۲ نیاز به آنالیز تنش دارند

G-۳ نیاز به آنالیز تنش ندارند

با توجه به آنکه این دوره به آنالیز تنش کامپیوتری نمی پردازد لذا قسمت G-۱ مورد بررسی قرار نمی گیرد، اما برای قسمت G-۲ روشهای ساده ای وجود دارد که میتوان براساس آنها مقادیر، نیرو، ممان و تنش را بدست آورد، در اینجا به سه تا از روشهای معمول اشاره میگردد.

### ۹-۱) روش TubeTurn – Piping Engineering

در این روش با استفاده از نمودارها و جداول، لوله کشی هایی با شکل های Z, U, L حلقه های انبساطی را مورد بررسی قرار میدهم.

شکل‌های  $Z, U, L$  دارای دو تکیه گاه ثابت انتهایی می باشند و برای لوپ انبساطی دو حالت وجود دارد یکی حلقه انبساطی متقارن و دیگری حلقه انبساطی که دارای Guide در دو طرف حلقه انبساطی است و در این حالت نیازی نیست که Exp. Loop درست در وسط دو تکیه گاه ثابت قرار داشته باشد. لیکن فاصله دو Guide از حلقه انبساطی باید مساوی باشد.

اساس این روش بر پایه فرمول زیر استوار است.

$$S_E = \frac{f_e f_s}{f_1}$$

برای Guided Expansion Loop، مقدار انبساط کلی سیستم و به تبع آن  $S_E$  که میزان Expansion Stress Range است در  $U'/U$ ، که ضریب تصحیح می باشد، ضرب خواهد شد.

سپس مقدار  $S_E$  (محاسبه شده) با  $S_A$  یعنی Allowable Exp. Stress Range مقایسه میشود و طبعاً مقدار  $S_E$  نباید بیشتر از  $S_A$  باشد.

حل مسایل مربوط به این بخش با استفاده از جداول و نمودارهای (۳۴-۱۱) انجام می گیرد.

نمادهای مورد استفاده در حل مسائل این بخش عبارتند از:

$S_A =$  ALLOWABLE EXPANSION STRESS RANGE (psi)

$$= f(1.25S_c + 0.25S_h)$$

$S_E =$  COMPUTED EXPANSION STRESS RANGE (psi)

$F_e =$  EXPANSION FACTOR COMPUTED FROM TABLE 5 AS (psi)

ALGEBRAIC OF VALUES  $f_{eh}$  AND  $f_{ec}$  READ OPPOSITE  
MAX (HOT) AND MIN. (COLD) METAL TEMP. DIFFERENCE

$$= f_{eh} - f_{ec}$$

$F_{eh}, f_{ec} =$  (MODULUS OF ELASTICITY @ ROOM TEMP.) \* (psi)

(UNIT EXPANSION OF PIPE BETWEEN 70 F & MAX. OR  
MIN. METAL TEMPERATURE)



$F_1 =$  EFFECTIVE DIAMETER LENGTH OF COMPUTE ON (ft/IN)

AS RATIO  $L/D_r$  (۱۱-۳۴-۲) FLEX. CALCULATION FROM LINE

$L =$  EFFECTIVE LINE LENGTH (ft)

$$= L_s + nL_r$$

$L_r =$  EFFECTIVE EXCESS ELBOW LENGTH FROM TABLE 1 (ft)

$$= (0.3 K - 0.4) d$$

$L_s =$  DEVELOPED LENGTH OF SQUARNER SYSTEM , i.e. (ft)

LENGTH OF LINE AXIS OF A SUBSTITUTE SYSTEM

WHEREIN THE ELBOWS ARE REPLACED BY THEIR TANGENTS

$D_r =$  EFFECTIVE ELBOW DIAMETER (SEE TABLE 1 FOR (IN)

VALUES FOR LONG RADIUS ELBOWS )

$$= i D$$

$n =$  EFFECTIVE NUMBER OF ELBOWS FOR EXPANSION LOOPS.

READ FROM CHART 2 (ACTUAL NUMBER OF ELBOWS IS

USED FOR ALL OTHER SHAPES )

$K =$  FLEXIBILITY FACTOR

$i =$  STRESS INTENSIFICATION FACTOR

$f_s =$  SHAPE FACTOR (A FACTOR WHICH TAKES ACCOUND (ft/IN)

OF BOTH THE CONFIGURATION AND DIMENSIONS OF THE

LINE AXIS OF A SUBSTITUTE SQUARE-CORNER SYSTEM;

OBTAIN FROM CHARTS 2,3 OR 4 AS APPLICABLE TO GIVEN

CONFIGURATION)

$U =$  DISTANCE BETWEEN ANCHORS FOR FIXED LOOPS ; (ft)

BETWEEN GUIDED OR BETWEEN GUIDE AND ANCHOR

NEAREST TO LOOP FOR GUIDED LOOPS.

$U' =$  TOTAL DISTANCE BETWEEN ANCHORS (ft)

$d =$  NOMINAL SIZE OF PIPE (IN)

$D =$  OUTSIDE DIAMETER OF PIPE (IN)

حال در ارتباط با موارد فوق و چگونگی استفاده از جداول و نمودارها به حل یک مثال می پردازیم :

**مثال :** مقدار  $S_E$  را برای لوله کشی با شکلهای L-Bend ، Z-Bend با شرایط مساوی عملیاتی و همچنین Symmetric - Loop ، Guided Loop با شرایط مساوی عملیاتی دیگر محاسبه کنید .

کلیه اطلاعات مربوط به این سیستمها در فرم داده شده است و شرایط Cyclic سیستم به نحو است که میزان  $f$  ( یعنی Stress Reduction Factor ) برابر ۱ در نظر گرفته خواهد شد .

حل : برای هر یک از حالات ذکر شده در مسئله به طریق زیر عمل می شود .

۱- روی فرم (۱۱-۳۴-۲) ستون مناسب با شکل سیستم را انتخاب کنید .

۲- داده های مسئله را در محلهای مناسب روی این فرم درج نمایید .

۳- Elbow Factors را از جدول (۱۱-۳۴-۱) برای سایز لوله مورد نظر بخوانید . این کار را

از طریق محاسبه نیز می توان انجام داد ( مراجعه کنید به توضیح نمادها ) .

۴- جهت بدست آوردن  $f_s$  به نمودارهای (۳ و ۴ و ۵-۱۱-۳۴) رجوع نموده و با محاسبه

پارامترهای مندرج در این نمودارها از قبیل  $h/U$  ،  $H/U$  ،  $W/U$  و غیره مقدار  $f_s$  را از

نمودار مناسب با شکل مسئله بخوانید .

۵- میزان  $f_1$  که همان نسبت  $L/D_r$  است ، را محاسبه کنید .

۶- از طریق جدول (۱۱-۳۴-۶) و با توجه به متریکال لوله کشی ، در مقابل مقدار  $S_A$  و درجه

حرارت داده شده ، میزان  $f_{eh}$  و  $f_{ec}$  مشخص می شود و سپس با تفاضل این دو مقدار  $f_e$  را

محاسبه کنید . این کار را از طریق محاسبه برای  $f_{eh}$  و  $f_{ec}$  نیز طبق آنچه که در توضیح

نمادها گفته شد می توان انجام داد .

۷- مقدار  $S_E$  را محاسبه و در فرم (۱۱-۳۴-۲) درج نمایید .

۸- مقدار  $S_E$  را با میزان  $S_A$  مقایسه کنید .

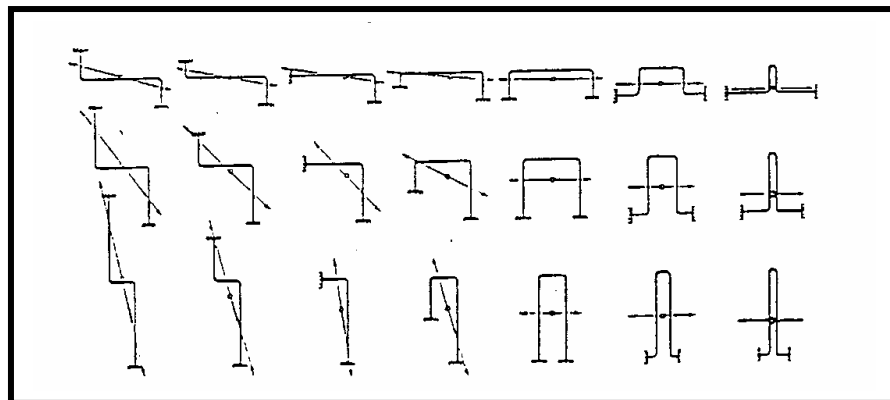
بحث و نتیجه گیری: با مراجعه به فرم (۲-۳۴-۱۱) که پس از طی مراحل فوق اکنون کامل شده است در می یابیم که  $S_E$  مربوط به L-Bend بیش از حد مجاز ( $S_A$ ) است. همانگونه که مشاهده می شود تنش محاسبه شده  $S_E$  مقداری برابر با 33600(psi) دارد در حالی که تنش مجاز  $S_A$  دارای مقدار 29200(psi) می باشد که تفاضل آنها 4400(psi) است. یک راه حل اینست که در صورت امکان طولهای W یا H و یا هر دو را تغییر دهیم.

شکلهای مثالهای دیگر همانگونه که مشاهده می گردد در حد قابل قبول هستند و اگر چه تنش محاسبه شده مربوط به حالت  $\epsilon$  (Guided Loop) قدری بیشتر از تنش مجاز است لیکن با توجه به توضیحات فوق و یا تغییر دادن ابعاد U یا H میتوان به تنشهای قابل قبول دست یافت.

### نیروها و گشتاورها در نقاط تکیه گاهی

یافتن عکس العملها در هر یک از دو نقطه تکیه گاهی در یک سیستم لوله کشی که در یک صفحه قرار دارد شامل محاسبه سه پارامتر یعنی یک گشتاور و دو نیرو (در دو جهت عمود بر هم) و یا بعنوان یک آلترناتیو دیگر، برآیند نیرو، جهت نیرو و فاصله خط اثر نیرو از نقاط تکیه گاه خواهد بود.

شکل (۹-۱) نمونه هایی از خطوط اثر نیرو را در اشکال مختلف سیستمهای ساده لوله کشی نشان می دهد که نسبت به ابعاد داده شده دارای مقیاس نسبتاً دقیق است.



شکل (۹-۱) Thrust Line

در این قسمت روابط محاسبه گشتاور و نیرو فقط در ارتباط با جداول و نمودارهای (۱۱-۳۴-۵) و روش محاسباتی ارائه شده در این بخش کاربرد دارد .

حداکثر گشتاور در هر نقطه از سیستم و با استفاده از تنش محاسبه شده  $S$  (مطابق فرم ۲-۳۴-۱۱) با رابطه زیر بدست می آید :

$$M_{\max} = S_E Z \frac{D}{D_r}$$

که در رابطه فوق  $Z$  ، مدول مقطع لوله بوده و دارای دیمانسیون (  $\text{IN}^3$  ) می باشد . مقدار گشتاور محاسبه شده از رابطه فوق احتمالا می تواند بعنوان گشتاور اعمال شده به نقاط تکیه گاهی نیز باشد و اگر چنانچه محاسبات دقیقتری لازم باشد باید محل Thrust Line مربوط به نیرو را محاسبه و یا برآورد نمود . پس از مشخص شدن محل Thrust Line می توان با استفاده از رابطه زیر میزان نیرو را محاسبه کرد .

$$F = \frac{M_{\max}}{12 a_{\max}}$$

که  $a_{\max}$  فاصله از Thrust Line تا دورترین نقطه مورد نظر روی سیستم لوله کشی بوده و دارای دیمانسیون ( ft ) است .

با در دست داشتن نیروی برآیند و خط اثر این نیرو می توان گشتاور را در هر نقطه از سیستم ( و طبعا در محل تکیه گاهها ) و با استفاده از فرمول زیر محاسبه نمود .

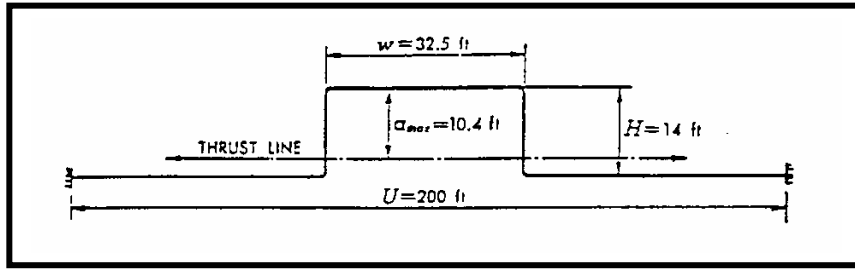
$$M_n = 12 F a_n$$

که در رابطه فوق :

$M_n = \text{MOMENT @ ANY OTHER POINT OF THE SYSTEM}$  ( IN/Ib )

$F = \text{RESULTANT FORCE}$  ( Ib )

$a_n = \text{DISTANCE FROM THE THRUST LINE TO THE POINT UNDER CONSIDERATION}$  ( ft )



شکل ۹-۲ خط اثر نیرو مثال

**مثال:** میزان نیرو و گشتاور در محل تکیه گاههای حالت سوم از مثال فوق را بدست آورید:

با توجه به محاسبات مربوط به مثال فوق و همچنین شکل (۹-۲) و با توجه به اینکه شکل لوله کشی کاملاً متقارن است خط اثر نیرو (Thrust Line) باید موازی با جهت خط اصلی لوله (Main Run) باشد و برای بدست آوردن محل خط اثر نیرو و یا به عبارت بهتر مرکز سطح شکل لوله کشی (Centroid) مجموع حاصلضربهای طول هر قطعه از سیستم لوله کشی در فاصله مرکز جرم هر قطعه تا لوله بالایی حلقه انبساط (W) که در اینجا به عنوان خط مرجع از آن استفاده شده است را بر طول کل لوله کشی تقسیم مینماییم. این محاسبات در جدول (۹-۳) مشخص شده است:

Member	Length	Distance	Product
Top run	$w = 32.5$	0	0
Bottom run	$U - w = 167.5$	$H = 14.0$	2345
Two legs	$2H = 28.0$	$0.5H = 7.0$	196
Elbows	$nL_r = 51.3$	$0.5H = 7.0$	359
Sums	$L = 279.3$		2900

جدول (۹-۳)

با توجه به جدول (۹-۳) خواهیم داشت:

$$a = \frac{2900}{279.3} = 10.4(ft) = a_{\max}$$

چون در رابطه فوق  $a > 0.5H$  شد بنابر این آنرا  $a_{\max}$  نامیدیم حال مقدار  $M_{\max}$  محاسبه خواهد

شد:

$$M_{\max} = S_E Z \frac{D}{D_r} = 16900 \times 8.5 \times \frac{6.625}{15.04} = 63300(IN.lb)$$

مقدار نیرو نیز به صورت زیر محاسبه میشود:

$$F = \frac{M_{\max}}{12 a_{\max}} = \frac{63300}{12 \times 10.4} = 507(\text{lb})$$

میزان گشتاور در محل تکیه گاهها :

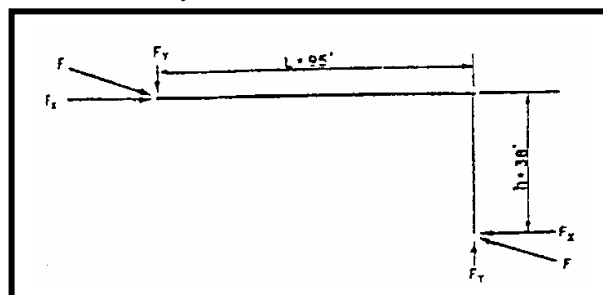
$$M = 12F(H - a_{\max}) = 12 \times 507 \times 3.6 = 21900(\text{in} \cdot \text{lb})$$

با انجام آنالیز دقیق مسئله برای نقاط تکیه گاهی ، مقدار نیرو ( lb ) 427 و مقدار گشتاور ( IN.Ib ) 18500 بدست خواهد آمد .

## ۲-۹) روشهای ارائه شده توسط شرکت Grinnell

جهت محاسبه انعطاف پذیری اشکال ساده لوله کشی شرکت Grinnell دو روش ارائه داده است . یکی روشی است که توسط جداول مربوط به اشکال مختلف لوله کشی (۳۵-۱۱) می توان میزان تنش و نیروهای تکیه گاهی را محاسبه نمود و روش دیگر روش مرکز ثقل است که چگونگی انجام این محاسبات را توسط مثالهایی ارائه خواهیم نمود و برای حل این مثالها از جداول مربوط به هر یک از اشکال لوله کشی که در انتهای این بخش آمده است استفاده خواهد شد .

**مثال:** حداکثر تنش خمشی S ، نیروهای تکیه گاهی  $F_x$  و  $F_y$  و برآیند آنها را برای شکل (۴-۹)



محاسبه نمود .

شکل (۴-۹) محاسبه نیروهای تکیه گاهی  $F_x$  و  $F_y$  و برآیند آنها

APPLICABLE CODE : ANSI B31.1

PIPE SIZE & SCH : 8" , SCH . 40

MATERIAL : ASTM A - 106 GR.A

MAX. OP. TEMP. : 700 ( F )

حل : با استفاده از جداول مربوطه و همچنین مشخصات فیزیکی لوله مورد نظر ، مسئله را به شکل زیر حل میکنیم :

$$D = 8.625 \quad (\text{IN.})$$

$$I = 72.5 \quad (\text{IN}^4)$$

$$C = 909 \quad @ 700 (F)$$

$$S_c = 12000 \quad (\text{psi})$$

$$S_h = 11700 \quad (\text{psi})$$

$$S = f ( 1.25 S_c + 0.25 S_h ) = 17900 (\text{psi})$$

برای بدست آوردن مقادیر  $K_x$  ,  $K_y$  ,  $K_z$  لازم است ابتدا مقدار  $L/h$  محاسبه شود .

$$\frac{L}{h} = \frac{95}{38} = 2.5$$

با محاسبه  $L/h$  می توانیم پارامترهای فوق را از جدول مربوط بدست آوریم . بنابراین :

$$K_x = 93.7 \quad k_y = 19.9 \quad k_z = 151$$

در اینجا کلیه پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه تنش و نیروها حاصل شده است بنابراین خواهیم داشت :

$$S_B = K_b \frac{cD}{L} = 151 \times \frac{909 \times 8.625}{95} = 12460 (\text{psi}) \langle \text{ALLOW} \cdot \text{STRESS} \rangle$$

$$F_x = K_x \frac{cI_F}{L^2} = 93.7 \times \frac{909 \times 72.5}{(95)^2} = 684 \quad (\text{lb})$$

$$F_y = K_y \frac{cI_F}{L^2} = 19.9 \times \frac{907 \times 72.5}{(95)^2} = 145 \quad (\text{lb})$$

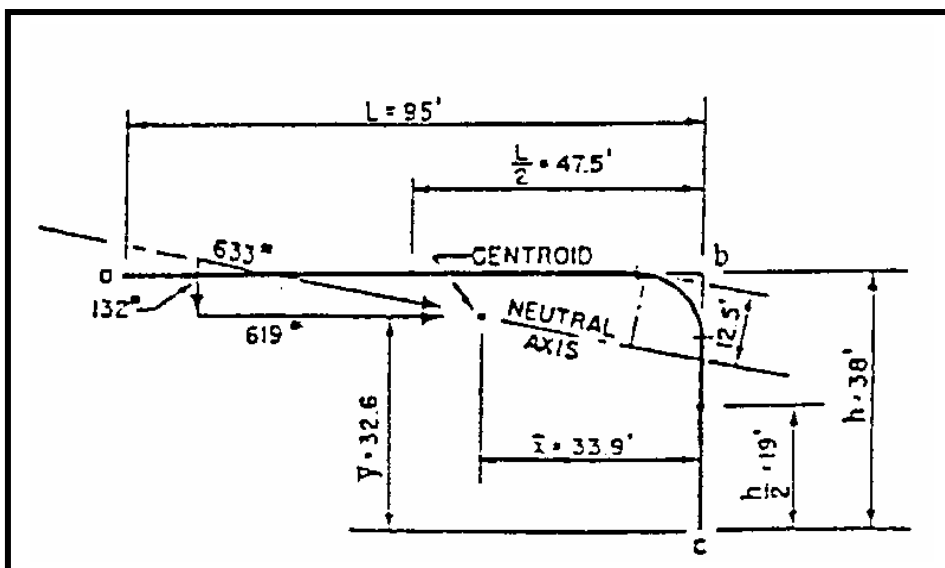
$$F = \sqrt{(684)^2 + (145)^2} = 699 \quad (\text{lb})$$

نتایجی که با بکارگیری جداول انتهای این بخش در حل مسایل بدست می آید به شرط آنکه نقاطی را که در آن لوله تغییر جهت میدهد صلب و یا به عبارت دیگر Square Corner فرض نمائیم ، نتایج نسبتاً دقیقی هستند ولی چنانچه کلیه نقاطی را که لوله تغییر جهت میدهد به صورت

زانویی و یا خم در نظر گرفته شوند نیروهای واقعی در محل تکیه گاهها کمتر از نیروهایی است که مانند مثال فوق بدست آمدند و این بواسطه خاصیت Flattening است که در زانویی و یا خم متصور است. لیکن این امکان وجود دارد که مقادیر تنش در نقاط زانویی و یا خم بیشتر گردند و این بواسطه شدت تنشی است که در محل زانویی بوجود می آید بنابراین باید ضریب  $i$  که همان ضریب شدت تنش است (S.I.F) در محاسبه تنش در نظر گرفته شود.

اگر چنانچه نسبت اندازه طولی که لوله بطور مستقیم حرکت میکند به اندازه خم عدد بزرگی باشد می توان با بدست آوردن مرکز ثقل سیستم، نیروها و تنش ها را محاسبه نمود برای روشن نمودن این نکته مثال زیر را که در واقع شکل دیگری از حل مثال قبلی می باشد حل مینمائیم. برای این کار ابتدا مرکز سطح سیستم را بدست می آوریم و سپس خط Thrust Line، که در واقع جهت نیروی برآیند روی نقاط تکیه گاهی است، را از آن می گذرانیم بنابراین حاصل ضرب نیروی برآیند در فاصله عمودی خط اثر نیروی برآیند تا محل خم، مقدار گشتاور اعمال شده به محل خم را بدست می دهد و پس از آن می توانیم با لحاظ کردن فاکتور  $i$  مقدار تنش در خم را نیز محاسبه نمائیم.

مثال: سیستم لوله کشی شکل (۵-۹) را در نظر گرفته و با توجه به اینکه داده های این مسئله نیز همانند مسئله قبلی می باشد میزان گشتاور و تنش را در محل زانویی محاسبه کنید.



شکل (۵-۹) محاسبه میزان گشتاور و تنش



حل : در حل این مسئله مقدار ضریب شدت تنش یعنی  $i$  برابر با 2.44 و مدول سطح یعنی  $S_m$  برابر با  $16.81 \text{ (IN}^3\text{)}$  میباشد .

$$\begin{array}{ll} \bar{I} & \bar{y} \\ ab & 95 \times 47.5 = 4513 \\ bc & \frac{38}{133} \times 0 = \frac{0}{4513} \\ \bar{I} = \frac{4513}{133} = 33.9 \text{ feet} & ab & 95 \times 38 = 3610 \\ & bc & \frac{38}{133} \times 19 = \frac{722}{4332} \\ & \bar{y} = \frac{4332}{133} = 32.6 \text{ feet} \end{array}$$

$$M_{at \text{ point } b} = 699 \times 12.5 \times 12 = 104.850 \text{ inch pounds}$$

$$S_{B \text{ at point } b} = \frac{104.850}{16.81} \times 2.44 = 15220 \text{ psi (approximately)}$$

### ۳-۹) روش حل با استفاده از اینرسی خط ( Line Inertia )

در این روش با استفاده از مرکز سطح سیستم ( Centroid ) و همچنین اینرسی خطوط می توانیم نیروی برآیند ، گشتاور در هر نقطه از سیستم و تنش حداکثر در سیستم را محاسبه نمائیم . حل مسایل با این روش براساس تئوری قضایای متقابل ( Reciprocal Theorems ) که یکی از روشهای انرژی است صورت می پذیرد . برای حل مسایل دوبعدی روابط مربوط به نیروی تکیه گاهی به شکل زیر هستند :

$$F_x = \frac{I_y L_x \div I_{xy} L_y}{I_x I_y - (I_{xy})^2} C I_P$$

$$F_y = \frac{I_x L_y \div I_{xy} L_x}{I_x I_y - (I_{xy})^2} C I_P$$

که در روابط فوق :

$F_x = \text{FORCE IN "X" DIRECTION} \quad (lb)$

$F_y = \text{FORCE IN "Y" DIRECTION} \quad (lb)$

$I_x, I_y = \text{LINE MOMENT OF INERTIA} \quad (IN^4)$

ABUT "X" & "Y" AXIS

$I_{xy} = \text{LINE PRODUCT OF INERTIA} \quad (IN^4)$

$L_x = \text{ANCHOR POINTS DISTANCE IN "X" DIRECTION} \quad (Ft)$

$L_y = \text{ANCHOR POINTS DISTANCE IN "Y" DIRECTION} \quad (Ft)$

$I_p = \text{SECTION MOMENT OF INERTIA OF LINE} \quad (IN^4)$

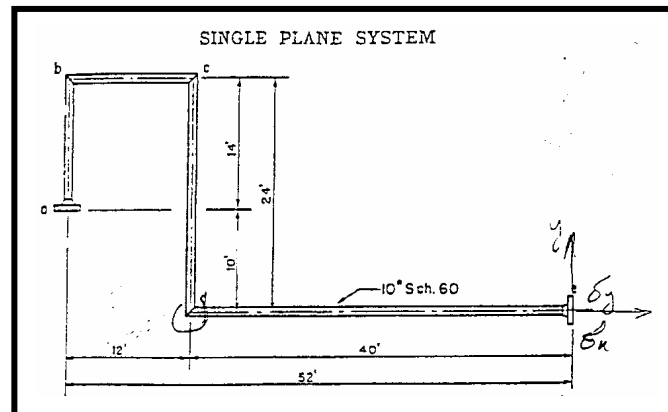
$C = \text{EXPANSION FACTOR}$

$$= \frac{\text{EXPANSION IN INCHES PER } 100ft \times E_c}{1728 \times 100}$$

$E_c = \text{COLD MODULUS OF ELASTICITY} \quad (psi)$

روابط فوق را می توان برای اشکال سه بعدی نیز تعمیم داد. بدین ترتیب که هر بار شکل سیستم در یک صفحه از صفحات فضایی تصویر میگردد و در نهایت سه معادله و سه مجهول خواهیم داشت که از حل همزمانی آنها نیروهای تکیه گاهی  $F_x, F_y, F_z$  محاسبه خواهند شد. حال جهت نشان دادن کاربرد روابط بالا به ذکر یک مثال می پردازیم.

**مثال:** نیروها، گشتاورها و حداکثر تنش خمشی را در سیستم لوله کشی در شکل (۶-۹) بدست



آورید.

شکل ۶-۹) محاسبه  
نیروها، گشتاورها و  
حداکثر تنش خمشی

APPLICABLE CODE	:	ANSI B31.1
PIPE SIZE & SCH.	:	10", SCH.60
MATERIAL	:	ASTM- A106 GR.A
MAXIMUM OPERATING TEMP. :		750(F)
MAXIMUM OPERATING P	:	400 ( psi )

حل :

برای حل مسئله ابتدا مشخصات فیزیکی لوله را می نویسیم :

$$O.D = 10.75 \quad (\text{IN})$$

$$W.T. = 0.5 \quad (\text{IN})$$

$$I_p = 212 \quad (\text{IN}^4)$$

$$S_m = 39.43 \quad (\text{IN}^3)$$

$$C = 996 \quad @ 750 \text{ (F)}$$

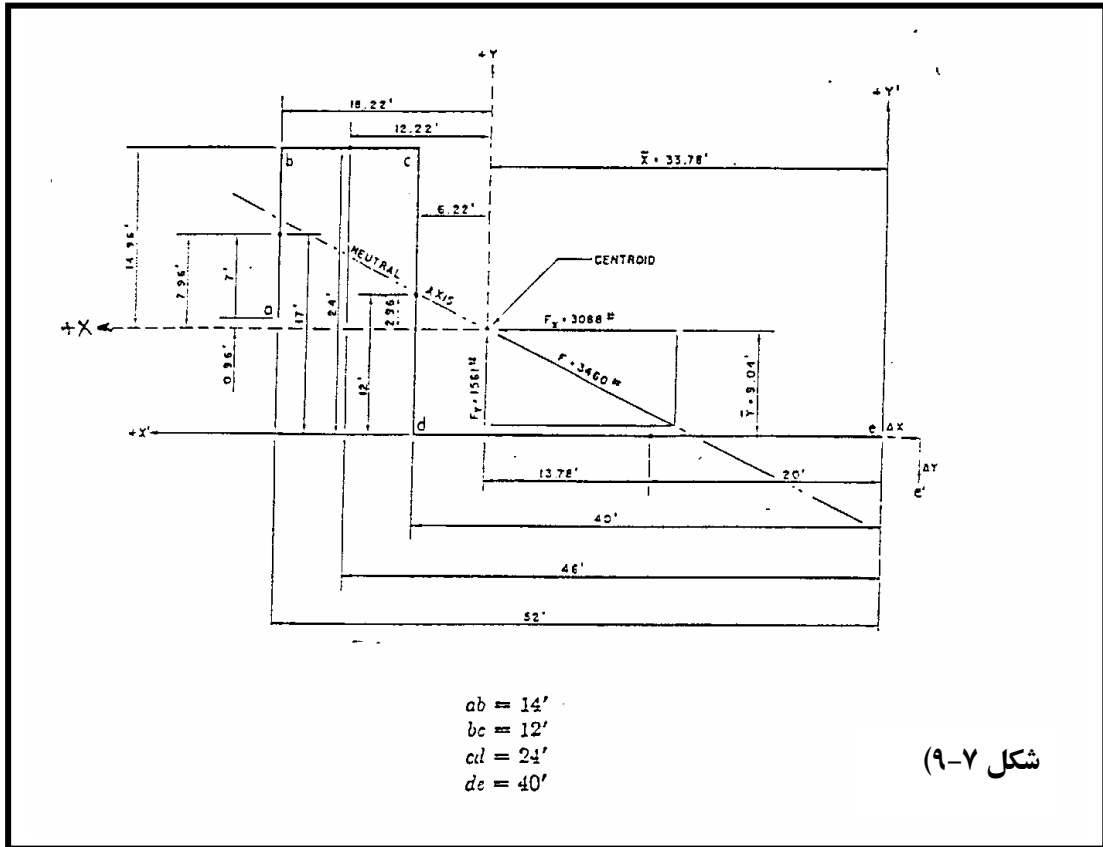
$$S_A = 17675 \quad (\text{psi})$$

این سیستم همانطوریکه از شکل آن پیداست به صورت Square Corner تحلیل خواهد شد در نتیجه کلیه قطعات تشکیل دهنده سیستم به صورت خط راست در نظر گرفته می شوند و ممان اینرسی خطوط راست در محاسبات لحاظ خواهند شد و نه خطوط منحنی (مانند زانویی) .

با توجه به شکل (۷-۹) فرض می کنیم نقطه  $a$  ، که در این سیستم یکی از دو نقطه تکیه گاهی است ، ثابت و نقطه  $e$  یعنی نقطه دیگر تکیه گاهی موقتا از هر گونه قیدی آزاد بوده و میتواند در هر جهت دلخواه تغییر مکان دهد بنابراین تغییر درجه حرارت باعث انتقال نقطه  $e$  به نقطه جدید  $e'$  میشود که در دستگاه مختصات این انتقال به اندازه  $\Delta x$  در جهت محور  $x$  ها و  $\Delta y$  در جهت محور  $y$  ها خواهد بود .

در مرحله بعد محور مختصات جدید  $x'-y'$  را به گونه ای انتخاب می کنیم که اولاً مرکز مختصات در نقطه  $e$  قرار داشته باشد و ثانياً جهت مثبت محورهای  $x'$  و  $y'$  در خلاف جهت تغییر مکان نقطه  $e$  که در اثر تغییر درجه حرارت ایجاد شده است ، باشند .

سپس با در نظر گرفتن محور مختصات جدید محل مرکز سطح ( Centroid ) سیستم را نسبت به این محور مختصات تعیین می کنیم .



قدم بعدی قرار دادن محور مختصات X-y در محل مرکز سطح خواهد بود. این کار را نیز به نحوی انجام خواهیم داد که جهت محورهای X و Y هم جهت با محورهای X' و Y' و موازی با آنها باشند. شکل زیر کلیه مراحل فوق را نشان میدهد.

حال باید مقادیر  $L_y$  و  $L_x$  محاسبه شوند.

$$L = 40 + 12 = 52 \text{ (ft)}$$

$$L = 24 - 14 = 10 \text{ (ft)}$$

Centroid (calculated with origin at point e)						
Eq. No.	Length L, Ft.	$\bar{x}'$	$L\bar{x}'$	$\bar{y}'$	$L\bar{y}'$	
ab	14	-52	+728	+17	+238	
bc	12	-46	+552	+24	+288	
cd	24	-10	+240	+12	+288	
de	40	-20	+800	0	0	
	$\Sigma L = 90$		$\Sigma L\bar{x}' = +3010$		$\Sigma L\bar{y}' = +814$	
	$\bar{x} = \frac{3010}{90} = +33.78 \text{ ft}$			$\bar{y} = \frac{814}{90} = +9.04 \text{ ft}$		
$I_{yy}$						
ab	VI	$14 \times 18.22 \times 7.96$				= +2030
bc	VI	$12 \times 12.22 \times 14.96$				= +2194
cd	VI	$24 \times 6.22 \times 2.96$				= +442
de	VI	$40(-13.78) \times (-9.04)$				= +4953
						$I_{yy} = +9640$
$I_{xx}$						
ab	XIVB	$\frac{14^3}{12} + 14 \times 7.96^2$				= 1116
bc	XIV.A	$\frac{12^3}{12} + 12 \times 14.96^2$				= 2686
cd	XIVB	$\frac{24^3}{12} + 24 \times 2.96^2$				= 1302
de	XIV.A	$\frac{40^3}{12} + 40 \times 9.04^2$				= 3269
						$I_{xx} = 8433$
$I_{yy}$						
ab	XIV.A	$14 \times 18.22^2$				= 4648
bc	XIVB	$\frac{12^3}{12} + 12 \times 12.22^2$				= 1936
cd	XIV.A	$24 \times 6.22^2$				= 929
de	XIVB	$\frac{40^3}{12} + 40 \times 13.78^2$				= 12929
						$I_{yy} = 20442$

For equation reference numbers see pages 8-22 to 8-26

جدول ۹-۸ محاسبات

مرکز سطح  $I_x$  و  $I_y$  و  $I_{xy}$

با توجه به جدول (۸-۹) که شامل محاسبات مرکز سطح  $I_x$  و  $I_y$  و  $I_{xy}$  می باشد و همچنین سایر مقادیر محاسبه شده مورد نیاز می توانیم مقادیر  $F_x$  و  $F_y$  را با استفاده از روابط محاسبه نمائیم .

$$F_x = \frac{(20442 \times 52) + (9649 \times 10)}{(8433 \times 20442) - (9649)^2} \times 996 \times 212 = 3088 \quad (lbs)$$

$$F_y = \frac{(8433 \times 10) + (9649 \times 52)}{(8433 \times 20442) - (9649)^2} \times 996 \times 212 = 1561 \quad (lbs)$$

با قرار دادن نیروهای بدست آمده در مرکز سطح و با محاسبه نیروی برآیند و جهت آن که

در واقع همان راستای محور خنثی ( Neutral Axis ) میباشد میتوانیم میزان گشتاور را در هر

نقطه ای از سیستم که لازم باشد محاسبه نمائیم . این کار را برای نقاط تکیه گاهی انجام میدهیم و

فرض را بر آن می گذاریم که جهت مثبت گشتاورها خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت باشد

$$M_{@a} = -(3088 \times 0.96) + (1561 \times 18.22) = +25477 \quad (ft.lb)$$

$$M_{@e} = +(3088 \times 9.04) - (1561 \times 33.78) = -24815 \quad (ft.lb)$$

برای محاسبه حداکثر تنش خمشی باید ابتدا حداکثر ممان خمشی را محاسبه نمائیم این کار را با

توجه به دورترین نقطه سیستم از محل محور خنثی انجام خواهیم داد .

$$M_{@d} = -(3088 \times 9.04) + (1561 \times 6.22) = +37625 \quad (ft.lb)$$

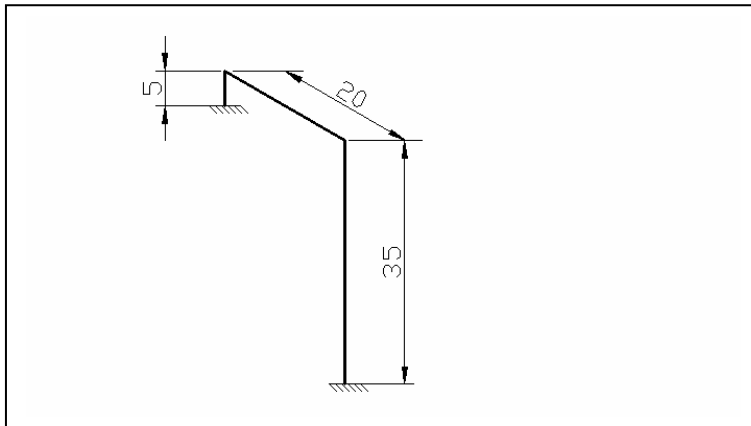
$$= 37625 \times 12 = 451500 \quad (IN.lb)$$

$$S_B = \frac{M}{S_m} = \frac{451500}{39.43} = 11451 \quad (psi)$$

ملاحظه میشود حداکثر تنش خمشی محاسبه شده کمتر از  $S_A$  میباشد .

## سئوالات فصل نهم

مسئله ۱. P.۹ مقدار تنش انبساطی را در شکل زیر بر اساس روش tube - turn بدست آورید.

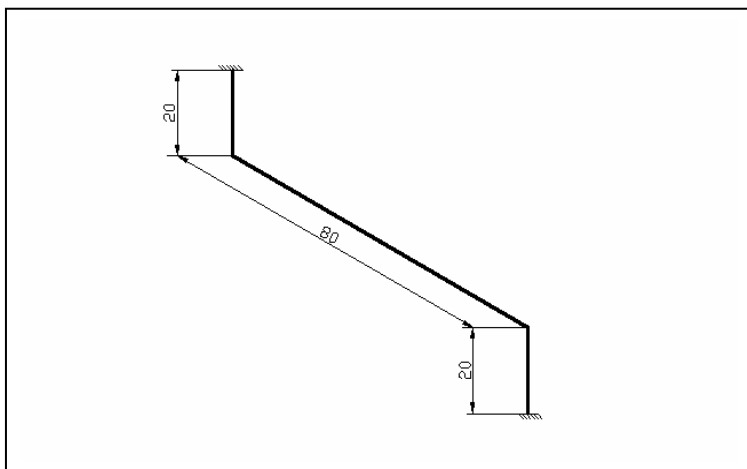


Pipe : 8" SCH 40

Mat : A53 Gr B

$T = 500^{0F}$

مسئله ۲. P.۹ مقدار  $M_{max}$  را حساب کنید.



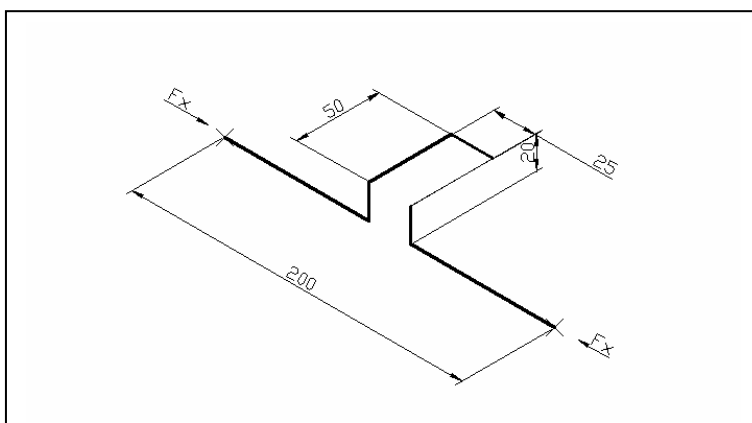
Pipe : 6" SCH 40

Mat : A53 Gr B

$T = 500^{0F}$

$T_{INST} = 70^{0F}$

مسئله ۳. P.۹ مقدار  $S_t$ ,  $S_B$ ,  $F_X$  را در شکل زیر حساب کنید.

