

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

# راهنمای طراحی لوزه‌های سامانه گازرسانی

نشریه شماره ۶۰۱

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)





ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور

بسمه تعالی

شماره:	۱۰۰/۶۵۴۴۹	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۱/۰۸/۱۰	
موضوع: راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه گازرسانی		
<p>به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی - مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویبنامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۶۰۱ امور نظام فنی، با عنوان «<b>راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه گازرسانی</b>» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.</p> <p>رعایت مفاد این ضابطه برای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران، پیمانکاران و سایر عوامل ذی‌نفع نظام فنی و اجرایی، در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۱/۱۰/۱ اجباری است.</p>		

بهرروز مرادی



## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه‌ی این نشریه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده‌ی هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- شماره‌ی بند و صفحه‌ی موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ معاونت

برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

Email: [info@nezamfanni.ir](mailto:info@nezamfanni.ir)

web: [nezamfanni.ir/](http://nezamfanni.ir/)



## بسمه تعالی

### پیشگفتار

انسان از آغاز خلقت همواره با موضوع بلایای طبیعی مواجه بوده و تلاش نموده است تا ضمن کنترل حوادث و سوانح طبیعی، زندگی خود را از این خطرات ایمن و محفوظ دارد. در میان بلایای طبیعی، زلزله از ویژگی‌های خاصی برخوردار بوده و در قرن گذشته اهمیت بیشتری به مدیریت بحران زلزله داده شده است. کشور ما از نظر لرزه‌خیزی در منطقه فعال جهان قرار دارد و به گواهی اطلاعات و مستندات علمی از خطرپذیرترین مناطق جهان محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر به طور متوسط هر پنج سال یک زمین‌لرزه با صدمات جانی و مالی بسیار بالا در نقطه‌ای از کشور رخ داده است و در حال حاضر ایران در صدر کشورهایی است که وقوع زلزله در آن با تلفات جانی بالا همراه است. گرچه جلوگیری کامل از خسارات ناشی از زلزله‌های شدید بسیار دشوار است لیکن با افزایش سطح اطلاعات مرتبط با لرزه‌خیزی کشور و آموزش و ترویج فرهنگ طراحی و بهسازی لرزه‌ای صحیح مستحذات (ساختمان‌ها، تأسیسات زیربنایی و شریان‌های حیاتی)، می‌توان تا حد مطلوبی تلفات و خسارات ناشی از زلزله‌های آتی را کاهش داد. در همین راستا یکی از برنامه‌های مهم برای کاهش خطرپذیری کشور در برابر زلزله، برنامه مقاوم‌سازی ساختمان‌های دولتی مهم، تأسیسات زیربنایی و شریان‌های حیاتی کشور است که تدوین ضوابط، دستورالعمل‌ها و معیارهای فنی طراحی و بهسازی لرزه‌ای از جمله نیازها و ملزومات مهم آن محسوب می‌شود.

معاونت نظارت راهبردی (امور نظام فنی) در راستای وظایف و مسوولیت‌های قانونی براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) و برنامه مقاوم‌سازی ساختمان‌های دولتی مهم، تأسیسات زیربنایی و شریان‌های حیاتی کشور، اقدام به تهیه و تدوین این نشریه با عنوان «راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه گاز رسانی» نموده است. در تدوین این راهنما از استانداردها، آیین‌نامه‌ها و راهنماهای مشابه موجود در دیگر کشورها از جمله آمریکا، ژاپن، هندوستان و کشورهای اروپایی در کنار آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد شماره ۲۸۰۰ ایران و سایر آیین‌نامه‌ها و راهنماهای کشور استفاده شده است. حاصل کار، نشریاتی است که به عنوان راهنما تهیه شده و روال بارگذاری، طراحی و بهسازی لرزه‌ای شریان‌های حیاتی را برای سطوح مختلف عملکرد ارایه می‌نماید (نشریات شماره ۶۰۰ تا ۶۱۰). درمورد بسیاری از اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، سعی شده است تا معیارهای پذیرش و روند طراحی مناسب با شرایط ویژه کشور ایران عرضه شده و روش‌های جمع‌آوری اطلاعات، با شرایط کشور سازگاری لازم را داشته باشد. به دلیل تجربیات اندک در حوزه طراحی و بهسازی لرزه‌ای شریان‌های حیاتی در دنیا و کشور و نیز تخصصی بودن موضوع، با وجود همه تلاش‌های انجام شده و همچنین زحمات کارگروه‌های فنی - تخصصی در بررسی و اصلاح این راهنما، قطعاً هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که انشاء... کاربرد عملی و وسیع این نشریه توسط مهندسان و محققان، موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود.

معاونت نظارت راهبردی به این وسیله از شرکت مهندسی مشاور پارس‌آیندآب که مسوولیت انجام این پروژه را به عهده داشته است و همچنین تمامی افرادی که در تهیه، تدوین و پیشبرد این نشریه اهتمام ورزیده‌اند، جناب آقای مهندس حمزه مصطفوی رییس امور نظام فنی، سرکار خانم مهندس پورسید، کارشناسان محترم امور نظام فنی و نیز نهادها و کارشناسانی که با اظهارنظرهای اصلاحی و ارشادی، این معاونت را در جهت تکمیل آن یاری نموده‌اند، سپاسگذاری و قدردانی می‌نماید. امید است که اینگونه حمایت‌ها و همکاری‌ها ادامه یافته و در آینده نیز ما را در جهت افزایش غنای فنی این نشریه مساعدت نمایید.

معاون نظارت راهبردی

پاییز ۱۳۹۱

## تهیه و کنترل راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه گازرسانی (نشریه شماره ۶۰۱)

مجری: مهندسین مشاور پارس آیند آب

### اعضای کارگروه اصلی تهیه‌کننده:

دکترای عمران - سازه (شریانهای حیاتی)	نعمت حسنی (مدیر فنی)
دکترای عمران - سازه	محمد صافی (معاون مدیر فنی)
کارشناس مهندسی عمران	امید فرقانی (مدیر اجرایی)
دکترای عمران - ژئوتکنیک	سعید قربان‌بیگی
دکترای عمران - سازه (شریانهای حیاتی)	رضا راستی اردکانی
دکترای عمران - خاک و پی	احمد رضا محبوبی اردکانی
دکترای لرزه‌شناسی	عباس مهدویان
دکترای عمران - زلزله	مرتضی بسطامی
دکترای عمران - زلزله	امیرحسین خلوتی
کارشناس ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک	اعظم حسینی ارجمندی
کارشناس مهندسی عمران - ساختمانهای آبی	مهبان سادات حسینی
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	هادی کردستانی
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	پیام پیران عقل
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	نعیمه رفیعی
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	مهدی شادابفر
کارشناس مهندسی عمران	حمید قربان‌بیگی
کارشناس مهندسی عمران - ساختمانهای آبی	نگار وکیلی فرد
کارشناس مهندسی عمران - ساختمانهای آبی	سید مجتبی حسین‌پور کاشانی

### اعضای کارگروه همکار از کشور ژاپن در تهیه پیش‌نویس اولیه:

دانشگاه کوبه	پرفسور شیرو تاکادا
موسسه تحقیقاتی شریانهای حیاتی (RILE)	دکتر جونچی ونو
شرکت مهندسی گاز اوزاکا	دکتر یاسئو اوگاوا
مرکز تحقیقات برق مرکزی ژاپن	دکتر کیزو اتومو
دانشگاه کوبه	دکتر یاسوکو کوواتا
شرکت مهندسی مشاور نفتی چیدای ژاپن (chas)	مهندس ماسامی اوشیما
شرکت مهندسی مشاور نفتی چیدای ژاپن (chas)	مهندس فومیو آندو



### اعضای کارگروه‌های فنی - تخصصی بازخوانی و بررسی متن نهایی:

دکترای عمران - ژئوتکنیک لرزه‌ای	عباس قلندرزاده (بارگذاری)
دکترای عمران - زلزله	رضا کرمی محمدی (گاز)
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	انوشه رضایی جوان (گاز)
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	وحید اکرمی (گاز)
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	فرزاد نیک‌فر (گاز)
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	علیرضا آقابابایی مبارکه (برق و مخابرات)
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	فریبرز سهرابی (برق و مخابرات)
دکترای عمران - خاک و پی	هادی بهادری (آب و فاضلاب)
دکترای عمران - سازه	سعید تاریوردیلوی اصل (آب و فاضلاب)
کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی	بهنام وخشوری (آب و فاضلاب)

### اعضای کارگروه ترجمه و ویرایش فنی:

دکترای زبان و ادبیات ژاپنی	فرزانه مرادی
کارشناس ارشد مهندسی عمران	رسول خوشروان آذر
کارشناس ارشد زبان ژاپنی	فاطمه قره‌خانی
کارشناس زبان ژاپنی	مهناز علیزاده
کارشناس مهندسی عمران - آب و فاضلاب	فریده عاشوری

### اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه:

معاون امور نظام فنی	علیرضا توتونچی
رئیس گروه امور نظام فنی	فرزانه آقارمضانعلی
مشاور عالی امور نظام فنی	علی تبار
کارشناس مسئول پروژه در امور نظام فنی	فرزاد پارسا
کارشناس امور نظام فنی	حمیدرضا خاشعی



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول - کلیات</b>
۳	۱- کلیات.....
۳	۱-۱- هدف.....
۳	۱-۲- گستره کاربرد این راهنما.....
۳	۱-۲-۱- سازماندهی این راهنما.....
۴	۱-۲-۲- نکاتی در کاربرد این راهنما.....
۴	۱-۳- قوانین و مقررات مربوطه.....
۴	۱-۳-۱- مراجع اصلی این راهنما.....
۵	۱-۳-۲- مخفف آیین نامه ها.....
	<b>فصل دوم - مبانی</b>
۹	۲- مبانی.....
۹	۱-۲- زلزله طراحی.....
۹	۱-۱-۲- سطوح خطر زلزله و دوره بازگشت آنها.....
۱۰	۲-۱-۲- طیف‌های طراحی لرزه‌ای.....
۱۱	۳-۱-۲- توزیع شدت لرزه‌ای در طبقات.....
۱۲	۴-۱-۲- شدت لرزه‌ای قائم طرح.....
۱۲	۲-۲- روند کنترل ایمنی لرزه‌ای (روش‌های طراحی).....
۱۲	۱-۲-۲- کنترل ایمنی لرزه‌ای.....
۱۳	۳-۲- عملکردهای مورد انتظار در این راهنما.....
	<b>فصل سوم - بارگذاری لرزه‌ای</b>
۱۷	۱-۳- انواع بار.....
۱۷	۲-۳- محاسبه وزن‌ها.....
۱۷	۳-۳- ترکیب بارها.....
۱۷	۴-۳- انواع تجهیزات از نظر محل استقرار.....
۱۸	۵-۳- روش‌های محاسبه بارهای زلزله.....
۱۸	۶-۳- آثار زلزله بر تجهیزات سامانه گاز.....
۱۸	۷-۳- نحوه اعمال اثرات زلزله بر تجهیزات گازی.....
۱۹	۸-۳- روش‌های محاسبه بارهای ناشی از زلزله.....