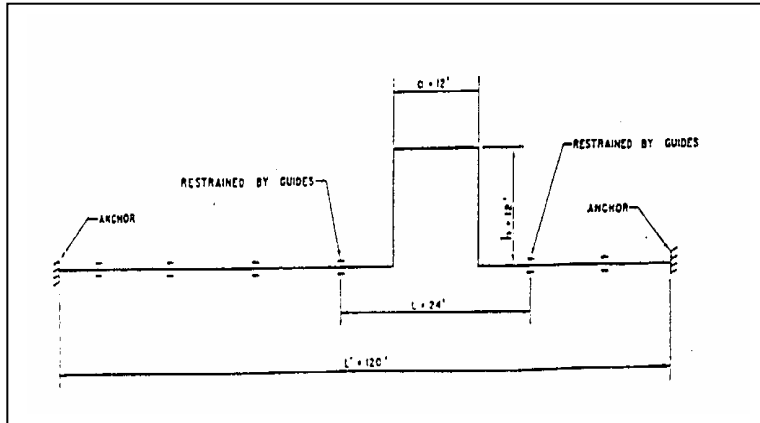


Pipe : 10" SCH 40

Mat : A - 53 Gr B

$T = 325^{0F}$

مسئله ۴. ۹. P) حداکثر تنش خمشی و نیروی  $F_x$  را برای سیستم لوله کشی زیر بدست آورید.



Pipe : 6" SCH 40

Mat : A - 53 Gr B

$T = 350^{0F}$

مسئله ۵. ۹. P) مثال حل شده روش Line Inertia را با فرض در نظر گرفتن زانوئی LR حل

نمائید.

# فصل دهم

## روشهای جذب انبساط حرارتی

- آشنایی با روشهای جذب انبساط حرارتی
- تعیین بارها و تنش های حرارتی جهت استفاده از Leg
- انواع Loop
- نحوه انتخاب ابعاد در Loop
- تعیین محل های Guide در Loop
- تعریف Cold Spring
- معایب Cold Spring
- محاسبه نیروهای عکس العمل بر روی تکیه گاهها
- محل کاربرد استفاده از Expansion Joint
- حرکت های قابل جذب توسط Expansion Joint
- انواع Expansion Joint
- محاسبه نیرو در مقابل تکیه گاهی
- نحوه استقرار Expansion Joint



## فصل دهم: روشهای جذب انبساط حرارتی

با توجه به مطالب گفته شده قبلی یکی از مهمترین فاکتورهای تعیین کننده در یک سیستم لوله کشی تنش های حرارتی است که در اثر انبساط حرارتی بوجود می آید. اگر بتوانیم به طریقی این انبساط را مهار کنیم، از میزان تنش حرارتی کاسته شده و نهایتا موجب کاهش تنش حرارتی میگردد در اینجا به چهار روش اشاره میگردد:

### ۱-۱) استفاده از Leg در مسیرهای لوله کشی

در این روش تعیین بارها و تنش های حرارتی از اهمیت خاصی برخوردار است. انبساط حرارتی ابتدا در امتداد موازی محور طولی ( راستای عمودی ) در نظر گرفته می شود. انبساط حرارتی را می توان با استفاده از انتگرال زیر محاسبه نمود:

$$\Delta = L \int_{T_{cold}}^{T_{hot}} \alpha dT$$

$\Delta$  = انبساط حرارتی در راستای طولی ، (mm)in

$L$  = طول لوله در جهت مورد نظر ، (mm)in

$\alpha$  = ضریب انبساط حرارتی ،  $(mm/mm - ^\circ C)in/in - F$

$T$  = دمای لوله ،  $^\circ F$  ،  $^\circ C$

برای اکثر مواد ، ضریب انبساط حرارتی با دما تغییر می کند ، پس معادله فوق به راحتی قابل

اعمال نیست . به همین دلیل ، انبساط حرارتی بر حسب اینچ بر فوت بین دمای محیط

$21^{\circ}\text{C}$  ( $70^{\circ}\text{F}$ ) و دماهای کاری مختلف برای مواد متداول در Piping بدست آمده که نمونه ای از آنها در جدول (۳۶-۱۱) ارائه شده است. ساده ترین روش محاسبه بارهای حرارتی وارد بر تکیه گاه ها استفاده از روش Guided-Cantiever برای مدل سازی سیستم Piping می باشد. در این روش فرض می شود که رشد حرارتی لوله های محوری توسط خمش پایه های لوله که عمود بر تغییر طول عمودی هستند، جذب می شود. از آنجایی که این جابجایی ها، تقاطع پایه (Leg) ها را وادار به انتقال می کنند و در عین حال دوران بخاطر پیوستگی سیستم محدود شده، عکس العمل خط لوله شبیه به مدل Guided-Cantilever خواهد بود. برای یک جابجایی تحمیل شده، نیرو و ممان زیر را در هر انتها ایجاد می کند:

$$M = \frac{6EI\Delta}{L^2}$$

$$P = \frac{12EI\Delta}{L^3}$$

که در آن

$$P = \text{نیروی پدید آمده (N)lb}$$

$$M = \text{گشتاور پدید آمده، (N-mm)in-lb}$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته در دمای نصب شده، } \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) \text{ psi}$$

$$I = \text{ممان اینرسی لوله، } (\text{mm}^4)\text{in}^4$$

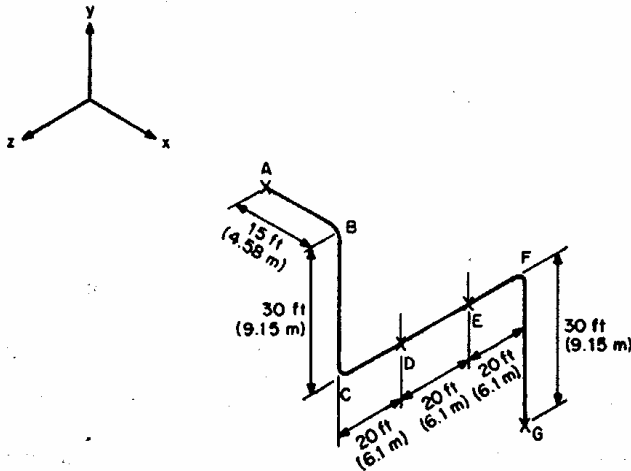
$$\Delta = \text{جابجایی تحمیل شده، (mm)in}$$

$$L = \text{طول پایه (Leg) عمود بر جهت انبساط و رشد، (mm)in}$$

مقدار رشد حرارتی جذب شده  $\Delta$  توسط هر Leg نسبت عکس با نسبت سختی Leg مربوط به مجموع سختی های تمامی Leg هایی دارد که رشد حرارتی جذب می کنند. گشتاورها و

نیروهای پدید آمده باید به وسیله قیدگذاری مقابله شود که به صورت مستقیم به وسیله یک Anchor و یا کوپل نیروی Restraint صورت گیرد .

مثال : سیستم نشان داده شده در شکل ( ۱۰-۱ ) از فولاد کربنی ساخته شده و در دمای  $350^{\circ}F$  ( $177^{\circ}C$ ) کار می کند .



Summary of Pipe Movements

From segment	Direction	Magnitude	Resisted by
A-B	X	$(0.0226 \times 15) = 0.34 \text{ in (8.6 mm)}$	B-C, C-F, F-G
B-C	Y	$(0.0226 \times 30) = 0.68 \text{ in (17.3 mm)}$	A-B, C-D
C-F	Z	$(0.0226 \times 80) = 1.36 \text{ in (34.5 mm)}$	A-B, B-C, F-G
F-G	Y	$(0.0226 \times 30) = 0.68 \text{ in (17.3 mm)}$	E-F

شکل (۱۰-۱)

لوله استفاده شده ، لوله استاندارد با قطر  $12 \text{ in (300 mm)}$  با  $I = 279 \text{ in}^4$  ( $1.16 \times 10^8 \text{ mm}^4$ )

و  $E = 27.7 \times 10^6 \text{ psi}$  ( $1.91 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ ) می باشد . از جدول ( ۱۱-۳۶ ) انبساط حرارتی برابر

$0.0226 \text{ in/ft}$  ( $1.883 \text{ mm/m}$ ) به دست آمده که نحوه محاسبه مطابق با جدول ( ۱۰-۱ ) است .

سیستم با دو Anchor در نقاط A و B و دو قید عمودی ( در نقاط D و E ) مقید شده است .

گام اول در پیدا کردن بارهای حرارتی ، محاسبه انبساط لوله و پیدا کردن Leg هایی است که در

برابر آنها مقاومت می کنند . Leg های مقاوم آنهایی هستند که عمود بر راستای انبساط می

باشند ، بجز در حالتی که لوله در نقاط میانی مقید شده باشد . خلاصه ای از حرکت های لوله و

Leg های مقاوم در برابر آن در شکل ( ۱۰-۱ ) نشان داده شده است .

سختی هر تکه لوله از رابطه  $K=12EI/L^3$  محاسبه می شود. از آنجایی که خصوصیات مواد و سطح مقطع تمام لوله ها در این مساله یکسان هستند، سختی نسبی هر leg به صورت  $1/L^3$  خواهد بود. پس، قسمتی از جابجایی کل که توسط leg شماره n تحمل و جذب می شود، به صورت زیر می باشد:

$$\Delta_n = \frac{L_n^3}{\sum L_i^3} \Delta T$$

که در آن:

$$\Delta_n = \text{جابجایی جذب شده توسط leg شماره } n \text{ (mm)}$$

$$L_n = \text{طول leg } n \text{ (m)}$$

$L_i = \text{طول هر leg دیگری که در برابر جابجایی مشخص شده مقاومت می کند.}$

$$\Delta T = \text{جابجایی نهایی که باید جذب شود، (mm)}$$

پس از اینکه جابجایی جذب شده توسط تکه لوله مشخص شده نیروهای برشی و گشتاورها را می توان با جایگذاری پیدا نمود. در این روش، نیروها و گشتاورها در تکیه گاه های شکل (۲۶-۱۴) به صورت زیر یافت می شوند:

$$\Delta_{xabsorbedbyB-C} = \frac{0.34(30)^3}{30^3 + 60^3 + 30^3} = 0.034in$$

$$= \frac{8.6(9.15)^3}{9.15^3 + 18.3^3 + 9.15^3} = 0.864mm$$

$$F_{xacroSB-C} = \frac{12(27.7 \times 10^6)(279)(0.034)}{360^3} = 66ib$$

$$= \frac{14(1.91 \times 10^5)(1.16 \times 10^8)(0.864)}{9150^3} = 300N$$

$$\Delta_{yacroSA-B} = \frac{0.68(15)^3}{15^3 + 20^3} = 0.202in(5.1mm)$$

$$= \frac{8.6(9.15)^3}{9.15^3 + 18.3^3 + 9.15^3} = 0.864mm$$

$$F_{yacroSA-B} = \frac{12(27.7 \times 10^6)(279)(0.202)}{180^3} = 3210ib(14285N)$$

$$M_z = \frac{6(277 \times 10^6)(279)(0 - 202)}{180^2} = 289096 \text{ in-lb} (32697 \text{ N-m})$$

$$\Delta_z = \frac{1.36(16^3)}{15^3 + 30^3 + 30^3} = 0.08 \text{ in} (2.03 \text{ mm})$$

$$F_z = \frac{2(2707 \times 10^6)(279)(0.08)}{180^3} = 1272 \text{ lb} (5661 \text{ N})$$

$$M_y = \frac{6(27.7 \times 10^6)(279)(0.08)}{180^3} = 114493 \text{ in-lb} (12950 \text{ N-m})$$

$$M_{X(\text{torsion})@A} = M_{X,B-C} = \frac{1.36(30^3)}{15^3 + 30^3 + 30^3} = \frac{6(27.7 \times 10^6)(279)}{360^2} =$$

بنابراین بارهای حرارتی در Anchor واقع در نقطه A تقریباً برابر است با :

$$F_x = 66 \text{ lb} (300 \text{ N}) \quad M_x = 228987 \text{ in-lb} (25899 \text{ N-m})$$

$$F_y = 3210 \text{ lb} (14285 \text{ N}) \quad M_y = 114493 \text{ in-lb} (1290 \text{ N-m})$$

$$F_z = 1272 \text{ lb} (5661 \text{ N}) \quad M_z = 289096 \text{ in-lb} (32697 \text{ N-m})$$

به طور مشابه بارهای وارد بر قیود عمومی واقع در نقاط D,E به صورت زیر به دست می آیند :

$$\Delta_{y,C-D} = \frac{0.68(20)^3}{15^3 + 20^3} = 0.478 \text{ in} (12.1 \text{ mm})$$

$$F_{y,C-D} = \frac{12(27.7 \times 10^6)(279)(0.478)}{240^3} = 33210 \text{ lb} (14285 \text{ N})$$

$$M_{z,C-D} = \frac{6(27.7 \times 10^6)(279)(0.478)}{240^2} = 384804 \text{ in-lb} (43523 \text{ N-m})$$

$$\Delta_{y,E-F} = 0.68 \text{ in} (17.3 \text{ mm})$$

$$F_{y,E-F} = \frac{12(27.7 \times 10^6)(279)(0.68)}{240^3} = 4567 \text{ lb} (20321 \text{ N})$$

$$M_{z,E-F} = \frac{6(27.7 \times 10^6)(279)(0.68)}{240^2} = 547421 \text{ in-lb} (61916 \text{ N-m})$$

گشتاورها در نقاط D,E به وسیله کوپل نیرو بین دو تکیه گاه مقاومت می شود. نیروهای نهایی

به صورت زیر به دست می آیند :

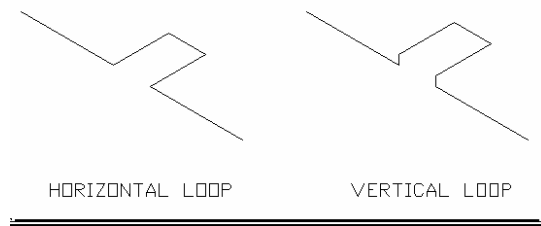
$$F_{Y,D} = -3210 - \frac{384805}{240} - \frac{547421}{240} = -7094 \text{ lb} (31,570 \text{ down})$$

$$F_{Y,E} = 4567 + \frac{384805}{240} + \frac{547421}{240} = 8451 \text{ lb} (37608 \text{ up})$$

به طور مشابه، نیروها و گشتاورها در anchor واقع در نقطه G نیز قابل محاسبه خواهد بود.

## ۲-۱۰) استفاده از Loop در مسیرهای لوله کشی

اگر مسیری در خط مستقیم ادامه داشته باشد و هیچگونه Leg در مسیر مشاهده نگردد، ناچاراً بر روی مسیر می بایست Leg های اضافه نمود تا مسیر انعطاف پذیر گردد در این حالت از Loop استفاده میشود که بر دو نوع است (شکل ۲-۱۰):



شکل ۲-۱۰) انواع LOOP

الف) Horizontal Loop: اگر چنانچه Loop و مسیر لوله در یک صفحه افقی قرار گیرند به آن Loop افقی گفته میشود.

ب) Vertical Loop: اگر چنانچه Loop و مسیر لوله در یک صفحه قرار نگیرند و مسیر Loop در یک صفحه بالاتر از مسیر لوله کشی باشد به آن Loop عمودی گفته میشود.

در اینجا متذکر میشویم که تا حد امکان از بالا آوردن لوله و بطور کلی زدن Loop عمود بر سطح زمین می بایست اجتناب ورزید چرا که در این حالت Loop از روی تکیه گاه بلند شده و موجب مشکلات بعدی خواهد گشت. از این روش میتوان در جاهائیکه فضای کافی داشته باشیم استفاده نمائیم.

Loop ها بطور کلی موجب افت فشار جریان میگردند که نیاز به پمپهای تقویتی میگردند. برای تعیین مشخصات Loop به ترتیب زیر عمل می کنیم:

۱-۲-۱) با توجه به طول مسیر و ضریب انبساط حرارتی برای لوله، میزان انبساط مسیر را پیدا می کنیم.

$$\Delta = L \times e$$

۲-۲-۱۰) با توجه به آنکه هر Loop بین 170 تا 230 میلی متر را میتواند جذب کند ، لذا میتوان تعداد Loop ها را بدست آورد .

$$n = \frac{\Delta}{\Delta_L}$$

$\Delta_L$  : میزان جذب Loop

در اینجا متذکر میشویم که در صورتیکه محدودیتی در تعداد ایجاد Loop نباشد بهتر است که حتی میزان جذب را 150 میلی متر گرفته شود تا ضریب اطمینان بهتری را داشته باشیم .

۳-۲-۱۰) ابعاد Loop از فرمول زیر محاسبه میشود :

$$Min : b = 0.02 \sqrt{D_o L_t T}$$

$$Max L_t = \frac{2500(b)^2}{D_o T}$$

$D_o$  : قطر خارجی لوله است بر حسب In

$L_t, b, w$  : بر حسب ft

T : بر حسب °F

$$T = T_{operating} - T_{installation}$$

$$Min W = 0.5 b$$

$$Max W = 1.5 b$$

مقدار ماکزیمم W در صورت عدم محدودیت مکانی ترجیح داده میشود و اینجا می بایست

مقدار b توسط رابطه زیر کنترل شود به طوریکه هر مقداری که برای b بیشتر باشد آنرا در

نظر می گیریم . مقدار A از روی جدول ( ۳-۱۰ ) بدست می آید.

$$h = \frac{\Delta \times D_o}{1.25}$$

**Table 5-2**  
**A Coefficients for Carbon Steel**

Design Temp. °F	A	Design Temp. °F	A
150	0.4	600	2.20
200	0.6	700	2.50
300	1.0	800	2.80
400	1.4	900	2.95
500	1.8	1000	3.15

جدول (۳-۱۰) ضریب A

۴-۲-۱۰) مطابق با جدول (۱۱-۳۷) می بایست در فواصل مناسب Guide در نظر گرفته شود.  
 ۵-۲-۱۰) با استفاده از روشهای گفته شده در فصل نهم میتوان مقادیر نیرو، ممان، تنش را در تکیه گاهها محاسبه نمود.

### ۳-۱) استفاده از روش Cold Spring

در روش Cold Spring لوله کوتاه تر بریده میشود تا وقتی که نصب شد با ایجاد تغییر شکل پلاستیک پیش تنش در آن پدید آید این پیش تنش بوجود آمده اثری که دارد این است که تنش های حرارتی محاسبه شده در حالت عادی را کاهش می دهد. هم چنین نیروهای تکیه گاهی را کاهش میدهد.

فاکتور Cold Spring با نماد C نمایش داده میشود و مقدار آن از صفر (بدون C.S) تا یک (صد در صد C.S) تغییر می نماید اما آنچه که در کد اشاره شده است بیش از دو سوم اجازه C.S داده نمی شود.

باید توجه داشت با توجه به آنکه اجرای C.S دقت بسیار زیادی می خواهد لذا در هنگام اجرا می بایست ضمن رعایت تolerانس ساخت مقدار C.S را نیز رعایت نمود بنابراین با توجه به آنکه تolerانس ساخت تا  $\frac{1}{8}$ " می باشد لذا تا دو برابر این مقدار یعنی  $\frac{1}{4}$ " مقدار C.S توصیه نمی شود. ضمناً طراحان می بایست مقدار C.S را بر روی نقشه های ساخت دقیقاً مشخص نمایند.

اگر چنانچه در زمان ساخت، سیستم لوله کشی تحت انجام عملیات Cold Spring قرار گیرد چه قبل از عملیات و چه بعد از آن نیروهای عکس العملی تکیه گاهی در سیستم وجود دارد و درواقع سیستم با محدوده ای از نیرو روبرو است. بنابراین باید مقادیر حداکثر نیرو در تکیه گاهها چه در زمان عملیات و چه پس از Cold Spring مشخص گردند تا بتوان از میزان نیروها در این تکیه گاهها که اغلب نقاط اتصال به تجهیزات هستند اطلاع حاصل کرد.



برخی استانداردهای لوله کشی قوانین زیر را جهت محاسبه این نیروهای عکس‌العملی ارائه داده اند .

$$R_n = \left(1 - \frac{2}{3}C\right) \frac{E_n}{E_c} R_r \quad (\text{I})$$

$$R_c = CR_r \quad \text{OR} \quad (\text{II})$$

$$R_c = \left(1 - \frac{S_n}{S_E} \frac{E_c}{E_n}\right) R_r \quad (\text{III})$$

که از روابط فوق و هر یک که مقدار عددی بیشتری را بدست دهد لحاظ خواهد شد . ضمن اینکه شرط زیر نیز باید ارضاء شود :

$$\frac{S_n}{S_E} \times \frac{E_c}{E_n} < 1 \quad (\text{IV})$$

که در رابط فوق :

C = COLD SPRING FACTOR VARYING FROM ZERO FOR  
NO COLD SPRING TO 1 FOR 100% COLD SPRING -

$S_E$  = MAXIMUM COMPUTED EQUIVALENT EXP. STRESS (psi)

$S_h$  = ALLOWABLE STRESS @ OPERATING TEMP. (psi)  
( FROM APPLICABLE CODE )

$E_h$  = MODULUS OF ELASTICITY IN THE HOT CONDITION (psi)

$E_c$  = MODULUS OF ELASTICITY IN THE COLD CONDITION (psi)

$R_r$  = RANGE OF REACTION CORRESPONDING TO THE FULL EXPANSIONS CORRESPONDING ON  $E_c$  (Ib)

$R_c$  &  $R_h$  = MAXIMUM REACTIONS ESTIMATED TO OCCUR IN THE COLD & HOT CONDITIONS , RESPECTIVELY (Ib)

رابطه I رابطه ای است که بیانگر مقدار اولیه عکس‌العمل تکیه گاهی در شرایط گرم (Hot Reaction) بوده و معمولاً جهت بدست آوردن تأثیرات نیرو بر محل اتصال به یک دستگاه

، که آنرا بعنوان یک نقطه تکیه گاهی می شناسیم ، بکار برده می شود و می توان با توجه به این نیرو و ظرفیت تحمل نیروی دستگام مذکور شکل لوله کشی را تائید و یا رد کرد .

روابط II و III نشان دهنده میزان حداکثر نیرو در شرایط سرد (Cold Reaction) میباشد چه این شرایط به لحاظ انجام Cold Spring روی سیستم باشد و چه در شرایط عملیات به لحاظ بوجود آمدن پدیده های Creep و Relaxation سیستم به حالت Self-Springing برسد .

با توجه به اینکه نیرو یک کمیت برداری است بنابراین مقادیر عکس العملی گرم و سرد دارای علامتهای مخالف یکدیگر می باشند .

روابط I و II برای سیستمهای فضایی نیز کاربرد دارند مشروط بر اینکه کلیه قطعات تشکیل دهنده سیستم بطور یکنواخت تحت انجام Cold Spring قرار گرفته باشند یعنی اینکه درصد Cold Spring همه جا یکسان باشد و اگر چنانچه این درصد برای طولهای مختلف لوله متغیر باشد باید به جای استفاده از رابطه II از محاسبات تحلیلی مناسب سود جست .

بطور کلی محاسبات تکیه گاهی برای شرایط سرد و گرم به منظور دست یافتن به نیروهای اعمالی بر دستگامهای حساس ( پمپها ، کمپرسورها ، توربین ها و غیره ) ، طراحی فونداسیونها ، حداقل نمودن تنشهای موضعی بر تجهیزاتی مانند مخازن تحت فشار و غیره می باشد .

## ۴-۱) استفاده از Expansion Joint

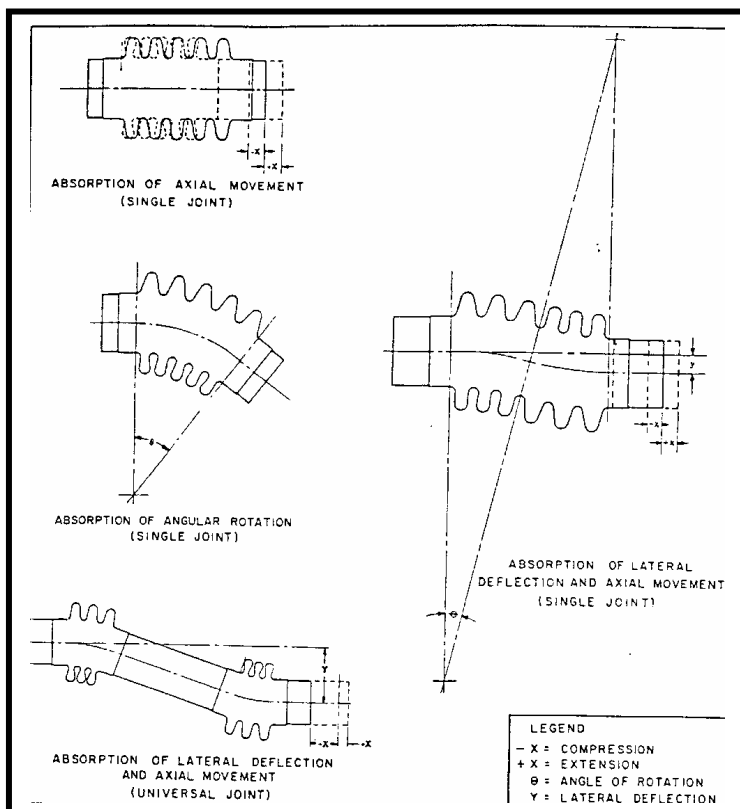
در مکانهایی که طول Leg جوابگو جذب انبساط حرارتی نباشد و یا امکان زدن Loop و یا اجرای C.S نباشد بهترین وسیله استفاده از Expansion Joint می باشد . معمولا به خاطر وجود عدم مراعات ملا حظات ساخت ، به این وسیله نمی توان اطمینان کافی داشت ضمن آنکه با نصب این

قطعه بر مسیر لوله کش نیروهای عکس العمل خاصی ایجاد میگردد که می بایست در محاسبات در نظر گرفته شود. از طرفی برای نصب می بایست کلیه مسائل نصب را رعایت نمود از جمله در فواصل معینی می بایست لوله Guide شود که گاهی امکان ایجاد آن سخت است. اما به دلایل زیر طراح می بایست از Expansion Joint استفاده نماید.

الف) فضای در دسترس برای لوله کشی کافی نیست و در نتیجه نمی توان سیستم را به نحوی طراحی نمود که تنشهای اضافی به آن اعمال نشود.

ب) وقتی شرایط فرآیندی نیازمند حداقل افت فشار در سیستم لوله کشی است و یا اینکه نباید جریان مغشوش (Turbulence) در سیستم ایجاد گردد.

ج) وقتی نیروهای عکس العملی بر نقاط انتهایی سیستم که متصل به یک تجهیز است باید کمترین مقدار را داشته باشد و یا اینکه به جهت اقتصادی باید میزان نیروها را بر فونداسیونها و یا نقاط تکیه گاهی دیگر حداقل نمود.



شکل ۴-۱۰) انواع  
MOVEMENT قابل جذب  
توسط EXPANSION JOINT

د) وقتی که بخواهیم ارتعاشات مکانیکی یک تجهیز را از سیستم لوله کشی کاملاً جدا ( Isolate ) نمائیم .

ه) وقتی که لوله دارای قطر بالا و فشار پائین باشد .

و) وقتی که از ابتدا Layout به طریق درستی طراحی نشده باشد و در نتیجه نتوان از شکل‌های متداول لوله کشی برای ایجاد انعطاف پذیری سیستم استفاده نمود .

ز) وقتی که یک سری از تجهیزات در داخل ساختمانی استقرار داده شوند و بخواهیم حجم آن ساختمان حداقل فضا را اشغال نماید .

بطور کلی برای Expansion Joint تغییر مکانهای محوری Axial؛ زاویه ای ( Angular ) و جانبی ( Lateral ) در نظر می گیرند که می بایست برای انتخاب صحیح آن مقادیر تغییر مکانها را بدرستی محاسبه نمود. (شکل 4-10)

#### ۱-۴-۱) انواع expansion Joint

##### Bellows

این نوع درز انبساط یکی از ساده ترین انواع درزهای انبساطی است که در سیستمهای لوله کشی بکار گرفته می شود و بعضاً به آن Corrugation Pipe نیز میگویند . این درز انبساطی شامل یک و یا چند چین خوردگی (Corrugation) از جنس مس ، فولاد زنگ نزن (Stainless Steel) ، اینکانل (Inconel) و یا فلزات مناسب دیگر است که دو سر آن می تواند جوشی و یا فلنجی باشد . مسئله مهم در بکار بردن این نوع درز انبساط نیروی محوری حاصل از فشار داخلی لوله است که در محل تکیه گاههای ثابت (Anchor) اعمال می گردد و این بواسطه آنست که در محل درز انبساط تنها نیروی مقاومی که درمقابل فشار وجود دارد سختی درز انبساط (Stiffness) است که

مقدار آن در مقابل نیروی فشاری، معمولاً کمتر است. لیکن این امکان وجود دارد که در سایزهای بالا مقادیر آن نسبتاً زیاد باشد.

توصیه می‌شود برای لوله‌های با قطر زیاد و با فشارهای بالا از این نوع درز انبساط استفاده نشود. شکل a ۱۱-۳۸

### || درز انبساطی نوع Pressure Balanced

این نوع درز انبساط معمولاً در دو نوع ساخته می‌شود یکی بشکل زانویی و دیگری روی خط مستقیم که نوع اول آن در شکل b ۱۱-۳۸ نشان داده شده است.

ساختمان این درز انبساط به نحوی است که ضمن اینکه تغییر مکانهای محوری را جذب می‌کند، مانع انعکاس نیروی محوری به نقاط انتهایی سیستم از قبیل نقاط اتصال به تجهیزات و یا تکیه گاههای ثابت (Fixed Anchors) میشوند.

درز انبساطی نشان داده شده در شکل b ۱۱-۳۸ در مکانهایی مانند اتصال به توربین‌ها و یا پمپها مورد استفاده قرار می‌گیرد و این بواسطه آنست که نیروهای محوری به این تجهیزات باید در حد معین و مجازی باشد.

شکل دیگری از این نوع درز انبساط در شکل c ۱۱-۳۸ نشان داده شده است و به درز انبساطی In-Line Pressure Balanced معروف است.

همانطور که در شکل c ۱۱-۳۸ مشاهده می‌شود این درز انبساط نیز مانند درز انبساط نشان داده شده در شکل b ۱۱-۳۸ از قانون حجم ثابت تبعیت می‌کند و در آن وجود دو Bellows که مجموع سطح مقطع آنها برابر با یک Bellows میانی است باعث تعادل فشار گردیده و اجازه انتقال نیروی محوری حاصل از فشار داخلی را به نقاط دیگر سیستم نخواهد داد ضمن اینکه انبساط محوری لوله را جذب می‌نماید.

### ‖ درز انبساطی لولایی ( Hinged Type ) ‖

نوعی درز انبساط است که شامل یک و یا چند چین خوردگی (Corrugation) بوده (مانند نوع Bellows) و تغییر مکان محوری آن توسط دو قطعه ورق که به دو سر درز انبساطی جوش شده و در قسمت میانی توسط Pin به یکدیگر اتصال داده شده اند مهار گردیده است. در نتیجه این نوع درز انبساط تنها می تواند حرکت دورانی داشته باشد و بنابراین جهت حداقل نمودن نیروها در سیستمهای لوله کشی باید بیش از یک عدد از این درز انبساط تعبیه گردد. بنابر آنچه که گفته شد، نیروهای محوری حاصل از فشار در محل لولای درز انبساط اعمال می گردد بنابر این باید به نحوی طراحی شده باشد تا قابلیت تحمل این نیروها را داشته باشد. شکل d ۳۸-۱۱ نمایانگر ساختمان درز انبساطی لولایی است.

### ‖ Unirersal Expansion Joint ‖

این نوع درز انبساط تشکیل شده است از دو Bellows که بوسیله یک اتصال دهنده مشترک به هم وصل شده اند این نوع میتواند حرکتهای ترکیبی محوری، Lateral و زاویه ای را جذب کند. معمولا دارای میله های مهار کننده بوده تا بارهای ناشی از فشار را بتواند تحمل کند.

### ‖ Gimbal Expansion Joint ‖

تشکیل شده از دو Hinge که قادر است حرکتهای زاویه ای را در دو صفحه را جذب کند برای جذب حرکتهای چرخشی در تمام جهات می بایست از دو عدد آنها استفاده گردد، Gimbal می توانند نیروهای Thrust را به خوبی جذب کنند.

۲-۱۰-ع) محاسبه نیرو در نقاط تکیه گاهی

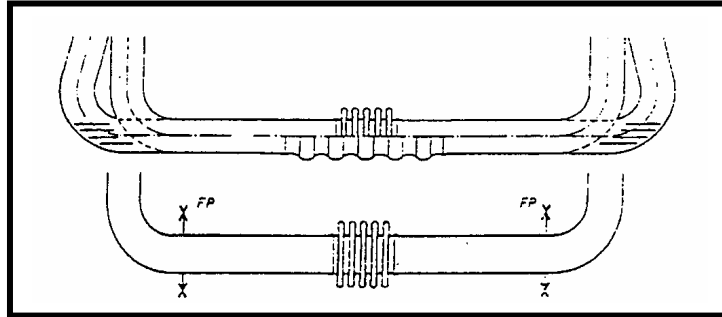
محاسبه نیروهای تکیه گاهی در سیستمهایی که در آنها از درز انبساط و بخصوص از نوع Bellows استفاده شده است بسیار حائز اهمیت است.

در حالت کلی سه نیرو بر نقاط تکیه گاهی ثابت اثر میکنند که عبارتند از :

الف : نیروهای اصطکاکی  $\sum R$

ب : نیروی ناشی از خاصیت انعطاف پذیری درز انبساط  $F_E$

ج : نیروهای حاصل از فشار داخلی لوله  $F_R$



شکل ۵-۱۰ نیروهای حاصل از Bellows

همانطور که در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است درز انبساط ؛ Bellows که به آن Axial Compensator نیز گفته میشود وقتی روی یک لوله تعبیه شود بعنوان یک عنصر انعطاف پذیر نسبت به لوله مربوطه محسوب میشود در نتیجه وقتی لوله تحت فشار داخلی قرار گیرد سیستم لوله کشی مانند یک سیستم سیلندر و پیستون عمل خواهد کرد در نتیجه تکیه گاههای انتهایی باید توانایی تحمل نیروی حاصل از این فشار را داشته باشند .

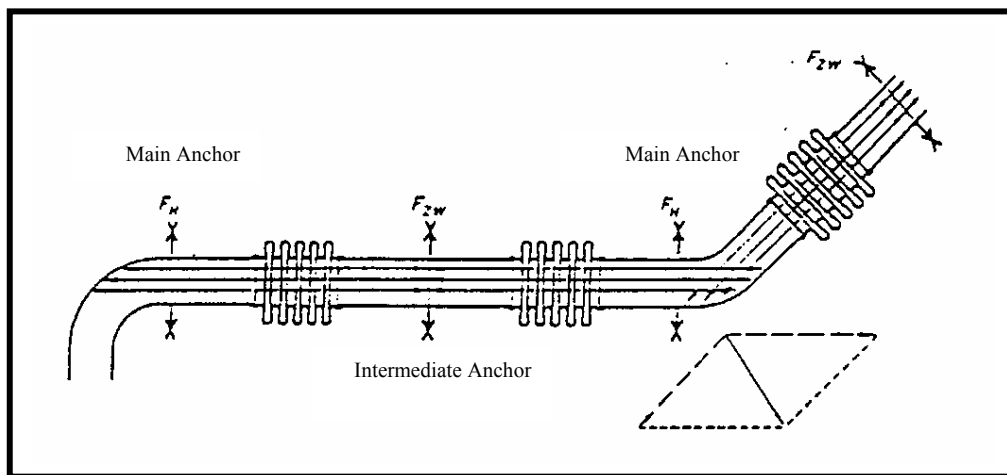
معمولا در این گونه سیستمها دو نوع Anchor وجود دارد که یکی تحت عنوان Main Anchor و دیگری Intermediate Anchor نامیده میشود (شکل ۶-۱۰) .

این دو نوع Anchor به لحاظ میزان نیروهای اعمالی بر آنها با یکدیگر تفاوت می کنند . Main Anchor در محلهایی از سیستم بکار میروند که ذیلا به آنها اشاره شده است .

- در دو انتهای سیستم .
- در محل تغییر جهت دادن لوله
- در محل انشعابها (Branch Point)
- بطور کلی در محلهایی که Full Reaction Force بر آنها اعمال میشوند .

تکیه گاههای نوع دوم، یعنی Intermediate Anchor، همانگونه که از نامشان پیداست بعنوان تکیه گاههای میانی از آنها استفاده میشود و نحوه اعمال نیروهای فشاری بر آنها طوری است که معمولاً این نیروها بالانس می شوند و در نتیجه نیروی تکیه گاهی به بزرگی Main Anchor نیست و برای محاسبه نیروی اعمالی بر آنها کفایت نیروی های اصطکاکی در سیستم و نیروهای حاصل از تغییر شکل درز انبساط را لحاظ کرد.

نیروهای اصطکاکی اعمال شده به تکیه گاهها بستگی به میزان ضریب اصطکاک بین لوله و تکیه گاهها و همچنین وزن لوله دارد بنابراین هر چه لوله قطورتر و ضریب اصطکاک بیشتر باشد میزان این نیروها نیز بیشتر خواهد شد.



شکل ۶-۱۰) Main & Intermediate Anchor

نیروی ناشی از خاصیت انعطاف پذیری درز انبساط (Bellows Flexibility Force) نیز نیرویی است که از طرف درز انبساط به سیستم اعمال میشود یعنی با هر بار باز شدن و بسته شدن درز انبساط این نیرو بروز می نمایند.

معمولاً در نصب درز انبساط حدود 50% مقدار تغییر طول آنرا که در حین عملیات خواهد داشت در ابتدا در آن ایجاد می کنند که به این کار Cold-Drawn میگویند بنابراین نیروی  $F_E$  یعنی Bellows Flexibility Force از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$F_E = C_a * \delta / 2$$



رابطه قبل برای 50% Cold Drawn بکار می‌رود. اگر چنانچه عمل Cold Drawn انجام نشود و یا اینکه 100% انجام شود (یعنی اینکه کشش سرد برای کل تغییر مکان انجام شود) مقدار  $F_E$  از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$F_E = C_a * \delta$$

$\delta$  = Actual Pipe Expansion mm

$C_a$  = Axial Bellows Flexibility Nominal Value (Spring Constant) daN/mm

$F_E$  = Bellows Flexibility Force daN

نیروی عکس‌العملی ناشی از فشار داخلی نیز از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$F_R = P * A_B$$

$P$  = Working Pressure bar

$A_B$  = Bellows Cross Sectional Area cm<sup>2</sup>

$F_R$  = Pressure Reaction Force daN

با توجه به روابط فوق نیروی کلی که بر Main Anchor Point اعمال می‌شود برابر است با:

$$F_H = P * A_B + C_a * \delta / 2 - \Sigma R$$

رابطه بالا برای 50% Cold Drawn بکار می‌رود و برای 100% Cold Drawn از رابطه زیر

$$F_H = P * A_B + C_a * \delta - \Sigma R \quad \text{استفاده می‌شود:}$$

$F_H$  = Main Anchor Point Thrust daN

$\Sigma R$  = Sum Of Frictional Force daN

در جاهائیکه تغییر زاویه وجود دارد می‌بایست میزان نیرو حاصل از آن نیز در نظر گرفته شود

و از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$F_p = \frac{2ADV^2}{2g} \sin \theta / 2$$

A=Internal Area Of Pipe ft<sup>2</sup>

D=Density Of Fluid lb/ft<sup>3</sup>

V= Velocity Of Flow ft/sec

g= Acceleration Due To Gravity ft/sec<sup>2</sup>

$\theta$ = Angle Of Pipe Bend

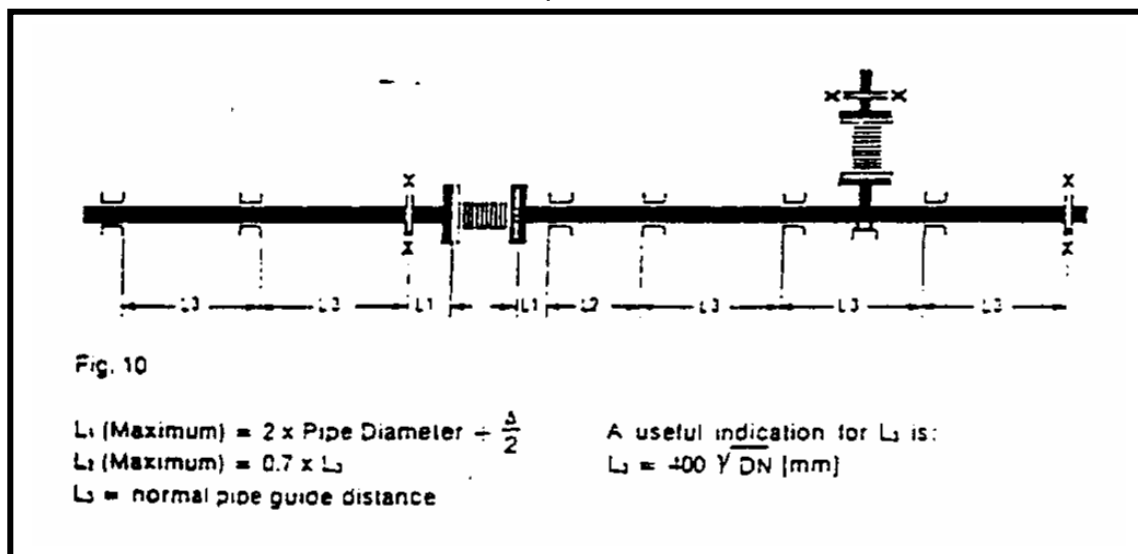
و برای تکیه گاههای میانی (Intermediat Anchors) از روابط زیر استفاده می شود .