۲۰	۳-۸-۱- ضریب اهمیت مؤلفه‌های گاز رسانی
۲۰	۳-۸-۲- ملاحظات مربوط به تعیین درجه اهمیت مؤلفه‌های گاز رسانی
۲۹	۳-۹- روش پاسخ تغییر مکان (برای سازه‌های مدفون)
۲۹	۳-۱۰- روش دینامیکی
۲۹	۳-۱۱- بارگذاری ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله بر تجهیزات
۲۹	۳-۱۱-۱- روانگرایی
۳۰	۳-۱۱-۲- زمین لغزه
۳۰	۳-۱۱-۳- گسلش
۳۰	۳-۱۲- طبقه‌بندی خاک

### فصل چهارم- روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

۳۳	۴-۱- مؤلفه‌های هدف
۳۴	۴-۲- روند طراحی لرزه‌ای
۳۴	۴-۲-۱- الزام طراحی لرزه‌ای
۳۴	۴-۲-۲- اصول مراحل طراحی لرزه‌ای
۳۴	۴-۲-۳- نحوه طراحی به روش تنش مجاز
۳۴	۴-۲-۳-۱- محاسبه تنش
۳۴	۴-۲-۳-۲- تنش‌های مجاز
۳۴	۴-۲-۳-۳- ارزیابی تنش محاسبه شده
۳۵	۴-۲-۴- طراحی به روش شکل پذیر
۳۵	۴-۲-۴-۱- سطح خطر زلزله برای طراحی
۳۵	۴-۲-۴-۲- تحلیل پاسخ لرزه‌ای
۳۸	۴-۲-۴-۳- ضریب شکل پذیری
۳۹	۴-۲-۴-۴- ضریب شکل پذیری مجاز
۳۹	۴-۲-۴-۵- ارزیابی ضریب شکل پذیری
۳۹	۴-۳- مصالح
۳۹	۴-۳-۱- مقادیر مجاز برای روش طراحی تنش مجاز
۴۰	۴-۳-۱-۱- تنش مجاز برای مصالح تحت فشار
۴۲	۴-۳-۱-۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاهی
۴۴	۴-۳-۱-۳- تنش مجاز مصالح لوله‌کشی
۴۵	۴-۳-۲- مقادیر مجاز برای روش طراحی شکل پذیر

۴۶	۴-۴- سطح عملکرد قابل قبول مؤلفه و ورودی لرزه‌ای
۴۶	۱-۴-۴- عملکرد لرزه‌ای مورد نیاز
۴۶	۲-۴-۴- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای
<b>فصل پنجم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی لوله‌کشی و قفسه لوله</b>	
۵۱	۱-۵- مراحل ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی
۵۱	۲-۵- روش ارزیابی ساده شده (روش دهانه مجاز)
۵۱	۱-۲-۵- طول دهانه مجاز
۵۲	۲-۲-۵- ظرفیت تغییر مکان
۵۲	۳-۵- روش طراحی تنش مجاز
۵۲	۱-۳-۵- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی
۵۳	۲-۳-۵- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی
۵۳	۳-۳-۵- تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی
۵۴	۴-۳-۵- محاسبه تنش لوله‌کشی
۵۵	۵-۳-۵- ارزیابی تنش لوله‌کشی
۵۵	۶-۳-۵- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی
۵۸	۷-۳-۵- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیرها
۶۰	۸-۳-۵- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی
۶۳	۹-۳-۵- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن
۶۳	۴-۵- روش طراحی شکل‌پذیر
۶۴	۱-۴-۵- ارزیابی طراحی لرزه‌ای نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ
۶۴	۱-۱-۴-۵- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله
۶۴	۲-۱-۴-۵- تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی
۶۵	۳-۱-۴-۵- مد خرابی
۶۶	۴-۱-۴-۵- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی
۶۶	۵-۱-۴-۵- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی
۶۷	۶-۱-۴-۵- ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی
۶۷	۷-۱-۴-۵- ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن
۶۷	۸-۱-۴-۵- ارزیابی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله
۶۸	۲-۴-۵- ارزیابی طراحی لرزه‌ای به جابه‌جایی زمین
۶۸	۱-۲-۴-۵- طراحی سیستم لوله‌کشی ناشی از جابه‌جایی پی در اثر جابه‌جایی زمین

۶۸	.....	۵-۴-۲-۲- جابه‌جایی پی ناشی از جابه‌جایی زمین
۶۸	.....	۵-۴-۲-۳- روش تحلیل پاسخ
۶۹	.....	۵-۴-۲-۴- مد خرابی
۶۹	.....	۵-۴-۲-۵- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی
۷۰	.....	۵-۴-۲-۶- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی
۷۰	.....	۵-۴-۲-۷- ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی
۷۰	.....	۵-۴-۲-۸- ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن
۷۰	.....	۵-۴-۲-۹- ارزیابی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

### فصل ششم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخزن افقی

۷۳	.....	۶-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای مخزن افقی
۷۳	.....	۶-۲- طراحی به روش تنش مجاز
۷۳	.....	۶-۲-۱- روش تحلیل پاسخ
۷۳	.....	۶-۲-۱-۱- روش شبه استاتیکی
۷۵	.....	۶-۲-۱-۲- روش شبه استاتیکی اصلاح شده
۷۶	.....	۶-۲-۲- محاسبه تنش
۸۳	.....	۶-۲-۳- تنش مجاز
۸۳	.....	۶-۲-۴- معیارهای پذیرش
۸۳	.....	۶-۳- طراحی شکل‌پذیر
۸۳	.....	۶-۳-۱- مد خرابی
۸۴	.....	۶-۳-۲- ضریب زلزله تسلیم
۸۹	.....	۶-۳-۳- ضریب شکل‌پذیری
۹۰	.....	۶-۳-۴- ضریب شکل‌پذیری مجاز
۹۰	.....	۶-۳-۵- معیارهای پذیرش

### فصل هفتم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخزن کروی

۹۳	.....	۷-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای مخزن کروی
۹۳	.....	۷-۲- طراحی به روش تنش مجاز
۹۳	.....	۷-۲-۱- روش‌های تحلیل
۹۳	.....	۷-۲-۱-۱- روش شبه استاتیکی
۹۴	.....	۷-۲-۱-۲- روش شبه استاتیکی اصلاح شده
۹۷	.....	۷-۲-۲- محاسبه تنش

۱۰۳	۳-۲-۷- تنش مجاز.....
۱۰۳	۴-۲-۷- معیارهای پذیرش.....
۱۰۴	۳-۷- طراحی شکل پذیر.....
۱۰۴	۱-۳-۷- مد خرابی.....
۱۰۴	۲-۳-۷- ضریب زلزله تسلیم.....
۱۱۲	۳-۳-۷- ضریب شکل پذیری.....
۱۱۳	۴-۳-۷- ضریب شکل پذیری مجاز.....
۱۱۳	۵-۳-۷- معیار پذیرش.....

### فصل هشتم- طراحی لرزه‌ی و کنترل ایمنی مخزن استوانه‌ای

۱۱۷	۱-۸- طرح کلی مراحل طراحی لرزه‌ای.....
۱۱۸	۲-۸- طراحی به روش تنش مجاز.....
۱۱۸	۱-۲-۸- روش تحلیل پاسخ.....
۱۱۹	۲-۲-۸- روش شبه استاتیکی.....
۱۲۰	۳-۲-۸- روش شبه استاتیکی اصلاح شده.....
۱۲۱	۴-۲-۸- محاسبه تنش.....
۱۲۳	۵-۲-۸- تنش مجاز.....
۱۲۳	۶-۲-۸- معیار پذیرش.....
۱۲۳	۳-۸- طراحی به روش شکل پذیر.....
۱۲۳	۱-۳-۸- سطح خطر-۲ زلزله.....
۱۲۴	۲-۳-۸- مدهای خرابی.....
۱۲۵	۳-۳-۸- ضریب زلزله تسلیم.....
۱۲۸	۴-۳-۸- ضریب شکل پذیری.....
۱۲۹	۵-۳-۸- ضریب شکل پذیری مجاز.....
۱۳۰	۶-۳-۸- معیارهای پذیرش.....

### فصل نهم- طراحی لرزه‌ی و کنترل ایمنی برج و محفظه قائم

۱۳۳	۱-۹- مراحل طراحی لرزه‌ای برج و محفظه قائم.....
۱۳۳	۲-۹- طراحی به روش تنش مجاز.....
۱۳۳	۱-۲-۹- تحلیل پاسخ.....
۱۳۳	۱-۱-۲-۹- روش شبه استاتیکی.....
۱۳۳	۲-۱-۲-۹- روش شبه استاتیکی اصلاح شده.....

۱۳۵..... ۳-۱-۲-۹- تحلیل مودال

۱۳۵..... ۲-۲-۹- محاسبه تنش

۱۴۰..... ۳-۲-۹- تنش مجاز

۱۴۰..... ۴-۲-۹- معیارهای پذیرش

۱۴۰..... ۳-۹- طراحی به روش شکل پذیر

۱۴۰..... ۱-۳-۹- برج با تکیه‌گاه پوسته‌های

۱۴۰..... ۱-۱-۳-۹- مد های خرابی

۱۴۰..... ۲-۱-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم

۱۴۵..... ۳-۱-۳-۹- ضریب شکل پذیری پاسخ

۱۴۵..... ۴-۱-۳-۹- ضریب شکل پذیری مجاز

۱۴۶..... ۵-۱-۳-۹- معیارهای پذیرش

۱۴۶..... ۲-۳-۹- برج‌ها با تکیه‌گاه پایه‌ای و حلقوی

۱۴۶..... ۱-۲-۳-۹- مد خرابی

۱۴۹..... ۲-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم برج با تکیه‌گاه پایه‌ای

۱۴۹..... ۱-۲-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی صفحه پوسته

۱۵۰..... ۲-۲-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم مد خرابی پایه

۱۵۲..... ۳-۲-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی پیچ مهار

۱۵۳..... ۴-۲-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی ملحقات پایه

۱۵۶..... ۳-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم برج با تکیه‌گاه حلقوی