که رابطه I برای ؛ 50% کشش سرد و رابطه II برای 100% یا 50% کشش سرد کاربرد دارد

$$F_{ZW} = C_a * \delta / 2 + \Sigma R. \quad I$$

$$F_{ZW} = C_a * \delta + \Sigma R \quad II$$

۳-۴-۱۰) نحوه استقرار و نوع تکیه گاهها برای سیستم با Bellows



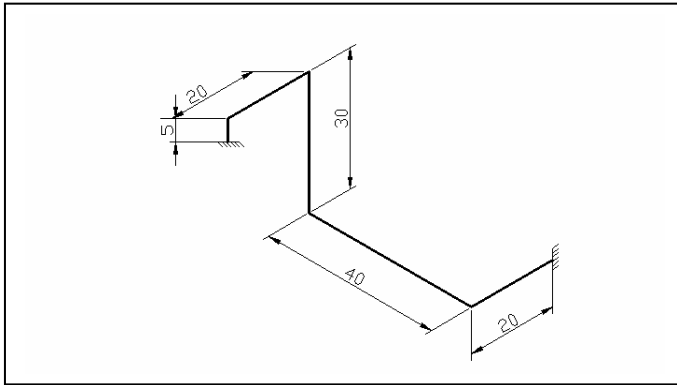
شکل ۷-۱۰) نحوه استقرار Bellows

نیروی فشاری داخل خط لوله باعث میشود که درز انبساط چه در جهت طول و چه در جهات جانبی تغییر فرم بدهد لذا باید سیستم تکیه گاهی به نحوی باشد که صدمه ای به درز انبساط وارد نشود. برای اینکار باید در فاصله قبل و بعد از Bellows از Guide استفاده کرد و همچنین بین هر دو Anchor فقط باید یک Bellows قرار داد و نه بیشتر. شکل ( ۷-۱۰ ) فاصله تکیه گاهی را در یک سیستم ساده نشان میدهد .

## سئوالات فصل دهم

۱. ۱۰.۱ (Q) روشهای جذب انبساط حرارتی را نام ببرید ؟
۲. ۱۰.۲ (Q) استفاده Leg در مسیر لوله کشی بر چه مبنایی استوار است ؟
۳. ۱۰.۳ (Q) در چه مواردی از Loop استفاده می شود ؟
۴. ۱۰.۱۰ (Q) الگوریتم انتخاب ابعاد Loop را شرح دهید .
۵. ۱۰.۱ (Q) تفاوت Vertical Loop و Horizontal Loop در چیست ؟
۶. ۱۰.۱ (Q) چرا از Loop های عمودی رو به بالا باید حذر نمود ؟
۷. ۱۰.۱ (Q) چرا در طرفین Loop از Guide استفاده می شود ؟
۸. ۱۰.۱ (Q) در روش Cold Spring از چه خاصیتی استفاده میگردد و به چه نحوی عمل می گردد ؟
۹. ۱۰.۱ (Q) معیار سنجش Cold Spring چیست و مفهوم آن چیست ؟
۱۰. ۱۰.۱ (Q) عوامل باز دارنده در استفاده از روش Cold Spring چیست ؟
۱۱. ۱۰.۱ (Q) نیروهای عکس العمل تکیه گاهی در Cold Spring در چه حالتیایی می بایست محاسبه گردد ؟
۱۲. ۱۰.۱ (Q) محل کاربرد استفاده از Expansion Joint کجاست ؟ حداقل ۴ مورد استفاده آن را نام ببرید.
۱۳. ۱۰.۱ (Q) انواع Expansion Joint را نام برده و آنها را شرح دهید ؟
۱۴. ۱۰.۱ (Q) درز انبساط لولایی چه نوع حرکتی را جذب می کند ؟
۱۵. ۱۰.۱ (Q) چه نیروهایی بر تقاط تکیه گاهی اثر می کند ؟
۱۶. ۱۰.۱ (Q) Main Anchors در چه نقاطی بکار برده می شود ؟
۱۷. ۱۰.۱ (Q) چرا باید بعد و قبل از Expansion Joint از Guide استفاده شود ؟

۱.۱ (P.۱۰) مقدار نیرو را در نقاط Anchor با شرایط زیر بدست آورید ؟



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

$$T = 350^{0F}$$

$$I = 279 \text{ in}^4$$

$$E = 27.7 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$\alpha = 0.0226 \text{ in/ft}$$

۱.۲ (P.۱۰) Loop های یک مسیر با طول 2000m از جنس A106 – Gr B و سایز 30 SCH

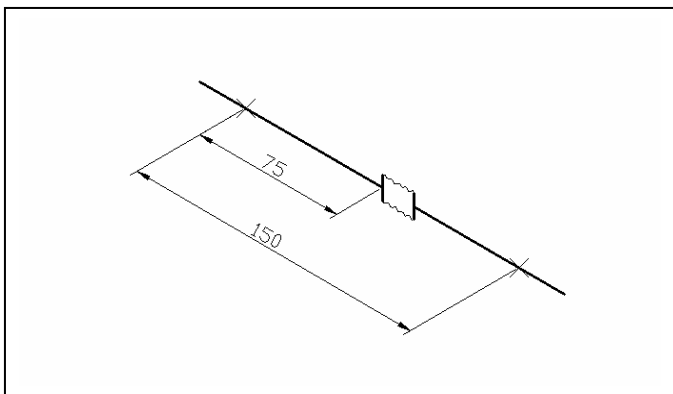
14" ، رابدست آورید ؟

۱.۳ (P.۱۰) محاسبه کنید نیروی عکس العمل تکیه گاههایی را برای لوله ای با سایز ۱۰" و 80 SCH

در درجه حرارت  $500^{0F}$  که 4" انبساط داشته و تنها 50% Cold Spring خواهیم داشت و

فرض می کنیم که تنش انبساطی حاصل 5000 lb و دمای محل نصب  $70^{0F}$  باشد .

۱.۴ (P.۱۰) محل نصب Guide و نیروها را در Anchor شکل زیر بدست آورید .



Pipe = 10" Sch 40

Mat = A53 Gr B

$T_{oper} = 500^{0F}$

$T_{inst} = 70^{0F}$

50% = Cold Drawn

$P = 200 \text{ Psig}$

Pipe + Insulation weight = 49.43

Pipe contents = Gas

Bellows convolution = 14"

Friction coefficient at support = 0.3

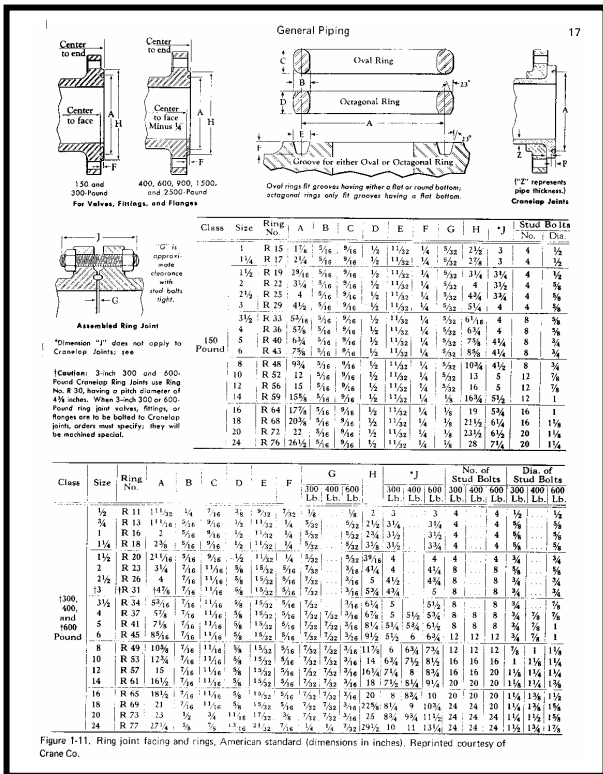
# فصل یازدهم

## پیوست ها و ضمایم

## فهرست پیوست ها و ضمایم

شکل ۱۱-۱) دنده استاندارد لوله	شکل ۱۱-۲۲) تگهدارنده RIGID STRUT
شکل ۱۱-۲) اتصالات BUTTWELDING	جدول ۱۱-۲۳) فواصل مجاز تکیه گاهی
شکل ۱۱-۳) اتصالات SOCKETWELDING	جدول ۱۱-۲۴) ضریب انبساط طولی لوله
شکل ۱۱-۴) اتصالات SCREWED	شکل ۱۱-۲۵) مشخصات هندسی
شکل ۱۱-۵) پرداخت فلنج های سطح برجسته	جدول ۱۱-۲۶) اوزان اجزاء
شکل ۱۱-۶) مشخصات فلنج های رینگ دار	جدول ۱۱-۲۷) تعیین VARIABLE SPRING
شکل ۱۱-۷) انواع اتصال فلنج های	SUPPORTS
شکل ۱۱-۸) مشخصات فشار- دما فلنج #150	شکل ۱۱-۲۸) تعیین CONSTANT LOAD
شکل ۱۱-۹) انواع شیر های صنعتی	HANGERS
شکل ۱۱-۱۰) انواع شیر های اطمینان	جدول ۱۱-۲۹) SWAY BRACE
جدول ۱۱-۱۱) تنش مجاز در لوله ها	شکل ۱۱-۳۰) HYDRAULIC SNUBBER
جدول ۱۱-۱۲) خواص لوله	شکل ۱۱-۳۱) MECHANICAL SNUBBER
نمودار ۱۱-۱۳) فاکتور A	جدول ۱۱-۳۲) ضرایب تشدید تنش
نمودار ۱۱-۱۴) فاکتور B	نمودار ۱۱-۳۳) تعیین محدوده آنالیز تنش
جدول ۱۱-۱۵) مدول الاستیسیته	جدول ۱۱-۳۴) روش TubeTurn – Piping
شکل ۱۱-۱۶) انواع روشهای انشعاب گیری	Engineering
جدول ۱۱-۱۷) انشعاب گیری بدون صفحه تقویتی	نمودار ۱۱-۳۵) روش GRINNELL
جدول ۱۱-۱۸) ضریب K	جدول ۱۱-۳۶) ضریب انبساط حرارتی
نموگرام ۱۱-۱۹) طول معادل	شکل ۱۱-۳۷) فاصله تکیه گاهی در LOOP
جدول ۱۱-۲۰) سرعت مجاز و افت فشار در لوله	اشکال ۱۱-۳۸) انواع EXPANSION JOINT
نمودار ۱۱-۲۱) تعیین مقدار	

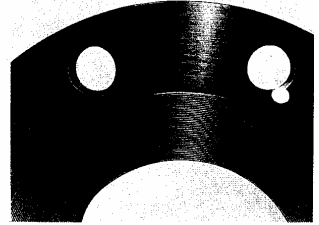




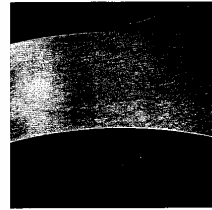
شکل ۶-۱۱) مشخصات فلنج های رینگ دار

Tube Turns® gasket surface finishes

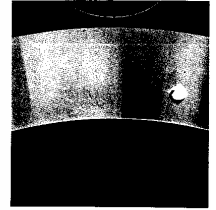
TUBE TURNS flanges and lap joint stub ends provided with raised faces are furnished from stock with a modified spiral serrated gasket surface finish having from 24 to 40 grooves per inch (.6 to 1 mm pitch). The cutting tool employed has an approximate .06 in. (1.6 mm) or greater radius. The resultant surface finish is judged by visual comparison with AARH Standards (See ANSI B46.1) and not by instruments having stylus tracers and electronic amplification. The finishes have a 500 microinch maximum roughness for Class 150 and 300 flanges and 250 microinch maximum roughness for Class 400 and higher rated flanges.



Other Tube Turns gasket surface finishes available, at extra charge, are Smooth Plane Finish and Cold Water Finish.



SMOOTH PLANE FINISH  
Produced by machining to provide a smooth surface.



COLD WATER FINISH  
Produced by using a wide, turned tool at high speeds, resulting in a mirrorlike finish.

شکل ۵-۱۱) پرداخت فلنج های سطح برجسته

SECTION 9

GENERAL INFORMATION

TABLES 2  
PRESSURE-TEMPERATURE RATINGS FOR GROUPS 1.1 THROUGH 3.17 MATERIALS

TABLE 2-1.1 RATINGS FOR GROUP 1.1 MATERIALS

Nominal Designation	Forgings	Castings	Plates
C-SI	A 105 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)
C-Mn-SI	A 350 Gr. LF2 (1)		A 516 Gr. 70 (1)(2)
			A 537 Cl. 1 (3)
C-Mn-SI-V	A 350 Gr. LF6 Cl. 1 (4)		

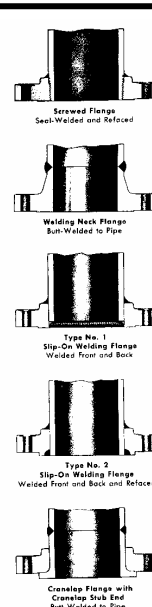
NOTES:  
(1) Upon prolonged exposure to temperatures above 800°F, the carbide phase of steel may be converted to graphite. Permissible, but not recommended for prolonged use above 800°F.  
(2) Not to be used over 700°F.  
(3) Not to be used over 500°F.  
(4) Not to be used over 500°F.

WORKING PRESSURES BY CLASSES, psig

Class	Temp., °F	150	300	400	600	900	1500	2500
-20 to 100	285	740	990	1480	2220	3705	6170	
	200	260	675	900	1350	2025	3375	5625
	300	230	655	875	1315	1970	3280	5470
	400	200	635	845	1270	1900	3170	5280
	500	170	600	800	1200	1795	2995	4990
600	140	550	730	1095	1640	2735	4560	
	125	535	715	1075	1610	2685	4475	
	110	515	710	1065	1600	2665	4440	
	750	85	505	670	1010	1510	2520	4200
	800	80	410	550	825	1235	2060	3430
850	65	270	355	535	805	1340	2230	
	170	50	170	230	345	515	860	1430
	315	105	140	205	310	515	860	
	900	50	170	230	345	515	860	
	1000	20	50	70	105	155	260	430

Reprinted from ASME B16.5-1998 and 1986, by permission of The American Society of Mechanical Engineers. All rights reserved.

شکل ۸-۱۱) مشخصات فشار - دما فلنج #150



Forged Steel Screwed Flange, Seal-Welded

A Crane Forged Steel Screwed Flange is used in this joint. The pipe and the flange are accurately threaded; the flange is made up tight on the pipe, seal-welded, and then refaced. The joint is sealed by fillet-welding the base of the flange to the pipe, thus assuring no leakage through the threads.

The refacing assures perfect alignment of the flange faces, and that the end of the pipe is flush with the face of the flange. The threads retain the function of holding the flange securely on the pipe, hence there is no shearing action.

Forged Steel Welding Neck Flange

Crane Welding Neck Flanges are of forged steel. They are machined with a beveled end and bored to match the inside diameter of the pipe to which they are applied. A butt-weld is used to attach the welding neck flange to the pipe, which is also machine beveled.

Forged Steel Slip-On Welding Flange

Crane Forged Steel Slip-On Welding Flanges are bored for a snug fit on the pipe and, when applied to fabricated piping, are welded at the front and back through the two methods defined below and illustrated at the right.

Type No. 1: Type No. 1 is Crane standard for welded flanged joints using Forged Steel Slip-On Welding Flanges. Regular flanges are utilized with the end of the pipe set back from the face of the flange and the flange welded to the pipe both in front and back.

Type No. 2: Type No. 2 is furnished on special order only; slip-on flange with a special front groove for welding are used. The pipe is flush with the flange face; this is accomplished by refacing after both the front and back of the flange are welded to the pipe.

Code limitation: When piping must comply with the American Standard Code for Pressure Piping or the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, the use of the slip-on flange joint is permissible on all sizes of flanges listed on the primary service pressure ratings up to and including the 900-pound class, and in sizes 2 1/2-inch and smaller of the 1500-pound class, of the American Steel Flange Standard (ASA B16.5-1957).

Cranelap Stub Ends and Cranelap Flange

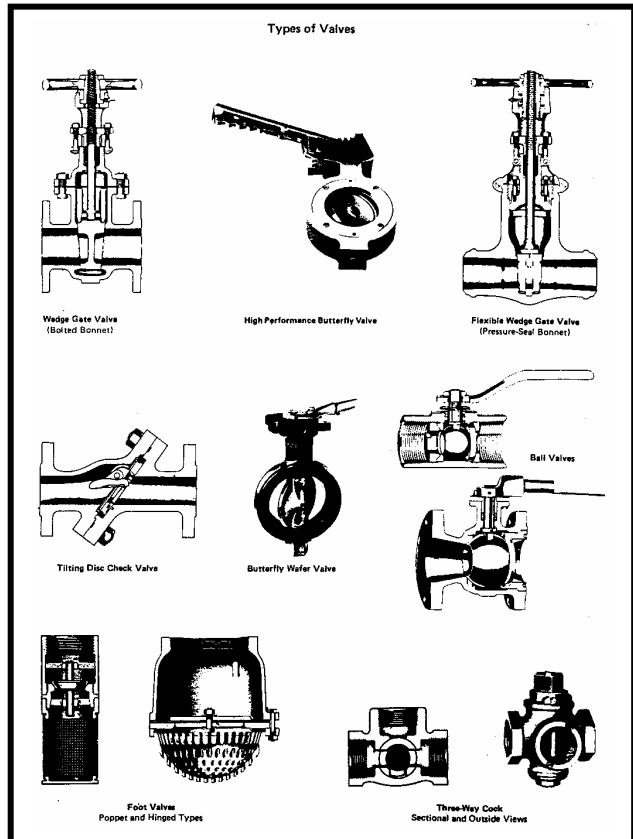
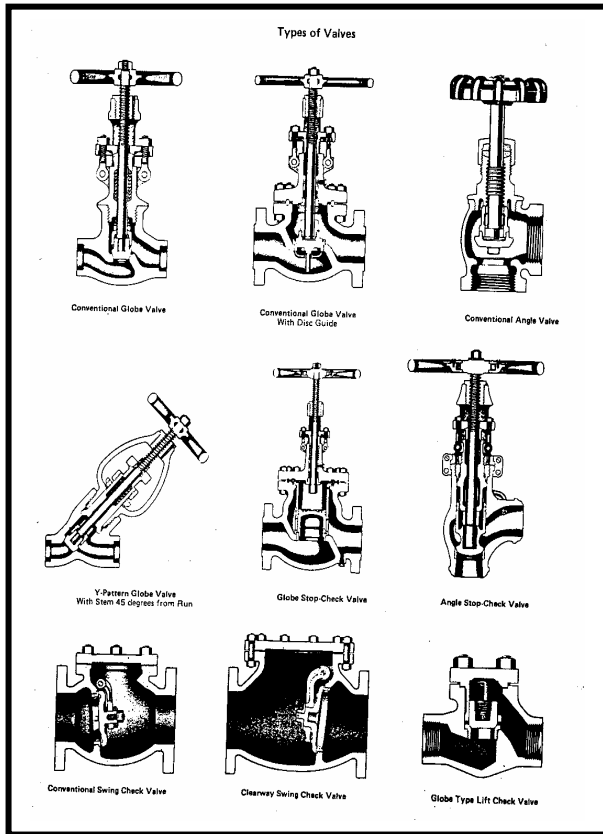
The Cranelap stub end with Cranelap flange can be applied to fabricate piping. Both the stub end and the pipe are machine beveled. A butt-weld is used to complete the joint.

This type of joint has all of the advantages of the regular Cranelap joint. In most cases, piping can be fabricated with Cranelap joints applied directly, which eliminates the weld necessary for the application of a Cranelap stub end with Cranelap flange.

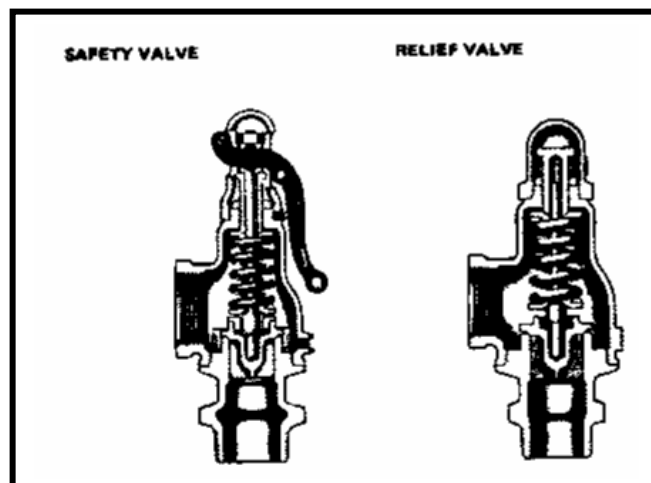
Figure 1-7. Flanging processes-welded flanged joints. Reprinted courtesy of Crane Co.

شکل ۷-۱۱) انواع اتصال فلنج های





شکل ۹-۱۱) انواع شیر های صنعتی



شکل ۱۰-۱۱) انواع شیر های اطمینان

**Table 1-1**  
**Tabulation of Examples of Allowable Stresses for Reference Use in Liquid Petroleum Transportation Piping Systems**

Allowable stress values ( $S$ ) shown in this Table are equal to  $0.72 \times E$  (weld joint factor)  $\times$  specified minimum yield strength of the pipe.

Allowable stress values shown are for new pipe of known specification. Allowable stress values for new pipe of unknown specification, ASTM A 120 specification or used (reclaimed) pipe shall be determined in accordance with 402.3.1.

For some Code computations, particularly with regard to branch connections [see 404.3.1 (d) (3)] and expansion, flexibility, structural attachments, supports, and restraints (Chapter II, Part 5), the weld joint factor  $E$  need not be considered.

For specified minimum yield strength of other grades in approved specifications, refer to that particular specification.

Allowable stress value for cold worked pipe subsequently heated to 600 F or higher (welding excepted) shall be 75 percent of value listed in Table.

Definitions for the various types of pipe are given in 400.2.

Specification	Grade	Specified Min Yield Strength psi	Notes	( $E$ ) Weld Joint Factor	( $S$ ) Allowable Stress Value -20 F to 250 F psi
<b>Seamless</b>					
API 5L	A25	25,000	(1)	1.00	18,000
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106	A	30,000	(1) (2)	1.00	21,600
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 106	B	35,000	(1) (2)	1.00	25,200
ASTM A 106	C	40,000	(1) (2)	1.00	28,800
ASTM A 524	I	35,000	(1)	1.00	25,200
ASTM A 524	II	30,000	(1)	1.00	21,600
API 5LU	U80	80,000	(1) (4)	1.00	57,600
API 5LU	U100	100,000	(1) (4)	1.00	72,000
API 5LX	X42	42,000	(1) (2) (4)	1.00	30,250
API 5LX	X46	46,000	(1) (2) (4)	1.00	33,100
API 5LX	X52	52,000	(1) (2) (4)	1.00	37,450
API 5LX	X56	56,000	(1) (4)	1.00	40,300
API 5LX	X60	60,000	(1) (4)	1.00	43,200
API 5LX	X65	65,000	(1) (4)	1.00	46,800
API 5LX	X70	70,000	(1) (4)	1.00	50,400
<b>Furnace Welded-Butt Welded</b>					
ASTM A 53		25,000	(1) (2)	0.60	10,800
API 5L Class I & Class II	A25	25,000	(1) (2) (3)	0.60	10,800
API 5L (Bessemer), ASTM A 53 (Bessemer)		30,000	(1) (2) (5)	0.60	12,950
<b>Furnace Welded-Lap Welded</b>					
API 5L Class I		25,000	(1) (2) (6)	0.80	14,400
API 5L Class II		28,000	(1) (2) (6)	0.80	16,150
API 5L (Bessemer)		30,000	(1) (2) (6)	0.80	17,300
API 5L Electric Furnace		25,000	(1) (2) (6)	0.80	14,400
<b>Electric Resistance Welded and Electric Flash Welded</b>					
API 5L	A25	25,000	(1) (7)	1.00	18,000
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 135	A	30,000	(2)	0.85	18,360
API 5L, API 5LS, ASTM A 53, ASTM A 135	A	30,000	(1)	1.00	21,600
API 5L, ASTM A 53, ASTM A 135	B	35,000	(2)	0.85	21,420
API 5L, API 5LS, ASTM A 53, ASTM A 135	B	35,000	(1)	1.00	25,200
API 5LS, API 5LX	X42	42,000	(1) (2) (4)	1.00	30,250
API 5LS, API 5LX	X46	46,000	(1) (2) (4)	1.00	33,100
API 5LS, API 5LX	X52	52,000	(1) (2) (4)	1.00	37,450
API 5LS, API 5LX	X56	56,000	(1) (4)	1.00	40,300
API 5LS, API 5LX	X60	60,000	(1) (4)	1.00	43,200
API 5LS, API 5LX	X65	65,000	(1) (4)	1.00	46,800
API 5LS, API 5LX	X70	70,000	(1) (4)	1.00	50,400
API 5LU	U80	80,000	(1) (4)	1.00	57,600
API 5LU	U100	100,000	(1) (4)	1.00	72,000

Reproduced from ANSI/ASME Code B31.4-1979, Table 402.3.1. Reprinted courtesy of The American Society of Mechanical Engineers.

PIPING DESIGN AND ENGINEERING

PROPERTIES OF PIPE

Pipe Size and Outside Diam.	Sch. No.	Nominal Wall	d Inside Diam. Inches	t Wall Thickness Inches	A <sub>i</sub> Inside Area Inches <sup>2</sup>	A <sub>m</sub> Metal Area Inches <sup>2</sup>	I <sub>p</sub> Moment of Inertia Inches <sup>4</sup>	S <sub>m</sub> Section Modulus Inches <sup>3</sup>	Factors k and i							
									k	i	Short Radius Elbow	Long Radius Elbow	Radius of Curvature Nominal Pipe Diameters			
													3	4	5	6
1" 1.315"	40	Std.	1.049	0.123	0.864	0.494	0.0874	0.133	k	4.33	2.89	1.44	1.08	1.00	1.00	
		XS	0.957	0.179	0.719	0.639	0.1056	0.161	i	1.71	1.31	1.00	1.00	1.00	1.00	
	160	XS	0.915	0.250	0.522	0.836	0.1252	0.190	k	..	1.98	1.00	1.00	1.00	1.00	
		XNS	0.599	0.358	0.252	1.076	0.1405	0.214	i	..	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	
1 1/8" 1.660"	40	Std.	1.380	0.140	1.496	0.699	0.1948	0.235	k	5.45	3.63	1.82	1.36	1.09	1.00	
		XS	1.278	0.191	1.283	0.881	0.2418	0.291	i	2.00	1.52	1.00	1.00	1.00	1.00	
	160	XS	1.160	0.250	1.057	1.107	0.2839	0.342	k	..	2.49	1.24	1.00	1.00	1.00	
		XNS	0.896	0.382	0.631	1.534	0.3411	0.411	i	..	1.18	1.00	1.00	1.00	1.00	
1 1/2" 1.900"	40	Std.	1.610	0.145	2.036	0.799	0.3099	0.326	k	5.84	3.89	1.95	1.46	1.17	1.00	
		XS	1.500	0.200	1.767	1.068	0.3912	0.412	i	2.09	1.60	1.01	1.00	1.00	1.00	
	160	XS	1.338	0.281	1.406	1.429	0.4826	0.508	k	3.97	2.65	1.32	1.00	1.00	1.00	
		XNS	1.100	0.400	0.950	1.885	0.5678	0.598	i	1.62	1.23	1.00	1.00	1.00	1.00	
2" 2.375"	40	Std.	2.067	0.154	3.356	1.075	0.6657	0.561	k	6.61	4.40	2.20	1.67	1.32	1.10	
		XS	1.939	0.218	2.953	1.477	0.8679	0.731	i	2.27	1.73	1.09	1.00	1.00	1.00	
	160	XS	1.689	0.343	2.240	2.190	1.1626	0.979	k	4.40	2.94	1.47	1.10	1.00	1.00	
		XNS	1.503	0.436	1.774	2.656	1.312	1.104	i	1.73	1.32	1.00	1.00	1.00	1.00	
2 1/2" 2.875"	40	Std.	2.469	0.203	4.788	1.704	1.530	1.064	k	5.80	3.87	1.93	1.45	1.16	1.00	
		XS	2.323	0.276	4.238	2.254	1.925	1.339	i	2.08	1.59	1.00	1.00	1.00	1.00	
	160	XS	2.125	0.373	3.547	2.945	2.353	1.637	k	4.04	2.69	1.35	1.01	1.00	1.00	
		XNS	1.771	0.552	2.464	4.023	2.872	1.983	i	1.63	1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	
3" 3.500"	40	Std.	3.063	0.216	7.393	2.228	3.017	1.724	k	5.86	4.57	2.29	1.71	1.37	1.14	
		XS	2.900	0.300	6.605	3.016	3.879	2.226	i	2.33	1.78	1.12	1.00	1.00	1.00	
	160	XS	2.625	0.437	5.416	4.205	5.033	2.976	k	4.69	3.13	1.56	1.17	1.00	1.00	
		XNS	2.309	0.600	4.153	5.466	5.993	3.425	i	1.81	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00	
3 1/2" 4.000"	40	Std.	3.545	0.226	9.89	2.68	4.788	2.39	k	7.42	5.95	2.47	1.86	1.48	1.24	
		XS	3.382	0.300	8.89	3.58	6.145	2.89	i	2.45	1.87	1.13	1.00	1.00	1.00	

جدول ۱۲-۱۱) خواص لوله

EXPANSION AND STRESSES

PROPERTIES OF PIPE

Pipe Size and Outside Diam.	Sch. No.	Nominal Wall	$d$		$A_t$	$A_w$	$I_p$	$S_w$	Factors $k$ and $i$									
			Inside Diam. Inches	Wall Thickness Inches					Inside Area Inches <sup>2</sup>	Metal Area Inches <sup>2</sup>	Moment of Inertia Inches <sup>4</sup>	Section Modulus Inches <sup>3</sup>	Short Radius Elbow	Long Radius Elbow	Radius of Curvature Nominal Pipe Diameters			
															3	4	5	6
3 1/2" 4.000"	80	XS	3.364	0.318	8.89	3.68	6.28	3.14	$k$	5.03	3.35	1.68	1.26	1.01	1.00			
									$i$	1.92	1.44	1.00	1.00	1.00	1.00			
4" 4.500"	40	Std.	4.026	0.237	12.73	3.17	7.23	3.21	$k$	7.90	5.27	2.63	1.98	1.58	1.32			
									$i$	2.56	1.95	1.23	1.02	1.00	1.00			
	80	XS	3.826	0.337	11.50	4.41	9.61	4.27	$k$	5.30	3.33	1.77	1.33	1.06	1.00			
									$i$	1.96	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00			
	120			3.626	0.437	10.33	5.58	11.65	5.18	$k$	..	..	1.30	1.00	1.00	1.00		
									$i$	..	..	1.00	1.00	1.00	1.00			
160			3.438	0.531	9.28	6.62	13.27	5.90	$k$	..	2.04	1.02	1.00	1.00	1.00			
								$i$	..	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
		XNS	3.152	0.674	7.80	8.10	15.29	6.79	$k$	..	1.49	1.00	1.00	1.00	1.00			
								$i$	..	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
5" 5.563"	40	Std.	5.047	0.258	20.01	4.30	15.17	5.45	$k$	8.99	5.99	3.00	2.25	1.80	1.50			
									$i$	2.79	2.13	1.34	1.11	1.00	1.00			
	80	XS	4.813	0.375	18.19	6.11	20.68	7.43	$k$	5.92	3.95	1.97	1.48	1.18	1.00			
									$i$	2.11	1.61	1.01	1.00	1.00	1.00			
	120			4.563	0.500	16.35	7.95	25.74	9.25	$k$	..	..	1.41	1.06	1.00	1.00		
									$i$	..	..	1.00	1.00	1.00	1.00			
160			4.313	0.625	14.61	9.70	30.03	10.80	$k$	..	2.06	1.03	1.00	1.00	1.00			
								$i$	..	1.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
		XNS	4.063	0.750	12.97	11.34	33.64	12.10	$k$	..	1.70	1.00	1.00	1.00	1.00			
								$i$	..	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
6" 6.625"	40	Std.	6.065	0.280	28.89	5.58	28.14	8.50	$k$	9.89	6.59	3.03	2.47	1.98	1.65			
									$i$	2.97	2.27	1.43	1.18	1.02	1.00			
	80	XS	5.761	0.432	26.07	8.40	40.49	12.23	$k$	6.10	4.07	2.03	1.52	1.22	1.02			
									$i$	2.15	1.64	1.03	1.00	1.00	1.00			
	120			5.501	0.562	23.77	10.70	49.61	14.98	$k$	..	..	1.50	1.12	1.00	1.00		
									$i$	..	..	1.00	1.00	1.00	1.00			
120			5.189	0.718	21.15	13.33	58.99	17.81	$k$	..	2.23	1.11	1.00	1.00	1.00			
								$i$	..	1.10	1.00	1.00	1.00	1.00				
		XNS	4.897	0.864	18.83	15.64	66.33	20.03	$k$	..	1.76	1.00	1.00	1.00	1.00			
								$i$	..	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
8" 8.625"	20		8.125	0.250	51.8	6.58	57.7	13.39	$k$	..	..	4.81	3.61	2.58	2.40			
									$i$	..	..	1.84	1.52	1.31	1.16			
	30		8.071	0.277	51.2	7.26	63.4	14.69	$k$	..	..	4.32	3.24	2.59	2.16			
									$i$	..	..	1.71	1.41	1.22	1.08			
	40	Std.	7.981	0.322	50.0	8.40	72.5	16.81	$k$	11.03	7.35	3.68	2.76	2.21	1.84			
									$i$	3.19	2.44	1.54	1.27	1.09	1.00			
	60		7.813	0.406	47.9	10.48	88.8	20.58	$k$	..	..	2.86	2.15	1.72	1.43			
									$i$	..	..	1.30	1.07	1.00	1.00			
	80	XS	7.625	0.500	45.7	12.76	105.7	24.52	$k$	6.81	4.54	2.27	1.70	1.36	1.13			
									$i$	2.31	1.77	1.11	1.00	1.00	1.00			
100		7.439	0.593	43.5	14.96	121.4	28.14	$k$	..	..	1.87	1.40	1.12	1.00				
								$i$	..	..	1.00	1.00	1.00	1.00				
120		7.189	0.718	40.6	17.84	140.6	32.61	$k$	..	..	1.50	1.12	1.00	1.00				
								$i$	..	..	1.00	1.00	1.00	1.00				
140		7.001	0.812	38.5	19.93	153.8	35.65	$k$	..	..	1.29	1.00	1.00	1.00				
								$i$	..	..	1.00	1.00	1.00	1.00				
		XNS	6.375	0.875	37.1	21.30	162.0	37.56	$k$	..	2.36	1.18	1.00	1.00	1.00			
								$i$	..	1.14	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			

ادامه جدول ۱۲-۱۱) خواص لوله

PIPING DESIGN AND ENGINEERING

PROPERTIES OF PIPE

Pipe Size and Outside Diam.	Sch. No.	Nominal Wall	d Inside Diam. Inches	t Wall Thickness Inches	A <sub>i</sub> Inside Area Inches <sup>2</sup>	A <sub>m</sub> Metal Area Inches <sup>2</sup>	I <sub>p</sub> Moment of Inertia Inches <sup>4</sup>	S <sub>m</sub> Section Modulus Inches <sup>3</sup>	Factors k and i						
									Short Radius Elbow	Long Radius Elbow	Radius of Curvature Nominal Pipe Diameters				
											3	4	5	6	
8" 8.625"	160		6.813	0.906	36.5	21.97	165.9	38.48	k i	2.26 1.11	1.13 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	
	20		10.250	0.250	82.5	8.26	113.7	21.16	k i	6.04 2.14	4.53 1.77	3.63 1.52	3.02 1.35		
									k i	4.87 1.35	3.65 1.53	2.92 1.32	2.43 1.17		
	30		10.136	0.307	80.7	10.07	137.5	25.57	k i	4.87 1.35	3.65 1.53	2.92 1.32	2.43 1.17		
									k i	4.87 1.35	3.65 1.53	2.92 1.32	2.43 1.17		
	40	Std.	10.020	0.365	78.9	11.91	160.8	29.90	k i	12.22 3.42	8.15 2.61	4.07 1.64	3.06 1.38	2.44 1.17	2.04 1.04
									k i	12.22 3.42	8.15 2.61	4.07 1.64	3.06 1.38	2.44 1.17	2.04 1.04
	60	NS	9.750	0.500	74.7	16.10	212.0	39.43	k i	8.68 2.72	5.79 2.08	2.89 1.31	2.17 1.08	1.74 1.00	1.45 1.00
									k i	8.68 2.72	5.79 2.08	2.89 1.31	2.17 1.08	1.74 1.00	1.45 1.00
80		9.564	0.593	71.8	18.92	244.9	45.56	k i	2.39 1.15	1.79 1.00	1.43 1.00	1.20 1.00			
								k i	2.39 1.15	1.79 1.00	1.43 1.00	1.20 1.00			
100		9.314	0.718	68.1	22.63	286.2	53.25	k i	1.93 1.00	1.45 1.00	1.16 1.00	1.00 1.00			
								k i	1.93 1.00	1.45 1.00	1.16 1.00	1.00 1.00			
120		9.064	0.843	64.5	26.24	324.3	60.34	k i	1.60 1.00	1.20 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
								k i	1.60 1.00	1.20 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
140		8.750	1.000	60.1	30.63	367.8	68.43	k i	1.31 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
								k i	1.31 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
160		8.500	1.125	56.7	34.01	399.4	74.31	k i	2.26 1.11	1.13 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
								k i	2.26 1.11	1.13 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
10" 10.75"	20		12.250	0.250	117.9	9.84	191.9	30.1	k i	7.16 2.39	5.37 1.98	4.30 1.70	3.58 1.51		
									k i	7.16 2.39	5.37 1.98	4.30 1.70	3.58 1.51		
	30		12.090	0.330	114.8	12.88	248.5	39.0	k i	5.33 1.97	4.00 1.62	3.20 1.40	2.66 1.24		
									k i	5.33 1.97	4.00 1.62	3.20 1.40	2.66 1.24		
	40	Std.	12.000	0.375	113.1	14.58	279.3	43.8	k i	14.08 3.74	9.33 2.86	4.66 1.79	3.50 1.48	2.80 1.28	2.34 1.14
									k i	14.08 3.74	9.33 2.86	4.66 1.79	3.50 1.48	2.80 1.28	2.34 1.14
	60	XS	11.938	0.406	111.9	15.74	300.3	47.1	k i	4.28 1.70	3.21 1.40	2.57 1.21	2.14 1.07		
									k i	4.28 1.70	3.21 1.40	2.57 1.21	2.14 1.07		
	80		11.750	0.500	108.4	19.24	361.5	56.7	k i	10.31 3.05	6.88 2.33	3.44 1.47	2.58 1.21	2.06 1.04	1.72 1.00
									k i	10.31 3.05	6.88 2.33	3.44 1.47	2.58 1.21	2.06 1.04	1.72 1.00
	100		11.626	0.562	106.2	21.52	400.5	62.8	k i	3.03 1.35	2.27 1.11	1.82 1.00	1.51 1.00		
									k i	3.03 1.35	2.27 1.11	1.82 1.00	1.51 1.00		
120		11.376	0.687	101.6	26.04	475.2	74.5	k i	2.43 1.16	1.82 1.00	1.46 1.00	1.21 1.00			
								k i	2.43 1.16	1.82 1.00	1.46 1.00	1.21 1.00			
140		11.064	0.843	96.1	31.53	561.8	88.1	k i	1.93 1.00	1.45 1.00	1.16 1.00	1.00 1.00			
								k i	1.93 1.00	1.45 1.00	1.16 1.00	1.00 1.00			
160		10.750	1.000	90.8	36.91	641.7	100.7	k i	1.58 1.00	1.19 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
								k i	1.58 1.00	1.19 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
180		10.500	1.125	86.6	41.08	700.7	109.9	k i	1.38 1.00	1.03 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
								k i	1.38 1.00	1.03 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
200		10.126	1.312	80.5	47.14	781.3	122.6	k i	2.28 1.12	1.14 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
								k i	2.28 1.12	1.14 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00			
14" 14.00"	10		13.500	0.250	143.1	10.80	255.4	36.5	k i	7.43 2.45	5.57 2.03	4.46 1.75	3.71 1.55		
									k i	7.43 2.45	5.57 2.03	4.46 1.75	3.71 1.55		
	20		13.376	0.312	140.5	13.42	314.3	44.9	k i	5.90 2.10	4.42 1.74	3.54 1.50	2.95 1.33		
									k i	5.90 2.10	4.42 1.74	3.54 1.50	2.95 1.33		
30	Std.	13.250	0.375	137.9	16.05	372.8	53.3	k i	14.59 3.85	9.72 2.94	4.86 1.85	3.65 1.53	2.92 1.32	2.43 1.17	
								k i	14.59 3.85	9.72 2.94	4.86 1.85	3.65 1.53	2.92 1.32	2.43 1.17	
40		13.126	0.437	135.3	18.02	429.1	61.2	k i	4.13 1.66	3.10 1.37	2.48 1.18	2.07 1.05			
								k i	4.13 1.66	3.10 1.37	2.48 1.18	2.07 1.05			

EXPANSION AND STRESSES

PROPERTIES OF PIPE

Pipe Size and Outside Diam.	Sch. No.	Nominal Wall	$d$		$A_i$	$A_w$	$I_p$	$S_w$	Factors $k$ and $i$						
			Inside Diam. Inches	Wall Thickness Inches					Section Modulus Inches <sup>3</sup>	Short Radius Elbow	Long Radius Elbow	Radius of Curvature Nominal Pipe Diameters			
												3	4	5	6
14" 14.00"	60	XS	13.000	0.500	132.7	21.21	483.8	69.1	$k$ $i$	10.74 3.14	7.16 2.40	3.53 1.51	2.69 1.25	2.15 1.07	1.79 1.00
			12.514	0.593	129.0	24.98	562.4	80.3	$k$ $i$	..	..	2.98 1.33	2.23 1.10	1.79 1.00	1.49 1.00
			12.500	0.750	122.7	31.22	687.5	98.2	$k$ $i$	..	..	2.30 1.12	1.72 1.00	1.33 1.00	1.15 1.00
			12.125	0.937	115.5	38.47	824.5	117.8	$k$ $i$	..	..	1.79 1.00	1.34 1.00	1.07 1.00	1.00 1.00
			11.914	1.093	109.6	44.32	929.8	132.8	$k$ $i$	..	..	1.50 1.00	1.12 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
			11.500	1.250	103.9	50.07	1027.5	146.8	$k$ $i$	..	..	1.28 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
			11.188	1.406	98.3	55.63	1116.9	159.6	$k$ $i$	..	..	1.11 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
16" 16.00"	10	Std.	15.500	0.250	188.7	12.37	384.0	48.0	$k$ $i$	..	17.06 4.27	8.53 2.69	6.40 2.22	5.12 1.91	4.26 1.69
			15.376	0.312	185.7	15.38	473.0	59.2	$k$ $i$	..	..	6.78 2.31	5.08 1.91	4.07 1.64	3.39 1.45
			15.250	0.375	182.6	18.41	562.1	70.3	$k$ $i$	16.82 4.23	11.19 3.23	5.60 2.03	4.20 1.68	3.36 1.45	2.80 1.28
	40	XS	15.000	0.500	176.7	24.35	731.9	91.5	$k$ $i$	12.39 3.45	8.26 2.64	4.13 1.66	3.10 1.37	2.48 1.18	2.06 1.05
			14.688	0.656	169.4	31.62	932.6	116.6	$k$ $i$	..	..	3.08 1.37	2.31 1.13	1.85 1.00	1.54 1.00
			14.314	0.843	160.9	40.14	1156.6	144.6	$k$ $i$	..	..	2.34 1.14	1.76 1.00	1.41 1.00	1.17 1.00
	100	XS	13.938	1.031	152.6	48.48	1365.0	170.6	$k$ $i$	..	..	1.87 1.00	1.40 1.00	1.12 1.00	1.00 1.00
			13.564	1.218	144.5	56.56	1555.8	194.5	$k$ $i$	..	..	1.54 1.00	1.16 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
			13.126	1.437	135.3	65.75	1760.3	220.0	$k$ $i$	..	..	1.27 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
160	12.814	1.593	129.0	72.10	1894.0	236.7	$k$ $i$	..	..	1.12 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00		
18" 18.00"	10	Std.	17.500	0.250	240.5	13.94	549.0	61.0	$k$ $i$	..	19.25 4.63	9.63 2.92	7.22 2.41	5.78 2.08	4.81 1.84
			17.376	0.312	237.1	17.34	678.0	75.5	$k$ $i$	..	..	7.86 2.50	5.75 2.07	4.60 1.78	3.83 1.58
	30	XS	17.250	0.375	233.7	20.76	806.6	89.6	$k$ $i$	18.99 4.59	12.65 3.50	6.33 2.21	4.75 1.82	3.80 1.57	3.16 1.39
			17.126	0.437	230.4	24.11	930.5	103.4	$k$ $i$	..	..	5.39 1.98	4.00 1.62	3.24 1.41	2.70 1.23
	40	XS	17.000	0.500	227.0	27.49	1053.0	117.0	$k$ $i$	14.04 3.75	9.36 2.86	4.68 1.80	3.51 1.49	2.81 1.28	2.34 1.14
			16.876	0.562	223.7	30.79	1172.0	130.2	$k$ $i$	..	..	4.13 1.66	3.10 1.37	2.48 1.18	2.07 1.05
	60	XS	16.500	0.750	213.8	40.64	1515.0	168.3	$k$ $i$	..	..	3.03 1.35	2.27 1.11	1.82 1.00	1.52 1.00
			16.126	0.937	204.2	50.23	1833.9	203.8	$k$ $i$	..	..	2.87 1.15	1.78 1.00	1.42 1.00	1.19 1.00

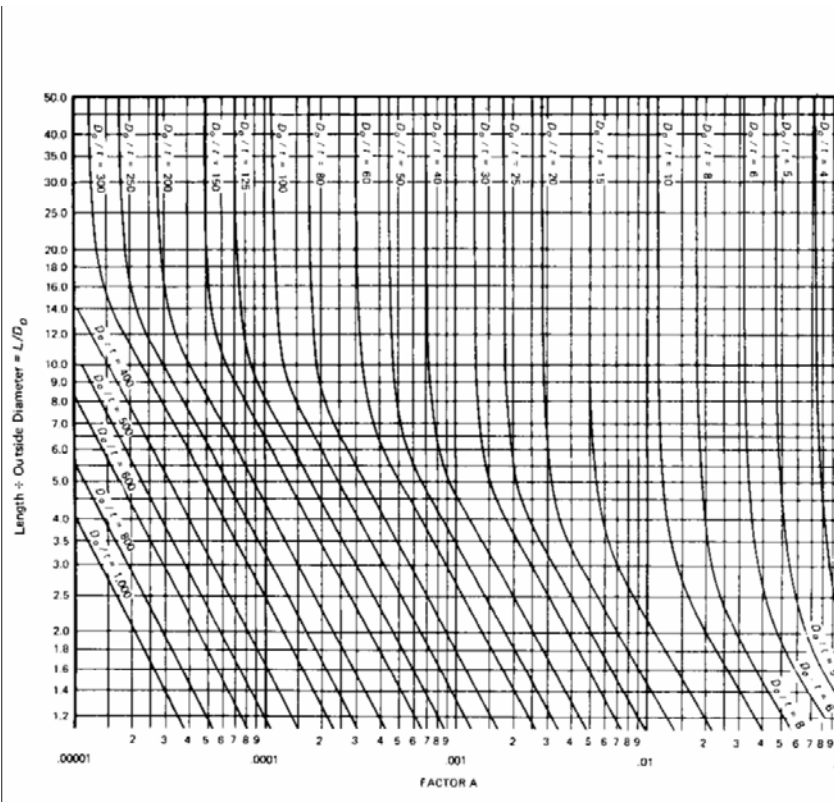
PIPING DESIGN AND ENGINEERING

PROPERTIES OF PIPE

Pipe Size and Outside Diam.	Sch. No.	Nominal Wall	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>A<sub>i</sub></i>	<i>A<sub>m</sub></i>	<i>I<sub>p</sub></i>	<i>S<sub>x</sub></i>	Factors <i>k</i> and <i>i</i>						
			Inside Diam. Inches	Wall Thickness Inches	Inside Area Inches <sup>2</sup>	Metal Area Inches <sup>2</sup>	Moment of Inertia Inches <sup>4</sup>	Section Modulus Inches <sup>3</sup>	Short Radius Elbow	Long Radius Elbow	Radius of Curvature Nominal Pipe Diameters				
			3	4	5	6									
18" 18.00"	100		15.688	1.156	193.3	61.18	2180.2	242.2	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.88 1.00	1.41 1.00	1.12 1.00	1.00 1.00
	120		15.250	1.375	182.6	71.81	2498.8	277.6	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.54 1.00	1.15 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
	140		14.875	1.562	173.8	80.66	2749.8	305.5	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.32 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
	160		14.438	1.781	163.7	90.74	3020.6	335.6	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.13 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
20" 20.00"	10		19.500	0.250	298.6	15.51	757	75.7	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	21.46 4.98	10.73 3.13	8.05 2.59	6.44 2.23	5.36 1.97
	20	Std.	19.250	0.375	291.0	23.12	1114	111.4	<i>k</i> <i>i</i>	21.18 4.93	14.13 3.77	7.06 2.37	5.30 1.96	4.24 1.69	3.53 1.49
	30	XS	19.000	0.500	283.5	30.6	1457	145.7	<i>k</i> <i>i</i>	15.68 4.04	10.46 3.08	5.23 1.94	3.92 1.60	3.14 1.38	2.61 1.22
	40		18.814	0.593	278.0	36.2	1704	170.4	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	4.37 1.72	3.28 1.42	2.62 1.22	2.18 1.08
	60		18.376	0.812	265.2	48.9	2257	225.7	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	3.12 1.38	2.34 1.14	1.87 1.00	1.56 1.00
	80		17.938	1.031	252.7	61.4	2772	277.2	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	2.40 1.16	1.80 1.00	1.44 1.00	1.20 1.00
	100		17.438	1.281	238.8	75.3	3316	331.6	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.88 1.00	1.41 1.00	1.13 1.00	1.00 1.00
	120		17.000	1.500	227.0	87.2	3755	375.5	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.57 1.00	1.18 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
	140		16.500	1.750	213.8	100.3	4217	421.7	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.31 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
	160		16.064	1.968	202.7	111.5	4586	458.6	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.14 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
24" 24.00"	10		23.500	0.250	433.7	18.65	1316	109.6	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	25.86 5.64	12.93 3.55	9.70 2.93	7.76 2.53	6.47 2.24
	20	Std.	23.250	0.375	424.6	27.88	1943	161.9	<i>k</i> <i>i</i>	25.58 5.60	17.06 4.27	8.53 2.69	6.40 2.22	5.12 1.91	4.26 1.69
		XS	23.000	0.500	415.0	36.9	2550	212.5	<i>k</i> <i>i</i>	18.99 4.58	12.65 3.50	6.33 2.21	4.75 1.82	3.80 1.57	3.16 1.39
	30		22.876	0.562	411.0	41.4	2840	237.0	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	5.60 2.03	4.20 1.68	3.36 1.45	2.80 1.29
	40		22.626	0.687	402.1	50.3	3422	285.2	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	4.53 1.76	3.40 1.46	2.72 1.25	2.27 1.11
	60		22.064	0.968	382.4	70.0	4654	387.8	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	3.14 1.33	2.35 1.14	1.88 1.00	1.57 1.00
	80		21.564	1.218	365.2	87.2	5673	472.8	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	2.44 1.17	1.83 1.00	1.46 1.00	1.22 1.00
	100		20.938	1.531	344.3	108.1	6853	571.1	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.89 1.00	1.42 1.00	1.13 1.00	1.00 1.00
	120		20.376	1.812	326.1	126.3	7827	652.2	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.56 1.00	1.17 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
	140		19.876	2.062	310.3	142.1	8627	718.9	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.34 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00
160		19.314	2.343	293.0	159.4	9453	788.2	<i>k</i> <i>i</i>	.. ..	.. ..	1.15 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	

Fig. G

1998 SECTION II



PART D — PROPERTIES

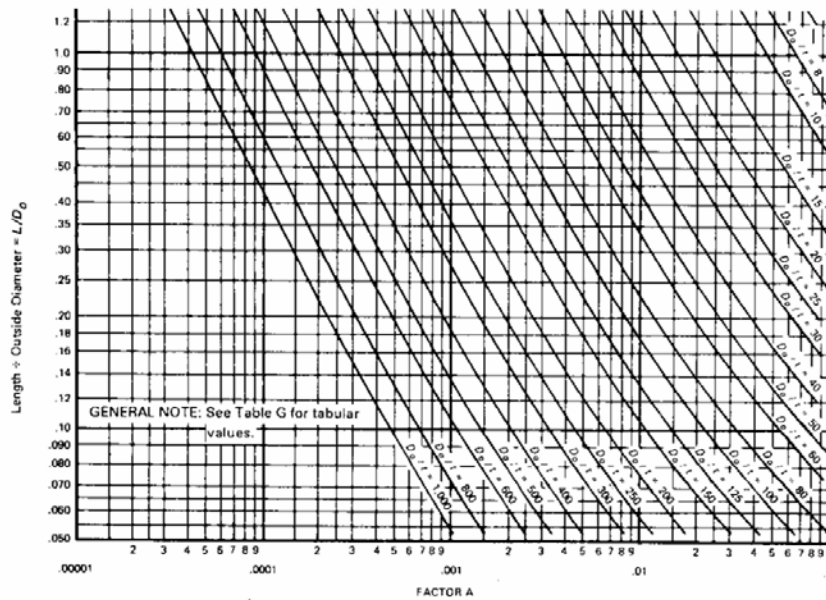


FIG. G GEOMETRIC CHART FOR COMPONENTS UNDER EXTERNAL OR COMPRESSIVE LOADINGS (for All Materials)

نمودار ۱۱-۱۳) فاکتور A



Fig. CS-1

1998 SECTION II

Fig. CS-2

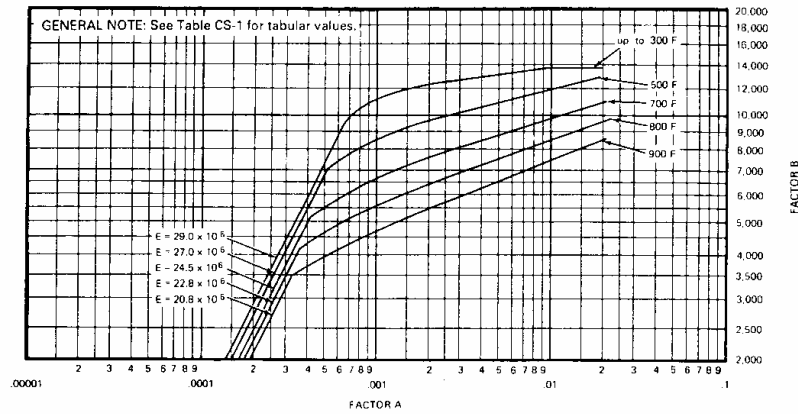


FIG. CS-1 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (Specified Minimum Yield Strength 24,000 psi to, but not including, 30,000 psi) [Note (1)]

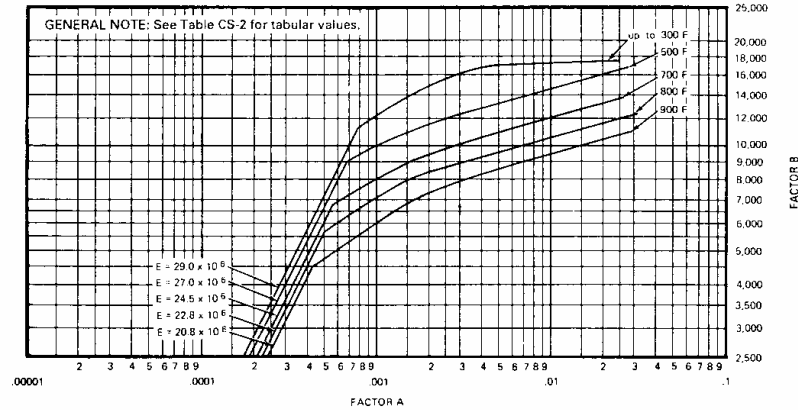


FIG. CS-2 CHART FOR DETERMINING SHELL THICKNESS OF COMPONENTS UNDER EXTERNAL PRESSURE WHEN CONSTRUCTED OF CARBON OR LOW ALLOY STEELS (Specified Minimum Yield Strength 30,000 psi and Over Except for Materials Within This Range Where Other Specific Charts Are Referenced) AND TYPE 405 AND TYPE 410 STAINLESS STEELS [Note (1)]

نمودار (۱۱-۱۴) فاکتور B

MODULI OF ELASTICITY AND TORSIONAL RIGIDITY FOR FERROUS MATERIAL

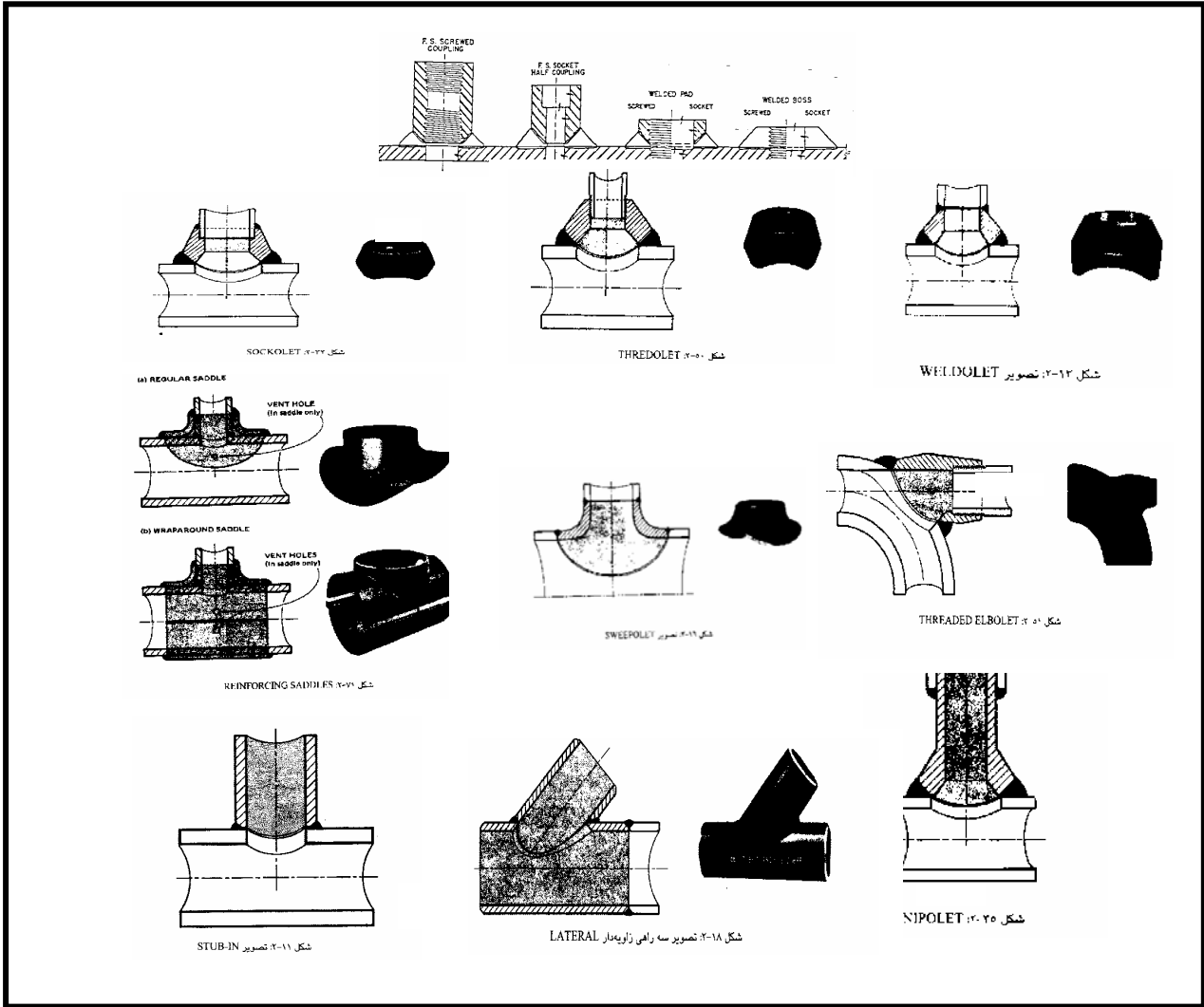
E = Modulus of Elasticity — Multiply Values by 10<sup>6</sup>

G = Modulus of Torsional Rigidity — Multiply Values by 10<sup>4</sup>

Material	Modulus	Temperature, Deg F													
		70	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Carbon steels with carbon content 0.30% or less	E	27.0	27.7	27.4	27.0	26.4	25.7	24.8	23.4	18.5	15.4	13.0			
	G	10.8	10.7	10.6	10.4	10.2	9.9	9.8	9.6	9.0	7.1	5.9	5.0		
Carbon steels with carbon content above 0.30%	E	29.0	29.5	29.0	28.3	27.4	26.7	25.4	23.8	21.5	18.8	15.6	11.2		
	G	11.6	11.4	11.2	10.9	10.7	10.3	9.8	9.2	8.3	7.2	5.7			
Carbon-Moly steels, low cr-moly steels through 3% cr.	E	29.0	29.5	29.0	28.6	28.0	27.4	26.6	25.7	24.5	23.0	20.4	15.0		
	G	11.6	11.4	11.2	11.0	10.8	10.6	10.2	9.9	9.4	8.8	7.8	5.9		
Intermediate cr-moly steels (5%-9% cr), austenitic stainless steel	E	27.4	27.1	26.8	26.4	26.0	25.4	24.0	21.2	23.5	22.8	21.0	20.8	19.5	18.1
	G	10.6	10.4	10.3	10.1	9.9	9.7	9.5	9.2	8.0	8.6	8.3	7.8	7.3	6.7
Straight chromium stainless steel (12 cr, 17 cr, 27 cr)	E	29.2	28.7	28.3	27.7	27.0	26.0	24.8	23.1	21.1	18.6	15.6	12.2		
	G	11.4	11.2	11.0	10.8	10.5	10.1	9.6	9.0	8.2	7.2	6.0	4.7		
Wrought iron	E	29.5	28.6	28.2	27.7	27.0	26.5	25.8	23.0						
	G	11.8	11.6	11.5	11.4	11.2	10.9	10.6	9.9						
Gray cast iron	E	13.4													
	G*		13.2	12.9	12.6	12.2	11.7	11.0	10.2						

\*No data available.

جدول (۱۱-۱۵) مدول الاستیسیته



شکل ۱۶-۱۱) انواع روشهای انشعاب گیری

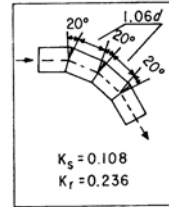
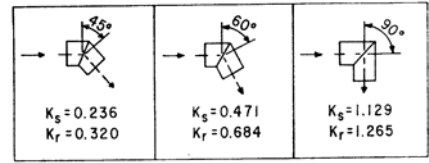
Table 3.3 Pressure Reduction Ratios in Per Cent for Unreinforced Intersections\*

Header Size \ Branch Size	1"	1½"	2"	2½"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"
1"	100														
1½"	100	100													
2"	100	100	89												
2½"	89	71	67	66											
3"	77	69	65	64	63										
4"	100	65	62	62	61	59									
6"	100	100	59	60	58	57	60								
8"	100	100	100	58	57	56	58	57							
10"	100	100	100	56	55	54	56	55	55						
12"	100	100	100	56	55	54	56	55	55	54					
14"	100	100	100	56	55	55	57	56	55	55	54				
16"	100	100	100	56	55	54	57	56	55	54	54	53			
18"	100	100	100	56	55	55	57	56	56	55	54	54	53		
20"	100	100	100	56	55	55	57	56	56	55	55	54	53	53	
24"	100	100	100	56	55	55	57	56	56	55	55	54	53	53	52

\*Based on the Code for Pressure Piping, ASA D31.1 for: standard weight pipe with 0.1 corrosion allowance; leg of fillet weld = ¼" for branches 4" or smaller, and ⅜" for larger branch sizes.

شکل ۱۷-۱۱) انشعاب گیری بدون صفحه تقویتی

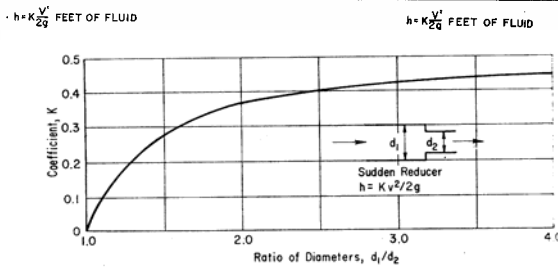
	BELL-MOUTH INLET OR REDUCER K = 0.04-0.05		REGULAR SCREWED 45° ELBOW K = 0.30-0.42		COMPOSITION DISC GLOBE VALVE K = 5.2-7.3		ANGLE VALVE K = 2.1-3.1
	SQUARE EDGED INLET K = 0.47-0.56		LONG RADIUS FLANGED 45° ELBOW K = 0.18-0.20		BEVEL SEAT GLOBE VALVE K = 6.5-7.2		Y OR BLOW OFF VALVE K = 2.9
	INWARD PROJECTING PIPE K = 0.62-1.0		SCREWED RETURN BEND GLOBE-PATTERN K = 0.75-2.2		PLUG DISC GLOBE VALVE K = 7.2-10.3		FOOT VALVE K ≈ 15
NOTE: K DECREASES WITH INCREASING WALL THICKNESS OF PIPE AND ROUNDING OF EDGES			FLANGED RETURN BEND COMPOSED OF TWO 90° FLANGED ELBOWS REGULAR K = 0.38 LONG RADIUS K = 0.25		WEDGE DISC GATE VALVE K = 0.05-0.19	COUPLINGS AND UNIONS K = 0.02-0.07	
	REGULAR SCREWED 90° ELBOW K = 0.55-0.90		STANDARD SCREWED TEE BRANCH BLANKED OFF K = 0.4		DOUBLE DISC GATE VALVE K = 0.08-0.13	REDUCING BUSHING AND COUPLING	
	LONG RADIUS SCREWED 90° ELBOW K = 0.22-0.60		LINE BLANKED OFF FLOW FROM LINE TO BRANCH K = 0.85-1.3 FLOW FROM BRANCH TO LINE K = 0.92-2.15		SWING CHECK VALVE K = 0.6-2.3	USED AS REDUCER K = 0.05-2.0 SEE ALSO FIG. 22 USED AS INCREASER LOSS IS UP TO 40% MORE THAN THAT CAUSED BY A SUDDEN ENLARGEMENT.	
	REGULAR FLANGED 90° ELBOW K = 0.21-0.30		LONG RADIUS SCREWED TEE		HORIZONTAL (LIFT) CHECK VALVE K = 8-12	SUDDEN ENLARGEMENT	
	LONG RADIUS FLANGED 90° ELBOW K = 0.14-0.23		LINE BLANKED OFF FLOW FROM LINE TO BRANCH K = 0.37-0.80 FLOW FROM BRANCH TO LINE K = 0.50-0.52		BALL CHECK VALVE K = 65-70	$h = K \frac{V^2}{2g}$ FEET OF FLUID $h = \frac{V^2 - V_1^2}{2g}$ FEET OF FLUID SEE ALSO EQUATION (9) IF $A_1 \neq A_2$ SO THAT $V_1 \neq V_2$ $h = \frac{V_1^2}{2g}$ FEET OF FLUID	



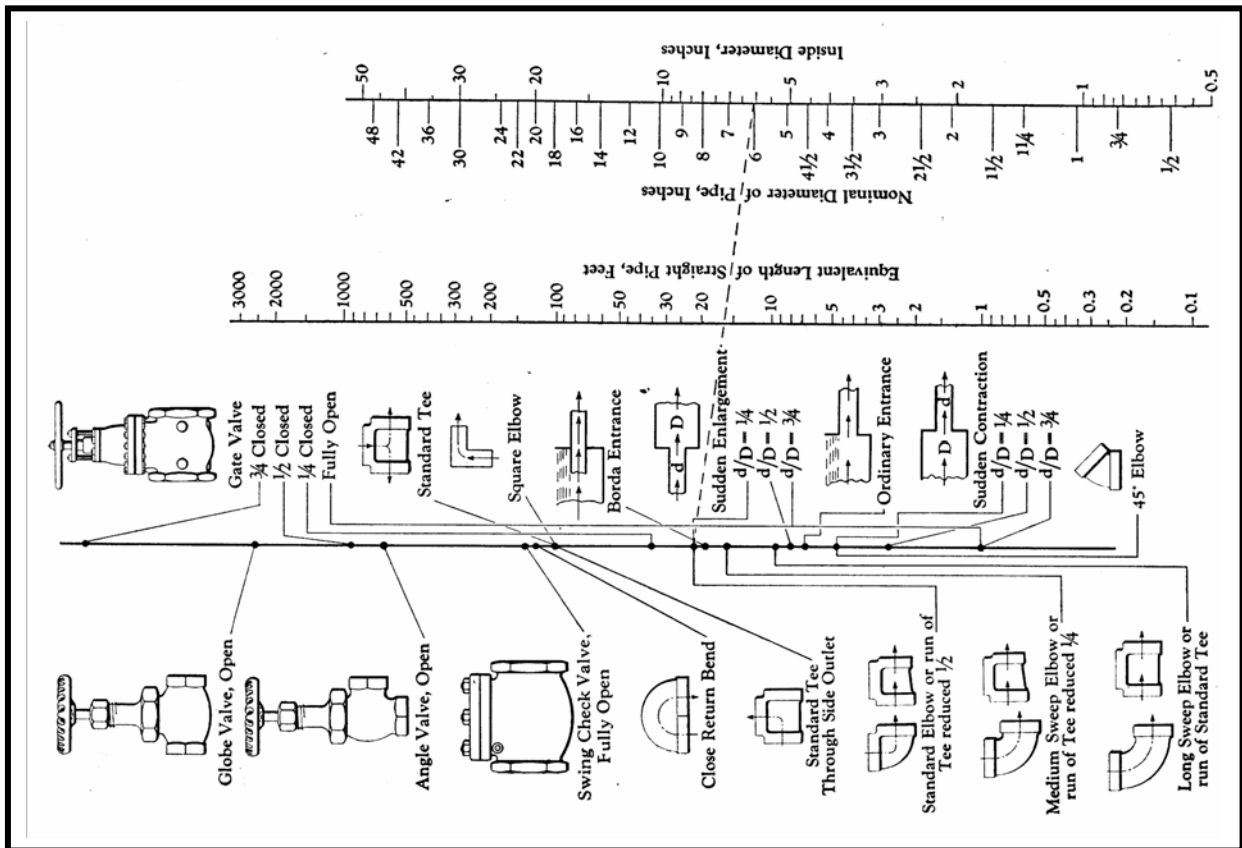
a/d	K <sub>s</sub>	K <sub>r</sub>
1.23	0.195	0.347
1.44	0.196	0.320
1.67	0.150	0.300
1.70	0.149	0.299
1.91	0.154	0.312
2.37	0.167	0.337
2.96	0.172	0.342
4.11	0.190	0.354
4.70	0.192	0.360
6.10	0.201	0.360

Note: K values for 3-Miter, 90° Bend only 25-30% lower than above values.

K<sub>s</sub> = Resistance Coefficient for Smooth surface  
 K<sub>r</sub> = Resistance Coefficient for Rough surface,  $\frac{f}{d} = 0.0022$



جدول ۱۸-۱۱) ضریب K



نموگرام ۱۹-۱۱) طول معادل

**Sizing Cooling Water Piping in New Plants**  
Maximum Allowable Flow, Velocity and Pressure Drop

Pipe Size in.	LATERALS			MAINS		
	Flow GPM	Vel. ft/sec.	ΔP ft/100'	Flow GPM	Vel. ft/sec.	ΔP ft/100'
3	100	4.34	4.47	70	3.04	2.31
4	200	5.05	4.29	140	3.53	2.22
6	500	5.56	3.19	380	4.22	1.92
8	900	5.77	2.48	650	4.17	1.36
10	1,500	6.10	2.11	1,100	4.48	1.19
12	2,400	6.81	2.10	1,800	5.11	1.23
14	3,100	7.20	2.10	2,200	5.13	1.14
16	4,500	7.91	2.09	3,300	5.30	1.16
18	6,000	8.31	1.99	4,500	5.23	1.17
20	—	—	—	6,000	5.57	1.17
24	—	—	—	11,000	7.32	1.19
30	—	—	—	19,000	8.57	1.11

**Sizing Steam Piping in New Plants**  
Maximum Allowable Flow and Pressure Drop

Nominal Pipe Size, in.	Maximum Lb/Hr × 10 <sup>-3</sup>					
	Laterals			Mains		
Pressure, PSIG	600	175	30	600	175	30
Density, #/CF	0.91	0.41	0.106	0.91	1.41	0.106
ΔP, PSU/100'	1.0	0.70	0.50	0.70	0.40	0.30
3	7.5	3.6	1.2	6.2	2.7	0.9
4	15	7.5	3.2	12	5.7	2.5
6	40	21	8.5	33	16	6.6
8	76	42	18	63	32	14
10	130	76	32	108	58	25
12	190	115	50	158	87	39
14	260	155	70	217	117	54
16	360	220	100	300	166	78
18	...	300	130	...	227	101
20	...	...	170	...	...	132

Note:

- (1) 600 PSIG steam is at 750°F, 175 PSIG and 30 PSIG are saturated.
- (2) On 600 PSIG flow ratings, internal pipe sizes for larger nominal diameters were taken as follows: 18/16.5", 14/12.8", 12/11.6", 10/9.75".
- (3) If other actual I.D. pipe sizes are used, or if local superheat exists on 175 PSIG or 20 PSIG systems, the allowable pressure drop shall be the governing design criterion.

**Sizing Piping for Miscellaneous Fluids**

Dry Gas	100 ft/sec
Wet Gas	60 ft/sec
High Pressure Steam	150 ft/sec
Low Pressure Steam	100 ft/sec
Air	100 ft/sec
Vapor Lines General	Max. velocity 0.3 mach 0.5 psi/100 ft
Light Volatile Liquid Near Bubble Pt. Pump Suction	0.5 ft head total suction line
Pump Discharge, Tower Reflux	3-5 psi/100 ft
Hot Oil Headers	1.5 psi/100 ft
Vacuum Vapor Lines below 50 MM Absolute Pressure	Allow max. of 5% absolute pressure for friction loss

جدول ۲۰-۱۱) سرعت مجاز و افت فشار در لوله

**Suggested Fluid Velocities in Pipe and Tubing**  
(Liquids, Gases, and Vapors at Low Pressures to 50 psig and 50°F-100°F)

The velocities are suggestive only and are to be used to approximate line size as a starting point for pressure drop calculations. The final line size should be such as to give an economical balance between pressure drop and reasonable velocity.

Fluid	Suggested Trial Velocity	Pipe Material	Fluid	Suggested Trial Velocity	Pipe Material
Acetylene (Observe pressure limitations)	4000 fpm	Steel	Sodium Hydroxide	5 fps	Steel and Nickel
Air, 0 to 30 psig	4000 fpm	Steel	0-30 Percent	5 fps	
Ammonia			30-50 Percent	4	
Liquid	6 fps	Steel	50-73 Percent		
Gas	6000 fpm	Steel	Sodium Chloride Sol'n.	5 fps	Steel
Benzene	6 fps	Steel	No Solids	6 Min.-15 Max.)	Monel or nickel
Bromine			With Solids	7.5 fps	
Liquid	4 fps	Glass	Perchloroethylene	6 fps	Steel
Gas	2000 fpm	Glass	Steam		
Calcium Chloride	4 fps	Steel	0-30 psi Saturated*	4000-6000 fpm	Steel
Carbon Tetrachloride	6 fps	Steel	30-150 psi Saturated or superheated*		
Chlorine (Dry)			150 psi up superheated	8000-10000 fpm	
Liquid	5 fps	Steel, Sch. 80	*Short lines	6500-15000 fpm	
Gas	2000-5000 fpm	Steel, Sch. 80	Sulfuric Acid	15,000 fpm (max.)	
Chloroform			88-93 Percent	4 fps	S. S.-316, Lead Cast Iron & Steel, Sch. 80
Liquid	6 fps	Copper & Steel	93-100 Percent	4 fps	
Gas	2000 fpm	Copper & Steel	Sulfur Dioxide	4000 fpm	Steel
Ethylene Gas	6000 fpm	Steel	Styrene	6 fps	Steel
Ethylene Dichloride	4 fps	Glass	Trichloroethylene	6 fps	Steel
Ethylene Dichloride	6 fps	Steel	Vinyl Chloride	6 fps	Steel
Ethylene Glycol	6 fps	Steel	Vinylidene Chloride	6 fps	Steel
Hydrogen	4000 fpm	Steel	Water		
Hydrochloric Acid			Average service	3-8 (avg. 6) fps	Steel
Liquid	5 fps	Rubber Lined	Boiler feed	4-12 fps	Steel
Gas	4000 fpm	R. L., Saran, Havg	Pump suction lines	1-5 fps	Steel
Methyl Chloride			Maximum economical (usual)	7-10 fps	Steel
Liquid	6 fps	Steel	Sea and brackish water, lined pipe	5-8 fps 3	R. L., concrete, enamel-lined, saran-lined, transite
Gas	4000 fpm	Steel	Concrete	5-12 fps (Min.)	
Natural Gas	6000 fpm	Steel			
Oils, lubricating	6 fps	Steel			
Oxygen (ambient temp.) (Low temp.)	1800 fpm Max. 4000 fpm	Steel (300 psig Max.) Type 304 SS			
Propylene Glycol	5 fps	Steel			

Note: R. L. = Rubber-lined steel.

**Typical Design Vapor Velocities\* (ft./sec.)**

Fluid	Line Sizes		
	≤6"	8"-12"	≥14"
Saturated Vapor			
0 to 50 psig	30-115	50-125	60-145
Gas or Superheated Vapor			
0 to 10 psig	50-140	90-190	110-250
11 to 100 psig	40-115	75-165	95-225
101 to 900 psig	30-85	60-150	85-165

\*Values listed are guides, and final line sizes and flow velocities must be determined by appropriate calculations to suit circumstances. Vacuum lines are not included in the table, but usually tolerate higher velocities. High vacuum conditions require careful pressure drop evaluation.

**Usual Allowable Velocities for Duct and Piping Systems\***

Service/Application	Velocity, ft./min.
Forced draft ducts	2,500-3,500
Induced-draft flues and breeching	2,000-3,000
Chimneys and stacks	2,000
Water lines (max.)	600
High pressure steam lines	10,000
Low pressure steam lines	12,000-15,000
Vacuum steam lines	25,000
Compressed air lines	2,000
Refrigerant vapor lines	
High pressure	1,000-3,000
Low pressure	2,000-5,000
Refrigerant liquid	200
Brine lines	400
Ventilating ducts	1,200-3,000
Register grilles	500

\*Chemical Engineer's Handbook, 3rd Ed., p. 1642, McGraw-Hill Book Co., New York, N.Y.