۱۵۷..... ۱-۳-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی صفحه پوسته

۱۵۷..... ۲-۳-۲-۳-۹- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی پیچ

۱۵۷..... ۴-۲-۳-۹- ضریب شکل پذیری پاسخ

۱۵۸..... ۵-۲-۳-۹- ضریب شکل پذیری مجاز

۱۵۹..... ۶-۲-۳-۹- معیارها

**فصل دهم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی سازه‌های شبه ساختمانی**

۱۶۳..... ۱-۱۰- سازه پوششی تجهیزات

۱۶۳..... ۱-۱-۱۰- روش‌های طراحی لرزه‌ای سازه پوششی و قابی

۱۶۳..... ۲-۱-۱۰- روش تنش مجاز

۱۶۳..... ۱-۲-۱-۱۰- محاسبه نیروی زلزله افقی وارده بر سازه پوششی و قابی

۱۶۷..... ۲-۲-۱-۱۰- تنش محاسبه شده سازه پوششی و قابی



۱۶۷	..... ۱-۱-۲-۳- ارزیابی تنش‌های محاسبه شده
۱۶۷	..... ۱-۱-۳- روش طراحی شکل‌پذیر
۱۶۸	..... ۱-۱-۳- محاسبه نیروی زلزله افقی طراحی اعمالی بر سازه پوششی و قابی
۱۶۸	..... ۱-۱-۳-۲- مد خرابی
۱۶۹	..... ۱-۱-۳-۳- نیاز لرزه‌ای موجود
۱۷۰	..... ۱-۱-۳-۴- نیاز لرزه‌ای نهایی
۱۷۰	..... ۱-۱-۳-۵- ارزیابی مقاومت تسلیم
۱۷۰	..... ۱-۱-۳-۶- ارزیابی مقاومت تسلیم ستونک
۱۷۰	..... ۱-۲- دودکش
۱۷۰	..... ۱-۲-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای دودکش
۱۷۰	..... ۱-۲-۲- نکات طراحی
۱۷۱	..... ۱-۳- کوره
۱۷۱	..... ۱-۳-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای کوره
۱۷۱	..... ۱-۳-۲- تحلیل پاسخ کوره
۱۷۱	..... ۱-۳-۲-۱- مدل‌سازی تحلیلی
۱۷۲	..... ۱-۳-۲-۲- جرم
۱۷۲	..... ۱-۳-۲-۳- ثابت میرایی
<b>فصل یازدهم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی خطوط لوله</b>	
۱۷۵	..... ۱-۱۱- اجزای هدف
۱۷۵	..... ۲-۱۱- محاسبات لرزه‌ای خط لوله روزمینی
۱۷۵	..... ۱-۲-۱۱- بارها و ترکیبات آنها
۱۷۸	..... ۲-۲-۱۱- نیروی زلزله طراحی تکیه‌گاه‌های باربر
۱۷۹	..... ۳-۲-۱۱- کنترل ایمنی تکیه‌گاه‌های باربر
۱۷۹	..... ۴-۲-۱۱- طول نشیمن
۱۸۰	..... ۵-۲-۱۱- قید و بست مهارى
۱۸۰	..... ۱-۵-۲-۱۱- نیروی طراحی قید و بست‌ها
۱۸۱	..... ۲-۵-۲-۱۱- محدودیت تغییر مکان قید و بست‌ها
۱۸۲	..... ۳-۱۱- خطوط لوله مدفون
۱۸۲	..... ۱-۳-۱۱- خط لوله مستقیم
۱۸۲	..... ۱-۱-۳-۱۱- طراحی برای انتشار موج لرزه‌ای

- ۱۱-۳-۱-۱-۲- کرنش مجاز ..... ۱۸۳
- ۱۱-۳-۱-۱-۳- حداکثر کرنش لوله در ناحیه انتقالی زمین (حالت خاص عبور لوله از مرز دو نوع زمین) ..... ۱۸۳
- ۱۱-۳-۱-۱-۳-۱- فریت خاک در راستای طولی ..... ۱۸۴
- ۱۱-۳-۱-۱-۳-۲- سختی خاک در راستای عرضی ..... ۱۸۵
- ۱۱-۳-۱-۲- محل حداکثر کرنش لوله ناشی از تغییر شکل ماندگار زمین (PGD) ..... ۱۸۵
- ۱۱-۳-۱-۲-۱- طراحی برای تغییر مکان افقی ناشی از روانگرایی ..... ۱۸۵
- ۱۱-۳-۱-۲-۲- طراحی در تقاطع با گسل ..... ۱۸۷
- ۱۱-۳-۱-۲-۳- طراحی در لغزش زمین ..... ۱۸۸
- ۱۱-۳-۱-۲-۳-۱- پاسخ لوله مدفون به PGD طولی ..... ۱۸۸
- ۱۱-۳-۱-۲-۳-۲- پاسخ لوله مدفون به PGD عرضی ..... ۱۹۰
- ۱۱-۳-۲- لوله‌های مستقیم مدفون در جابه‌جایی‌های موضعی زمین (شکاف و نشست موضعی) ..... ۱۹۰
- ۱۱-۳-۲-۱- ظرفیت تغییر مکان محوری در خط لوله مستقیم ..... ۱۹۱
- ۱۱-۳-۲-۲- ظرفیت تغییر مکان عرضی خط لوله مستقیم ..... ۱۹۲
- ۱۱-۳-۳- لوله‌های خم (خطوط مدفون) ..... ۱۹۵
- ۱۱-۳-۳-۱- طراحی برای انتشار موج لرزه‌ای ..... ۱۹۵
- ۱۱-۳-۳-۲- طراحی لرزه‌ای در روانگرایی ..... ۱۹۶
- ۱۱-۳-۳-۳-۱- تغییر شکل خم لوله در نواحی شیب‌دار ..... ۱۹۶
- ۱۱-۳-۳-۳-۲- تغییر شکل خم لوله در نواحی ساحلی ..... ۱۹۷
- ۱۱-۳-۴- طراحی انشعابات با اتصال شکل ..... ۱۹۸
- ۱۱-۳-۵- طراحی لوله علمک ..... ۱۹۹
- ۱۱-۴- مقادیر تنش مجاز حداکثر در خطوط لوله ..... ۲۰۰
- ۱۱-۵- معیارهای کرنشی پذیرش متناسب با مدهای آسیب لرزه‌ای ..... ۲۰۱
- ۱۱-۵-۱- خطوط لوله فشار قوی ..... ۲۰۱
- ۱۱-۵-۲- معیار طراحی لرزه‌ای در خطوط لوله با فشار متوسط و پایین ..... ۲۰۳
- ۱۱-۵-۳- زوایای بحرانی در لوله‌های علمک ..... ۲۰۴
- مثال‌ها
- ۱۲-۱- خطوط لوله مدفون ..... ۲۰۷
- ۱۲-۱-۱- کلیات ..... ۲۰۷
- ۱۲-۱-۲- طراحی لرزه‌ای خط لوله مستقیم واقع بر سنگ بستر صاف ..... ۲۰۸
- ۱۲-۲- مثال طراحی مخزن کروی ..... ۲۳۰

۲۳۰	..... ۱-۲-۱۲-ملاحظات کلی مخزن
۲۳۱	..... ۱۲-۲-۲-سازه و شرایط طراحی
۲۳۱	..... ۱۲-۲-۲-۱- مشخصات طراحی لرزه‌ای
۲۳۱	..... ۱۲-۲-۲-۲- شرایط طراحی لرزه‌ای
۲۳۱	..... ۱۲-۲-۲-۳- مشخصات مخزن
۲۳۲	..... ۱۲-۲-۲-۴- مشخصات مخزن
۲۳۴	..... ۱۲-۲-۲-۵- وزن‌ها
۲۳۴	..... ۱۲-۲-۳- تحلیل پاسخ
۲۳۴	..... ۱۲-۳-۲-۱- محاسبه وزن بهره‌برداری
۲۳۵	..... ۱۲-۳-۲-۲- محاسبه سختی افقی مخزن
۲۳۷	..... ۱۲-۳-۲-۳- محاسبه پریود مشخصه مخزن
۲۳۷	..... ۱۲-۳-۲-۴- شدت طراحی لرزه‌ای اصلاح شده
۲۳۷	..... ۱۲-۳-۲-۵- محاسبه نسبت تنش تسلیم (روش شکل‌پذیر)
۲۳۸	..... ۱۲-۳-۲-۱-۵- نسبت تنش تسلیم تحت اثر خرابی قسمت بالایی ستون‌های
۲۴۱	..... ۱۲-۳-۲-۲-۵- نسبت تنش تسلیم در بخش پایینی ستونها
۲۴۳	..... ۱۲-۳-۲-۳-۵- نسبت تنش تسلیم در مهاربندها
۲۴۵	..... ۱۲-۳-۲-۴-۵- نسبت تنش تسلیم تحت خرابی بولت‌های پایه
۲۴۷	..... ۱۲-۳-۲-۴-۵- نسبت تنش تسلیم تحت اثر خرابی ورق‌های برشی
۲۴۸	..... ۱۲-۳-۲-۴-۶- نسبت تنش تسلیم تحت اثر خرابی ورق زیرستون
۲۵۰	..... ۱۲-۳-۲-۵- ارزیابی مخزن تحت اثر بار لرزه‌ای در سطح خطر-۲
۲۵۱	..... ۱۲-۳- مثال طراحی لرزه ای لوله کشی
۲۵۳	..... ۱۲-۳-۱- شرح محاسبات

## پیوست

۲۵۹	..... ۱- روند روش دهانه مجاز در طراحی لرزه‌ای لوله کشی
۲۵۹	..... ۱-۱- روش محاسبه طول دهانه
۲۶۱	..... ۱-۲- روش محاسبه طول دهانه مجاز
۲۶۲	..... ۱-۳- روش محاسبه ظرفیت تغییر مکان لوله کشی
۲۶۴	..... ۱-۴- روش محاسبه تغییر مکان نسبی
۲۶۶	..... ۲- ساختار استاندارد طراحی لرزه‌ای سیستم لوله کشی
۲۶۷	..... ۳- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاه لوله کشی

- ۴- مدل تحلیلی و نیروی لرزه‌ای اصلاح شده طراحی سیستم لوله‌کشی ..... ۲۶۹
- ۵- محاسبه تنش لوله‌کشی ..... ۲۷۰
- ۶- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی ..... ۲۷۶
- ۷- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی ..... ۲۷۶
- ۸- ارزیابی لرزه‌ای شیر ..... ۲۸۱
- ۹- روش ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی ..... ۲۸۳
- ۱۰- روش ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن ..... ۲۸۴
- ۱۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله ..... ۲۸۶
- ۱۲- روند طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر ..... ۲۹۱
- ۱۳- ارزیابی خم لوله در تغییرشکل‌های بزرگ ..... ۲۹۲
- ۱۴- روندنمای ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ ..... ۲۹۴
- ۱۴-۱- طریقه به دست آوردن تغییر مکان پاسخ نقطه تکیه‌گاهی لوله به روش شبه استاتیکی اصلاح شده ..... ۲۹۵
- ۱۴-۲- تحلیل خطی معادل، تحلیل تفصیلی و ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ ..... ۲۹۷
- ۱۴-۳- ارزیابی مدهای شکست لوله خمیده، لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم و جزئیات تغییر شکل موجی شکل لوله ..... ۲۹۹
- ۱۴-۴- جزئیات روند طراحی اتصال فلنج و فشار تماسی لازم واشر ..... ۳۰۱
- ۱۴-۵- جزئیات روند ارزیابی اتصال انبساطی ..... ۳۰۳
- ۱۴-۶- جزئیات روند ارزیابی افشانه برج‌ها و مخازن ..... ۳۰۵
- ۱۴-۷- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله ..... ۳۰۷
- ۱۵- انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی و روند طراحی لرزه‌ای در اثر روان‌گرایی زمین ..... ۳۱۴
- ۱۶- تغییر مکان و تغییر مکان نسبی بین پی ..... ۳۲۰
- ۱۷- ضریب انعطاف‌پذیری و روند طراحی لوله خمیده ..... ۳۲۲
- ۱۸- جزئیات زاویه مجاز لوله خمیده ..... ۳۲۲
- ۱۹- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنج در اثر حرکت زمین ..... ۳۲۴
- ۲۰- جزئیات روند ارزیابی اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین ..... ۳۲۵
- ۲۱- جزئیات روند ارزیابی افشانه مخازن و برج‌ها در اثر تغییر مکان زمین ..... ۳۲۸
- ۲۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله به جابه‌جایی زمین ..... ۳۲۹
- ۲۳- ارزیابی مقاومت تسلیم ستونک ..... ۳۳۲