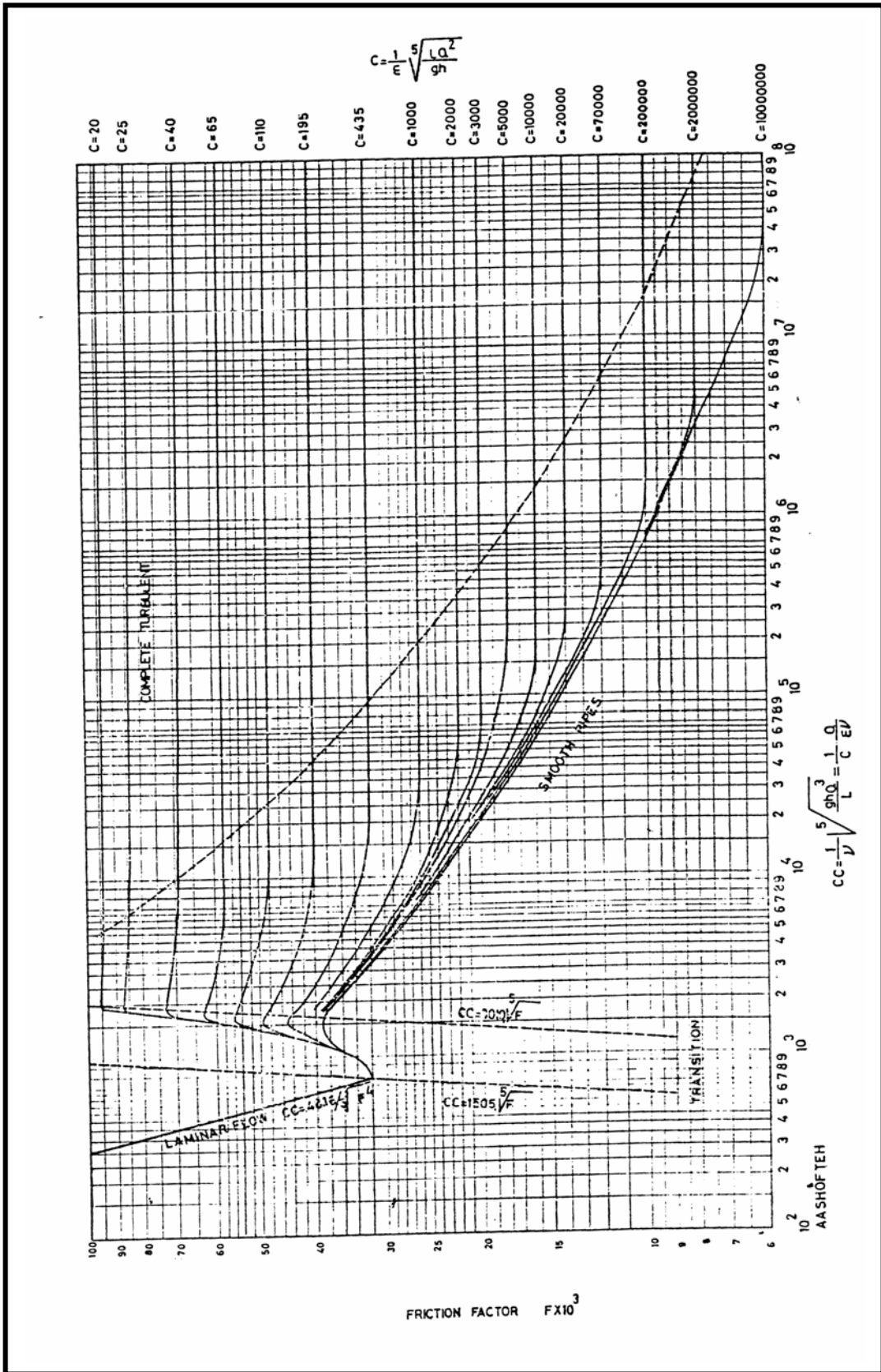
**Typical Design\* Velocities for Process Systems Applications**

Service	Velocity, ft./sec.
Average liquid process	4-6.5
Pump suction (except boiling)	1-5
Pump suction, (boiling)	1.5-3
Boiler feed water (disch., pressure)	4-8
Drain lines	1.5-4
Liquid to reboiler (no pump)	2-7
Vapor-liquid mixture out reboiler	15-30
Vapor to condenser	15-30
Gravity separator flows	1.5-1.5

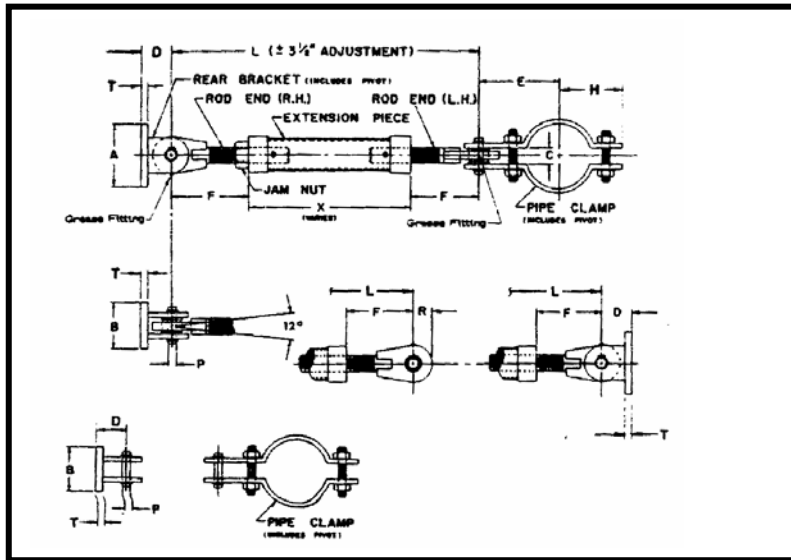
\*To be used as guide, pressure drop and system environment govern final selection of pipe size. For heavy and viscous fluids, velocities should be reduced to about 1/4 values shown. Fluids not to contain suspended solid particles.

**Suggested Steam Pipe Velocities in Pipe Connecting to Steam Turbines**

Service—Steam	Typical range, ft./sec.
Inlet to turbine	100-150
Exhaust, non-condensing	175-200
Exhaust, condensing	400-500



نمودار ۲۱-۱۱) تعیین مقدار



شکل ۲۲-۱۱) نگهدارنده RIGID STRUT

ALLOWABLE PIPE SPANS										
BASED ON USING ASTM A53 GR.B. PIPE FILLED WITH WATER										
PIPE SIZE		WALL THK.	93°C & UNDER LIMITING STRESS=5000 Psi (UNINSUL.)				93°C-315° LIMITING STRESS=4325 Psi (INSULATED)			
DN	NPS		MAXIMUM		RECOMMENDED		MAXIMUM		RECOMMENDED	
			SPAN	DEFLECTION	SPAN	DEFLECTION	SPAN	DEFLECTION	SPAN	DEFLECTION
20	3/4"	3.91	4400	19	3600	9	3600	12	3000	6
25	1"	4.55	5000	20	4300	11	4200	13	3700	8
40	1 1/2"	5.08	6000	20	5400	14	5200	14	4700	10
50	2"	5.54	6700	20	6000	13	5800	13	5300	10
80	3"	5.49	7800	18	7100	13	6900	13	6400	10
100	4"	6.02	8700	18	8000	13	7800	13	7200	10
150	6"	7.11	10200	17	9500	13	9000	12	8300	9
200	8"	8.18	11300	16	10500	12	10200	12	9400	9
250	10"	9.27	12400	15	11400	11	11200	12	10500	9
300	12"	9.53	13100	14	11900	10	11800	11	10900	8
350	14"	9.53	13400	14	12400	10	12100	10	11300	8
400	16"	9.53	13800	13	13000	10	12600	10	11900	8
450	18"	9.53	14200	12	13200	9	12900	9	12000	7
500	20"	9.53	14500	11	13300	8	13200	9	12500	7
600	24"	9.53	14900	10	14100	8	13700	8	12800	6

جدول ۲۳-۱۱) فواصل مجاز تکیه گاهی

THEMAL EXPANSION DATA

A = Mean Coefficient of Thermal Expansion  $\times 10^6$  (In./In./F) } in Going from 70 F to Indicated Temperature  
 B = Linear Thermal Expansion (In./100 Ft)

Material	Coeff- cient	Temperature Range — 70 F to													
		70	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Carbon steel; Carbon-moly steel low-chrome steels (thru 3% cr.)	A	..	6.38	6.60	6.82	7.02	7.23	7.44	7.65	7.84	7.97	8.12	8.14	8.28	8.36
	B	0	0.09	1.82	2.70	3.62	4.60	5.63	6.70	7.81	8.89	10.04	11.10	12.22	13.34
Intermediate alloy steels; 5 Cr. Mo. thru 9 Cr. Mo.	A	..	6.04	6.10	6.34	6.50	6.66	6.80	6.96	7.10	7.22	7.32	7.41	7.49	7.55
	B	0	0.04	1.71	2.50	3.35	4.24	5.14	6.10	7.07	8.06	9.05	10.00	11.00	12.05
Austenitic stainless steels	A	..	9.34	0.47	9.59	9.70	9.82	9.92	10.05	10.16	10.29	10.39	10.48	10.54	10.60
	B	0	1.40	2.61	3.80	5.01	6.24	7.50	8.80	10.12	11.48	12.84	14.20	15.56	16.92
Straight chromium stainless steels; 12 Cr, 17 Cr. and 27 Cr.	A	..	5.50	5.60	5.81	5.96	6.13	6.26	6.39	6.52	6.63	6.72	6.78	6.85	6.90
	B	0	0.86	1.66	2.30	3.08	3.90	4.73	5.60	6.40	7.40	8.31	9.20	10.11	11.01
25 Cr. - 20 Ni.	A	..	7.70	7.02	8.08	8.22	8.38	8.52	8.68	8.81	8.92	9.00	9.08	9.12	9.18
	B	0	1.21	2.18	3.20	4.24	5.33	6.44	7.60	8.78	9.95	11.12	12.31	13.46	14.65
Monel 67 Ni. - 30 Cu.	A	..	7.84	8.02	8.20	8.40	8.58	8.78	8.96	9.16	9.34	9.52	9.70	9.88	10.04
	B	0	1.22	2.21	3.25	4.33	5.46	6.64	7.85	9.12	10.42	11.77	13.15	14.58	16.02
Monel 66 Ni. - 29 Cu. Al.	A	..	7.48	7.68	7.90	8.09	8.30	8.50	8.70	8.90	9.10	9.30	9.50	9.70	9.89
	B	0	1.17	2.12	3.13	4.17	5.28	6.43	7.62	8.86	10.16	11.50	13.00	14.32	15.78
Aluminum	A	..	12.95	13.28	13.60	13.90	14.20	..	..	..	..	..	..	..	..
	B	0	2.00	3.66	5.39	7.17	9.03	..	..	..	..	..	..	..	..
Gray cast iron	A	..	5.75	5.93	6.10	6.28	6.47	6.65	6.83	7.00	7.19	..	..	..	..
	B	0	0.90	1.64	2.42	3.24	4.11	5.03	5.98	6.97	8.02	..	..	..	..
Bronze	A	..	10.03	10.12	10.23	10.32	10.44	10.52	10.62	10.72	10.80	10.90	11.00	..	..
	B	0	1.56	2.79	4.05	5.33	6.64	7.95	9.30	10.68	12.05	13.47	14.92	..	..
Brass	A	..	9.76	10.00	10.23	10.47	10.69	10.92	11.16	11.40	11.63	11.85	12.09	..	..
	B	0	1.52	2.76	4.05	5.40	6.80	8.26	9.78	11.35	12.98	14.65	16.39	..	..
Wrought iron	A	..	7.32	7.48	7.61	7.73	7.88	8.01	8.13	8.29	8.39	..	..	..	..
	B	0	1.14	2.06	3.01	3.99	5.01	6.08	7.12	8.26	9.36	..	..	..	..
Copper-Nickel (70-30)	A	..	8.54	8.71	8.90	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	B	0	1.33	2.40	3.52	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

جدول ۲۴-۱۱) ضریب انبساط طولی لوله

**LINE INERTIAS**

When determining the location of the centroid of a system and the value of the inertias it is necessary to consider each uniform segment individually. The value of each segment is a function of its length, shape, and location applied at its center of gravity. For convenience apply all dimensions in feet and decimals.

**CENTROID**  
The centroid of a system is located by the algebraic summation of the individual product—segment value times the normal distance from axis to c.g.  
Note: Algebraic summation means normal distances may be plus or minus and must be considered in adding results.

**ENTER OF GRAVITY OF LINE SEGMENTS (c.g.)**

**Right Line**  

$$= Lz' \quad (\text{Eq. I})$$

**90° Bend**

**Any Bend**  

$$A = \frac{2L \sin \frac{\theta}{2} (\sin \theta_1 + \theta_1)}{(\theta_2 - \theta_1)}$$

$$B = A \sin \frac{\theta}{2} (\sin \theta_1 + \theta_1)$$

$$C = A \cos \frac{\theta}{2} (\sin \theta_1 + \theta_1)$$

$$D = B - C$$

**Straight Line Perpendicular to Plane of Projection**  

$$= 1.3Lz' \quad (\text{Eq. II})$$

**90° Bend in Plane of Projection**  

$$= 1.57LRz' \quad (\text{Eq. III})$$

Note: The factor 1.3 accounts for the torsional displacement of the member.  
 Note: For values of theta see pages 10 to 14.

Angle	Sine	Cosine
180 to 270	-	+
270 to 360	+	-

**Any Bend in Plane of Projection**  

$$= L(z_2 - \theta_1)z' \quad (\text{Eq. IV})$$

**Straight Line in Plane of Projection Parallel to Either Axis**  

$$I_{xy} = Lxy \quad (\text{Eq. VI})$$

Note: theta1 and theta2 are expressed in radians.  
 1° = 0.01745 radians.

**90° Bend Perpendicular to Plane of Projection**  

$$= 1.15 \frac{\pi R}{2} z' = 1.81Rz' \quad (\text{Eq. V})$$

**Straight Line in Plane of Projection Inclined to Axes**  

$$I_{xy} = Lz' \frac{\sin 2\theta}{24} + Lxy \quad (\text{Eq. VII})$$

Note: Sin 2theta may be + or -. Measure angle theta from the +X axis toward the +Y axis for the proper sign. For values of theta see page 61.

**Straight Line Perpendicular to Plane of Projection**  

$$I_{xy} = 1.3Lxy \quad (\text{Eq. VIII})$$

**PRODUCT OF INERTIA**  
 The product of inertia of an element is its length multiplied by its distances from two axes. The product of inertia of an entire branch is the sum of all of these products. Since distances x and y may have + or - signs the result will be positive or negative.  
 The following formulas give Product of Inertia for various line segments:

شکل ۲۵-۱۱) مشخصات هندسی



90° Bend in Plane of Projection about Axes through c.g.      90° Bend in Plane of Projection about Axes not through c.g.

Case 1: Where both + axes intersect arc

or where both + axes intersect radial lines.

$$I_{xx} = \pm k(0.137R^2) + k \frac{\pi R^2}{2} xy \quad (\text{Eq. X})$$

$$= \pm k(0.137R^2) + 1.57kR^2xy$$

See Eq. IX A or Eq. IX B above for proper sign.

$$I_{yy} = -k(0.137R^2) \quad (\text{Eq. IX A})$$

Case 2: Where one + axis intersects arc and one + axis intersects radial line.

90° Bend Perpendicular to Plane of Projection

$$I_{xx} = +k(0.137R^2) \quad (\text{Eq. IX B})$$

$$I_{yy} = 1.13 \frac{\pi R^2}{2} xy$$

$$= 1.81kxy$$

Note: Values of 0.137R<sup>2</sup> are tabulated on page 40.

Straight Line Perpendicular to Plane of Projection

$$I_x = 1.3Lx^2 \quad (\text{Eq. XVI})$$

$$I_y = 1.3Ly^2$$

Any Bend in Plane of Projection about Axes through Center of Curvature

$$I_x = k \left[ (\theta_2 - \theta_1) - \frac{(\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1)}{2} \right] \frac{R^2}{2} \quad (\text{Eq. XIX A})$$

$$I_y = k \left[ (\theta_2 - \theta_1) + \frac{(\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1)}{2} \right] \frac{R^2}{2} \quad (\text{Eq. XIX B})$$

Any Bend in Plane of Projection about Axes not through Center of Curvature

Note: For values of B and C see page 44.

$$I_x = k \left[ (\theta_2 - \theta_1) - \frac{(\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1)}{2} \right] \frac{R^2}{2} - L(B^2 - y^2) \quad (\text{Eq. XX A})$$

$$I_y = k \left[ (\theta_2 - \theta_1) + \frac{(\sin 2\theta_2 - \sin 2\theta_1)}{2} \right] \frac{R^2}{2} - L(C^2 - x^2) \quad (\text{Eq. XX B})$$

Note: In the above two bends measure angles from the +Y axis toward the +X axis for proper sign. When the terms  $\theta_1$  and  $\theta_2$  appear independent of sine or cosine they are expressed in radians.  $1^\circ = 0.01745$  radians.

$$I_x = 1.13 \frac{\pi R^2}{2} y^2 \quad (\text{Eq. XVIII A})$$

$$= 1.81kR^2 y^2 \quad (\text{parallel to axis})$$

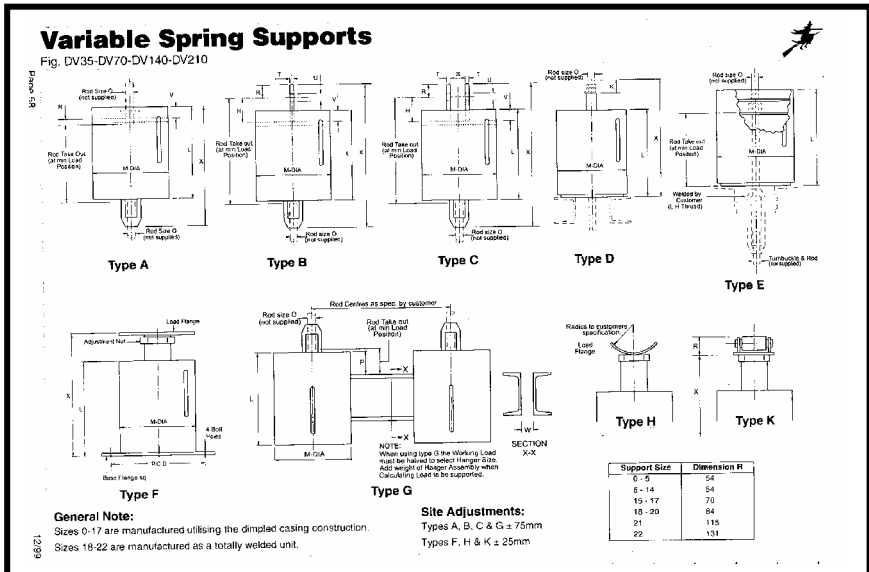
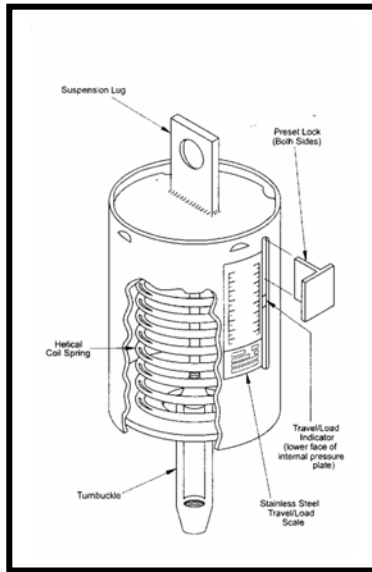
$$I_x = 1.13(0.137R^2) \pm 1.81kR^2 \quad (\text{non-perpendicular to axis})$$

Note:  $\frac{1}{2}$  inch  $\frac{1}{8}$  inch

ادامه شکل ۲۵-۱۱) مشخصات هندسی

**PIPING WEIGHTS**  
(KILOGRAMS)

PIPE SIZE	50			65			80			100		
	STD.	XH	XXH	STD.	XH	XXH	STD.	XH	XXH	STD.	XH	XXH
FITTINGS/SCH.	0.8	1.0	2.2	1.5	1.9	3.2	2.2	2.9	5.1	4.0	5.9	9.7
ELB.90 DEGLR.	0.4	0.7	1.0	0.8	1.0	1.7	1.4	1.7	2.6	2.7	4.9	3.5
ELB.90 DEGR.	0.4	0.5	1.0	0.7	1.0	1.7	1.1	1.5	2.2	2.7	4.9	3.5
ELB.45 DEGLR.	1.4	1.5	2.4	2.5	3.1	4.4	3.5	4.2	5.9	6.4	7.9	11.3
TEE	0.5	0.5	0.9	0.7	0.9	1.5	0.9	1.1	2.1	1.6	2.0	3.7
REDUCER	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.0	1.6	3.0	1.0
CAP.	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00
FLANG./CLASS.	2.7	4.1	5.4	3.6	5.4	8.2	4.5	6.8	10.4	6.8	11.3	19.1
WELDNECK	2.3	3.2	4.1	3.2	4.5	5.9	3.6	5.9	7.3	5.9	10.0	16.8
S.O./THR.	1.8	3.6	4.5	3.2	5.4	6.8	4.1	7.3	9.1	7.7	12.2	18.6
BLIND.	18.1	29.5	36.3	27.2	45.4	47.6	31.8	56.7	70.3	45.4	79.4	145.7
VALVES/FLANG.	13.6	20.4	38.6	22.7	31.8	54.4	27.2	43.1	70.3	43.1	65.8	111.3
GATE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
GLOBE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
CHECK	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
PIPE SIZE	200											
FITTINGS/SCH.	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	3.0	2.0	2.5	3.5	2.5	3.0	4.0
ELB.90 DEGLR.	0.4	0.6	1.0	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4
ELB.90 DEGR.	0.4	0.5	1.0	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4
ELB.45 DEGLR.	1.4	1.5	2.4	2.5	3.1	4.4	3.5	4.2	5.9	6.4	7.9	11.3
TEE	0.5	0.5	0.9	0.7	0.9	1.5	0.9	1.1	2.1	1.6	2.0	3.7
REDUCER	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.0	1.6	3.0	1.0
CAP.	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00
FLANG./CLASS.	2.7	4.1	5.4	3.6	5.4	8.2	4.5	6.8	10.4	6.8	11.3	19.1
WELDNECK	2.3	3.2	4.1	3.2	4.5	5.9	3.6	5.9	7.3	5.9	10.0	16.8
S.O./THR.	1.8	3.6	4.5	3.2	5.4	6.8	4.1	7.3	9.1	7.7	12.2	18.6
BLIND.	18.1	29.5	36.3	27.2	45.4	47.6	31.8	56.7	70.3	45.4	79.4	145.7
VALVES/FLANG.	13.6	20.4	38.6	22.7	31.8	54.4	27.2	43.1	70.3	43.1	65.8	111.3
GATE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
GLOBE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
CHECK	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
PIPE SIZE	300											
FITTINGS/SCH.	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	3.0	2.0	2.5	3.5	2.5	3.0	4.0
ELB.90 DEGLR.	0.4	0.6	1.0	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4
ELB.90 DEGR.	0.4	0.5	1.0	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4
ELB.45 DEGLR.	1.4	1.5	2.4	2.5	3.1	4.4	3.5	4.2	5.9	6.4	7.9	11.3
TEE	0.5	0.5	0.9	0.7	0.9	1.5	0.9	1.1	2.1	1.6	2.0	3.7
REDUCER	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.0	1.6	3.0	1.0
CAP.	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00
FLANG./CLASS.	2.7	4.1	5.4	3.6	5.4	8.2	4.5	6.8	10.4	6.8	11.3	19.1
WELDNECK	2.3	3.2	4.1	3.2	4.5	5.9	3.6	5.9	7.3	5.9	10.0	16.8
S.O./THR.	1.8	3.6	4.5	3.2	5.4	6.8	4.1	7.3	9.1	7.7	12.2	18.6
BLIND.	18.1	29.5	36.3	27.2	45.4	47.6	31.8	56.7	70.3	45.4	79.4	145.7
VALVES/FLANG.	13.6	20.4	38.6	22.7	31.8	54.4	27.2	43.1	70.3	43.1	65.8	111.3
GATE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
GLOBE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
CHECK	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
PIPE SIZE	400											
FITTINGS/SCH.	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	3.0	2.0	2.5	3.5	2.5	3.0	4.0
ELB.90 DEGLR.	0.4	0.6	1.0	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4
ELB.90 DEGR.	0.4	0.5	1.0	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4
ELB.45 DEGLR.	1.4	1.5	2.4	2.5	3.1	4.4	3.5	4.2	5.9	6.4	7.9	11.3
TEE	0.5	0.5	0.9	0.7	0.9	1.5	0.9	1.1	2.1	1.6	2.0	3.7
REDUCER	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.0	1.6	3.0	1.0
CAP.	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00
FLANG./CLASS.	2.7	4.1	5.4	3.6	5.4	8.2	4.5	6.8	10.4	6.8	11.3	19.1
WELDNECK	2.3	3.2	4.1	3.2	4.5	5.9	3.6	5.9	7.3	5.9	10.0	16.8
S.O./THR.	1.8	3.6	4.5	3.2	5.4	6.8	4.1	7.3	9.1	7.7	12.2	18.6
BLIND.	18.1	29.5	36.3	27.2	45.4	47.6	31.8	56.7	70.3	45.4	79.4	145.7
VALVES/FLANG.	13.6	20.4	38.6	22.7	31.8	54.4	27.2	43.1	70.3	43.1	65.8	111.3
GATE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
GLOBE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
CHECK	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
PIPE SIZE	500											
FITTINGS/SCH.	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	3.0	2.0	2.5	3.5	2.5	3.0	4.0
ELB.90 DEGLR.	0.4	0.6	1.0	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4
ELB.90 DEGR.	0.4	0.5	1.0	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4
ELB.45 DEGLR.	1.4	1.5	2.4	2.5	3.1	4.4	3.5	4.2	5.9	6.4	7.9	11.3
TEE	0.5	0.5	0.9	0.7	0.9	1.5	0.9	1.1	2.1	1.6	2.0	3.7
REDUCER	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.0	1.6	3.0	1.0
CAP.	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00	1.50	3.00	6.00
FLANG./CLASS.	2.7	4.1	5.4	3.6	5.4	8.2	4.5	6.8	10.4	6.8	11.3	19.1
WELDNECK	2.3	3.2	4.1	3.2	4.5	5.9	3.6	5.9	7.3	5.9	10.0	16.8
S.O./THR.	1.8	3.6	4.5	3.2	5.4	6.8	4.1	7.3	9.1	7.7	12.2	18.6
BLIND.	18.1	29.5	36.3	27.2	45.4	47.6	31.8	56.7	70.3	45.4	79.4	145.7
VALVES/FLANG.	13.6	20.4	38.6	22.7	31.8	54.4	27.2	43.1	70.3	43.1	65.8	111.3
GATE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
GLOBE	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
CHECK	15.9	18.1	27.2	18.1	22.7	47.6	27.2	31.8	54.4	36.3	47.6	89.5
PIPE SIZE	600											
FITTINGS/SCH.	1.0	1.5	2.0	1.5	2.0	3.0	2.0	2.5	3.5	2.5	3.0	4.0
ELB.90 DEGLR.	0.4	0.6	1.0	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4	0.6	0.8	1.4
ELB.90 DEGR.	0.4	0.5	1.0	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4	0.5	0.7	1.4
ELB.45 DEGLR.	1.4	1.5	2.4	2.5	3.1	4.4	3.5	4.2	5.9	6.4	7.9	11.3
TEE	0.5	0.5	0.9	0.7	0.9	1.5	0.9	1.1	2.1	1.6	2.0	3.7
REDUCER	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.0	1.6	3.0	1.0
CAP.	1.5											



## Variable Spring Supports

Variable Support Selection Table

Loads in Newtons. Travel in mm

	DV 210	DV 140	DV 70	DV 35	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22						
Over Travel	30	20	10	5	196	292	375	468	552	635	718	801	884	967	1050	1133	1216	1300	1383	1466	1550	1633	1716	1800	1883	1966	2050	2133	2216				
					201	300	385	478	562	645	729	812	896	979	1062	1146	1229	1312	1396	1479	1562	1646	1729	1812	1896	1979	2062	2146	2229	2312	2396	2479	
					207	307	394	487	570	654	737	820	904	987	1070	1154	1237	1320	1404	1487	1570	1654	1737	1820	1904	1987	2070	2154	2237	2320	2404	2487	2570
					212	314	404	493	583	672	761	850	939	1028	1117	1206	1295	1384	1473	1562	1651	1740	1829	1918	2007	2096	2185	2274	2363	2452	2541	2630	2719
Min Working Load	0	0	0	0	222	329	423	517	611	705	799	893	987	1081	1175	1269	1363	1457	1551	1645	1739	1833	1927	2021	2115	2209	2303	2397	2491	2585			
					228	337	432	526	620	714	808	902	996	1090	1184	1278	1372	1466	1560	1654	1748	1842	1936	2030	2124	2218	2312	2406	2500	2594	2688	2782	2876
					233	344	441	537	634	730	826	922	1018	1114	1210	1306	1402	1498	1594	1690	1786	1882	1978	2074	2170	2266	2362	2458	2554	2650	2746	2842	2938
					243	351	451	548	645	742	839	936	1033	1130	1227	1324	1421	1518	1615	1712	1809	1906	2003	2100	2197	2294	2391	2488	2585	2682	2779	2876	2973
Recommended Working Range of Springs	30	20	10	5	249	356	470	583	696	809	922	1035	1148	1261	1374	1487	1600	1713	1826	1939	2052	2165	2278	2391	2504	2617	2730	2843	2956	3069			
					254	373	479	592	705	818	931	1044	1157	1270	1383	1496	1609	1722	1835	1948	2061	2174	2287	2400	2513	2626	2739	2852	2965	3078	3191	3304	
					259	381	489	602	715	828	941	1054	1167	1280	1393	1506	1619	1732	1845	1958	2071	2184	2297	2410	2523	2636	2749	2862	2975	3088	3201	3314	3427
					264	388	498	611	724	837	950	1063	1176	1289	1402	1515	1628	1741	1854	1967	2080	2193	2306	2419	2532	2645	2758	2871	2984	3097	3210	3323	3436
Max Working Load	60	40	20	10	270	395	508	621	734	847	960	1073	1186	1299	1412	1525	1638	1751	1864	1977	2090	2203	2316	2429	2542	2655	2768	2881	2994	3107			
					275	403	517	630	743	856	969	1082	1195	1308	1421	1534	1647	1760	1873	1986	2099	2212	2325	2438	2551	2664	2777	2890	3003	3116	3229	3342	
					280	410	527	644	761	878	995	1112	1229	1346	1463	1580	1697	1814	1931	2048	2165	2282	2399	2516	2633	2750	2867	2984	3101	3218	3335	3452	3569
					285	417	538	659	780	901	1022	1143	1264	1385	1506	1627	1748	1869	1990	2111	2232	2353	2474	2595	2716	2837	2958	3079	3200	3321	3442	3563	3684
Over Travel	30	20	10	5	291	425	546	667	788	909	1030	1151	1272	1393	1514	1635	1756	1877	1998	2119	2240	2361	2482	2603	2724	2845	2966	3087	3208	3329			
					296	432	555	676	797	918	1039	1160	1281	1402	1523	1644	1765	1886	2007	2128	2249	2370	2491	2612	2733	2854	2975	3096	3217	3338	3459	3580	
					301	438	564	685	806	927	1048	1169	1290	1411	1532	1653	1774	1895	2016	2137	2258	2379	2500	2621	2742	2863	2984	3105	3226	3347	3468	3589	
					306	446	574	695	816	937	1058	1179	1300	1421	1542	1663	1784	1905	2026	2147	2268	2389	2510	2631	2752	2873	2994	3115	3236	3357	3478	3599	



## Dynamic and Static Restraints

### SPRING SWAY BRACE

The Carpenter & Paterson spring sway brace has been designed in six sizes related to specific pipe sizes. For normal application it is permissible to select on the basis of pipe sizes and loads. When dealing with complex situations the unit should be selected on a calculated basis.

The amount of energy required to control the pipework should be proportional to the mass of the pipework. Factors such as the amplitude, frequency or vibration, the nature of the vibration and the angle of approach of the sway brace from the axis of movement should all be considered.

The unit comprises a pre-loaded spring which can be extended or compressed in order to give increasing resistance in both directions. This increase in resistance overcomes the dynamic forces generated by the equipment thereby damping vibrations, opposing sway and absorbing shock forces.

All units have 75 mm travel in both tension and compression direction.

Size range: 1 to 6  
 Preset loads: 23 kg to 820 kg  
 Maximum force: 90 kg to 3270 kg

### Standard Design Features

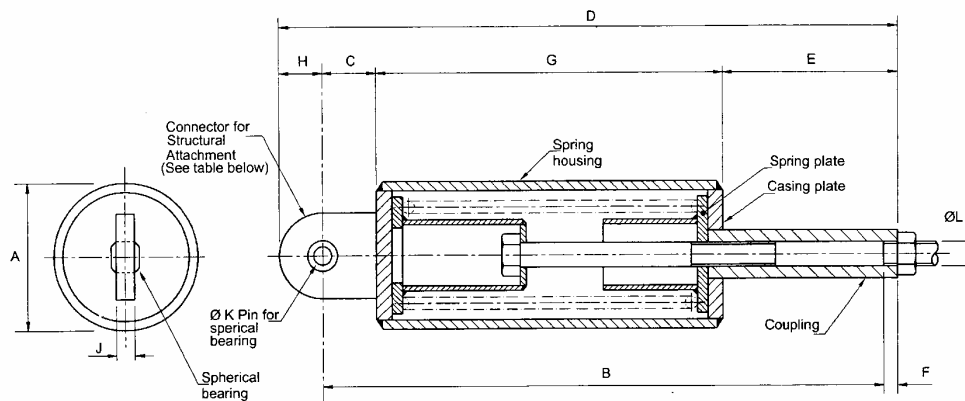
1. Compact design suitable for use in a confined space.
2. All units have 75 mm travel in either direction.
3. Vibration is opposed with an instantaneous counterforce returning the pipe to its normal position.
4. Rod coupling allows limited rate adjustment.
5. Standard finish - green enamel.
6. SB 45 Sway Brace and Vibration Control Unit is shipped ready for installation.

### Optional Features

1. Can be supplied galvanised with plastic coated spring.
2. Larger sizes can be custom-designed to suit client's requirements.

## Dynamic and Static Restraints

FIG. SB45



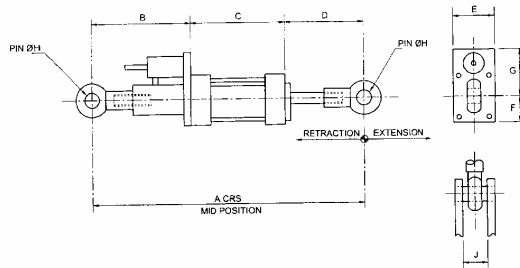
SPRING SWAY BRACE

Size	Pipe Size	Preload Kg	Spring Rate Kg/mm	Max Force kg	L	PIN DIA K	Plate Thick J	A	Rod Take Out B	C	D	E	F	G	H	Use with Structural Attachment
1	50-90	23	0.89	90	20	12	12	115	345	42	400	100	25	225	30	RSB 15
2	100-200	68	2.68	270	24	12	12	115	360	42	415	120	25	225	30	
3	225-600	204	8.04	815	24	12	12	115	450	42	505	150	25	280	30	RSB 55
4	225-600	400	16.07	1630	30	20	12	168	430	58	515	140	40	270	45	
5	225-600	614	24.48	2450	36	20	20	168	470	58	575	150	50	312	54	
6	225-600	820	32.66	3270	36	20	20	168	520	58	625	150	50	362	54	

For Details of Structural Attachments See Page 155

## Dynamic and Static Restraints

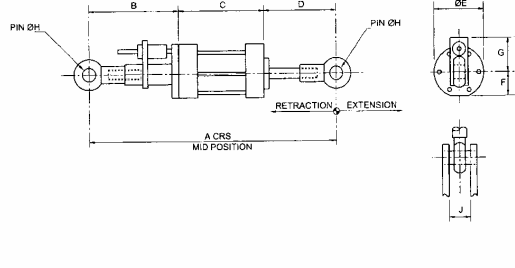
FIG. HS 2-3-4



HYDRAULIC SHOCK ARRESTOR

Type No	Bore	Max Force Kg	Stroke	A	B	C	D	E	F	G	H	J	Approx Weight Kg	Max Allowable Length
HS2/150	50	3000	150	787	309	273	209	80	40	75	25	60	14	1550
HS2/300	50	3000	300	1168	461	426	281	80	40	75	25	60	18	
HS2/450	50	3000	450	1548	613	578	357	80	40	75	25	60	22	1625
HS3/150	75	7000	150	861	319	324	218	108	54	113	25	60	32	
HS3/300	75	7000	300	1242	472	476	294	108	54	113	25	60	41	1700
HS3/450	75	7000	450	1623	624	630	369	108	54	113	25	60	50	
HS4/150	100	12500	150	696	360	330	216	136	68	121	35	80	58	1700
HS4/300	100	12500	300	1317	512	484	321	136	68	121	35	80	70	
HS4/450	100	12500	450	1698	665	636	397	136	68	121	35	80	82	

FIG. HS 5-6



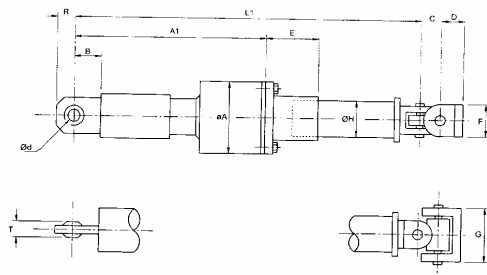
HYDRAULIC SHOCK ARRESTOR

Type No	Bore	Max Force Kg	Stroke	A	B	C	D	E	F	G	H	J	Approx Weight Kg	Max Allowable Length
HS5/150	125	19000	150	1000	389	344	268	204	95	124	45	95	165	2300
HS5/300	125	19000	300	1382	542	496	344	204	95	124	45	95	116	
HS5/450	125	19000	450	1762	694	648	420	204	95	124	45	95	127	2360
HS6/150	150	27000	150	1050	414	344	292	241	108	135	50	110	140	
HS6/300	150	27000	300	1431	566	496	359	241	108	135	50	110	161	2360
HS6/450	150	27000	450	1863	770	648	445	241	108	135	50	110	182	

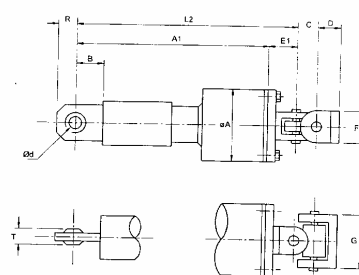
### HYDRAULIC SNUBBER (شکل ۳۰-۱۱)

## Dynamic and Static Restraints

Dimensions of Mechanical Snubber Assembly



Assembly Type A



Assembly Type B

A1, L1 and L2: Dimension with pre-set at the centre of total stroke range.

Unit : mm

Size	A	B	C	D	E	E1	F	G	H	R	T	d	A1 Stroke		L1 (Min) Stroke			L1 (Max) Stroke			L2 Stroke			
													100	160	100	160	250	100	160	250	100	160	250	
005	58	18	15	30	176		30	47	21.7	15	20.5	10	300	390	525	560	650	785	810	900	1035	100	160	250
01	92	28	15	40	66	50	36	62	27.2	25	22.0	12	365	455	590	530	620	755	930	1020	1155	430	520	655
03	102	28	15	40	66	50	36	62	27.2	25	22.0	12	365	455	590	530	620	755	930	1020	1155	430	520	655
06	123	28	15	40	91	50	36	62	34.0	25	22.0	12	365	455	590	560	650	785	1130	1220	1355	430	520	655
1	140	31	20	60	94	65	50	88	42.7	30	26.0	15	430	520	655	650	740	875	1500	1590	1725	515	605	740
3	155	41	25	70	116	75	60	101	60.5	35	31.5	17	465	555	690	725	815	950	1590	1680	1815	565	655	790
6	191	49	40	85	132	95	75	129	76.3	45	34.0	25	505	595	730	815	905	1040	1945	2035	2170	640	730	865
10	208	71	45	100	166	115	100	162	89.1	56	38.0	30	575	665	800	950	1040	1175	2220	2310	2445	735	825	960
16	278	82	60	120	199	135	130	203	114.3	63	47.0	40	650	740	875	1095	1185	1320	2610	2700	2835	845	935	1070
25	304	111	70	150	245	175	150	245	139.8	90	68.0	50	750	840	975	1295	1385	1520	2720	2810	2945	995	1085	1220
40	355	143	85	180	240	213	170	330	216.3	100	76.0	60	870	960	1095	1425	1515	1650	3170	3260	3395	1083	1173	1308
60	400	168	102	205	250	255	220	385	216.3	125	86.0	70	960	1050	1185	1565	1655	1790	3260	3350	3485	1215	1305	1440
100	500	195	120	245	290	320	260	480	267.4	140	96.0	80	1110	1200	1335	1765	1855	1990	3910	4000	4135	1400	1490	1625

DYNAMIC RESTRAINTS

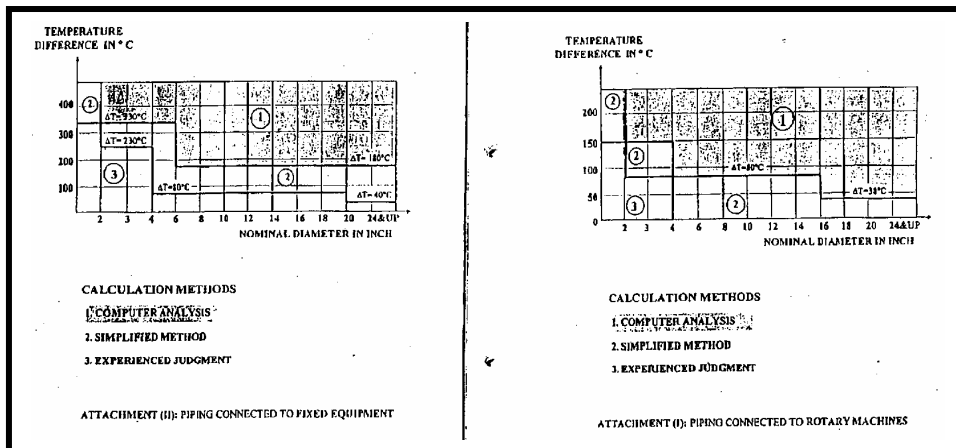
### MECHANICAL SNUBBER (شکل ۳۱-۱۱)

**TABLE 13-2 Stress Intensification Factors**

Component description	As per B31.1, ASME, III NC and ND		As per B31.3 and B31.8		Flexibility characteristic $h$	Sketch
	Out-of-plane $i_o$	In-plane $i_i$	Out-of-plane $i_o$	In-plane $i_i$		
Welding elbow or pipe bend	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.75}{h^{2.5}}$	$\frac{0.75}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{TR_1}{r_1}$	
Closely spaced miter bend $s < r_2(1 + \tan \theta)$ ( $s = 2r_2 \tan \theta$ )	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{\cot \theta T_2}{2 r_2}$	
Single miter bend or widely spaced miter bend $s \geq r_2(1 + \tan \theta)$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{1 + \cot \theta T_2}{2}$	
Welding tee per ANSI B16.9	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$0.75i_o + 0.25$	$0.75i_i + 0.25$	$\frac{4.4T}{r_1}$	
Reinforced fabricated tee with pad or saddle	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$0.75i_o + 0.25$	$0.75i_i + 0.25$	$\frac{(T + H_1)h^{2.5}}{T^{2.5}r_1}$	
Unreinforced fabricated tee	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$0.75i_o + 0.25$	$0.75i_i + 0.25$	$\frac{T}{r_2}$	
Extruded welding tee	Not given	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$0.75i_o + 0.25$	$0.75i_i + 0.25$	$\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right) \frac{T}{r_2}$	
Welded in contour insert	Not given	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$0.75i_o + 0.25$	$0.75i_i + 0.25$	$\frac{4.4T}{r_1}$	
Branch welded on fitting (integrally reinforced)	Not given	$\frac{0.9}{h^{2.5}}$	$0.75i_o + 0.25$	$0.75i_i + 0.25$	$\frac{3.3T}{r_1}$	

NOTE: Courtesy of ASME.

جدول ۱۱-۳۲ ضرایب تشدید تنش



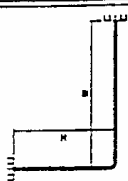
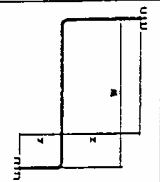
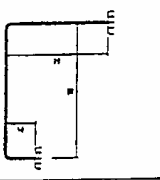
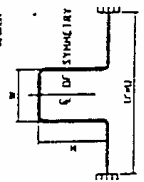
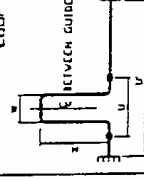
نمودار ۱۱-۳۳ تعیین محدوده آنالیز تنش

Table I: Effective DIAMETER  $D_r$  and LENGTH  $L_r$  for Long-Radius ELBOWS

NOM. SIZE	SCHEDULE No. and/or WEIGHT	NOMINAL THICKN.	ELBOW FACTORS*		NOM. SIZE	SCHEDULE No. and/or WEIGHT	NOMINAL THICKN.	ELBOW FACTORS*		NOM. SIZE	SCHEDULE No. and/or WEIGHT	NOMINAL THICKN.	ELBOW FACTORS*			
			$D_r$ (in.)	$L_r$ (ft)				$D_r$ (in.)	$L_r$ (ft)				$D_r$ (in.)	$L_r$ (ft)		
1	SS	0.065	2.99	1.6	6	SS	0.109	29.15	29.8	16	10	0.250	68.3	75.7		
	10S	0.109	2.01	0.7		10S	0.134	25.31	23.5		20	0.312	58.6	58.4		
	40=ST=40S	0.133	1.72	0.5		40=ST=40S	0.280	15.04	9.5		30=ST	0.375	51.5	47.4		
	80=XS=80S	0.179	1.34	0.2		80=XS=80S	0.432	10.87	4.9		40=XS	0.500	42.2	33.2		
	160	0.250	1.32	0		120	0.562	8.88	3.0		60	0.656	34.7	23.2		
	XX	0.358	1.32	-0.1	160	0.718	7.29	1.6	80	0.843	28.8	16.1				
						XX	0.864	6.63	0.8	100	1.031	24.8	11.5			
1 1/2	SS	0.065	4.50	2.7	8	SS	0.109	44.76	51.8	18	10	0.250	83.3	97.0		
	10S	0.109	3.07	1.3		10S	0.148	36.31	36.9		20	0.312	71.6	75.4		
	40=ST=40S	0.140	2.52	0.9		20	0.250	25.19	20.0		30=ST	0.375	63.0	61.4		
	80=XS=80S	0.191	1.96	0.4		30	0.277	23.46	17.6		40=XS	0.438	56.7	51.1		
	160	0.250	1.66	0.2		40=ST=40S	0.322	21.05	14.5		60	0.500	51.5	43.3		
	XX	0.382	1.65	-0.1	60	0.406	17.77	10.5	80	0.562	47.5	37.5				
2	SS	0.065	5.49	3.7	10	80=XS=80S	0.500	15.27	7.7	20	10	0.250	99.6	121.0		
	10S	0.109	3.76	1.8		100	0.593	13.37	5.8		20=ST	0.375	75.4	76.6		
	40=ST=40S	0.145	3.04	1.2		120	0.718	11.56	4.0		30=XS	0.500	61.6	55.0		
	80=XS=80S	0.200	2.34	0.6		140	0.812	10.44	3.0		40	0.562	54.6	44.4		
	160	0.281	1.90	0.2		160	0.875	9.63	2.5		60	0.612	43.6	29.4		
	XX	0.400	1.90	-0.1		XX	0.906	9.57	2.2	80	0.656	36.6	20.8			
2 1/2	SS	0.065	7.70	6.0	12	SS	0.134	56.22	65.3	24	100	1.281	31.8	14.6		
	10S	0.109	5.32	3.1		10S	0.165	48.81	52.1		120	1.500	27.6	10.8		
	40=ST=40S	0.154	4.11	1.8		20	0.250	36.55	32.3		140	1.562	22.1	7.1		
	80=XS=80S	0.218	3.14	1.0		30	0.307	31.71	25.3		160	1.781	20.0	5.0		
	160	0.343	2.38	0.2		40=ST=40S	0.365	27.95	20.4							
	XX	0.436	2.30	-0.1	60=XS=80S	0.500	22.36	13.3	10	0.250	135.4	176.9				
3	SS	0.083	8.80	6.7	14	80	0.593	19.67	10.3	30	20=ST	0.375	102.5	113.5		
	10S	0.120	6.76	4.2		100	0.718	16.99	7.6		30=XS	0.500	84.0	81.8		
	40=ST=40S	0.203	4.57	1.9		120	0.843	15.05	5.6		40	0.562	77.5	71.0		
	80=XS=80S	0.276	3.59	1.0		140	1.000	13.12	3.8		60	0.612	67.2	55.7		
	160	0.375	2.88	0.4		160	1.125	11.93	2.8		80	0.687	67.2	55.7		
	XX	0.552	2.88	-0.2		SS	0.156	66.84	79.1	100	1.531	38.2	17.6			
3 1/2	SS	0.083	12.39	10.4	16	10S	0.180	60.82	67.6	36	120	1.812	33.8	12.8		
	10S	0.120	9.56	6.7		20	0.250	48.45	46.7		140	2.062	29.8	9.6		
	40=ST=40S	0.216	6.23	2.9		30	0.330	39.91	33.7		160	2.343	26.9	6.9		
	80=XS=80S	0.300	4.83	1.6		40	0.375	36.47	28.9							
	160	0.438	3.54	0.6		60=XS=80S	0.500	29.71	20.0		10	0.250	169.2	221.1		
	XX	0.600	3.50	0		SS	0.156	66.84	79.1	20=ST	0.375	149.4	181.1			
4	SS	0.083	15.36	13.8	18	10S	0.180	60.82	67.6	42	30=XS	0.500	122.7	132.0		
	10S	0.120	11.84	9.0		20	0.250	48.45	46.7		40	0.562	105.0	102.3		
	40=ST=40S	0.220	7.48	3.0		30	0.330	39.91	33.7		60	0.687	84.0	81.8		
	80=XS=80S	0.310	5.76	2.1		40	0.406	34.55	26.2		80	0.968	67.2	55.7		
		SS	0.083	18.54		17.8		SS	0.156		66.84	79.1	100	1.531	38.2	17.6
5	10S	0.120	14.36	11.6	20	10S	0.180	60.82	67.6	48	120	1.812	33.8	12.8		
	40=ST=40S	0.237	8.70	4.7		20	0.250	46.76	44.0		140	2.062	29.8	9.6		
	80=XS=80S	0.337	6.75	2.6		30=ST	0.375	41.16	35.2		160	2.343	26.9	6.9		
	120	0.438	5.49	1.5		40	0.438	36.82	29.1							
	160	0.531	4.68	0.8			SS	0.156	66.84		79.1	10	0.250	169.2	221.1	
	XX	0.674	4.50	0.2		10S	0.180	60.82	67.6	20=ST	0.375	149.4	181.1			
6	SS	0.109	21.81	20.5	24	10S	0.180	60.82	67.6	60	30=XS	0.500	122.7	132.0		
	10S	0.134	18.91	16.2		20	0.250	46.76	44.0		40	0.562	105.0	102.3		
	40=ST=40S	0.258	11.85	7.0		30	0.330	39.91	33.7		60	0.687	84.0	81.8		
	80=XS=80S	0.375	8.96	3.9		40	0.406	34.55	26.2		80	0.968	67.2	55.7		
	120	0.500	7.18	2.2			SS	0.156	66.84		79.1	100	1.531	38.2	17.6	
	160	0.625	5.95	1.2		10S	0.180	60.82	67.6	120	1.812	33.8	12.8			
	XX	0.750	5.56	0.6		20	0.250	46.76	44.0	140	2.062	29.8	9.6			
7	SS	0.109	21.81	20.5	30	30=ST	0.375	41.16	35.2	72	120	1.812	33.8	12.8		
	10S	0.134	18.91	16.2		40	0.438	36.82	29.1		140	2.062	29.8	9.6		
	40=ST=40S	0.258	11.85	7.0			SS	0.156	66.84		79.1	160	2.343	26.9	6.9	
	80=XS=80S	0.375	8.96	3.9			10S	0.180	60.82		67.6					
	120	0.500	7.18	2.2			20	0.250	46.76		44.0					
	160	0.625	5.95	1.2		30=ST	0.375	41.16	35.2							
	XX	0.750	5.56	0.6		40	0.438	36.82	29.1							
8	SS	0.109	21.81	20.5	36	60	0.593	29.68	19.4	84	120	1.812	33.8	12.8		
	10S	0.134	18.91	16.2		80	0.750	24.92	13.7		140	2.062	29.8	9.6		
	40=ST=40S	0.258	11.85	7.0		100	0.937	21.14	9.4		160	2.343	26.9	6.9		
	80=XS=80S	0.375	8.96	3.9		120	1.093	19.04	7.0							
	120	0.500	7.18	2.2		140	1.250	16.80	5.1							
	160	0.625	5.95	1.2		160	1.406	15.40	3.7							
	XX	0.750	5.56	0.6												

\* These properties apply to this method only. They are defined as follows in terms of the nominal size  $d$ , outside diameter  $D$ , flexibility factor  $k$  and stress intensification factor  $I$ :  
 Eff. Elbow Length  $L_r = (0.3k-0.4)d$   
 Eff. Elbow Diameter  $D_r = ID$

**PROCEDURE:**  
 (3) SELECT COLUMN APPLICABLE TO SIMPLE (2) ENTER GIVEN DATA TO RIGHT OF HEAVY BARS. (3) COMPLETE FORM REFERING TO DESIGNATED CHARTS AND TABLES IN TUBE TURNS "LINE EXPANSION AND FLEXIBILITY" BOOKLET (4) COMPARE % WITH 5.

NON PIPE SIZE and WEIGHT		NON PIPE SIZE and WEIGHT		NON PIPE SIZE and WEIGHT		NON PIPE SIZE and WEIGHT					
TABLE EFF. ELBOW DIAM.	EFF. ELBOW LENGTH	TABLE EFF. ELBOW DIAM.	EFF. ELBOW LENGTH	TABLE EFF. ELBOW DIAM.	EFF. ELBOW LENGTH	TABLE EFF. ELBOW DIAM.	EFF. ELBOW LENGTH				
$D_p =$	$L_p =$	$D_p =$	$L_p =$	$D_p =$	$L_p =$	$D_p =$	$L_p =$				
<b>GENERAL NOTES</b> 1-FOR TABLES AND CHARTS, REFER TO TUBE TURNS BOOKLET "LINE EXPANSION AND FLEXIBILITY." 2-ELBOW RADIUS = 1 1/2" X NOMINAL PIPE SIZE		<b>L - BEND</b> 		<b>Z - BEND</b> 		<b>U - BEND</b> 		<b>SYMM LOOP</b> 		<b>GUIDED LOOP</b> 	
<b>CHART 3</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 3</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 3</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 3</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$					
<b>CHART 4</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 4</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 4</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 4</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$					
<b>CHART 5</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 5</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 5</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$		<b>CHART 5</b> ENTER AT ABSCISSA GO TO CURVE FOR READ SHAPE FACTOR $f_s =$					
SOURCE-CORNER LENGTH $L_1 =$ SUM OF EFF. ELBOW LENGTHS $L_p =$ TOTAL EFF. LENGTH $L_1 + L_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$		SOURCE-CORNER LENGTH $L_1 =$ SUM OF EFF. ELBOW LENGTHS $L_p =$ TOTAL EFF. LENGTH $L_1 + L_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$		SOURCE-CORNER LENGTH $L_1 =$ SUM OF EFF. ELBOW LENGTHS $L_p =$ TOTAL EFF. LENGTH $L_1 + L_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$		SOURCE-CORNER LENGTH $L_1 =$ SUM OF EFF. ELBOW LENGTHS $L_p =$ TOTAL EFF. LENGTH $L_1 + L_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$ EFF. DIAMETER LENGTH $D_p =$					
PIPE MATERIAL (OR SPEC) SERVICE (OR CODE SECTION) HOT (MIN) METAL TEMP. COLD (MIN) METAL TEMP. READ OPPOSITE $T_h =$ READ OPPOSITE $T_c =$ READ OPPOSITE $S_A =$ READ OPPOSITE $f_h =$ READ OPPOSITE $f_c =$ EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$		PIPE MATERIAL (OR SPEC) SERVICE (OR CODE SECTION) HOT (MIN) METAL TEMP. COLD (MIN) METAL TEMP. READ OPPOSITE $T_h =$ READ OPPOSITE $T_c =$ READ OPPOSITE $S_A =$ READ OPPOSITE $f_h =$ READ OPPOSITE $f_c =$ EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$		PIPE MATERIAL (OR SPEC) SERVICE (OR CODE SECTION) HOT (MIN) METAL TEMP. COLD (MIN) METAL TEMP. READ OPPOSITE $T_h =$ READ OPPOSITE $T_c =$ READ OPPOSITE $S_A =$ READ OPPOSITE $f_h =$ READ OPPOSITE $f_c =$ EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$		PIPE MATERIAL (OR SPEC) SERVICE (OR CODE SECTION) HOT (MIN) METAL TEMP. COLD (MIN) METAL TEMP. READ OPPOSITE $T_h =$ READ OPPOSITE $T_c =$ READ OPPOSITE $S_A =$ READ OPPOSITE $f_h =$ READ OPPOSITE $f_c =$ EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$					
EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$		EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$		EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$		EXPANSION FACTOR $f_h \cdot f_c =$ COMPUTED EXP. STRESS RANGE $f_s \cdot f_h \cdot f_c =$					

CALC'D: \_\_\_\_\_ DATE: \_\_\_\_\_  
 CHECK'D: \_\_\_\_\_ DATE: \_\_\_\_\_  
 TUBE TURNS - PIPING FLEXIBILITY CALCULATION - FORM NO. 102  
 SIMPLIFIED CALCULATION OF L-Z AND U-BENDS AND EXPANSION LOOPS



Chart 2: SHAPE FACTOR  $f_s$  for SYMMETRICAL EXPANSION LOOPS

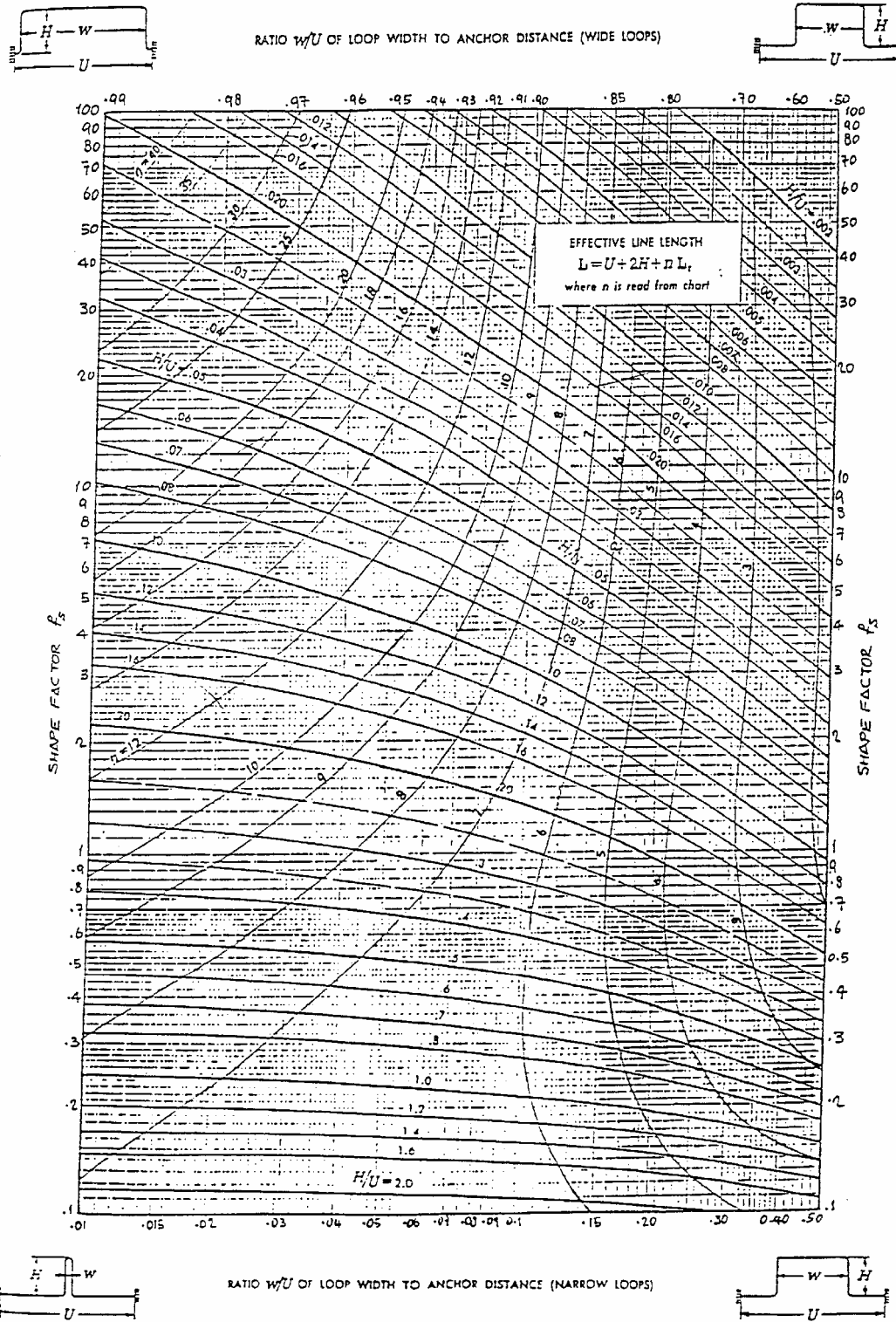


Chart 3: SHAPE FACTOR  $f_s$  for Z-, L- and U-BENDS with small H/w-Ratios

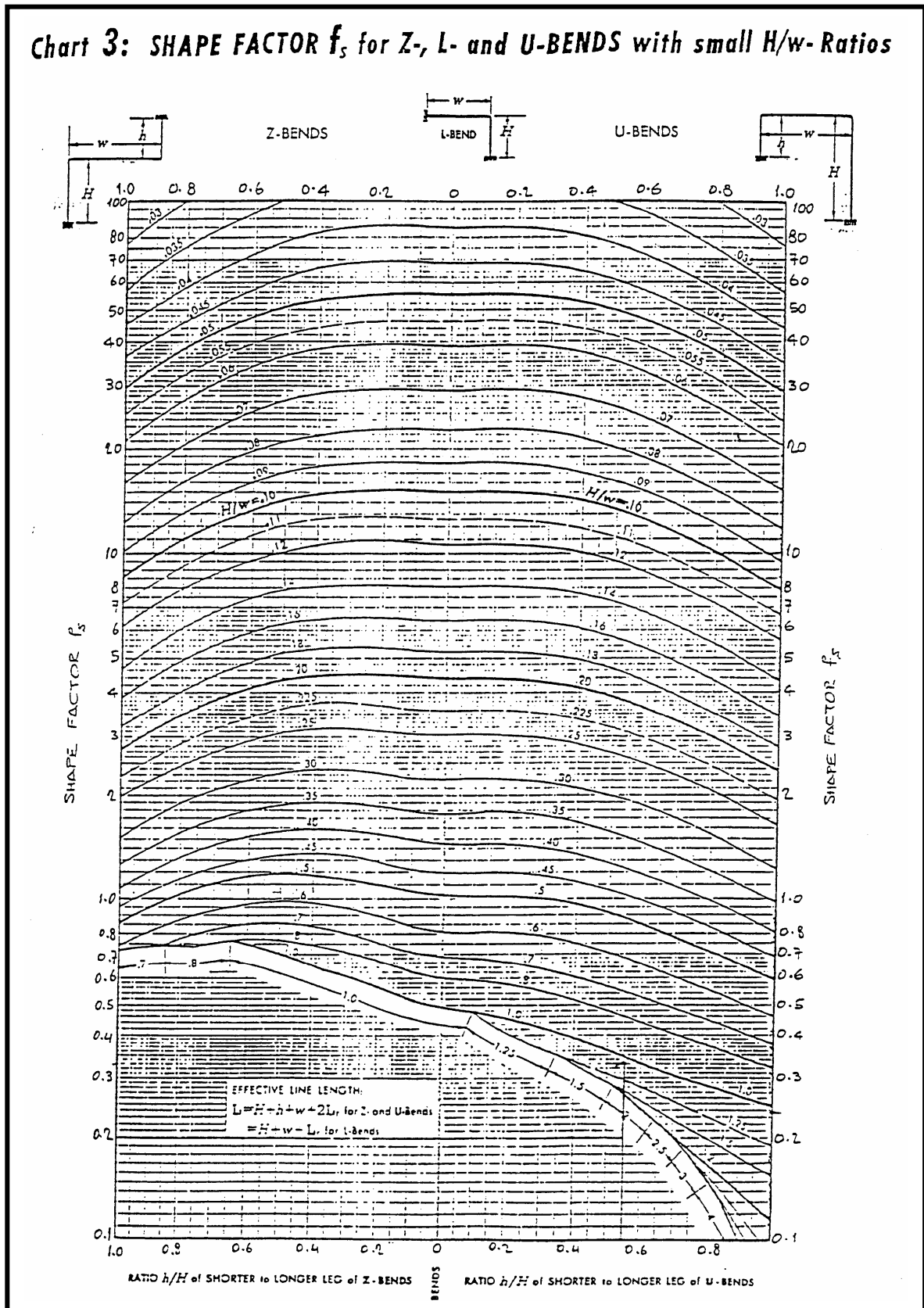
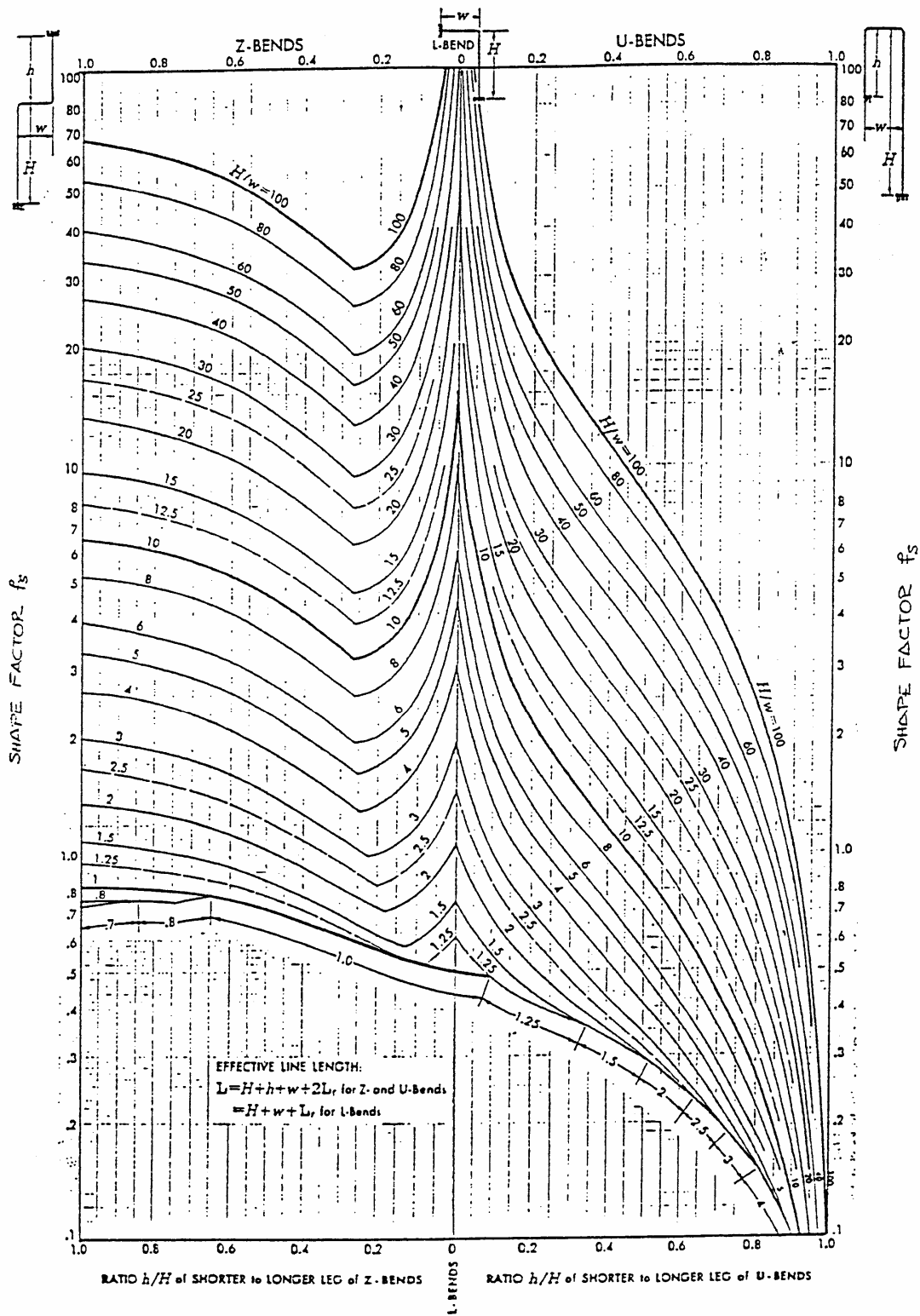


Chart 4: SHAPE FACTOR  $f_s$  for Z-, L- and U-BENDS with large H/w-Ratios



SHAPE FACTOR FOR Z,L,U-BENDS WITH LARGE H/W (نمودار ۵-۳۴-۱۱)

Table 5: EXPANSION FACTOR  $f_a$  and ALLOWABLE STRESS RANGE  $S_A$

PLAIN CARBON STEEL						CHROME-NICKEL (18-8) CHROME-NICKEL					
Metal Temp. T (°F)	Expansion Factor $f_a$ (%)	Allowable Stress Range $S_A$ (psi)				Metal Temp. T (°F)	Expansion Factor $f_a$ (%)	Allowable Stress Range $S_A$ (psi)			
		Grade A Carbon Steel		Grade B Carbon Steel				Grade A (up to 1000°F) Chrome-Nickel		Grade B (up to 1000°F) Chrome-Nickel	
		Power	OT	Power	OT			Power	OT	Power	OT
-20	-14,000	18,000	24,000	22,500	30,000	-20	-15,000	20,500	27,500	22,500	28,150
0	-11,000					0	-12,000				
20	-8,000					20	-8,000				
70	0					70	0				
100	3,000		24,000		30,000	100	5,000		27,500		28,150
150	14,000		21,900		29,000	150	13,000		27,450		28,050
200	22,000		21,250		28,300	200	25,000		27,250		28,000
250	33,000		21,750		28,550	250	35,000		27,250		28,000
300	42,000		21,550		28,550	300	45,000		27,200		27,950
350	53,000		21,500		28,450	350	55,000		27,100		27,950
400	63,000		21,450		28,300	400	67,000		27,000		27,900
450	73,000		21,350		28,200	450	79,000		26,950		27,850
500	84,000		21,300		28,100	500	90,000		26,950		27,850
550	96,000		21,200		28,000	550	102,000		26,750		27,800
600	107,000		21,100		28,900	600	114,000		26,550		27,750
650	119,000	18,000	21,000	11,500	28,750	650	127,000		26,500		27,700
700	131,000	17,900	20,900	11,350	28,500	700	140,000		26,500		27,650
750	143,000	17,750	20,750	11,000	28,250	750	154,000	22,500	26,400		27,600
800	155,000	17,250	20,550	11,450	27,700	800	177,000	20,500	26,300	22,500	27,550
850	169,000	16,200	20,300	11,700	27,150	850	181,000	20,500	26,250	22,500	27,500
900	182,000	15,200	21,550	11,000	26,650	900	195,000	20,500	26,200	22,500	27,450
950	194,000		21,150		26,150	950	209,000	19,700	26,450	21,500	27,400
1000	207,000		20,550		25,650	1000	222,000	19,700	26,500	20,700	27,350
1025	213,000		20,500		25,500	1025	235,000		26,200	20,400	27,300
1050	220,000		20,400		25,400	1050	236,000		26,350	20,150	27,250
1075	227,000		20,350		25,350	1075	243,000		26,750	19,950	27,200
1100	233,000		20,250		25,250	1100	250,000		26,550	19,750	27,150
1125	240,000					1125	257,000			19,550	27,100
1150	246,000					1150	263,000				27,050
1175	252,000					1175	270,000				27,000
1200	258,000					1200	277,000				26,950

Austenitic STEEL			Austenitic STEEL			Carbon Steel with 0.05% Sulfur					
Metal Temp. T (°F)	Expansion Factor $f_a$ (%)	Allow. $S_A$ (psi) (OT only)	Metal Temp. T (°F)	Expansion Factor $f_a$ (%)	Allow. $S_A$ (psi) (OT only)	Metal Temp. T (°F)	Allowable Stress Range $S_A$ (psi)				
							OT	OT	OT	OT	
-300	-50,000	15,000	-300	-50,000	25,800	-300	-39,000	8,250	11,000	9,000	6,400
-250	-55,000		-250	-47,000		-250	-32,000				
-200	-39,000		-200	-31,000		-200	-22,000				
-100	-21,000		-100	-19,000		-100	-13,000				
0	-15,000		0	-13,000		0	-10,000				
20	-9,000		20	-5,000		20	-5,000				
70	0		70	0		70	0				
100	6,000		100	5,000	25,800	100	4,000	8,250		9,000	6,400
150	20,000		150	14,000	25,700	150	11,000	8,200		8,950	6,350
200	28,000		200	24,000	25,600	200	18,000	8,200	11,000	8,900	6,300
250	50,000		250	35,000	25,500	250	23,000	8,150	10,950	8,850	6,250
300	68,000		300	47,000	25,400	300	30,000	8,100	10,900	8,750	6,150
350	83,000		350	53,000	25,300	350	39,000	8,050		8,700	6,100
400	98,000		400	71,000	25,200	400	47,000	8,000		8,650	6,050
450	114,000		450	81,000	25,100	450	55,000			8,600	6,000
500	131,000	15,000	500	95,000	25,000	500	63,000				5,950

ALUMINUM (2024-T3) CHROME MOLY				AUSTENITIC (316) STAINLESS			
Metal Temp. (°F)	Exposure Factor (E)	Allowable $S_a$ (psi)		Metal Temp. (°F)	Exposure Factor (E)	Allowable $S_a$ (psi)	
		Power	Oil			Power	Oil
20	14.000	22,500	28,150	20	22.000	22,150	28,150
30	11.000			30	18.000		
40	5.000			40	11.000		
50	0			50	0		
60	5.000		28,150	60	8.000		28,150
70	13.000		28,000	70	21.000		27,850
80	21.000		27,900	80	33.000		27,600
90	30.000		27,800	90	46.000	28,150	27,400
100	38.000		27,700	100	60.000	27,700	27,200
110	46.000		27,600	110	75.000	27,500	27,000
120	57.000	22,500	27,500	120	91.000	27,400	26,850
130	67.000	22,450	27,350	130	108.000	27,300	26,700
140	77.000	22,400	27,250	140	124.000	27,250	26,550
150	87.000	22,300	27,150	150	142.000	27,200	26,450
160	97.000	22,250	27,050	160	160.000	27,150	26,350
170	107.000	22,200	26,950	170	178.000	27,100	26,250
180	117.000	22,100	26,850	180	197.000	27,050	26,150
190	126.000	22,050	26,700	190	216.000	27,000	26,050
200	136.000	21,950	26,550	200	235.000	26,950	25,950
210	150.000	21,850	26,300	210	254.000	26,900	25,800
220	161.000	21,800	26,100	220	273.000	26,850	25,650
230	170.000	21,700	25,900	230	292.000	26,800	25,500
240	184.000	21,600	24,700	240	311.000	26,750	25,350
250	190.000	21,500	24,550	250	330.000	26,700	25,200
260	196.000	21,400	24,300	260	349.000	26,650	25,050
270	199.000	21,300	24,100	270	368.000	26,600	24,900
280	201.000	21,200	23,900	280	387.000	26,550	24,750
290	207.000	21,100	23,700	290	406.000	26,500	24,600
300	210.000	21,000	23,500	300	425.000	26,450	24,450
310	217.000	20,900	23,300	310	444.000	26,400	24,300
320	220.000	20,800	23,100	320	463.000	26,350	24,150
330	226.000	20,700	22,900	330	482.000	26,300	24,000
340	236.000	20,600	22,750	340	501.000	26,250	23,850

ALUMINUM (2024-T3) CHROME MOLY			
Metal Temp. (°F)	Exposure Factor (E)	Allowable $S_a$ (psi)	
		Power	Oil
20	55.000	9,000	10,050
30	40.000		
40	27.000		
50	18.000		
60	10.000		
70	7.000		
80	0		
90	5.000	9,000	10,050
100	10.000	9,850	10,900
110	15.000	9,800	10,750
120	22.000	9,750	10,600
130	31.000	9,700	10,450
140	40.000	9,650	10,300
150	48.000	9,600	10,150
160	56.000	9,550	10,000
170	67.000	9,500	9,850
180	75.000		

AUSTENITIC (316) STAINLESS			
Metal Temp. (°F)	Exposure Factor (E)	Allowable $S_a$ (psi)	
		Power	Oil
20	12.000	12,000	11,000
30			
40	10.000		
50	6.000		
60	4.000		
70	11.000		
80	16.000		
90	25.000	12,000	11,000
100	35.000	11,250	10,250
110	46.000	11,000	10,000
120	58.000	10,750	9,750
130	70.000	10,500	9,500
140	83.000	10,250	9,250
150	96.000	10,000	9,000
160	110.000		
170	125.000		
180	140.000		
190	155.000		
200	170.000		
210	185.000		
220	200.000		
230	215.000		
240	230.000		
250	245.000		
260	260.000		
270	275.000		
280	290.000		
290	305.000		
300	320.000		
310	335.000		
320	350.000		
330	365.000		
340	380.000		
350	395.000		
360	410.000		
370	425.000		
380	440.000		
390	455.000		
400	470.000		
410	485.000		
420	500.000		
430	515.000		
440	530.000		
450	545.000		
460	560.000		
470	575.000		
480	590.000		
490	605.000		
500	620.000		
510	635.000		
520	650.000		
530	665.000		
540	680.000		
550	695.000		
560	710.000		
570	725.000		
580	740.000		
590	755.000		
600	770.000		
610	785.000		
620	800.000		
630	815.000		
640	830.000		
650	845.000		
660	860.000		
670	875.000		
680	890.000		
690	905.000		
700	920.000		
710	935.000		
720	950.000		
730	965.000		
740	980.000		
750	995.000		
760	1010.000		
770	1025.000		
780	1040.000		
790	1055.000		
800	1070.000		
810	1085.000		
820	1100.000		
830	1115.000		
840	1130.000		
850	1145.000		
860	1160.000		
870	1175.000		
880	1190.000		
890	1205.000		
900	1220.000		
910	1235.000		
920	1250.000		
930	1265.000		
940	1280.000		
950	1295.000		
960	1310.000		
970	1325.000		
980	1340.000		
990	1355.000		
1000	1370.000		
1010	1385.000		
1020	1400.000		
1030	1415.000		
1040	1430.000		
1050	1445.000		
1060	1460.000		
1070	1475.000		
1080	1490.000		
1090	1505.000		
1100	1520.000		
1110	1535.000		
1120	1550.000		
1130	1565.000		
1140	1580.000		
1150	1595.000		
1160	1610.000		
1170	1625.000		
1180	1640.000		
1190	1655.000		
1200	1670.000		
1210	1685.000		
1220	1700.000		
1230	1715.000		
1240	1730.000		
1250	1745.000		
1260	1760.000		
1270	1775.000		
1280	1790.000		
1290	1805.000		
1300	1820.000		
1310	1835.000		
1320	1850.000		
1330	1865.000		
1340	1880.000		
1350	1895.000		
1360	1910.000		
1370	1925.000		
1380	1940.000		
1390	1955.000		
1400	1970.000		
1410	1985.000		
1420	2000.000		
1430	2015.000		
1440	2030.000		
1450	2045.000		
1460	2060.000		
1470	2075.000		
1480	2090.000		
1490	2105.000		
1500	2120.000		
1510	2135.000		
1520	2150.000		
1530	2165.000		
1540	2180.000		
1550	2195.000		
1560	2210.000		
1570	2225.000		
1580	2240.000		
1590	2255.000		
1600	2270.000		
1610	2285.000		
1620	2300.000		
1630	2315.000		
1640	2330.000		
1650	2345.000		
1660	2360.000		
1670	2375.000		
1680	2390.000		
1690	2405.000		
1700	2420.000		
1710	2435.000		
1720	2450.000		
1730	2465.000		
1740	2480.000		
1750	2495.000		
1760	2510.000		
1770	2525.000		
1780	2540.000		
1790	2555.000		
1800	2570.000		
1810	2585.000		
1820	2600.000		
1830	2615.000		
1840	2630.000		
1850	2645.000		
1860	2660.000		
1870	2675.000		
1880	2690.000		
1890	2705.000		
1900	2720.000		
1910	2735.000		
1920	2750.000		
1930	2765.000		
1940	2780.000		
1950	2795.000		
1960	2810.000		
1970	2825.000		
1980	2840.000		
1990	2855.000		
2000	2870.000		
2010	2885.000		
2020	2900.000		
2030	2915.000		
2040	2930.000		
2050	2945.000		
2060	2960.000		
2070	2975.000		
2080	2990.000		
2090	3005.000		
2100	3020.000		
2110	3035.000		
2120	3050.000		
2130	3065.000		
2140	3080.000		
2150	3095.000		
2160	3110.000		
2170	3125.000		
2180	3140.000		
2190	3155.000		
2200	3170.000		
2210	3185.000		
2220	3200.000		
2230	3215.000		
2240	3230.000		
2250	3245.000		
2260	3260.000		
2270	3275.000		
2280	3290.000		
2290	3305.000		
2300	3320.000		
2310	3335.000		
2320	3350.000		
2330	3365.000		
2340	3380.000		
2350	3395.000		
2360	3410.000		
2370	3425.000		
2380	3440.000		
2390	3455.000		
2400	3470.000		
2410	3485.000		
2420	3500.000		