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۲۱	شکل ۱-۳ مراحل تعیین درجه اهمیت مؤلفه های سامانه گازرسانی
۲۶	شکل ۲-۳ مثالی از چگونگی تعیین فاصله $X$
۲۷	شکل ۳-۳ فاصله لوله کشی تا مرز کارگاه
۲۷	شکل ۴-۳ تفکیک مقطع لوله کشی
۲۸	شکل ۵-۳ وجود تجهیز گاز فشار قوی بین شیرهای قطع زلزله
۲۸	شکل ۶-۳ قرارگیری شیر کاهنده در بالا دست شیر قطع لرزه های گاز فشار قوی
۲۸	شکل ۷-۳ قرارگیری شیر کاهنده در پایین دست شیر قطع لرزه ای، تجهیز گاز فشار قوی
۴۰	شکل ۱-۴ شرایط کاربرد تنش مجاز در طراحی لرزه ای مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه گاهی
۵۶	شکل ۱-۵ فلنج با واشر مسطح
۵۸	شکل ۲-۵ پارامترهای فلنج با واشر مسطح (سمت داخل لوله-محور لوله)
۷۴	شکل ۱-۶ روند طراحی روش تنش مجاز
۷۷	شکل ۲-۶ پیکربندی فرضی مخزن افقی
۷۸	شکل ۳-۶ زاویه تکیه گاهی و مقدار $G$
۷۹	شکل ۴-۶ زاویه تکیه گاهی و مقدار $K_1$
۸۰	شکل ۵-۶ زاویه تکیه گاهی و مقدار $K_2$
۹۴	شکل ۱-۷ نسبت وزن مؤثر سیال
۹۶	شکل ۲-۷ مخزن کروی
۹۸	شکل ۳-۷ نقاطی که باید ارزیابی شوند
۹۹	شکل ۴-۷ موقعیت ستون
۱۰۲	شکل ۵-۷ صفحه برشی
۱۰۳	شکل ۶-۷ صفحه پایه
۱۱۷	شکل ۱-۸ نمونه مقطع مخزن استوانه ای
۱۱۸	شکل ۲-۸ مد خرابی مخزن استوانه ای
۱۲۰	شکل ۳-۸ به دست آوردن وزن مؤثر سیال
۱۲۲	شکل ۴-۸ ضریب $h_1$ و $h_2$
۱۳۵	شکل ۱-۹ برج ها با تکیه گاه پایه ای
۱۳۷	شکل ۲-۹ صفحه پایه
۱۳۸	شکل ۳-۹

۱۴۴	شکل ۹-۴ صفحه پایه
۱۵۲	شکل ۹-۶ مقطع پایه
۱۵۴	شکل ۹-۷ مقدار
۱۵۵	شکل ۹-۸ برج با تکیه‌گاه پایه‌ای
۱۵۶	شکل ۹-۹ تعیین شاخص $I_{s1}$
۱۵۶	شکل ۹-۱۰ تعیین شاخص $I_{s2}$
۱۶۳	شکل ۱۰-۱ $H_t$ و $H_{sf}$
۱۶۵	شکل ۱۰-۲ مقدار $h_e$
۱۶۶	شکل ۱۰-۳ توزیع ضریب زلزله برج‌ها و مخازن بر سازه قابی
۱۶۷	شکل ۱۰-۴ توزیع زلزله سازه قابی ( $H_t > 10m$ )
۱۶۸	شکل ۱۰-۵ روند طراحی لرزه‌ای مقاومت تسلیم
۱۷۶	شکل ۱۱-۱ مدل پل منتقل‌کننده خط لوله
۱۷۹	شکل ۱۱-۲ نیروی رو به بالا و پایین ایجاد شده در اثر نیروی جانبی
۱۷۹	شکل ۱۱-۳ حداقل طول تا پیچ مهار در تکیه‌گاه
۱۸۰	شکل ۱۱-۴ جزئیات قید و بست‌ها
۱۸۳	شکل ۱۱-۵ خط لوله در ناحیه انتقالی زمین
۱۸۴	شکل ۱۱-۶ سختی خاک در طول محور لوله
۱۸۵	شکل ۱۱-۷ سختی خاک عمود بر محور لوله
۱۸۶	شکل ۱۱-۸ حالات عبور از ناحیه روانگرایی
۱۸۶	شکل ۱۱-۹ نحوه بارگذاری طولی و عرضی لوله مستقیم مدفون در عبور از ناحیه روانگرایی
۱۸۸	شکل ۱۱-۱۰ لوله مستقیم مدفون در تقاطع با گسل
۱۸۹	شکل ۱۱-۱۱ پاسخ لوله مستقیم مدفون به PGD طولی
۱۹۰	شکل ۱۱-۱۲ پاسخ لوله مستقیم مدفون به PGD عرضی
۱۹۱	شکل ۱۱-۱۳ تغییر مکان محوری یک لوله مستقیم (شکاف)
۱۹۲	شکل ۱۱-۱۴ نحوه تعیین $E$ و $\lambda E$
۱۹۲	شکل ۱۱-۱۵ تغییر مکان قائم زمین (نشست)
۱۹۴	شکل ۱۱-۱۶ مدل لوله‌کشی با اتصال انعطاف‌پذیر نزدیک دیوار
۱۹۴	شکل ۱۱-۱۷ نمودار لنگر-زاویه دوران در اتصال یک لوله
۱۹۷	شکل ۱۱-۱۸ مدل تحلیلی خم لوله در ناحیه شیب‌دار در ناحیه روان‌گرا
۱۹۸	شکل ۱۱-۱۹ مدل تحلیلی خم در ناحیه روان‌گرا شده در ناحیه ساحلی

شکل ۱۱-۲۰ لوله علمک.....	۱۹۹
شکل ۱- روندنمای روش دهانه مجاز.....	۲۰۷
شکل ۲- دهانه لوله با نقطه تکیه‌گاهی در راستای محور لوله.....	۲۰۸
شکل ۳- دهانه لوله‌ی دارای انشعاب.....	۲۰۹
شکل ۴- مراحل محاسبه تغییر مکان سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در زلزله.....	۲۱۲
شکل ۵- ساختار استاندارد طراحی لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی.....	۲۱۴
شکل ۶- مراحل طراحی پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی.....	۲۱۵
شکل ۷- توزیع شدت لرزه‌ای، در حالتی که سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی به روش ضریب زلزله اصلاح شده تحلیل می‌شود.....	۲۱۷
شکل ۸- تعریف لنگر.....	۲۱۹
شکل ۹- ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش (SIF).....	۲۲۳
شکل ۱۰- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی.....	۲۲۵
شکل ۱۱- مقدار پارامتر $f$ .....	۲۲۶
شکل ۱۲- مقدار پارامتر $F$ .....	۲۲۶
شکل ۱۳- مقدار پارامتر $F_L$ .....	۲۲۷
شکل ۱۴- مقدار پارامتر $U, Y, Z$ و $T$ .....	۲۲۷
شکل ۱۵- مقدار پارامتر $V$ .....	۲۲۸
شکل ۱۶- مقدار پارامتر $V_L$ .....	۲۲۸
شکل ۱۷- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیر.....	۲۳۰
شکل ۱۸- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی.....	۲۳۱
شکل ۱۹- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن.....	۲۳۳
شکل ۲۰- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله.....	۲۳۵
شکل ۲۱- مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی.....	۲۳۸
شکل ۲۲- روندنمای طراحی لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر.....	۲۳۹
شکل ۲۳- روندنمای ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ.....	۲۴۲
شکل ۲۴- تغییر مکان نسبی طبقه $i$ ام.....	۲۴۴
شکل ۲۵- لبه صفحه نشیمن واشر.....	۲۵۰
شکل ۲۶- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنج.....	۲۵۱
شکل ۲۷- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی.....	۲۵۳
شکل ۲۸- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در افشانه برج‌ها و مخازن ناشی از نیروی اینرسی.....	۲۵۴
شکل ۲۹- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله.....	۲۵۶

شکل ۳۰- نمودار بار و تغییر شکل سازه تکیه‌گاه لوله‌کشی.....	۲۵۸
شکل ۳۱- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی برای حرکت زمین.....	۲۶۵
شکل ۳۲- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با تکیه‌گاه آزاد در اثر حرکت زمین.....	۲۶۶
شکل ۳۳- سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک.....	۲۶۷
شکل ۳۴- سیستم لوله‌کشی بر روی پی غیر مشترک.....	۲۶۸
شکل ۳۵- سازه تکیه‌گاهی لوله.....	۲۶۹
شکل ۳۶- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنج.....	۲۷۳
شکل ۳۷- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر تغییر مکان زمین.....	۲۷۵
شکل ۳۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن در اثر جابه‌جایی زمین.....	۲۷۷
شکل ۳۹- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله در اثر تغییر مکان زمین.....	۲۷۹
شکل ۴۰- مراحل ارزیابی ایمنی ستونک و روسازه.....	۲۸۱
شکل ۴۱- تنش در نزدیکی ستونک.....	۲۸۱
شکل ۴۲- نیروی برشی ستون در نقطه تسلیم.....	۲۸۳



## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۹	جدول ۱-۳ تجهیزات واجد شرایط جهت استفاده از روش شبه استاتیکی.....
۲۰	جدول ۲-۳ ضریب اهمیت .....
۲۰	جدول ۳-۳ تعریف رده‌های مختلف اهمیت .....
۲۰	جدول ۴-۳ طبقه‌بندی اهمیت تأسیسات مختلف.....
۲۲	جدول ۵-۳ تعیین درجه اهمیت (کلی).....
۲۲	جدول ۶-۳ تعیین درجه اهمیت (کلی).....
۲۳	جدول ۷-۳ تعیین درجه اهمیت (ویژه).....
۲۳	جدول ۸-۳ تعیین درجه اهمیت (ویژه).....
۴۰	جدول ۱-۴ حداقل الزامات برای مصالح اعضای تکیه‌گاهی.....
۴۱	جدول ۲-۴ تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای اعضای فشاری.....
۴۱	جدول ۳-۴ تنش مجاز مربوط به طراحی لرزه‌ای بر اساس نوع مصالح.....
۴۱	جدول ۴-۴ تنش مجاز مربوط به شروع کماتش.....
۴۲	جدول ۵-۴ تنش مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای.....
۴۳	جدول ۶-۴ طول کماتش.....
۴۴	جدول ۷-۴ ترکیب تنش.....
۴۴	جدول ۸-۴ تنش مجاز لوله‌کشی برای طراحی لرزه‌ای.....
۴۵	جدول ۹-۴ تنش مجاز اتصال فلنجی برای طراحی لرزه‌ای.....
۴۵	جدول ۱۰-۴ تنش مجاز طراحی لرزه‌ای شیر.....
۴۵	جدول ۱۱-۴ تنش مجاز برج‌ها و مخازن.....
۵۹	جدول ۱-۵ ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ لوله‌کشی شیر.....
۶۶	جدول ۲-۵ تغییرشکل نهایی مجاز در مقابل نیروی اینرسی و جابجایی زمین.....
۶۶	جدول ۳-۵ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساده با استفاده از مدل خطی برای نیروی اینرسی و پاسخ تغییر مکان.....
۸۰	جدول ۱-۶ روابط برای محاسبه $\sigma'$ .....
۸۲	جدول ۲-۶ رابطه‌های $\sigma_{CP}$ .....
۸۲	جدول ۳-۶ راستای نیروی زلزله و تنش برشی.....
۸۲	جدول ۴-۶ نقاط مشخص شده.....
۹۶	جدول ۱-۷ ضریب مهار.....

۱۰۳	جدول ۷-۲ موقعیت‌هایی محاسبه تنش
۱۱۹	جدول ۸-۱ روش‌های تحلیل
۱۲۳	جدول ۸-۲ تنش‌های تعیین شده
۱۲۵	جدول ۸-۳ شتاب زلزله سطح خطر-۲
۱۳۳	جدول ۹-۱ محدوده پریود طبیعی
۱۳۹	جدول ۹-۲ موقعیت محاسبه تنش و نوع تنش
۱۶۴	جدول ۱۰-۱ مقدار $\lambda$
۱۶۷	جدول ۱۰-۲ قسمتی که تنش در آن محاسبه می‌شود و نوع تنش
۱۶۹	جدول ۱۰-۳ ضریب مشخصه سازه $D_s$
۱۷۷	جدول ۱۱-۱ تحلیل سازه‌ای برای پل لوله دو دهانه
۱۸۵	جدول ۱۱-۲ تنش محدود کننده عمود بر محور لوله
۱۸۷	جدول ۱۱-۳ ضرایب ایمنی جزئی
۱۹۲	جدول ۱۱-۴ مقدار استاندارد تنش برشی $\tau$ ( $N/cm^2$ )
۲۰۰	جدول ۱۱-۵ تنش حلقوی
۲۰۲	جدول ۱۱-۶ مقادیر بحرانی برای زلزله سطح خطر-۲
۲۰۳	جدول ۱۱-۷ پارامتر مربوط به مصالح $\eta$
۲۰۳	جدول ۱۱-۸ کرنش بحرانی و سختی ارتجاعی معادل
۲۰۹	جدول ۱- طول دهانه مجاز لوله
۲۱۰	جدول ۳- ضریب اصلاح وزن متمرکز
۲۱۶	جدول ۴- بزرگ‌نمایی پاسخ افقی $\beta_4$
۲۱۸	جدول ۵- ترکیب بار در طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی
۲۲۰	جدول ۶- ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش
۲۲۱	جدول ۷- ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش
۲۲۴	جدول ۸- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی
۲۲۴	جدول ۹- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای بر اساس نوع مصالح
۲۲۵	جدول ۱۰- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای اتصال فلنجی
۲۳۰	جدول ۱۱- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای شیر
۲۳۴	جدول ۱۲- روش محاسبه افشانه برج‌ها و مخازن
۲۳۴	جدول ۱۳- شدت تنش مجاز طراحی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن
۲۳۶	جدول ۱۴- عملکرد و تعاریف تفصیلی تکیه‌گاه لوله

---

---

جدول ۱۵- شرایط بارگذاری لوله کشی.....	۲۳۷
جدول ۱۶- تنش‌های محاسبه شده تکیه‌گاه لوله.....	۲۳۸
جدول ۱۷- ترکیب بار بهره‌برداری و بار لرزه‌ای.....	۲۴۶
جدول ۱۸- زاویه مجاز در زانویی شعاع بلند ۹۰ درجه.....	۲۴۹
جدول ۱۹- شدت تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن.....	۲۵۵
جدول ۲۰- شرایط بارگذاری لوله کشی.....	۲۵۷
جدول ۲۱- بار مجاز پیچ U شکل.....	۲۶۱
جدول ۲۲- تغییر مکان پی سازه تکیه‌گاهی لوله.....	۲۶۹
جدول ۲۳- زاویه مجاز زانویی بازو بلند ۹۰ درجه (ضخامت اسمی فهرست ۴۰).....	۲۷۱



## علائم

## فصل دوم

$A_i$	ضریب ضرب شده با ضریب طراحی لرزه‌ای بر روی پی سازه برای بدست آوردن شدت لرزه در طبقه $i$ ام.
$K_H$	شدت لرزه‌ای طراحی در جهت افقی
$K_V$	شدت لرزه‌ای طراحی در جهت قائم
$n$	تعداد طبقات روی زمین
$\alpha_i$	نسبت وزن قسمت فوقانی تا طبقه $i$ ام تقسیم بر وزن کل قسمتی از سازه که بر روی زمین قرار دارد.

## فصل سوم

$C_1$	ضریب برابر با $0.9$
$M_g$	وزن مولکولی گاز (kg/kmol)
$P_o$	فشار بهره‌برداری مگا پاسکال
$T_t$	دمای مطلق بهره‌برداری کلوین
$V_1$	حجم داخلی مخزن مترمکعب و حجم داخلی لوله‌کشی مترمکعب
$w$	چگالی گاز مایع در دمای بهره‌برداری مخزن ( $t/m^3$ )
$W$	ظرفیت ذخیره در برج‌ها مخازن و جرم محتویات لوله‌کشی تن
$\beta_1$	ضریب اهمیت مؤلفه‌های گاز رسانی

## فصل چهارم

$A_H^{(i)}$	شتاب پاسخ افقی طراحی اولین مد ارتعاش گال
$A_V^{(i)}$	شتاب پاسخ قائم طراحی اولین مد ارتعاش گال
$C$	ثابتی که طبق مد خرابی تعیین می‌شود.
$D$	قطر داخلی مخزن (mm)
$D_m$	قطر متوسط پوسته (mm)
$D_S$	ضریب مشخصه سازه‌ای
$E$	مدول الاستیسیته در دمای طراحی مصالح ( $N/mm^2$ )
$F$	کوچکترین مقدار بین $70$ درصد مقاومت تسلیم و مقاومت کششی نظیر کرنش $0.2$ درصد ( $N/mm^2$ )
$F'$	تنش فشاری مجاز کمانش با در نظر گرفتن ضریب لاغری عضو ( $N/mm^2$ )
$K_{MH}$	ضریب زلزله افقی اصلاح شده
$K_y$	ضریب زلزله افقی در نقطه آغاز جاری شدن عضو آسیب دیده
$Q_u$	نیاز لرزه‌ای نهایی
$Q_{un}$	نیاز لرزه‌ای موجود

R	مقدار پاسخی که با استفاده از روش ترکیبی مناسب برای هر مد ارتعاش محاسبه می‌شود.
$R_i$	مقدار پاسخ مد $i$ ام
S	تنش مجاز اعضای فشاری ( $N/mm^2$ )
$S_u$	مقاومت کششی در دمای طراحی مصالح، دمای طراحی بین ۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده و مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در استاندارد مصالح فرض می‌شود.
$S_{u0}$	مقاومت کششی در دمای عادی مصالح و مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در استاندارد فرض می‌شود.
$S_y$	مقاومت تسلیم کششی یا مقاومت معادل ۰/۲٪ کرنش در دمای طراحی مصالح، دمای طراحی از ۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده و مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در مصالح می‌باشد.
$S_{y0}$	مقاومت تسلیم کششی یا مقاومت معادل ۰/۲٪ کرنش در دمای عادی مصالح، مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در استاندارد مصالح است.
$S_{y'}$	کوچک‌ترین مقدار بین $S_y$ و $S_{y0}$ ( $N/mm^2$ )
$S'$	مقدار مجاز کمانش برای طراحی لرزه‌ای اعضای فشاری ( $N/mm^2$ )
t	ضخامت پوسته یا صفحه کناری (mm)
$W_H$	وزن بهره‌برداری سازه
$\beta_1$	ضریب اهمیت
$\beta_2$	نسبت شتاب مبنای طرح
$\beta_3$	ضریب تقویت ساختگاه
$\beta_5$	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی
$\lambda_s$	ضریب لاغری عضو فشاری
$l_k$	طول کمانش (mm)
i	شعاع ژیراسیون سطح نسبت به محور کمانش (mm)
l	طول عضو (mm)
$\Lambda$	حد ضریب لاغری
$f_c$	تنش فشاری مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای، ( $N/mm^2$ )
$f_b$	تنش خمشی مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای ( $N/mm^2$ )
$f_t$	تنش کششی مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای ( $N/mm^2$ )
$\sigma_c$	تنش فشاری ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی ( $N/mm^2$ )
$\sigma_b$	تنش خمشی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی
$\sigma_t$	تنش کششی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی
$\tau$	تنش برشی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی

$\eta_w$  حداقل ابعاد جوش

### فصل پنجم

A	شعاع خارجی فلنج (mm)
$A_p$	سطح مقطع لوله ( $\text{mm}^2$ )
$b_g$	عرض مؤثر واشر (mm)
$B_f$	قطر داخلی فلنج
$B_l$	$B_f + g_0$ در فلنج چندکاره و $B_f + g_1$ در فلنج شل
$C_{bl}$	طول مؤثر یک آکاردئون (mm)
$C_d$	ضریب اصلاح تنش خمشی محاسباتی ناشی از جابجایی آکاردئون
$C_f$	ضریب اصلاح تنش غشایی محاسباتی ناشی از جابجایی آکاردئون
$C_p$	ضریب اصلاح تنش خمشی محاسباتی ناشی از فشار
D	قطر اسمی پیچ
d	ضریب، برای فلنج یکپارچه $\frac{U}{V} h_o g_o^2$ و برای فلنج شل $\frac{U}{V_L} h_o g_o^2$
$d_p$	قطر متوسط آکاردئون ها (mm)
$D_e$	قطر متوسط در وجه تماس واشر (mm)
$D_{gi}$	قطر داخلی واشر (mm)
$D_i$	قطر داخلی مقطع (mm)
$D_o$	قطر خارجی مقطع (mm)
$D_v$	حداقل عرض در بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی، مانند وجوه فلنج تخت و بخش‌های محرک شیر (mm)
e	ضریب، برای فلنج یکپارچه $\frac{F}{h_o}$ و برای فلنج شل $\frac{F_L}{h_o}$
$e_{ba}$	کل جابجایی هر چین آکاردئون (mm)
$e_{be}$	مقدار جابجایی چین‌های آکاردئون (mm)
$E'_p$	ضریب الاستیسیته در دمای عادی مصالح آکاردئون ها ( $\text{N/mm}^2$ )
f	ضریب اصلاح تنش طوقه تعیین شده براساس مقدار $g_1 / g_0$ و $h_h / h_0$ .
F	ضریب تعیین شده براساس مقدار $g_1 / g_0$ و $h_h / h_0$
$F_L$	ضریب تعیین شده براساس مقدار $g_1 / g_0$ و $h_h / h_0$
$F_m$	نیروی خروجی از بخش محرک بر اساس مشخصات فنی شیر (N)

نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی (N)	$F_{MH}$
نیروی زلزله قائم اصلاح شده طراحی (N)	$F_{MV}$
نیروی ناشی از فشار داخلی (N)	$F_p$
نیروی محوری لوله ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی زلزله افقی و قائم طراحی وارد بر لوله‌کشی (N)	$F_T$
ضخامت مادگی لوله (mm)	$g_0$
ضخامت طوقه وجه پشتی فلنج (mm)	$g_1$
طول طوقه (mm)	$h_h$
برابر با $\sqrt{Bg_0}$	$h_0$
فاصله مرکز ثقل فلنج تا مرکز جرم قسمت گرداننده شیر (mm)	$H_{VD}$
ضریب تشدید تنش درون‌صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال لوله	$i_i$
ضریب تشدید تنش برون‌صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال لوله	$i_o$
ضریب تمرکز تنش برابر با ۱ برای لنگر خمشی	$K_b$
ضریب اصلاح جابجایی معادل آکاردئون دوتایی	$K_{bi}$
ضریب اصلاح آکاردئون با حلقه تقویتی	$k_r$
ضریب زلزله قائم طراحی اصلاح شده	$K_{MV}$
ضریب تمرکز تنش برابر با ۱ برای نیروی غشایی	$K_N$
ضریبی است که مقدار آن برابر است با $(t_e + 1)/T + t_f^3 / d$	$L$
طول دهانه مجاز (m)	$L_a$
فاصله مرکز ثقل اعضا بین بخش‌های وزنی مانند بدنه‌های اصلی شیرها و محرک‌ها تا بخش‌هایی با خروج از مرکزیت	$L_b$
وزنی مانند محرک‌ها (mm)	
طول مؤثر بخش آکاردئونی (mm)	$L_{lb}$
طول دهانه لوله (m)	$L_{ps}$
ضریب واشر	$m$
لنگر خمشی (N.mm)	$M$
لنگر خمشی درون‌صفحه‌ای لوله‌کشی ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی زلزله افقی و قائم طراحی وارد بر لوله (N.mm)	$M_i$
لنگر خمشی در راستای $i$ در واحد طول (N.mm/mm)	$M_{ii}$
لنگر خمشی برون‌صفحه‌ای لوله‌کشی ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی زلزله افقی و قائم طراحی وارد بر لوله‌کشی (N.mm)	$M_o$
لنگر پیچشی لوله‌کشی براساس نیروی زلزله افقی، نیروی زلزله قائم طراحی وارد بر لوله‌کشی و جابجایی تکیه‌گاه	$M_t$



	لوله کشی (N.mm)	
$n_b$	تعداد لایه‌های آکاردئونی	
$N_b$	تعداد چین‌های آکاردئون‌های یک قطعه	
$N_i$	بار غشایی در راستای $i$ به ازای واحد طول (N/mm)	
$N_g$	عرض واشر (mm)	
$P_e$	فشار معادل در زلزله (MPa)	
$P_e$	فشار داخلی معادل ناشی از نیروی کششی محوری $F$ و لنگر خمشی $M$ تحت اثرات لرزه‌ای ( $N/mm^2$ )	
$P_{eq}$	کل فشار معادل (MPa)	
$P_p$	فشار سیال در لوله (MPa)	
$P_p$	فشار سیال در بدنه اصلی شیر (MPa)	
$P_p$	فشار محرک (MPa)	
$P_p$	فشار داخلی (MPa)	
$q$	گام چین آکاردئون (mm)	
$r_p$	شعاع متوسط لوله در محل خم (mm)	
$S_{am}$	حداکثر دامنه‌های محوری تنش ( $N/mm^2$ )	
$S_I$	ضریب تنش	
$t_s$	ضخامت مؤثر لوله در محل خم (mm)	
$t_f$	ضخامت فلنج (mm)	
$t_p$	ضخامت محاسباتی یک لایه آکاردئونی (mm)	
$t_w$	ضخامت پوسته جدار نازک (mm)	
$T$	ضریب تعیین شده براساس مقدار $K(= A/B_f)$	
$U$	ضریب تعیین شده براساس مقدار $K(= A/B_f)$	
$V$	ضریب تعیین شده براساس مقدار $g_l/g_0$ و $h_h/h_0$	
$V_L$	ضریب تعیین شده براساس مقدار $g_l/g_0$ و $h_h/h_0$	
$W_b$	ارتفاع چین آکاردئون (mm)	
$W_H$	وزن محرک (N)	
$W_H$	وزن بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی مانند بخش‌های محرک شیر $N$	
$W_V$	مجموع وزن محتویات و وزن مرده لوله کشی اعمالی بر محلی که نیروی زلزله قائم اصلاح شده طراحی محاسبه می‌شود.	
$x$	کل تغییر مکان‌های محوری (mm)	
$x_c$	مقدار تغییر مکان وجه انقباضی در راستای محوری (mm)	

مقدار تغییر مکان عمود بر محور (mm)	y
ضریب تعیین شده بر اساس مقدار $K(= A / B_f)$	Y
مدول مقطع ارتجاعی ( $\text{mm}^3$ )	Z
مدول مقطع لوله ( $\text{mm}^3$ )	Z
تغییر مکان نسبی بین دو تکیه‌گاه یا بین انشعاب و اولین تکیه‌گاه انشعاب لوله (mm)	$\Delta$
ظرفیت تغییر مکان دهانه لوله در راستای زلزله (mm)	$\delta_a$
ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی سازه	$\beta_8$
ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم سازه	$\beta_9$
مقدار محاسبه شده بر اساس نوع تحلیل پاسخ سازه، با استفاده از ضریب زلزله افقی طراحی	$\mu K_{MH}$
تنش راستای طولی ناشی از فشار، وزن و نیروی زلزله ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_\ell$
تنش تناوبی ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_E$
تنش محوری طوقه ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_H$
تنش شعاعی فلنج ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_R$
تنش حلقوی فلنج ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_T$
بیشترین تنش در بدنه اصلی قسمت گرداننده شیر (N.mm)	$\sigma_n$
تنش ایجاد شده در مقطع در اثر فشار داخلی و نیروی محرک (N.mm)	$\sigma_L$
مجموع دوران‌های خمشی حول همه محورها rad	$\theta_A$
تنش غشایی در راستای محوری ناشی از فشار در آکاردئون‌ها ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_{mmp}$
تنش خمشی در راستای محوری ناشی از فشار در آکاردئون‌ها ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_{mbp}$
تنش غشایی در راستای محوری ناشی از جابجایی کل هر چین در آکاردئون‌ها ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_{mmd}$
تنش خمشی در راستای محوری ناشی از جابجایی کل هر چین در آکاردئون‌ها ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_{mbd}$
تنش در راستای شعاعی	$\sigma_x$
تنش در راستای محوری	$\sigma_\phi$
تنش محیطی	$\tau$
عبارتست از نسبت شعاع نازل به ضخامت نازل	$\gamma$
ضریب اصلاح نشت مربوط به فشار داخلی معادل که $0.75$ ضریب واشر در نظر گرفته می‌شود.	$\alpha_1$
باربری واشرناشی از نیروی بستن اولیه پیچ ( $\text{N} / \text{mm}^2$ )	$\sigma_a$
زاویه مجاز خم لوله	$\theta_a$

### فصل ششم

a فاصله بین مرکز نشیمن و خط مماسی پوسته (mm)

$A_b$	سطح مقطع مؤثر پیچ مهار ( $\text{mm}^2$ )
$A_1$	سطح مقطع پایه ( $\text{mm}^2$ )
$A_{SD}$	سطح مقطع مؤثر نشیمن ( $\text{mm}^2$ )
$b$	عرض نشیمن (mm)
$b_x$	طول صفحه برشی در راستای عمود بر محور پوسته (mm)
$b_y$	طول صفحه برشی در راستای محور پوسته (mm)
$b_x$	طول صفحه برشی در راستای محور پوسته (mm)
$b_y$	طول صفحه برشی عمود بر محور پوسته (mm)
$C$	ضریبی است که با توجه به نوع شکست تعیین می‌گردد.
$C_b$	فاصله بین پیچ مهارها در راستای عمود بر محور مخزن (mm)
$C_b$	فاصله پیچ‌های مهاری مماس با محور محفظه (mm)
$C_{K2}$	مانند $C_{K1}$ و با استفاده از $K_2$ تعیین می‌گردد
$D_h$	قطر داخلی بزرگ‌تر هد نیمه بیضوی، قطر داخلی هد نیمه‌کروی و شعاع تاج هد مقعر به استثنای مقدار مجاز خوردگی
$D_1$	قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز پایه‌ها (mm)
$D_m$	قطر متوسط پوسته (mm)
$E$	مدول الاستیسیته طولی مصالح پایه ( $\text{N/mm}^2$ )
$F$	مقاومت تسلیم یا $0.2\%$ مقاومت تناظر با کرنش $0.2\%$ از آزمایش فولاد مصالح ( $\text{N/mm}^2$ )
$F_{ev}$	بزرگ‌ترین مقدار محاسبه شده از $F_{VY}$ و $F_{VX}$
$F_H$	نیروی زلزله افقی طراحی (N)
$F_{HX}$	نیروی زلزله افقی طراحی در راستای محوری (N)
$F_{HY}$	نیروی زلزله افقی طراحی در راستای عمود بر محور (N)
$F_{MH}$	نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی (N)
$F_{MV}$	نیروی زلزله قائم اصلاح شده طراحی (N)
$F_{SH}$	نیروی زلزله افقی استاتیکی طراحی (N)
$F_V$	نیروی زلزله قائم طراحی (N)
$F_{VX}$	بار قائم معادل نیروی زلزله افقی طراحی اعمالی در راستای محوری (N)
$F_{VY}$	بار قائم معادل نیروی زلزله افقی طراحی اعمالی در راستای عمود بر محور (N)
$g$	شتاب ثقل ( $\text{mm/s}^2$ )
$E_G$	مدول الاستیسیته عرضی مصالح پایه ( $\text{N/mm}^2$ )
$G$	مقدار بدست آمده از زاویه تکیه‌گاهی $\theta$