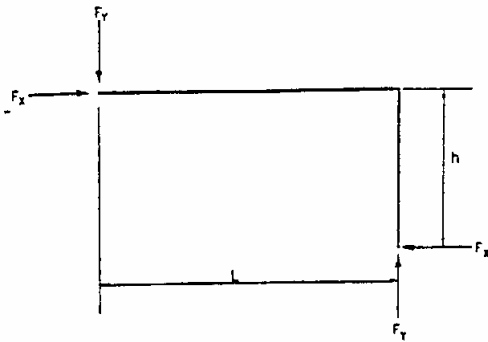
EXPANSION FACTOR,  $c$

Temp. T, °F	Carbon Steel C ≤ .30%	Carbon Steel C > .30%	C-Moly & Low Cr.-Moly Cr ≤ 3%	Cr.-Moly 5% ≤ Cr. Mo ≤ 9%	Austenitic Stainless Steels	Cr. Stainless Steels 12 Cr., 17 Cr. & 27 Cr.	25 Cr.-20 Ni	Wrought Iron
70	0	0	0	0	0	0	0	0
100	37	40	40	35	54	34	47	44
150	98	106	106	92	143	90	125	120
200	160	171	171	149	232	145	204	195
250	228	244	244	212	323	204	287	273
300	294	315	315	271	414	264	368	352
350	365	391	391	335	509	326	455	434
400	436	467	467	396	603	389	541	514
450	510	547	547	465	699	455	629	598
500	584	626	626	531	794	520	716	681
550	664	711	711	603	893	590	809	768
600	743	796	796	672	999	659	901	855
650	827	886	886	744	1099	730	995	946
700	909	974	974	815	1189	799	1088	1035
750	996	1068	1068	891	1292	874	1186	1125
775	1038	1113	1113	929	1344	909	1235	1171
800			1159	967	1395	946	1281	1216
825			1208	1005	1448	983	1335	
850			1256	1043	1500	1022	1381	
875			1303	1081	1552	1061	1435	
900			1351	1121	1605	1097	1484	
925			1398	1161	1659	1134	1533	
950			1445	1200	1713	1174	1585	
975			1492	1240	1766	1212	1634	
1000			1538	1278	1820	1250	1681	
1050			1639	1357	1928	1325	1781	
1100			1737	1435	2036	1404	1879	
1150				1511	2144	1480	1980	

$$\text{Expansion Factor } c = \frac{\text{Expansion in inches per 100 ft.} \times E_c}{1728 \times 100}$$

نمودار ۱-۳۵-۱۱) نمودارهای روش GRINNELL

90° TURN



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

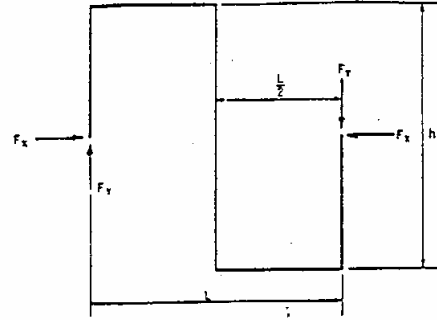
Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$L/h$	$k_x$	$k_y$	$k_b$
1.0	12.0	12.0	36
1.2	17.2	12.5	46
1.4	23.0	13.4	58
1.6	32.0	14.4	71
1.8	42.0	15.4	85
2.0	51.0	16.6	102
2.2	68.3	17.8	120
2.4	81.4	19.2	140
2.6	103	20.6	161
2.8	125	22.0	184
3.0	150	23.5	209
3.2	175	25.0	234
3.4	207	26.5	259
3.6	237	28.0	287
3.8	274	29.5	318
4.0	315	31.5	349
4.2	356	33.0	381
4.4	406	34.6	414
4.6	456	36.2	450
4.8	510	37.8	487
5.0	570	39.5	528
5.2	630	41.2	569
5.4	700	43.0	610
5.6	775	44.7	652
5.8	855	46.2	696
6.0	938	48.2	743
6.2	1020	49.8	790
6.4	1110	51.6	840
6.6	1212	53.4	892
6.8	1313	55.0	944
7.0	1426	56.8	997
7.2	1517	58.6	1050
7.4	1635	60.2	1104
7.6	1785	61.8	1159
7.8	1917	63.6	1219
8.0	2059	65.4	1284

HOOKED Z SHAPE



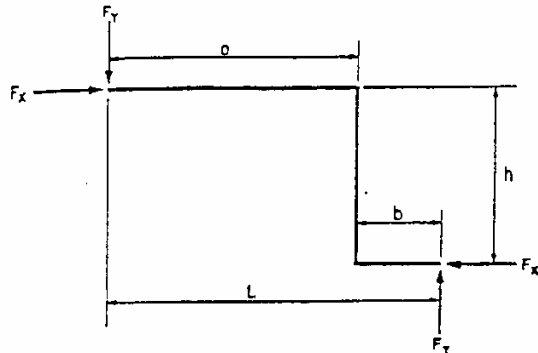
Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$L/h$	$k_x$	$k_y$	$k_b$
0.6	1.18	1.31	5.0
0.8	2.7	2.2	9.4
1.0	4.3	3.3	13.1
1.2	7.8	4.7	17.3
1.4	11.2	6.2	22.0
1.6	15.2	7.7	26.7
1.8	19.7	9.2	31.4
2.0	24.3	10.9	36.4
2.2	30.0	13.0	41.5
2.4	37.0	15.1	46.6
2.6	45.0	17.2	51.7
2.8	54.0	19.3	58.0
3.0	64.8	21.6	64.8
3.2	76.0	24.0	72.0
3.4	88.0	26.5	79.5
3.6	100.0	29.0	87.0
3.8	113.5	31.6	95.0
4.0	128.7	34.5	103
4.2	144	37.4	112
4.4	160	40.4	121
4.6	178	43.4	130
4.8	198	46.4	139
5.0	219	49.4	148
5.2	241	52.5	157
5.4	263	55.6	167
5.6	286	58.7	176
5.8	310	61.8	185
6.0	334	65.0	195
6.2	360	68.4	205
6.4	388	71.8	215
6.6	416	75.2	226
6.8	446	78.9	236
7.0	479	82.0	246
7.2	508	85.5	257
7.4	540	89.1	268
7.6	579	92.7	278
7.8	615	96.3	289
8.0	653	100.0	300



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

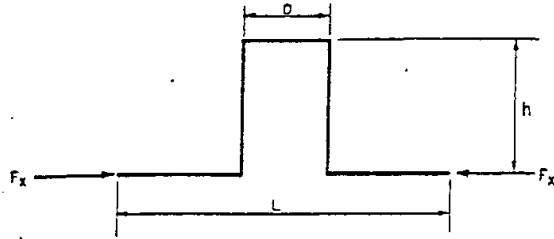
Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$\frac{a}{L}$	1			1.5			2			3			4			$\frac{a}{b}$
	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	
0.6	9.25	33.0	83.8	5.5	38	91	7.3	32	85	6.5	25	73	6.0	22	66	0.6
0.8	12.8	39.0	99.0	11.8	35	76	10.5	29	71	9.2	23	62	8.5	20	56	0.8
1.0	17.2	37.9	61.9	15.9	31	69	11.1	29	66	12.6	22	52	11.8	19	50	1.0
1.2	22.5	37.8	57.8	21.0	35	69	18	29	66	16.0	23	53	14	20	51	1.2
1.4	28.3	37.7	60.6	27	36	69	22	30	67	20	21	55	19	21	52	1.4
1.6	35.1	42.1	66.3	31	37	71	30	32	69	27	25	57	21	21	55	1.6
1.8	43.0	43.2	72.0	41	39	75	38	33	71	34	26	60	30	22	58	1.8
2.0	52.8	45.7	79.3	50	41	81	46	35	76	42	27	67	40	24	63	2.0
2.2	63.0	48.0	86.5	60	43	88	57	38	83	51	29	73	48	25	68	2.2
2.4	76.0	51.0	93.8	71	46	96	68	40	90	61	31	80	58	27	74	2.4
2.6	89.0	54.5	101.2	83	49	102	79	43	97	71	33	86	69	29	80	2.6
2.8	102	58.2	109.0	96	53	110	91	46	105	82	35	92	80	30	87	2.8
3.0	116	62.2	116.1	110	56	118	104	49	115	92	37	99	90	32	93	3.0
3.2	132	66.0	124.5	124	59	126	118	51	121	106	39	107	104	34	99	3.2
3.4	149	70.0	133.0	140	63	134	133	54	128	121	41	114	118	36	105	3.4
3.6	168	74.0	141.0	168	66	143	149	57	135	136	44	120	132	38	111	3.6
3.8	188	78.0	149.0	177	70	151	165	60	142	151	46	127	147	40	117	3.8
4.0	210	82.0	157.5	197	78	159	181	63	150	166	49	133	163	42	124	4.0
4.2	235	86.4	166.0	219	77	168	201	66	157	185	51	140	182	44	130	4.2
4.4	260	90.6	174.5	241	81	177	221	69	164	204	53	147	201	46	137	4.4
4.6	285	94.8	183.0	263	85	186	241	72	173	223	56	154	220	48	143	4.6
4.8	310	99.0	192.0	287	88	194	263	75	182	243	58	161	239	50	150	4.8
5.0	336	103.2	201.4	314	92	203	288	78	190	264	61	168	260	52	156	5.0
5.2	364	107.6	210.0	341	96	212	313	81	198	286	63	175	281	54	163	5.2
5.4	393	111.8	219.5	370	100	221	339	85	206	310	66	182	304	56	169	5.4
5.6	425	116.2	228.0	399	104	230	365	88	214	335	68	189	329	58	176	5.6
5.8	457	120.5	237.5	430	108	239	392	92	223	360	71	197	355	61	182	5.8
6.0	491	124.8	247.5	461	112	248	422	95	232	386	73	205	381	63	190	6.0
6.2	526	129.4	257.5	493	116	258	450	98	240	414	76	212	408	65	196	6.2
6.4	562	133.8	268.5	526	120	267	478	102	248	443	79	219	436	67	203	6.4
6.6	598	138.2	279.0	561	124	276	506	105	256	472	81	227	465	69	210	6.6
6.8	633	142.6	282.0	598	128	285	535	108	265	502	84	234	495	72	217	6.8
7.0	670	145.0	287.0	636	132	294	565	111	274	533	86	242	526	74	224	7.0
7.2	715	152.0	300.0	674	136	303	601	115	282	565	89	248	557	76	230	7.2
7.4	758	156.5	309.0	714	140	312	639	118	290	599	92	256	588	78	237	7.4
7.6	803	161.0	319.0	756	143	321	680	122	299	633	94	263	620	81	244	7.6
7.8	850	165.5	328.0	798	148	330	724	125	308	668	97	270	655	83	250	7.8
8.0	898	170.0	337.0	840	152	340	770	129	317	703	99	279	694	85	257	8.0



U SHAPE WITH EQUAL TANGENTS



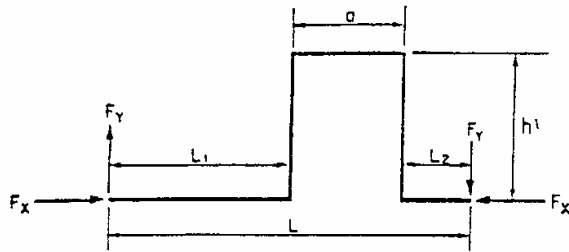
Resisting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$\frac{L}{a}$	2		3		4		5		6		7		8		9		10		$\frac{L}{a}$
	$\frac{L}{h}$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$\frac{L}{h}$	
1.0	2.40	7.20	2.46	8.2	2.52	8.52	2.58	9.29	2.64	9.69	2.67	9.92	2.70	10.1	2.73	10.3	2.75	10.45	1.0
1.2	3.70	9.25	4.46	10.9	4.65	12.0	4.78	12.8	4.84	13.3	5.0	13.9	5.2	14.0	5.29	14.4	5.35	14.9	1.2
1.4	5.31	11.57	6.46	13.6	6.79	15.2	6.98	16.3	7.1	17.0	7.4	17.9	7.7	18.1	7.85	18.6	7.95	19.4	1.4
1.6	7.22	13.53	8.46	16.3	8.93	18.4	9.20	19.8	9.5	20.8	9.8	22.0	10.2	22.3	10.41	22.9	10.55	23.9	1.6
1.8	9.45	15.75	10.48	19.0	11.08	21.6	11.42	23.4	11.9	24.7	12.3	26.1	12.7	26.7	12.97	27.4	13.15	28.5	1.8
2.0	12.00	18.00	12.5	21.8	13.24	24.8	13.87	27.1	14.4	28.8	14.9	30.2	15.3	31.2	15.53	32.3	15.79	33.2	2.0
2.2	14.85	20.25	15.8	24.9	16.6	28.5	16.9	31.0	17.5	33.4	18.0	34.8	18.6	36.2	20.0	38.0	21.0	38.6	2.2
2.4	18.00	22.50	19.6	28.0	20.4	32.2	20.8	35.3	21.3	38.0	22.5	40.0	23.8	41.7	25.2	43.7	26.3	44.4	2.4
2.6	21.52	24.80	23.1	31.1	24.1	35.9	25.5	39.7	26.2	42.7	27.5	45.3	29.0	47.3	30.7	49.5	31.7	50.5	2.6
2.8	25.32	27.10	27.3	34.2	28.9	39.7	30.6	44.0	31.7	47.5	33.0	50.7	34.7	53.0	36.3	55.4	37.2	56.9	2.8
3.0	29.45	29.45	31.2	37.4	33.6	43.7	35.8	48.7	37.7	52.7	39.3	56.2	40.7	59.0	41.9	61.5	43.0	63.6	3.0
3.2	33.9	31.8	35.6	40.6	39.0	47.6	41.2	53.3	43.7	58.0	45.7	61.7	48.0	65.1	50.0	67.8	50.8	70.6	3.2
3.4	38.7	34.1	40.0	43.8	44.5	51.6	46.9	58.0	49.5	63.3	52.2	67.3	55.5	71.3	58.3	74.2	59.2	77.7	3.4
3.6	43.7	36.5	46.1	47.0	50.3	55.6	53.0	62.8	57.5	68.7	59.5	73.0	63.2	77.7	66.7	80.7	68.0	81.9	3.6
3.8	49.1	38.8	52.3	50.2	57.0	59.8	60.2	67.6	65.5	74.1	68.5	79.4	71.5	84.2	75.2	87.3	77.1	92.2	3.8
4.0	54.9	41.1	58.5	53.6	64.0	64.0	69.1	72.5	73.6	79.7	77.5	85.8	80.9	91.0	84.2	94.4	86.6	99.5	4.0
4.2	60.6	43.4	64.7	57.0	71.1	68.2	78.1	77.5	82.0	85.2	87.0	92.2	90.4	97.8	95.0	102.0	97.0	107.0	4.2
4.4	67.3	45.9	71.0	60.4	78.9	72.4	87.2	82.5	91.0	90.8	96.5	98.6	100.5	104.7	106.2	109.6	108.0	114.7	4.4
4.6	73.9	48.2	79.1	63.8	87.0	76.6	96.3	87.5	101.7	96.3	106.5	105.0	112.0	111.7	117.8	117.2	120.0	122.8	4.6
4.8	81.0	50.6	87.2	67.3	95.8	80.8	105.4	92.5	112.4	101.9	118.0	111.4	124.2	118.7	129.8	125.0	133.3	131.0	4.8
5.0	88.2	52.9	95.3	70.8	104.6	85.2	114.7	97.8	122.5	107.5	130.0	117.8	136.7	125.9	142.5	133.0	147.9	139.4	5.0
5.2	95.9	55.3	104.4	74.3	114.0	89.5	125.0	103.0	134.0	113.7	142.0	124.5	149.4	133.2	157.5	141.0	163.0	147.9	5.2
5.4	103.8	57.7	113.5	77.8	123.6	93.9	136.3	108.3	146.0	120.0	155.0	131.3	162.4	140.6	172.6	149.0	178.5	156.5	5.4
5.6	112.1	60.1	122.6	81.3	134.0	98.3	147.6	113.5	159.0	126.2	169.0	138.1	177.0	148.1	187.0	157.1	194.5	163.2	5.6
5.8	120.7	62.4	132.0	84.8	144.6	102.7	159.0	118.8	172.0	132.5	183.0	144.9	192.6	155.6	202.7	165.2	211.0	173.9	5.8
6.0	129.6	64.8	141.6	88.4	155.8	107.0	171.3	124.1	185.2	138.8	197.8	151.8	209.0	163.3	219.2	173.5	228.3	182.6	6.0
6.2	138.8	67.2	152.4	91.9	167.2	111.5	181.0	129.5	199.0	145.1	213.0	158.8	225.0	171.0	236.0	181.8	245.8	191.4	6.2
6.4	148.4	69.6	163.3	95.4	179.1	116.0	198.0	134.9	213.0	151.4	228.5	165.8	241.8	178.8	253.0	190.2	263.8	200.2	6.4
6.6	158.2	71.9	174.2	98.9	191.0	120.5	212.2	140.3	228.0	157.7	245.0	172.9	259.5	186.6	271.0	198.7	282.8	209.1	6.6
6.8	168.4	74.3	185.2	102.4	204.0	125.0	226.4	145.7	244.2	164.0	262.5	180.0	279.0	194.5	292.0	207.2	305	218.0	6.8
7.0	178.9	76.7	196.3	106.0	217.0	129.4	240.7	151.1	261.8	170.3	280.7	187.1	298.7	202.5	314	216.0	328	227.1	7.0
7.2	189.8	79.1	209.1	109.5	230.5	133.9	256.0	156.6	279.8	176.7	299.5	191.3	319	210.5	336	224.7	351	236.6	7.2
7.4	200.9	81.5	222.9	113.0	244.2	138.1	271.5	162.1	297.8	183.1	319.0	201.6	339	218.5	358	233.5	374	246.3	7.4
7.6	212.4	83.8	237.7	116.5	259.2	142.9	287.5	167.6	316	189.5	339.0	208.9	359	226.5	381	242.3	398	256.0	7.6
7.8	224.2	86.2	253.6	120.0	274.5	147.4	303.3	173.1	334	195.9	359.0	216.2	381	234.6	404	251.1	422	266.8	7.8
8.0	236.2	88.6	270.7	123.5	290.8	152.0	322	178.6	352	202.4	379	223.5	405	242.7	427	260.0	448	278.0	8.0
8.2	248.7	91.0	288.0	127.0	308	156.6	340	184.1	372	208.9	400	231.0	429	250.9	451	268.9	475	289.5	8.2
8.4	261.5	93.4	299.3	130.5	326	161.2	358	189.7	392	215.4	422	238.5	455	259.2	476	277.8	502	301.4	8.4
8.6	274.6	95.8	311	134.0	346	165.8	377	195.3	413	221.9	445	246.0	480	267.5	502	286.7	530	313	8.6
8.8	287.9	98.2	325	137.5	366	170.4	395	200.9	434	228.4	470	253.5	505	275.8	529	295.7	560	325	8.8
9.0	302	100.5	342	141.0	387	175.0	416	206.6	456	235.0	495	261.0	530	284.1	559	305	590	335	9.0
9.2	316	102.9	358	144.5	408	179.6	437	212.4	479	241.6	520	268.6	556	292.4	589	314	620	345	9.2
9.4	330	105.1	375	148.0	432	184.2	458	218.2	503	248.2	545	276.2	584	301	618	323	651	355	9.4
9.6	345	107.7	394	151.5	457	188.8	480	224.0	527	254.8	570	283.8	611	309	648	332	684	365	9.6
9.8	360	110.1	417	155.0	483	193.4	502	229.8	551	261.4	596	291.4	639	317	680	342	717	375	9.8
10.0	375	112.5	444	158.7	506	198.1	525	236.1	575	268.2	624	299.0	666	326	711	351	750	385	10.0

U SHAPE WITH TANGENTS  $\frac{L_1}{L_2} = 2$



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

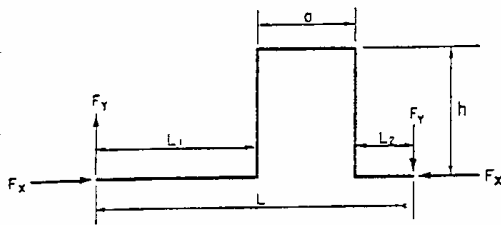
Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$\frac{L}{a}$	2			4			6			8			10			$\frac{L}{h}$
	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	
1.0	2.5	0.5	8.7	2.7	1.1	9.9	2.8	1.4	10.7	2.9	1.5	10.9	3.0	1.6	11.4	1.0
1.2	4.4	0.7	11.7	5.3	1.6	12.5	5.0	1.8	14.6	5.5	2.0	15.5	5.5	2.1	16.2	1.2
1.4	6.4	1.0	14.6	8.0	2.1	15.1	7.6	2.2	18.8	8.2	2.5	20.1	8.2	2.6	21.0	1.4
1.6	8.4	1.2	17.5	10.8	2.6	17.7	10.2	2.7	23.0	10.9	2.9	24.8	11.0	3.0	25.8	1.6
1.8	10.4	1.5	20.4	13.6	3.1	20.4	12.9	3.1	27.2	13.6	3.4	29.5	14.0	3.5	30.6	1.8
2.0	12.4	1.7	23.3	16.5	3.6	23.3	15.6	3.6	31.5	16.5	3.8	34.2	17.2	4.0	35.5	2.0
2.2	16.0	2.0	26.6	20.3	3.9	28.3	20.6	4.0	36.6	20.0	4.2	39.0	21.5	4.5	41.8	2.2
2.4	19.7	2.3	29.9	24.1	4.3	31.4	25.6	4.5	41.7	21.0	4.7	44.0	27.5	4.9	48.2	2.4
2.6	23.1	2.7	33.2	28.0	4.6	38.5	30.6	4.9	46.8	28.0	5.1	49.1	33.5	5.5	51.6	2.6
2.8	27.1	3.0	36.5	32.0	4.9	43.6	35.6	5.4	51.9	33.0	5.6	54.6	39.5	6.0	61.0	2.8
3.0	30.9	3.3	40.1	36.1	5.3	48.7	40.7	5.9	57.0	40.8	6.0	59.6	46.5	6.5	67.0	3.0
3.2	36.3	3.7	43.7	41.0	5.7	53.2	48.0	6.3	62.8	47.0	6.5	68.0	51.0	6.9	74.0	3.2
3.4	41.7	4.0	47.3	47.0	6.2	57.7	56.0	6.8	69.0	55.0	7.0	75.0	62.0	7.4	81.0	3.4
3.6	46.1	4.4	50.9	53.0	6.6	62.0	64.0	7.3	74.0	65.0	7.4	83.0	71.0	7.8	88.0	3.6
3.8	51.5	4.8	54.5	60.0	7.1	67.0	72.0	7.8	80.0	76.0	7.9	91.0	81.0	8.3	95.0	3.8
4.0	58.0	5.2	58.0	69.0	7.5	71.0	80.0	8.2	86.0	87.0	8.4	100	92.0	8.8	103	4.0
4.2	65.0	5.5	62.0	77.0	8.0	76.0	90.0	8.7	92.0	98.0	8.9	107	105	9.3	111	4.2
4.4	72.0	5.9	65.0	86.0	8.4	80.0	100	9.1	99.0	109	9.4	115	118	9.8	120	4.4
4.6	79.0	6.3	69.0	95.0	8.8	85.0	111	9.5	105	120	9.8	122	132	10.3	128	4.6
4.8	86.0	6.7	72.0	104	9.0	89.0	122	9.9	111	133	10.3	130	145	10.8	137	4.8
5.0	91.0	7.0	76.0	113	9.6	91.0	132	10.4	116	147	10.8	138	159	11.3	146	5.0
5.2	103	7.5	80.0	124	10.0	99.0	145	10.9	122	158	11.3	146	172	11.7	154	5.2
5.4	112	7.9	84.0	135	10.5	104	158	11.3	128	173	11.7	154	188	12.1	163	5.4
5.6	121	8.3	88.0	146	10.9	108	172	11.8	134	189	12.2	162	206	12.6	171	5.6
5.8	131	8.7	92.0	157	11.4	113	185	12.3	140	206	12.6	171	223	13.0	180	5.8
6.0	140	9.2	96.0	168	11.8	118	199	12.7	146	224	13.1	179	242	13.5	188	6.0
6.2	150	9.5	99.0	180	12.3	123	216	13.2	153	241	13.6	186	261	14.0	198	6.2
6.4	161	9.9	103	193	12.7	127	232	13.6	160	258	14.1	193	283	14.5	208	6.4
6.6	171	10.3	107	206	13.1	132	248	14.1	166	275	14.5	201	306	15.0	218	6.6
6.8	182	10.7	110	220	13.6	137	264	14.5	173	292	15.0	208	329	15.5	228	6.8
7.0	192	11.1	114	234	14.0	142	280	14.9	180	310	15.5	215	352	16.0	238	7.0
7.2	204	11.5	117	249	14.4	147	299	15.4	186	329	15.9	222	375	16.4	247	7.2
7.4	216	11.9	121	261	14.8	152	319	15.8	192	348	16.3	229	399	16.8	256	7.4
7.6	228	12.3	125	279	15.2	157	338	16.2	198	367	16.7	236	425	17.2	265	7.6
7.8	240	12.7	128	295	15.6	162	357	16.6	204	386	17.1	243	450	17.7	274	7.8
8.0	252	13.1	132	312	16.1	167	377	17.1	211	408	17.5	251	476	18.2	283	8.0
8.2	266	13.5	136	330	16.6	172	398	17.5	217	430	17.9	259	502	18.6	293	8.2
8.4	280	13.9	140	348	17.0	176	420	18.0	224	453	18.4	268	530	19.0	303	8.4
8.6	295	14.3	143	366	17.5	181	442	18.4	231	476	18.9	277	561	19.5	313	8.6
8.8	309	14.7	147	384	18.0	186	465	18.9	237	503	19.3	286	592	20.0	324	8.8
9.0	323	15.2	151	402	18.4	191	487	19.4	244	531	19.8	295	624	20.6	335	9.0
9.2	339	15.6	156	421	18.8	196	512	19.7	251	560	20.2	304	657	21.0	345	9.2
9.4	355	16.0	160	440	19.2	201	537	20.1	257	588	20.7	312	689	21.4	354	9.4
9.6	371	16.4	165	460	19.6	205	562	20.5	264	618	21.1	320	722	21.8	364	9.6
9.8	387	16.8	169	480	20.0	210	587	20.9	270	646	21.6	329	754	22.2	374	9.8
10.0	403	17.3	173	500	20.4	215	613	21.3	277	675	22.0	337	787	22.7	384	10.0

U SHAPE WITH TANGENTS  $\frac{L_1}{L_2} = 3$



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

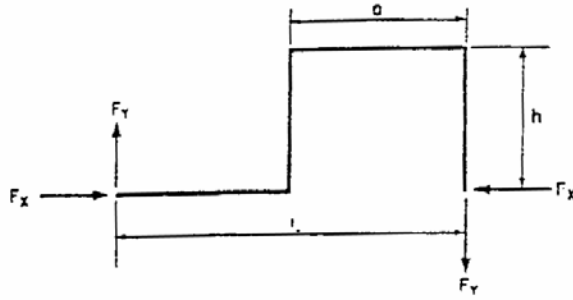
Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$\frac{L}{a}$	2			4			6			8			10			$\frac{L}{h}$
	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	
1.0	2.5	0.7	9.3	2.8	1.4	10.2	3.1	2.0	11.4	3.2	2.1	11.8	3.3	2.2	12	1.0
1.2	4.0	1.1	12.7	4.0	1.9	15	4.0	2.6	15.6	5.8	2.8	16.6	6.0	2.9	17	1.2
1.4	6.0	1.5	16.1	6.0	2.4	20	7.0	3.3	20	8.4	3.5	21.4	9.0	3.6	22	1.4
1.6	8.0	1.8	19.5	9.0	2.9	25	10	3.9	25	11	4.2	26	11	4.3	27	1.6
1.8	10	2.2	23	12	3.5	30	13	4.6	29	13	4.9	31	14	5.0	32	1.8
2.0	13	2.6	26	15	4.0	35	17	5.3	33	18	5.6	36	19	5.8	37	2.0
2.2	16	3.1	30	18	4.6	38	21	5.6	39	22	6.3	40	22	6.6	44	2.2
2.4	20	3.6	34	21	5.2	41	26	5.9	44	26	7.1	46	28	7.4	50	2.4
2.6	24	4.2	39	26	5.8	44	31	6.2	49	31	7.8	52	34	8.2	57	2.6
2.8	28	4.7	43	31	6.4	47	37	6.5	54	39	8.6	59	43	9.0	64	2.8
3.0	33	5.2	47	38	7.0	50	45	7.0	60	48	9.3	66	52	9.8	71	3.0
3.2	39	5.8	51	44	7.6	55	51	7.9	66	57	10.0	72	60	10.5	78	3.2
3.4	44	6.3	55	51	8.2	59	59	9.0	72	65	10.7	79	70	11.1	86	3.4
3.6	50	6.9	59	59	8.8	64	68	10.0	78	74	11.5	86	80	11.8	93	3.6
3.8	56	7.5	64	67	9.4	69	77	11.2	83	84	12.2	93	90	12.4	100	3.8
4.0	62	8.1	68	73	10.0	73	87	12.4	89	95	12.8	100	101	13.1	109	4.0
4.2	69	8.7	73	82	10.6	78	96	13.1	95	107	13.6	108	115	13.8	117	4.2
4.4	76	9.3	78	92	11.3	83	107	13.8	101	119	14.3	115	129	14.5	125	4.4
4.6	84	9.9	82	102	11.9	88	118	14.5	108	132	15.1	122	143	15.3	134	4.6
4.8	92	10.6	87	111	12.6	93	130	15.2	115	145	15.8	130	157	16.0	142	4.8
5.0	101	11.2	92	120	13.2	97	144	16.0	122	160	16.5	138	172	16.7	152	5.0
5.2	110	11.8	96	131	13.9	102	157	16.7	128	174	17.2	145	188	17.4	161	5.2
5.4	119	12.4	100	142	14.5	107	170	17.4	134	190	17.9	153	205	18.1	170	5.4
5.6	129	13.0	105	154	15.2	112	184	18.1	141	208	18.7	161	222	18.8	178	5.6
5.8	139	13.6	109	166	15.8	117	199	18.8	148	226	19.4	169	241	19.6	187	5.8
6.0	148	14.2	114	179	16.5	121	216	19.7	155	244	20.1	178	262	20.3	196	6.0
6.2	159	14.9	119	191	17.1	127	231	20.3	161	262	20.7	185	283	21.0	205	6.2
6.4	170	15.7	124	204	17.8	132	249	21.0	167	280	21.4	193	305	21.8	215	6.4
6.6	181	16.4	129	219	18.5	137	267	21.6	174	309	22.1	201	330	22.6	224	6.6
6.8	194	17.1	134	234	19.1	142	285	22.3	181	321	22.9	209	353	23.4	233	6.8
7.0	208	17.8	139	250	19.8	147	304	23.0	187	344	23.6	219	376	24.2	243	7.0
7.2	220	18.5	144	266	20.5	152	323	23.7	194	367	24.2	227	403	24.9	253	7.2
7.4	232	19.1	149	282	21.2	157	344	24.4	201	390	24.8	235	430	25.6	263	7.4
7.6	246	19.8	155	299	21.8	162	365	25.1	208	413	25.5	242	457	26.2	273	7.6
7.8	260	20.4	159	317	22.5	167	387	25.8	215	438	26.1	251	485	26.9	283	7.8
8.0	276	21.1	163	335	23.2	172	410	26.5	222	464	26.7	260	513	27.6	294	8.0
8.2	290	21.8	168	354	23.9	177	432	27.2	230	490	27.5	268	542	28.3	303	8.2
8.4	305	22.5	173	373	24.6	182	455	27.9	237	518	28.2	277	573	29.0	313	8.4
8.6	321	23.2	178	392	25.2	187	480	28.6	244	546	29.0	286	605	29.7	323	8.6
8.8	338	23.9	183	411	25.9	192	506	29.3	251	574	29.7	294	637	30.4	333	8.8
9.0	355	24.6	188	430	26.6	197	532	30.2	258	604	30.5	303	669	31.1	343	9.0
9.2	372	25.3	192	450	27.3	203	560	31.0	265	634	31.2	312	703	31.7	353	9.2
9.4	389	25.9	197	470	27.9	209	588	31.8	273	665	32.0	321	738	32.4	363	9.4
9.6	406	26.6	202	491	28.6	214	619	32.6	281	697	32.7	330	774	33.0	373	9.6
9.8	423	27.2	207	513	29.3	219	649	33.4	289	730	33.4	339	810	33.7	383	9.8
10.0	440	27.9	212	535	30.0	224	680	34.2	298	765	34.2	348	845	34.3	395	10.0

109

U SHAPE WITH SINGLE TANGENT



Reacting Force

$$F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$$

Reacting Force

$$F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$$

Maximum Bending Stress

$$s_H = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$$

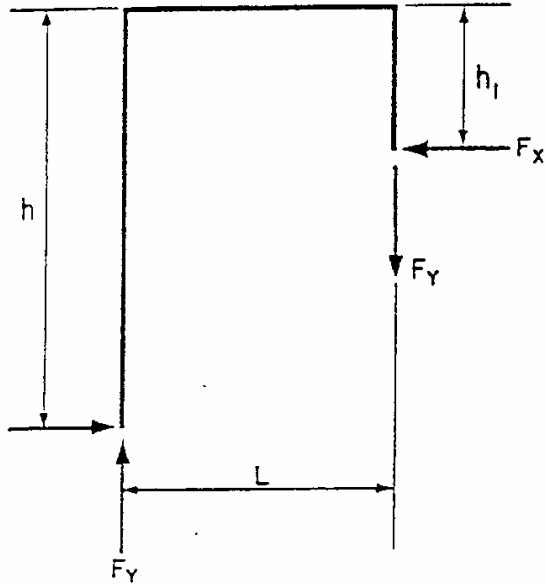
$I_P$  in inches<sup>4</sup>

$L$  in feet

$D$  in inches

$\frac{L}{a}$	1.5			2			3			4			$\frac{L}{a}$
	$\frac{L}{h}$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	
1.0	2.63	0.75	10.5	2.8	1.41	11.3	3.3	2.3	12.5	3.6	2.7	13.0	1.0
1.2	4.0	1.27	15.0	4.8	2.28	15	6	3.5	18.3	6.0	3.9	18.4	1.2
1.4	6.0	1.79	19.5	7	3.15	20	9	4.8	24.1	9.0	5.1	23.8	1.4
1.6	8.0	2.31	24.0	9	4.0	25	12	6.0	30	12.0	6.3	29.2	1.6
1.8	11.0	2.83	28.5	12	4.9	30	16	7.2	36	16.5	7.5	34.6	1.8
2.0	14.5	3.4	33.6	16	5.8	38	20	8.4	42	21.3	8.8	40	2.0
2.2	18	4.2	39	20	7.1	44	25	10.0	49	28	10.5	48	2.2
2.4	22	5.0	46	24	8.4	50	30	11.5	56	34	12.1	55	2.4
2.6	26	5.9	53	30	9.8	58	36	13.0	63	40	13.8	62	2.6
2.8	32	6.8	60	37	11.0	66	44	14.5	70	49	15.5	69	2.8
3.0	39	7.7	67	45	12.4	75	53	16	77	59	17.2	77	3.0
3.2	45	8.8	74	52	14.1	82	62	18	87	69	19.0	85	3.2
3.4	51	9.9	81	60	15.8	90	71	20	96	80	21.0	93	3.4
3.6	59	11.0	89	70	17.5	99	81	22	105	91	23.0	101	3.6
3.8	69	12.0	98	80	19	109	94	24	114	103	24.6	110	3.8
4.0	79	13.5	108	91	21	120	108	26	124	117	26.5	118	4.0
4.2	89	15.0	118	102	23	130	121	28	134	131	29	127	4.2
4.4	100	16.5	128	114	25	140	135	30	144	147	31	136	4.4
4.6	111	18.0	138	128	27	151	150	33	154	164	33	145	4.6
4.8	124	19.9	148	142	29	162	167	35	164	181	35	154	4.8
5.0	139	21.8	159	156	31	173	185	37	174	198	37	163	5.0
5.2	152	23.1	169	171	33	185	203	39	183	218	39	173	5.2
5.4	165	24.4	179	188	36	197	221	41	193	238	41	182	5.4
5.6	179	25.7	189	206	38	209	240	43	203	259	43	192	5.6
5.8	193	27.0	199	225	40	221	260	45	213	280	46	201	5.8
6.0	209	28.5	209	244	43	233	280	47	223	302	48	211	6.0
6.2	225	30.2	220	263	45	246	305	50	236	324	51	220	6.2
6.4	242	31.9	231	283	48	259	330	53	249	347	52	229	6.4
6.6	261	33.6	242	305	50	272	355	56	262	371	54	238	6.6
6.8	281	35.4	253	329	53	285	380	59	275	397	56	247	6.8
7.0	302	37.3	266	355	55	299	406	62	286	425	58	257	7.0
7.2	322	39.2	277	378	58	313	435	65	299	453	61	267	7.2
7.4	342	41.1	289	403	60	327	464	67	311	481	63	277	7.4
7.6	364	43.0	301	430	63	341	493	70	323	510	65	287	7.6
7.8	387	45.0	313	460	66	355	523	72	335	541	68	297	7.8
8.0	411	46.8	326	491	69	370	553	75	347	574	70	308	8.0
8.2	439	49.0	340	520	71	383	587	78	359	609	73	318	8.2
8.4	468	51.2	355	550	74	396	621	80	371	644	75	329	8.4
8.6	497	53	370	580	77	409	656	83	383	679	77	341	8.6
8.8	526	55	384	610	79	422	691	85	395	714	80	350	8.8
9.0	555	58	398	640	82	435	726	88	409	750	82	361	9.0
9.2	586	60	412	679	85	451	765	91	421	788	85	371	9.2
9.4	617	63	426	718	88	468	803	94	434	826	87	381	9.4
9.6	649	65	440	757	92	485	845	97	447	864	89	391	9.6
9.8	681	67	455	797	95	502	885	100	461	902	92	401	9.8
10.0	714	70	470	837	99	522	925	103	476	940	94	411	10.0

U SHAPE UNEQUAL LEGS



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

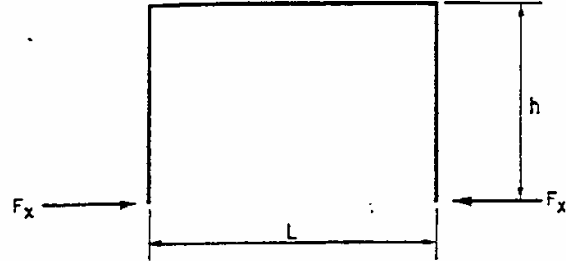
Maximum Bending Stress  $s_{bl} = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$\frac{h}{h_1}$	4/3			2			3			4			$\frac{L}{h}$
	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	
0.2	0.07	0.6	1.5	0.29	1.8	7	0.53	3.4	11	0.69	4.6	14	0.2
0.4	0.60	0.7	3.0	0.75	2.0	8	1.4	3.5	13	1.5	4.8	16	0.4
0.6	1.15	0.8	5.8	1.9	2.2	11	2.7	3.8	15	3.2	5.0	18	0.6
0.8	2.4	0.9	9.5	3.6	2.5	15	4.8	4.4	20	5.7	5.5	23	0.8
1.0	4.3	1.2	16	6.2	3.0	21	8	4.9	26	9	6.0	29	1.0
1.2	6	1.4	21	8	3.6	29	10	5.7	34	12	7.0	38	1.2
1.4	9	1.6	28	11	4.2	39	15	6.5	43	18	8.0	49	1.4
1.6	13	1.9	36	18	4.8	50	22	7.3	56	26	9.0	62	1.6
1.8	19	2.1	45	27	5.4	62	32	8.1	72	35	10.0	76	1.8
2.0	27	2.3	58	37	6.0	75	44	9.0	88	47	11.0	92	2.0
2.2	35	2.6	68	48	6.6	90	57	10.0	104	60	12.0	110	2.2
2.4	43	2.9	80	60	7.3	106	71	11.0	121	75	13.0	129	2.4
2.6	52	3.2	93	75	8.0	123	87	12.5	140	94	14.5	150	2.6
2.8	65	3.5	108	91	9.0	142	105	13.5	162	114	16	171	2.8
3.0	81	3.8	124	110	10.0	162	128	15	185	135	17	193	3.0
3.2	99	4.1	142	130	10.5	183	151	16	209	160	19	219	3.2
3.4	118	4.4	160	152	11.5	206	178	17	233	189	20	246	3.4
3.6	138	4.8	180	178	12	230	208	19	259	220	22	273	3.6
3.8	160	5.2	201	206	13	255	240	20	288	251	23	301	3.8
4.0	184	5.7	222	239	14	280	278	21	318	292	24	331	4.0
4.2	210	6.1	244	273	15	307	318	23	349	332	26	362	4.2
4.4	239	6.5	266	310	16	335	361	24	380	378	28	396	4.4
4.6	271	6.9	288	351	17	365	410	25	414	428	29	432	4.6
4.8	303	7.3	311	398	18	396	461	26	450	481	30	469	4.8
5.0	336	7.7	334	445	19	428	512	28	486	537	32	506	5.0

U SHAPE—EQUAL LEGS

$\frac{L}{h}$	$k_x$	$k_b$
0.2	0.0377	0.617
0.3	0.1165	1.308
0.4	0.256	2.232
0.5	0.469	3.370
0.6	0.765	4.580
0.7	1.191	6.430
0.8	1.68	8.110
0.9	2.38	10.39
1.0	3.00	12.00
1.2	4.88	16.74
1.4	7.37	22.26
1.6	10.55	28.56
1.8	14.48	35.52
2.0	19.2	43.20
2.2	24.6	52.32
2.4	31.4	60.72
2.6	39.2	70.56
2.8	48.0	81.24
3.0	57.8	92.64
3.2	69.1	104.5
3.4	82.2	118.2
3.6	95.6	130.8
3.8	111.0	138.4
4.0	128.1	160.0
4.2	147.0	176.1
4.4	166.6	192.0
4.6	189.0	208.8
4.8	213.0	227.4
5.0	239.0	246.0
5.2	266.0	264.0

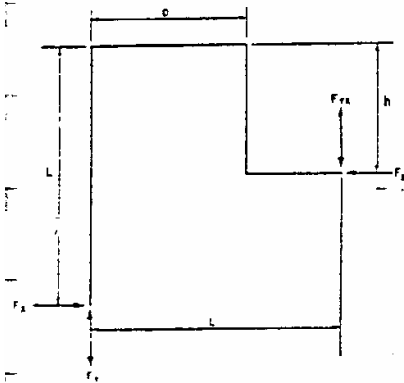


Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

U SHAPE—MODIFIED



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

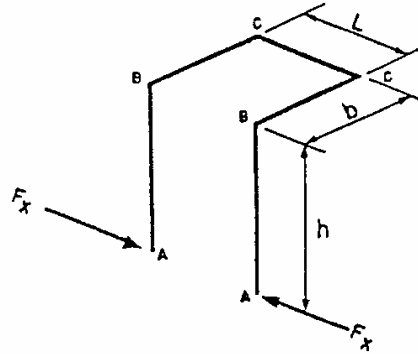
Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$

Maximum Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

$\frac{L}{c}$	1.3			1.5			2			3			Direction of $F_{yR}$ Force
	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	$k_x$	$k_y$	$k_b$	
1	2.62	0.51	10.45	2.63	0.75	10.50	2.82	1.41	11.2	3.30	2.28	12.6	↑
1.2	3.32	0.69	14.1	3.38	1.01	14.45	3.69	1.85	16.5	4.37	2.79	17.6	
1.5	4.17	1.26	13.8	4.12	1.15	13.5	4.12	0.86	13.3	4.5	0.42	14.5	↓
2	5.46	2.66	17.3	5.50	2.60	17.2	5.30	2.44	16.1	5.6	2.14	17.3	
3	7.20	4.70	22.2	7.10	1.70	21.5	7.08	4.65	21.3	7.3	4.50	22.0	
6	9.30	7.60	28.7	9.33	7.75	28.2	9.40	7.87	28.2	9.4	7.66	28.2	

TWO PLANE U



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_p}{L^2}$  lb

Bending Stress  $s_b = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

Torsional Stress  $s_t = k_t \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

$I_p$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

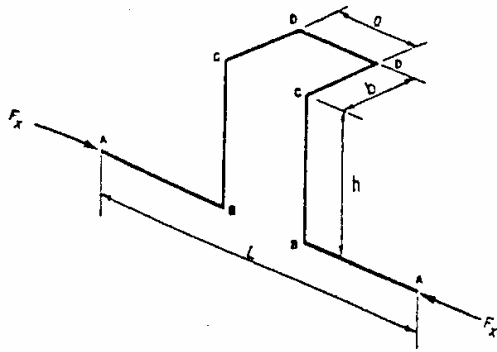
Where no value for  $k_t$  is listed the torsional stress is negligible (see page 4).