h <sub>ma</sub>	نصف محور داخلی کوچک‌تر به استثنای مقدار مجاز خوردگی (mm)
h <sub>sa</sub>	ارتفاع صفحه برشی (mm)
H <sub>00</sub>	ارتفاع هد (mm)
H <sub>2</sub>	ارتفاع مرکز ثقل از صفحه پایه (mm)
H <sub>1</sub>	طول پایه (mm)
H <sub>S</sub>	ارتفاع از صفحه پایه تا سطح پایینی نشیمن (mm)
H <sub>V</sub>	ارتفاع محفظه بین مرکز پوسته و صفحه پایه (mm)
I <sub>1</sub>	ممان اینرسی پایه نسبت به راستای محیطی ممان اینرسی مقطع طولی مستطیل (mm <sup>4</sup> )
I <sub>2</sub>	ممان اینرسی پایه در راستای شعاعی ممان اینرسی مقطع عرضی دایره (mm <sup>4</sup> )
K	صلیبت افقی مخزن افقی (N/mm)
K <sub>1</sub>	مقداری که با استفاده از شکل و بر حسب زاویه تکیه‌گاهی نشیمن $\theta$ بدست می‌آید.
K <sub>2</sub>	مقدار بدست آمده از زاویه تکیه‌گاهی $\theta$
K <sub>H</sub>	شدت لرزه افقی در سطح
K <sub>MH</sub>	ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی
K <sub>SH</sub>	ضریب زلزله افقی طراحی
K <sub>y</sub>	ضریب زلزله تسلیم برای هر مد خرابی
K <sub>yb</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه برشی
K <sub>yeD</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم فشاری نشیمن
K <sub>yeS</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تنش فشاری
K <sub>ymB</sub>	ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش پیچ مهر
K <sub>yms</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به ترکیب تنش خمشی و برشی صفحه برشی
K <sub>ytB</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهر
K <sub>ytC</sub>	ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم کششی در مرکز پوسته
K <sub>ytK</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی هد
K <sub>ys</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم برشی صفحه برشی
K <sub>ysB</sub>	ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی پیچ مهر
K <sub>ytS</sub>	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی در محل اتصال به نشیمن
L	طول پوسته در راستای محوری (mm)
L <sub>S</sub>	گام نشیمن (mm)
M <sub>LC</sub>	لنگر خمشی مرکز پوسته (N/mm)

لنگر خمشی پوسته در محل اتصال به نشیمن ( $N/mm$ )	$M_{LS}$
تعداد پیچ‌های مهارى هر کناره ثابت شده	$n_{abf}$
تعداد پیچ‌های مهار هر نشیمن	$n_{abs}$
تعداد پایه‌ها	$n_1$
فشار طراحی ( $N/cm^2$ )	$P_0$
نیروی عکس‌العمل پوسته از نشیمن $N$	$Q$
شعاع داخلی شعاع داخلی کمر بند مهار (mm)	$r_k$
شعاع متوسط (mm)	$R_m$
تنش تسلیم یا تنش متناظر با کرنش $0.2\%$ از آزمایش فولاد صفحه پوسته در دمای طراحی $N/mm^2$	$S_y$
ضخامت صفحه پوسته به استثنای مقدار مجاز خوردگی، (mm)	$t$
ضخامت هد به استثنای مقدار مجاز خوردگی (mm)	$t_h$
ضخامت صفحه برشی (mm)	$t_{sa}$
ضخامت صفحه برشی (mm)	$t_{sp}$
ضخامت صفحه به استثنای مقدار مجاز خوردگی، (mm)	$t_n$
پریود طبیعی (s)	$T$
وزن بهره‌برداری ( $N$ )، مجموع وزن خود محفظه و وزن سیال	$W_0$
مجموع وزن خود مخزن و وزن سیال	$W_H$
مجموع وزن سازه و وزن سیال اعمال شده به نقطه‌ای که طراحی برای آن انجام می‌شود. وزن بهره‌برداری $N$	$W_V$
وزن بهره‌برداری ( $N$ )	$W_V$
مدول مقطع در مرکز پوسته ( $mm^3$ )	$Z_C$
مدول مقطع پوسته در محل اتصال به نشیمن ( $mm^3$ )	$Z_S$
مدول مقطع مؤثر نشیمن ( $mm^3$ )	$Z_{SD}$
ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی	$\beta_4$
تنش کششی پوسته در محل اتصال به نشیمن ( $N/mm^2$ )	$\sigma_t$
تنش فشاری صفحه پوسته ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{cSE}$
تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tCE}$
تنش فشاری پوسته در محل اتصال به نشیمن ( $N/mm^2$ )	$\sigma_c$
تنش کششی مرکز پوسته ( $N/mm^2$ )	$\sigma_t$
تنش فشاری در مرکز پوسته ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{bs}$
تنش کششی هد ( $N/mm^2$ )	$\sigma_t$

تنش کششی هد در اثر فشار داخلی ( $N/mm^2$ )	$\sigma'$
تنش فشاری نشیمن ( $N/mm^2$ )	$\sigma_c$
تنش کششی پیچ مهار ( $N/mm^2$ )	$\sigma_t$
تنش برشی پیچ مهاری برای نشیمن ثابت شده یا صفحه برشی ( $N/mm^2$ )	$\tau$
تنش خمشی صفحه برشی ( $N/mm^2$ )	$\sigma_b$
تنش فشاری صفحه برشی در اثر نیروی فشاری بتن در راستای نیروی زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{CP}$
تنش کششی صفحه پوسته ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{ps}$
تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tSO}$
تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار زلزله	$\sigma_{tSE}$
تنش فشاری صفحه پوسته ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{cSO}$
تنش فشاری صفحه پوسته ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{cSE}$
تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tCO}$
تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tCE}$
تنش کششی هد ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tKO}$
تنش کششی هد ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tKE}$
تنش فشاری نشیمن ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{cDO}$
تنش خمشی نشیمن ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{bDO}$
تنش فشاری نشیمن ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{cDE}$
تنش خمشی نشیمن ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{bDE}$
تنش فشاری پیچ مهار ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tBO}$
تنش کششی پیچ مهار ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{tBE}$
تنش برشی پیچ مهار ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\tau_{BE}$
تنش خمشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\sigma_{bE}$
تنش برشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )	$\tau_E$
ضریب شکل پذیری هر مد خرابی	$\mu_p$
ضریب شکل پذیری مجاز هر مد خرابی	$\mu_{pa}$

### فصل هفتم

سطح مقطع مؤثر پیچ مهار ( $mm^2$ )  $A_b$

مقطع مهار ( $mm^2$ )  $A_B$

$A_{CL}$	سطح مقطع پایه در زمین که برابر است با مساحت سطح مقطع یک ستون در روی پی $mm^2$
$A_{CU}$	سطح مقطع تکیه‌گاه بالایی ( $mm^2$ )
$b$	ارتفاع صفحه برشی (mm)
$D_a$	قطر سوراخ پیچ مهار (mm)
$D_{bp}$	قطر صفحه پایه (mm)
$D_B$	قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز تکیه‌گاه‌ها (mm)
$D_c$	قطر خارجی برج، تکیه‌گاه (mm)
$D_m$	قطر متوسط تکیه‌گاه بالایی (mm)
$D_S$	قطر داخلی مخزن کروی (mm)
$E$	مدول الاستیسیته طولی مصالح تکیه‌گاه پایینی ( $N/mm^2$ )
$F$	مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با $0.2\%$ کرنش فولاد میل مهار ( $N/mm^2$ )
$F'$	تنش فشاری برای کنترل کمانش با در نظر گرفتن ضریب لاغری مؤثر ( $N/mm^2$ )
$F_V$	نیروی زلزله‌قائم طراحی ( $N$ ) به‌دست آمده
$H_1$	ارتفاع مؤثر
$H_2$	ارتفاع از سطح زیرین صفحه پایه تا اتصال مهار (mm)
$H_C$	ارتفاع از سطح زیرین صفحه پایه تا مرکز بدنه کروی (mm)
$I_C$	ممان اینرسی سطح تکیه‌گاه پایینی ( $mm^4$ )
$K$	صلبیت افقی مخزن کروی ( $N/mm$ )
$K_1$	صلبیت دورانی کل بدنه ( $N/mm$ )
$K_2$	صلبیت برشی کل بدنه ( $N/mm$ )
$K_y$	ضریب زلزله‌تسلیم برای هر مد خرابی
$K_{yA}$	ضریب زلزله‌تسلیم ستون A متناظر با ترکیب تنش فشاری و خمشی
$K_{yB}$	ضریب زلزله‌تسلیم ستون B متناظر با ترکیب تنش فشاری و خمشی
$K_{yBA}$	ضریب زلزله‌تسلیم ستون A متناظر با تسلیم برشی
$K_{yBB}$	ضریب زلزله‌تسلیم ستون B متناظر با تسلیم برشی
$K_{yBG}$	ضریب زلزله‌تسلیم متناظر با تسلیم خمشی در نقطه G
$K_{yBS}$	ضریب زلزله‌تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه برشی
$K_{yBR}$	ضریب زلزله‌تسلیم متناظر با تسلیم خمشی صفحه پایه توسط نیروی باربری بتن
$K_{yBT}$	ضریب زلزله‌تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه پایه در اثر نیروی مهار پیچ
$K_{yc}$	ضریب زلزله‌تسلیم متناظر با کمانش و تسلیم فشاری

ضریب زلزله تسلیم مربوط به کمانش و تسلیم در اثر فشار	$K_{ycP}$
ضریب زلزله تسلیم ستون A متناظر با کمانش یا تسلیم در اثر فشار	$K_{yCA}$
ضریب زلزله تسلیم ستون B متناظر با کمانش یا تسلیم در اثر فشار	$K_{ycB}$
ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش در نقطه G یا O	$K_{ymG,O}$
ضریب زلزله تسلیم مربوط به ترکیب تنش پیچ مهار تکیه‌گاه B'	$K_{ymB'}$
ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی تکیه‌گاه بالایی	$K_{ys}$
ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی صفحه برشی	$K_{ysS}$
ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی میل مهار	$K_{yT}$
ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار ستون A'	$K_{yTA'}$
ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار ستون B'	$K_{yTB'}$
ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم کششی مهاری لوله‌ای	$K_{yTP}$
ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی	$K_{MH}$
فاصله بین تکیه‌گاه‌های مجاور (mm)	L
تعداد پیچ مهارهای هر تکیه‌گاه	$n_a$
تعداد تکیه‌گاه	$n_s$
نیروی فشاری اعمالی بر بخش پایینی تکیه‌گاه A	$P_A$
نیروی مهاری پیچ تکیه‌گاه A' (N)	$P_{A'}$
نیروی کششی پیچ مهار تکیه‌گاه B'	$P_{B'}$
نیروی فشاری اعمالی بر بخش پایینی تکیه‌گاه B (N)	$P_B$
نیروی عکس‌العمل قائم اعمالی بر صفحه پایه در اثر بتن تکیه‌گاه B	$P_B'$
نیروی برشی پیچ مهار تکیه‌گاه A' (N)	$Q_{A'}$
نیروی برشی پیچ مهار تکیه‌گاه B' (N)	$Q_{B'}$
نیروی باربری واحد افقی بتن، اعمالی بر صفحه برشی تکیه‌گاه A'، محاسبه شده از رابطه ۷-۴۳ ( $N/mm^2$ )	$R_{A'}$
تنش تسلیم در وجه فشاری	$S_c$
کم‌ترین مقدار بین حداقل مقاومت تسلیم در دمای طراحی یا دمای معمولی مصالح یا مقاومت متناظر با ۰/۲٪ کرنش	$S_y$
	( $N/mm^2$ )
ضخامت صفحه پایه و برشی (mm)	t
پریود طبیعی (Sec)	T
وزن بهره‌برداری (N)، مجموع وزن مخزن و وزن مؤثر سیال	$W_0$