For method of combining stress see page 5.

Note: Letters indicate location of maximum combined stress.

$\frac{L}{h}$	0.25		0.50		1			2			3			4			$\frac{L}{h}$
	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	
1	0.010	0.55 <sup>C</sup>	0.195	1.42 <sup>C</sup>	0.70	3.43 <sup>A</sup>	0.75 <sup>A</sup>	1.51	7.09 <sup>A</sup>	0.75 <sup>A</sup>	2.05	9.12 <sup>A</sup>	0.65 <sup>A</sup>	2.26	9.8 <sup>A</sup>	0.52 <sup>A</sup>	1
2	0.050	0.62 <sup>C</sup>	0.27	1.75 <sup>C</sup>	1.24	3.31 <sup>A</sup>	1.73 <sup>A</sup>	4.40	11.2 <sup>A</sup>	3.0 <sup>A</sup>	7.65	16.9 <sup>A</sup>	3.4 <sup>A</sup>	11.0	24.8 <sup>A</sup>	3.4 <sup>A</sup>	2
3	0.055	0.67 <sup>B</sup>	0.31	1.90 <sup>B</sup>	1.53	4.75 <sup>B</sup>		6.36	11.3 <sup>A</sup>	4.9 <sup>A</sup>	12.9	22.4 <sup>A</sup>	6.8 <sup>A</sup>	19.5	33.4 <sup>A</sup>	7.8 <sup>A</sup>	3
4	0.058	0.72 <sup>B</sup>	0.31	2.14 <sup>B</sup>	1.72	5.65 <sup>B</sup>		7.70	10.5 <sup>B</sup>	6.5 <sup>A</sup>	16.6	22.2 <sup>A</sup>	9.7 <sup>A</sup>	27.7	36.7 <sup>A</sup>	12.0 <sup>A</sup>	4
5	0.060	0.76 <sup>B</sup>	0.36	2.32 <sup>B</sup>	1.86	6.31 <sup>B</sup>		8.74	15.6 <sup>B</sup>		20.0	22.0 <sup>A</sup>	12.2 <sup>A</sup>	31.5	37.2 <sup>A</sup>	16.0 <sup>A</sup>	5
6	0.061	0.78 <sup>B</sup>	0.37	2.40 <sup>B</sup>	1.99	6.95 <sup>B</sup>		9.55	17.6 <sup>B</sup>		22.4	28.4 <sup>B</sup>		40.0	44.6 <sup>B</sup>		6
7	0.063	0.80 <sup>B</sup>	0.38	2.55 <sup>B</sup>	2.08	7.40 <sup>B</sup>		10.2	19.3 <sup>B</sup>		24.5	32.0 <sup>B</sup>		44.7	41.9 <sup>B</sup>		7
8	0.0635	0.81 <sup>B</sup>	0.39	2.63 <sup>B</sup>	2.16	7.80 <sup>B</sup>		10.9	21.0 <sup>B</sup>		26.5	35.4 <sup>B</sup>		49.0	51.4 <sup>B</sup>		8
9	0.064	0.825 <sup>B</sup>	0.396	2.69 <sup>B</sup>	2.22	8.10 <sup>B</sup>		11.4	22.2 <sup>B</sup>		28.0	37.6 <sup>B</sup>		52.4	56.0 <sup>B</sup>		9
10	0.0647	0.84 <sup>B</sup>	0.40	2.74 <sup>B</sup>	2.28	8.40 <sup>B</sup>		11.8	23.4 <sup>B</sup>		29.5	40.6 <sup>B</sup>		55.6	59.3 <sup>B</sup>		10

TWO PLANE U-WITH TANGENTS



Reacting Force  $R_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  psi

Bending Stress  $s_B = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$

Torsional Stress  $s_t = k_t \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

$I_P$  in inches<sup>4</sup>     $L$  in feet     $D$  in inches

Where no value for  $k_t$  is listed the torsional stress is negligible (see page 4).

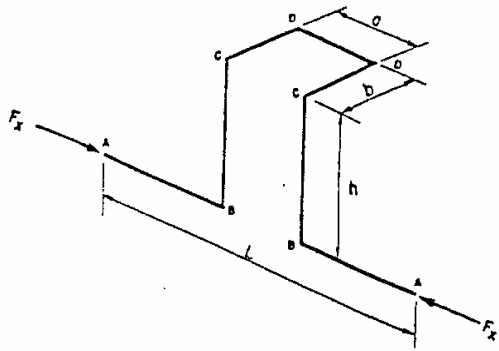
For method of combining stress see page 5

Note: Letters indicate location of maximum combined stress.

$L/a = 2$																			
$\frac{a}{b}$	0.25			0.5			1			2			3			4			$\frac{a}{b}$
	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	
1	0.20	1.63		0.64	2.79	0.51	1.26	2.96	1.31	1.89	6.5		1.91	6.6		2.0	6.7		1
2	0.28	2.04		1.23	4.81	0.43	3.77	7.94	1.72	6.95	13.0	1.40	8.45	15.0	1.07	9.3	16.0		2
3	0.32	2.15		1.53	5.62	0.30	5.70	10.6	1.51	13.3	17.0	3.15	18.2	22.0	2.76	21.0	24.5	2.32	3
4	0.34	2.27		1.70	6.00		7.00	13.0	1.41	19.6	19.7	5.15	28.8	26.4	4.86	35.6	31.4	4.40	4
5	0.35	2.32		1.81	6.25		7.86	14.3		24.4	23.0	4.97	40.0	29.6	7.20	51.0	36.5	6.76	5
6	0.36	2.36		1.89	6.40		8.50	15.0		28.5	26.2	4.77	50.7	31.6	9.58	66.7	40.0	9.28	6
7	0.37	2.38		1.95	6.50		8.96	15.6		31.6	28.5	4.48	59.0	35.4	9.38	81.8	42.2	11.8	7
8	0.38	2.40		2.00	6.60		9.30	15.9		34.2	30.4	4.21	66.6	40.0	9.20	95.5	43.2	14.2	8
9	0.38	2.42		2.04	6.65		9.58	16.0		36.3	31.6	3.94	73.4	43.1	9.00	108	45.1	14.3	9
10	0.39	2.43		2.08	6.75		9.80	16.3		38.0	32.6	3.70	79.0	45.9	8.70	119	52.5	14.1	10
$L/a = 4$																			
$\frac{a}{b}$	0.25			0.5			1			2			3			4			$\frac{a}{b}$
	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	
1	0.67	3.20		1.22	4.35	0.30	1.67	5.2	0.15	2.0	6.3		2.15	7.0		2.23	7.4		1
2	1.35	5.80		4.30	9.96	2.45	6.96	11.0		9.3	15.0		10.5	17.7		11.0	19.0		2
3	1.70	7.00		6.23	13.8	2.25	14.0	16.5	6.55	21.2	24.0		24.2	28.5		26.6	31.6		3
4	1.85	7.41		7.81	16.9	2.09	21.3	21.5	7.40	36.2	30.0		44.5	39.5		48.5	44.0		4
5	2.01	7.75		8.91	18.8	1.89	27.8	31.4	7.75	52.6	31.0	17.3	68.4	49.0		76.3	56.0		5
6	2.09	8.00		9.72	20.2	1.60	33.3	37.0	7.70	69.5	40.5	19.2	95.5	56.0		109	67.0		6
7	2.15	8.13		10.3	21.1		37.8	41.6	7.70	85.7	49.4	20.3	125	63.6	6.75	145	76.6	5.66	7
8	2.17	8.14		10.7	21.7		41.4	45.0	7.14	100	57.1	20.8	155	60.2	34.5	184	85.4	7.42	8
9	2.23	8.30		11.0	22.2		44.4	48.6	6.80	113	64.0	21.3	186	71.0	36.8	226	93.5	9.35	9
10	2.26	8.36		11.3	22.6		46.8	50.6	6.45	127	71.5	21.3	216	82.8	38.8	269	101	11.7	10



TWO PLANE U—WITH TANGENTS



Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L^2}$  lb

Bending Stress  $s_b = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

Torsional Stress  $s_t = k_t \cdot c \cdot \frac{D}{L}$  psi

$I_P$  in inches<sup>4</sup>     $L$  in feet     $D$  in inches

Where no value for  $k_t$  is listed the torsional stress is negligible (see page 4).

For method of combining stress see page 5.

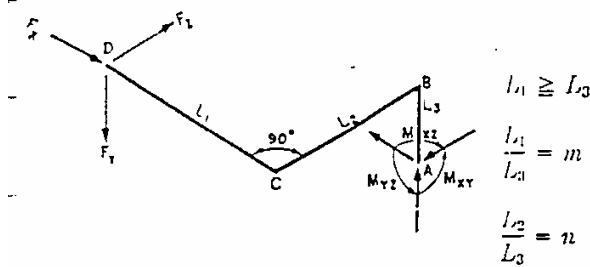
NOTE: Letters indicate location of maximum combined stress.

$L/a = 6$																			
$\frac{a}{b}$	0.25			0.5			1			2			3			4			$\frac{L}{h}$
	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	
1	1.00	D	D	1.50	A		1.90	C		2.2	C		2.32	C		2.38	C		1
2	2.79	D	D	5.86	D	D	8.65	D	D	10.7	D	D	11.8	D	D	12.35	D	D	2
3	4.06	D	D	11.15	D	D	19.3	D	D	26.1	D	D	29.3	D	D	30.8	D	D	3
4	4.81	D	D	15.95	D	D	32.6	D	D	47.4	D	D	54.2	D	D	60.0	D	D	4
5	5.41	D	D	19.9	D	D	46.7	D	D	73.9	D	D	85.0	D	D	94.1	D	D	5
6	5.65	D	D	23.0	D	D	60.9	D	D	101	D	D	125	D	D	138	D	D	6
7	5.89	D	D	25.4	D	D	74.0	D	D	137	D	D	174	D	D	189	D	D	7
8	6.06	D	D	27.3	D	D	86.0	D	D	173	D	D	220	D	D	248	D	D	8
9	6.22	D	D	28.6	D	D	96.6	D	D	209	D	D	274	D	D	312	D	D	9
10	6.31	D	D	29.8	D	D	106	D	D	244	D	D	330	D	D	382	D	D	10

$L/a = 8$																			
$\frac{a}{b}$	0.25			0.5			1			2			3			4			$\frac{L}{h}$
	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	$k_x$	$k_b$	$k_t$	
1	1.22	A		1.69	C		1.8	C		2.32	C		2.44	C		2.5	C		1
2	4.10	D	D	7.2	D	D	9.9	D	D	11.9	D	D	12.8	D	D	13.3	D	D	2
3	6.75	D	D	15.1	D	D	23.2	D	D	29.6	D	D	32.6	D	D	34.3	D	D	3
4	8.75	D	D	23.4	D	D	40.9	D	D	55.5	D	D	60.0	D	D	65.9	D	D	4
5	10.2	D	D	31.6	D	D	61.8	D	D	85.8	D	D	101	D	D	108	D	D	5
6	11.0	D	D	35.7	D	D	81.0	D	D	128	D	D	149.5	D	D	161	D	D	6
7	11.8	D	D	45.0	D	D	107	D	D	174	D	D	206	D	D	225	D	D	7
8	12.3	D	D	50.0	D	D	130	D	D	225	D	D	270	D	D	299	D	D	8
9	12.7	D	D	54.0	D	D	152	D	D	279	D	D	342	D	D	390	D	D	9
10	13.0	D	D	57.3	D	D	175	D	D	335	D	D	406	D	D	475	D	D	10

THREE DIMENSIONAL 90° TURNS



Reacting Force  $F_y = k_y \cdot c \cdot \frac{I_P}{L_3}$  lb

Reacting Force  $F_x = k_x \cdot c \cdot \frac{I_P}{L_3}$  lb

Reacting Moment  $M_{xy} = k_{xy} \cdot c \cdot \frac{I_P}{L_3}$  ft. lb.

Reacting Moment  $M_{xz} = k_{xz} \cdot c \cdot \frac{I_P}{L_3}$  ft. lb.

Reacting Moment  $M_{yz} = k_{yz} \cdot c \cdot \frac{I_P}{L_3}$  ft. lb.

Bending Stress  $s_b = k_b \cdot c \cdot \frac{D}{L_3}$  psi  
 Torsional Stress  $s_t = k_t \cdot c \cdot \frac{D}{L_3}$  psi

For Method of combining stresses see page 5

Reacting Force  $F_z = k_z \cdot c \cdot \frac{I_P}{L_3}$  lb

$I_P$  in inches<sup>4</sup>       $L$  in feet       $D$  in inches

n	m = 1								m = 2								n
	$k_x$	$k_t$	$k_z$	$k_y$	$k_r$	$k_{xy}$	$k_{xz}$	$k_{yz}$	$k_x$	$k_t$	$k_z$	$k_y$	$k_r$	$k_{xy}$	$k_{xz}$	$k_{yz}$	
0.25	30.24	0.95	8.56	8.56	3.2	4.9	0.31	1.37	41.40	2.09	10.0	2.75	1.41	6.9	0.60	0.74	0.25
0.50	22.40	1.36	5.25	5.25	4.0	3.7	0.45	1.82	30.54	3.03	6.92	1.82	1.95	5.0	1.01	1.07	0.50
0.75	19.62	1.66	3.78	3.78	4.4	2.5	0.55	2.13	22.14	3.33	4.78	1.29	2.00	3.5	1.10	1.11	0.75
1	19.20	1.68	2.80	2.80	4.8	2.0	0.55	2.53	18.12	3.36	3.70	0.98	2.00	2.8	1.12	1.14	1
2	26.7	1.11	1.20	1.40	6.4	0.9	0.37	4.10	13.50	0.42	1.27	0.45	2.06	1.0	0.66	1.30	2
3	31.5	1.65	0.94	0.94	7.9	0.8	0.58	5.66	17.34	0.45	0.85	0.29	2.38	0.70	0.66	1.66	3
4	43.4	1.98	0.74	0.74	9.5	0.64	0.65	7.2	21.0	0.39	0.65	0.21	2.72	0.56	0.68	2.01	4
5	52.2	2.17	0.62	0.62	11.0	0.55	0.72	8.6	25.3	0.42	0.52	0.17	3.10	0.45	0.63	2.38	5
6	61.0	2.31	0.53	0.53	12.6	0.48	0.77	10.2	29.4	0.51	0.44	0.14	3.43	0.39	0.68	2.76	6
7	70.0	2.43	0.47	0.47	14.1	0.43	0.81	11.6	33.5	0.51	0.39	0.12	3.79	0.35	0.72	3.13	7
8	79.2	2.70	0.42	0.42	15.7	0.39	0.91	13.2	37.6	0.63	0.35	0.11	4.16	0.32	0.75	3.50	8
9	88.2	2.76	0.38	0.38	17.2	0.35	0.93	14.6	41.4	0.53	0.31	0.093	4.50	0.28	0.76	3.84	9
10	97.0	2.81	0.35	0.35	18.8	0.33	0.95	16.1	45.5	0.60	0.29	0.085	4.84	0.27	0.80	4.20	10
n	m = 3								m = 4								n
	$k_x$	$k_t$	$k_z$	$k_y$	$k_r$	$k_{xy}$	$k_{xz}$	$k_{yz}$	$k_x$	$k_t$	$k_z$	$k_y$	$k_r$	$k_{xy}$	$k_{xz}$	$k_{yz}$	
0.25	56.7	3.3	12.8	1.78	1.04	9.5	1.10	0.59	72.3	5.0	15.6	1.37	0.84	12.0	1.7	0.49	0.25
0.50	40.3	4.9	8.7	1.12	1.40	6.7	1.64	0.84	50.5	6.8	10.5	0.85	1.13	8.4	2.3	0.70	0.50
0.75	28.7	5.0	6.1	0.77	1.54	4.7	1.68	0.96	32.6	6.7	6.65	0.52	1.12	5.4	2.2	0.72	0.75
1	22.3	4.86	4.5	0.54	1.50	3.6	1.62	0.74	24.0	6.0	4.80	0.37	1.10	3.0	2.0	0.61	1
2	9.3	0.15	1.4	0.22	1.10	1.1	1.00	0.71	8.0	3.6	1.48	0.13	0.80	1.3	1.2	0.51	2
3	10.4	0.21	0.76	0.13	1.08	0.60	0.74	0.70	7.26	0.10	0.76	0.09	0.65	0.6	0.88	0.42	3
4	12.0	0.11	0.52	0.095	1.14	0.44	0.69	0.82	7.98	0.09	0.47	0.055	0.64	0.4	0.66	0.45	4
5	13.7	0.21	0.40	0.072	1.24	0.34	0.58	0.95	8.58	0.16	0.35	0.041	0.67	0.3	0.58	0.50	5
6	15.6	0.22	0.33	0.057	1.33	0.30	0.57	1.06	9.78	0.12	0.27	0.032	0.70	0.24	0.51	0.54	6
7	17.5	0.20	0.28	0.048	1.45	0.25	0.55	1.18	11.04	0.10	0.23	0.026	0.74	0.20	0.50	0.59	7
8	19.5	0.21	0.25	0.044	1.57	0.22	0.56	1.29	12.12	0.15	0.20	0.023	0.80	0.18	0.48	0.65	8
9	21.6	0.21	0.23	0.036	1.68	0.21	0.59	1.42	13.2	0.10	0.18	0.019	0.83	0.17	0.49	0.69	9
10	23.6	0.21	0.21	0.032	1.80	0.19	0.61	1.55	14.3	0.10	0.16	0.017	0.88	0.15	0.49	0.75	10

NOTE: Letters indicate location of maximum combined stress.

THREE DIMENSIONAL 90° TURNS

m = 5										m = 6									
n	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	k <sub>z</sub>	k <sub>v</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yz</sub>	k <sub>zz</sub>	k <sub>vx</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	k <sub>z</sub>	k <sub>v</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yz</sub>	k <sub>zz</sub>	k <sub>vx</sub>	n
0.25	88.2	6.66	18.4	1.13	0.71	14.7	2.2	0.42	102.3	8.19	20.8	0.96	0.62	17.0	2.7	0.38	0.25	0.25	
0.50	59.7	8.82	12.15	0.67	0.95	9.9	2.9	0.64	69.0 <sup>A</sup>	10.77	13.7	0.58	0.82	11.4	3.6	0.53	0.50	0.50	
0.75	39.3	8.46	7.8	0.42	0.92	6.5	2.8	0.60	41.7	10.30	8.75	0.35	0.79	7.4	3.4	0.52	0.75	0.75	
1	28.14	8.19	5.3	0.28	0.90	4.7	2.7	0.56	31.5	9.4	6.10	0.23	0.67	5.2	3.1	0.47	1	1	
2	8.61	4.35	1.6	0.09	0.57	1.4	1.5	0.40	9.9	4.9	1.70	0.07	0.47	1.5	1.6	0.33	2	2	
3	6.21	0.066	0.77	0.06	0.47	0.7	1.0	0.31	5.31	0	0.80	0.04	0.36	0.70	1.1	0.25	3	3	
4	6.24	0.057	0.47	0.037	0.43	0.4	0.76	0.30	5.50	0.03	0.96	0.026	0.32	0.41	0.80	0.23	4	4	
5	6.60	0.057	0.33	0.026	0.42	0.29	0.63	0.31	6.06	0.03	0.32	0.019	0.30	0.29	0.67	0.22	5	5	
6	7.11	0.057	0.25	0.021	0.43	0.22	0.54	0.33	6.24	0.015	0.24	0.015	0.30	0.21	0.57	0.214	6	6	
7	7.98	0.069	0.21	0.017	0.45	0.19	0.50	0.35	6.50	0.04	0.18	0.011	0.27	0.16	0.50	0.207	7	7	
8	8.60	0.075	0.17	0.015	0.47	0.15	0.45	0.37	6.80	0.04	0.16	0.0105	0.31	0.14	0.47	0.24	8	8	
9	9.50	0.050	0.15	0.012	0.48	0.14	0.45	0.41	7.02	0.027	0.14	0.0086	0.32	0.12	0.44	0.26	9	9	
10	10.08	0.070	0.14	0.010	0.52	0.13	0.45	0.44	7.33	0.048	0.12	0.0073	0.33	0.11	0.42	0.27	10	10	
m = 7										m = 8									
n	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	k <sub>z</sub>	k <sub>v</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yz</sub>	k <sub>zz</sub>	k <sub>vx</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	k <sub>z</sub>	k <sub>v</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yz</sub>	k <sub>zz</sub>	k <sub>vx</sub>	n
0.25	117.0	9.87	23.4	0.85	0.55	19.5	3.3	0.31	132.0	11.46	26.0	0.75	0.50	22.0	3.8	0.26	0.25	0.25	
0.50	81.6	13.35	16.0	0.53	0.76	13.6	4.5	0.49	88.8	15.72	17.2	0.46	0.66	14.8	5.1	0.43	0.50	0.50	
0.75	50.6	12.06	9.8	0.30	0.72	8.4	4.0	0.49	56.0	14.10	10.7	0.27	0.63	9.3	4.7	0.42	0.75	0.75	
1	35.1	11.07	6.7	0.20	0.60	5.8	3.7	0.41	38.6	12.42	7.3	0.17	0.60	6.4	4.2	0.38	1	1	
2	9.78	5.73	1.8	0.05	0.37	1.6	1.9	0.27	11.4	6.57	2.0	0.046	0.35	1.8	2.2	0.26	2	2	
3	4.95		0.85	0.03	0.30	0.75	1.3	0.22	4.92	4.29	0.91	0.023	0.26	0.82	1.4	0.19	3	3	
4	4.90		0.49	0.019	0.26	0.43	0.9	0.19	4.40		0.50	0.013	0.21	0.45	1.0	0.16	4	4	
5	4.70		0.32	0.014	0.23	0.29	0.71	0.17	3.90		0.325	0.011	0.19	0.29	0.78	0.14	5	5	
6	4.75		0.23	0.011	0.22	0.21	0.59	0.16	3.95		0.235	0.0089	0.18	0.21	0.63	0.133	6	6	
7	4.80		0.18	0.0092	0.22	0.16	0.51	0.167	4.10		0.178	0.0072	0.17	0.16	0.55	0.127	7	7	
8	5.00		0.15	0.0083	0.23	0.13	0.47	0.176	4.20		0.140	0.0062	0.17	0.12	0.47	0.128	8	8	
9	5.20		0.13	0.0065	0.23	0.11	0.42	0.183	4.45		0.118	0.0051	0.17	0.10	0.43	0.132	9	9	
10	5.25		0.11	0.0055	0.23	0.10	0.32	0.186	4.62		0.100	0.0044	0.17	0.09	0.39	0.134	10	10	
m = 9										m = 10									
n	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	k <sub>z</sub>	k <sub>v</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yz</sub>	k <sub>zz</sub>	k <sub>vx</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>y</sub>	k <sub>z</sub>	k <sub>v</sub>	k <sub>x</sub>	k <sub>xy</sub>	k <sub>yz</sub>	k <sub>zz</sub>	k <sub>vx</sub>	n
0.25	147.0	13.3	28.6	0.69	0.45	24.5	4.4	0.255	161.0	15.1	31.1	0.62	0.41	26.9	5.0	0.25	0.25	0.25	
0.50	96.6	17.1	18.5	0.40	0.59	16.1	5.7	0.38	106.0	19.4	20.2	0.37	0.55	17.7	6.5	0.36	0.50	0.50	
0.75	61.8	15.9	11.6	0.21	0.57	10.2	5.3	0.39	67.2	17.7	12.5	0.21	0.52	11.1	5.9	0.36	0.75	0.75	
1	41.5	13.9	7.8	0.15	0.54	6.9	4.6	0.35	45.6	15.3	8.3	0.09	0.49	7.6	5.1	0.35	1	1	
2	11.4	7.17	2.1	0.04	0.31	1.9	2.4	0.23	12.6	8.25	2.3	0.034	0.28	2.1	2.8	0.211	2	2	
3	5.1	4.56	0.94	0.019	0.20	0.85	1.5	0.15	5.46	5.1	1.0	0.016	0.20	0.91	1.7	0.153	3	3	
4	3.9		0.52	0.012	0.16	0.47	1.1	0.116	3.8		0.55	0.012	0.16	0.50	1.2	0.115	4	4	
5	3.6		0.335	0.0085	0.14	0.30	0.88	0.102	3.5		0.35	0.0074	0.14	0.32	0.90	0.10	5	5	
6	3.2		0.238	0.0071	0.145	0.21	0.69	0.102	3.1		0.24	0.0058	0.13	0.21	0.71	0.10	6	6	
7	3.5		0.177	0.0058	0.140	0.16	0.56	0.110	3.12		0.18	0.0048	0.12	0.16	0.57	0.09	7	7	
8	3.6		0.140	0.0049	0.138	0.12	0.49	0.104	3.26		0.11	0.0040	0.115	0.12	0.51	0.087	8	8	
9	3.8		0.116	0.0041	0.137	0.10	0.44	0.106	3.3		0.11	0.0034	0.113	0.10	0.46	0.086	9	9	
10	4.0		0.100	0.0031	0.137	0.09	0.41	0.108	3.4		0.10	0.0030	0.112	0.09	0.44	0.087	10	10	

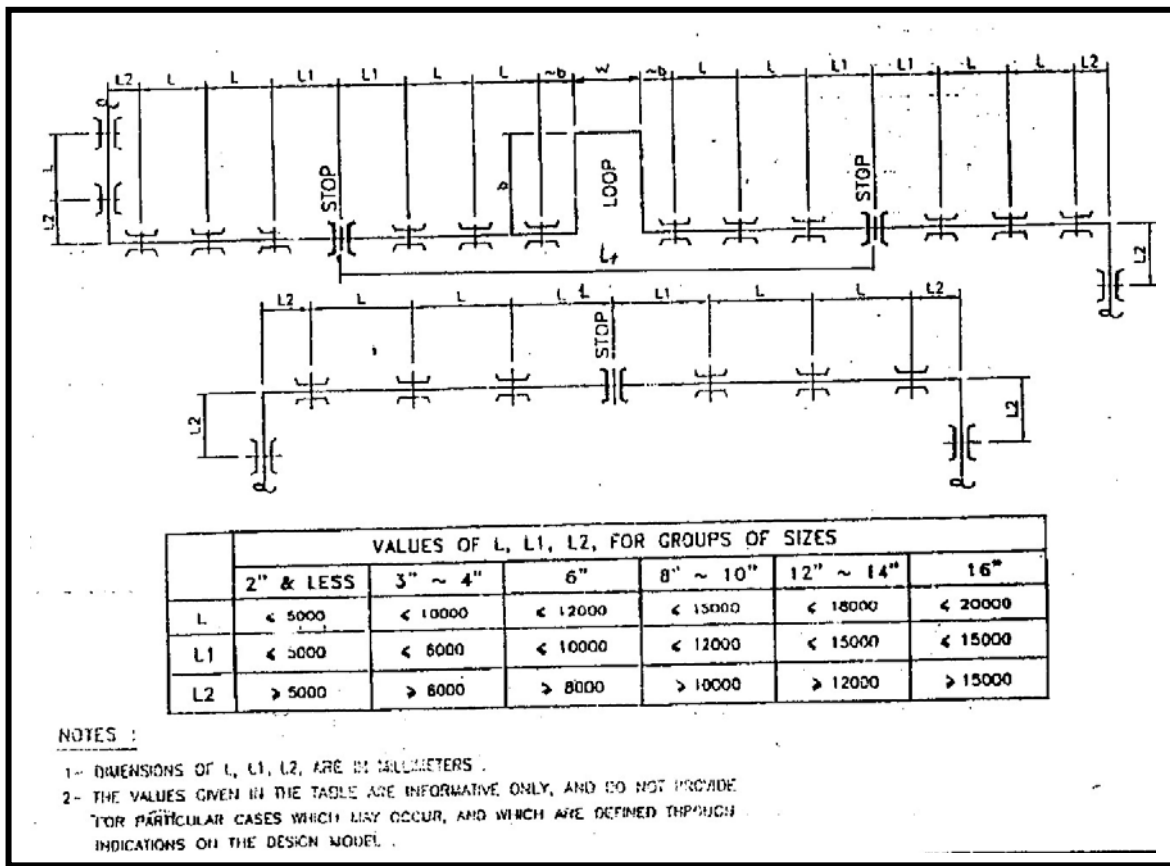
NOTE: Letters indicate location of maximum combined stress.

THERMAL EXPANSION DATA

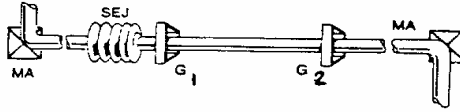
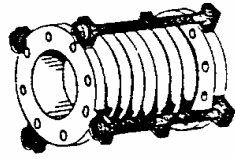
A = Mean Coefficient of Thermal Expansion  $\times 10^6$  (In./In./F) in Going from 70 F to Indicated Temperature  
 B = Linear Thermal Expansion (In./100 Ft)

Material	Coeffi- cient	Temperature Range - 70 F to													
		70	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Carbon steel; Carbon-moly steel low-chrome steels (thru 3% cr.)	A	..	6.38	6.60	6.82	7.02	7.23	7.44	7.65	7.84	7.97	8.12	8.14	8.28	8.36
	B	0	0.99	1.82	2.70	3.62	4.60	5.63	6.70	7.81	8.89	10.04	11.10	12.22	13.34
Intermediate alloy steels; 5 Cr. Mo. thru 9 Cr. Mo.	A	..	6.04	6.19	6.34	6.50	6.66	6.80	6.96	7.10	7.22	7.32	7.41	7.49	7.55
	B	0	0.94	1.71	2.50	3.35	4.24	5.14	6.10	7.07	8.06	9.05	10.00	11.06	12.05
Austenitic stainless steels	A	..	9.34	9.47	9.59	9.70	9.82	9.92	10.05	10.16	10.29	10.39	10.48	10.54	10.60
	B	0	1.46	2.81	3.80	5.01	6.24	7.50	8.80	10.12	11.48	12.84	14.20	15.56	16.92
Straight chromium stainless steels; 12 Cr, 17 Cr. and 27 Cr.	A	..	5.50	5.66	5.81	5.96	6.13	6.26	6.39	6.52	6.63	6.72	6.78	6.85	6.90
	B	0	0.86	1.56	2.30	3.08	3.90	4.73	5.60	6.49	7.40	8.31	9.20	10.11	11.01
25 Cr. - 20 Ni.	A	..	7.76	7.92	8.08	8.22	8.38	8.52	8.68	8.81	8.92	9.00	9.08	9.12	9.18
	B	0	1.21	2.18	3.20	4.24	5.33	6.44	7.60	8.78	9.95	11.12	12.31	13.46	14.65
Monel 67 Ni. - 30 Cu.	A	..	7.84	8.02	8.20	8.40	8.58	8.78	8.96	9.16	9.34	9.52	9.70	9.88	10.04
	B	0	1.22	2.21	3.25	4.33	5.46	6.64	7.85	9.12	10.42	11.77	13.15	14.58	16.02
Monel 66 Ni. - 29 Cu. Al.	A	..	7.48	7.68	7.90	8.00	8.30	8.50	8.70	8.90	9.10	9.30	9.50	9.70	9.89
	B	0	1.17	2.12	3.13	4.17	5.28	6.43	7.62	8.86	10.16	11.50	13.00	14.32	15.78
Aluminum	A	..	12.05	13.28	13.60	13.90	14.20	..	..	..	..	..	..	..	..
	B	0	2.00	3.66	5.39	7.17	9.03	..	..	..	..	..	..	..	..
Gray cast iron	A	..	5.75	5.93	6.10	6.28	6.47	6.65	6.83	7.00	7.19	..	..	..	..
	B	0	0.90	1.64	2.42	3.24	4.11	5.03	5.98	6.97	8.02	..	..	..	..
Bronze	A	..	10.03	10.12	10.23	10.32	10.44	10.52	10.62	10.72	10.80	10.90	11.00	..	..
	B	0	1.56	2.79	4.05	5.33	6.64	7.95	9.30	10.68	12.05	13.47	14.92	..	..
Brass	A	..	9.76	10.00	10.23	10.47	10.69	10.92	11.16	11.40	11.63	11.85	12.09	..	..
	B	0	1.52	2.70	4.05	5.40	6.80	8.26	9.78	11.35	12.98	14.65	16.39	..	..
Wrought iron	A	..	7.32	7.48	7.61	7.73	7.88	8.01	8.13	8.29	8.39	..	..	..	..
	B	0	1.14	2.06	3.01	3.99	5.01	6.06	7.12	8.26	9.36	..	..	..	..
Copper-Nickel (70-30)	A	..	8.54	8.71	8.90	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
	B	0	1.33	2.40	3.52	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

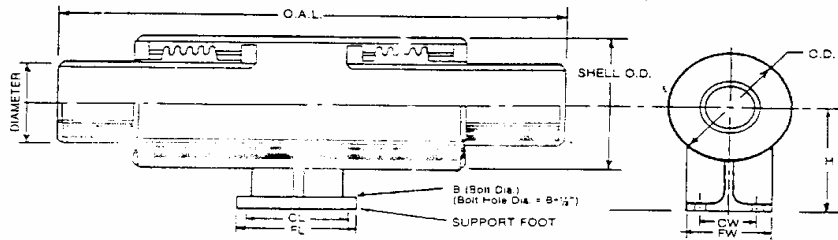
جدول ۳۶-۱۱) ضریب انبساط حرارتی



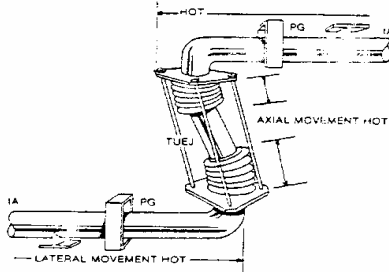
شکل ۳۷-۱۱) فاصله تکیه گاهی در LOOP



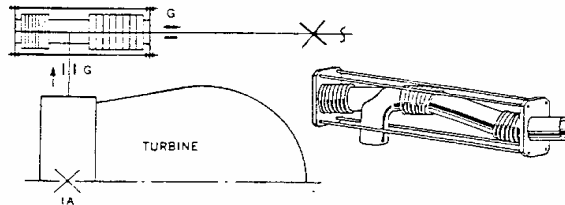
Single expansion joint.



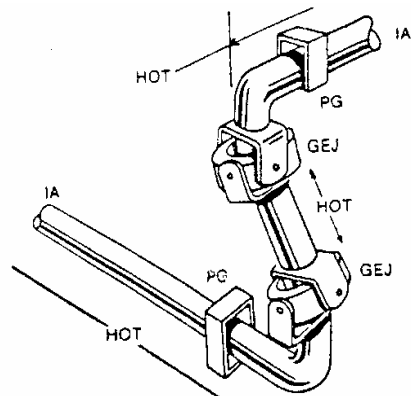
Double expansion joint.



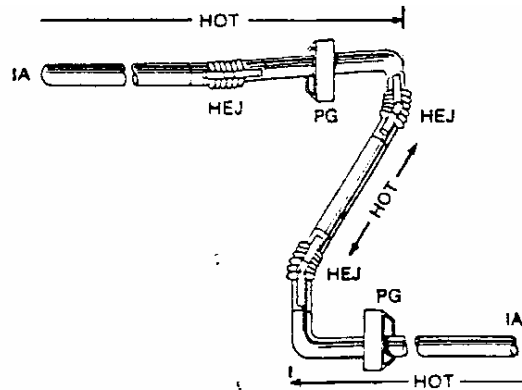
Universal expansion joint.



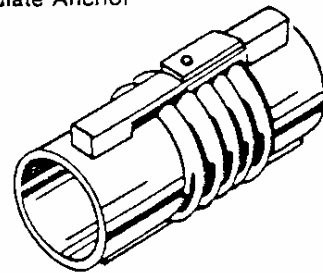
Pressure balance expansion joint.



Gimbal expansion joint.



HEJ: Hinge Expansion Joint  
 PG: Planar Guide  
 A: Intermediate Anchor  
 G: Guide



Hinged expansion joint.

# منابع و مراجع

## منابع و مراجع

- 1-ASME,ANSI B31.3 &B31.3,2003
- 2-Ludwig E.E,Applied Process Design For Chemical And Petrochemical Plants , Vol I,Gulf Publishing Co
- 3-Optimum Pipe Size Selection ,Claude B Nolte ,Houston,Gulf Pub. Co.,1979
- 4-Flow Of Fluids ;Through Valves ,Fitting And Pipe ,Crane Ltd London,1986
- 5-Handbook Of Valves Piping And Pipe Lines, ;R H Warring Morden,Trade & Techincal Press,1982
- 6-Process Piping Design,Rip Weaver,Houston,Gulf Pub. Co.,1973
- 7-Piping Handbook, Reno C King,Sabin Crocker,5th ed,Newyork,Mcgraw Hill , 1967
- 8-Pressure Vessels & Piping Design And Analysis, G J Bohm , Newyork ASME , 1972
- 9-Mechanical Design Of Process System,A Keith Escoe, Gulf Pub. Co.,1986
- 10- Piping And Pipe Lines Engineering Design : Construction; Maintenance; Integrity; And Repair,George A Antoki,Newyork,Marcel Dekker,2003
- 11-Piping Data Book,Mohinder L Nayyar, Newyork,Mcgraw Hill,2002
- 121-The Piping Guide,London Spon Press,Distributed By Sadjad Press,2003
- 13-Pocket Guide To Flanges And Piping Data,R R Lee 3rd ed,Houston, Gulf Pub. Co.,1999
- 14-Piping Engineering,Louis Ville,5th ed,Tube Turn,1983
- 15-Piping Stress Handbook,Victor Helguero M,2nd ed,Houston Gulf Pub. Co., 1986
- 16-Handbook Of Piping Design,G K Sahu,new Age International Limited Pub, 1998
- 17-ASME B31.3 Process Piping,Glynn E Woods, Roy B Baguley 2nd ed,Canada Casti Pub,2000