وزن سیال زمانی که مخزن پر است.	$W_{100}$
مجموع وزن مخزن و وزن مؤثر سیال	$W_H$
وزن سیال	$W_I$
مجموع وزن سازه و وزن سیال اعمال شده به نقطه‌ای که طراحی برای آن انجام می‌شود.	$W_V$
وزن بهره‌برداری (N)	$W_V$
مدول مقطع تکیه‌گاه پایینی ( $\text{mm}^3$ )	$Z_{CL}$
مدول مقطع تکیه‌گاه بالایی ( $\text{mm}^3$ )	$Z_{CU}$
طول صفحه برشی (mm)	$\alpha$
زاویه مهار مورب با سطح افق درجه	$\theta_e$
زاویه مهاربندهای محدب با سطح افقی درجه	$\theta_e$
تنش خمشی بخش پایینی تکیه‌گاه A ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{bA}$
تنش خمشی صفحه برشی ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_b$
تنش خمشی بخش پایینی تکیه‌گاه B ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{bB}$
تنش خمشی صفحه پایه در اثر نیروی باربری بتن ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{b1}$
تنش خمشی صفحه پایه در اثر نیروی پیچ مهار ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{b2}$
تنش فشاری بخش پایینی تکیه‌گاه A ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{CA}$
تنش فشاری بخش پایینی تکیه‌گاه B ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{CB}$
تنش کششی مهار ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_t$
تنش فشاری مهار لوله ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_C$
تنش کششی پیچ مهار تکیه‌گاه A' ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{tA'}$
تنش کششی پیچ مهار تکیه‌گاه B' ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{tB'}$
تنش فشاری تکیه‌گاه بالایی ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{cN}$
تنش فشاری تکیه‌گاه بالایی ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{cE}$
تنش خمشی در نقطه G ناشی از بار زلزله	$\sigma_{GE}$
تنش خمشی در نقطه O ناشی از بار زلزله	$\sigma_{OE}$
تنش فشاری تکیه‌گاه پایینی ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{cLN}$
تنش فشاری ستون A ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{cAE}$
تنش خمشی ستون A ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{bAE}$
تنش فشاری ستون B ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )	$\sigma_{cBE}$

$\sigma_{bBE}$	تنش خمشی ستون B ناشی از بار زلزله $(N/mm^2)$
$\sigma_{TE}$	تنش کششی میل مهار ناشی از بار زلزله $(N/mm^2)$
$\sigma_{cPN}$	تنش فشاری مهار لوله ناشی از بار نرمال بهره‌برداری $(N/mm^2)$
$\sigma_{tPE}$	تنش کششی مهاری لوله‌ای ناشی از بار زلزله $(N/mm^2)$
$\sigma_{cPE}$	تنش فشاری مهار لوله ناشی از بار زلزله $(N/mm^2)$
$\sigma_N$	تنش فشاری پیچ مهار ناشی از بار نرمال بهره‌برداری $(N/mm^2)$
$\sigma_{tA'E}$	تنش کششی پیچ مهار ستون A' ناشی از بار زلزله
$\sigma_{tB'E}$	تنش کششی پیچ مهار ستون B' ناشی از بار زلزله
$\sigma_{bE}$	تنش خمشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله
$\sigma_{RN}$	تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار نرمال بهره‌برداری $(N/mm^2)$
$\sigma_{RE}$	تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار زلزله $(N/mm^2)$
$\sigma_{TN}$	محدوده کاهش تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار نرمال بهره‌برداری $(N/mm^2)$
$\sigma_{TE}$	تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار زلزله $(N/mm^2)$
$\tau_{A'}$	تنش برشی پیچ مهار تکیه‌گاه A' $(N/mm^2)$
$\tau_{B'}$	تنش برشی پیچ مهار تکیه‌گاه B' $(N/mm^2)$
$\tau$	تنش برشی صفحه برشی، تکیه‌گاه بالایی $(N/mm^2)$
$\tau_E$	تنش برشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله $(N/mm^2)$
$\tau_{uE}$	تنش برشی تکیه‌گاه بالایی ناشی از بار زلزله
$\tau_{A'E}$	تنش برشی ستون A'
$\tau_{B'E}$	تنش برشی ستون B' ناشی از بار زلزله
$\mu_p$	ضریب شکل پذیری برای هر مد خرابی
$\mu_p$	ضریب شکل پذیری هر مد خرابی
$\mu_{pa}$	ضریب شکل پذیری مجاز هر مد خرابی

### فصل هشتم

A	سطح مقطع تسمه مهار $(mm^2)$
$D_0$	قطر داخلی (m)
$D_H$	نصف دامنه تغییر مکان زمین برای سطح خطر-۲ زلزله در راستای افقی (cm)
$D_m$	قطر متوسط جداره (m)
E	مدول الاستیسیته طولی جداره کناری مخزن $(N/mm^2)$
$F_{SH}$	نیروی زلزله افقی استاتیکی طراحی (N)

شتاب ثقل ( $\text{mm/s}^2$ )	g
ضرایب ثابت	$h_2$ و $h_1$
ارتفاع نقطه مشخص شده از صفحه کف (mm)	$h_p$
ارتفاع مرکز ثقل مؤثر سیال از صفحه کف مخزن (mm)	$H_1$
ارتفاع مرکز ثقل مخزن (mm)	$H_G$
بالاترین ارتفاع تراز سیال (mm)	$H_L$
ارتفاع مرکز ثقل جداره کناری از صفحه کف (mm)	$H_s$
ارتفاع مرکز ثقل سقف از صفحه کف مخزن (mm)	$H_r$
ضریب نسبت در مقابل ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی. کمترین مقدار از بین $k_1$ و $k_2$	k
برابر با $K_{SH}$ یا $K_{MH}$	K
شدت لرزه افقی در سطح بر اساس راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان حیاتی	$K_H$
ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی	$K_{MH}$
ضریب اصلاح شده افقی طراحی ناشی از زلزله سطح خطر-۲	$K_{MH2}$
ضریب زلزله اصلاح شده طراحی قائم	$K_{MV}$
ضریب زلزله افقی استاتیکی طراحی	$K_{SH}$
ضریب زلزله تسلیم برای هر مد خرابی	$K_y$
لنگر واژگونی اعمالی بر نقطه‌ای که تنش آن تعیین می‌شود (N.mm)	$M_{10}$
تعداد تسمه مهار	$N_{as}$
فشار عادی MPa	$P_0$
حداقل فشار داخلی در طول بهره‌برداری عادی = $0.003\text{MPa}$	$P_{0min}$
حداکثر فشار در طول بهره‌برداری عادی (mm)	$P_{0max}$
فشار هیدرواستاتیکی سیال MPa	$P_s$
شعاع جداره کناری مخزن (mm)	R
تنش کمانش ( $\text{N/mm}^2$ )	$S_c$
تنش بحرانی ( $\text{N/mm}^2$ )	$S_{cr}$
تنش تسلیم جداره کناری ( $\text{N/mm}^2$ )	$S_y$
تنش فشاری مجاز ( $\text{N/mm}^2$ )	$S'$
ضخامت جداره کناری به غیر از مقدار مجاز خوردگی یا ضخامت دیوار پایین‌ترین قسمت ورق جداره کناری مخزن	t
(mm)	
ضخامت دیوار جداره کناری در یک سوم از ارتفاع جداره کناری مخزن (mm)	$t_{1/3}$

T	پریود طبیعی s
$V_H$	سرعت زمین برای سطح خطر-۲ زلزله در راستای افقی (cm/s)
$W_0$	وزن بهره‌برداری (N)
$W_2$	وزن مؤثر سیال (N)
$W_H$	مجموع وزن مخزن و وزن مؤثر سیال
$W_1$	وزن مؤثر سیال در سطح خطر-۱ زلزله (N)
$W_{1s}$	کل وزن جداره دیوار کناری مخزن (N)
$W_r$	کل وزن سقف شامل بار برف (N)
$W_s$	کل وزن جداره کناری (N)
$W'_s$	وزن جداره کناری اعمالی بر نقطه‌ای که تنش آن تعیین می‌شود (N)
$\beta_4$	ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی
$f_1$	نسبت وزن مؤثر سیال
$f_2$	ضریب
$\sigma_{0h}$	تنش غشایی محیطی جداره کناری مخزن در طول بهره‌برداری عادی ( $N/mm^2$ )
$\sigma_o$	متوسط تنش فشاری محوری ناشی از وزن خود مخزن ( $N/mm^2$ )
$\sigma_{1o}$	متوسط تنش فشاری محوری ناشی از وزن خود مخزن ( $N/mm^2$ )
$a_2$	شتاب افقی در سطح زمین براساس پریود طبیعی تلاطم $cm/s^2$
$\sigma_{Ap}$	تنش کششی ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )
$\sigma_{A0}$	تنش فشاری ناشی از وزن خود مخزن ( $N/mm^2$ )
$\sigma_{AE1H}$	تنش کششی ناشی از لنگر واژگونی کل، زمانیکه ضریب زلزله اصلاح شده افقی طراحی اعمال می‌شود ( $N/mm^2$ )
$\sigma_{AE2H}$	تنش کششی ناشی از کل لنگر واژگونی زمانیکه زلزله سطح خطر-۲ اعمال می‌شود. ( $N/mm^2$ )
$\sigma_c$	تنش فشاری جداره کناری برای کنترل کمانش ( $N/mm^2$ )
$\sigma_{E2H}$	تنش فشاری در نقطه‌ای به ارتفاع $h_p$ ناشی از لنگر واژگونی، هنگامی که ضریب زلزله در سطح خطر-۲ اعمال می‌شود. ( $N/mm^2$ )
$\sigma_t$	تنش کششی تسمه مهار ( $N/mm^2$ )
$\sigma_p$	متوسط تنش کششی محوری ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )
$\beta_1$	ضریب اهمیت
$\beta_2$	نسبت شتاب مبنای طرح
$\sigma_{EH}$	تنش غشایی محیطی جداره کناری مخزن در زمان زلزله
$\sigma_{E1H}$	تنش فشاری محوری ناشی از لنگر واژگونی زمانیکه ضریب زلزله افقی اصلاح شده $K_{MH}$ اعمال می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{EIV}$	تنش فشاری محوری ناشی از ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی $K_{MV}$ ( $N/mm^2$ )
$\nu$	نسبت پواسون
$\mu_p$	ضریب شکل پذیری برای هر مد خرابی

### فصل نهم

$A_b$	مساحت صفحه پایه، پیچ مهار ( $mm^2$ )
$A_{bp}$	مساحت ورق کف ( $mm^2$ )
$A_l$	سطح مقطع مؤثر پایه، پیچ مهار ( $mm^2$ )
$C$	ضریبی که با توجه به مد شکست تعیین می‌گردد
$D$	قطر مرکزی پایه (mm)
$D_0$	قطر خارجی پوسته (mm)
$D_1$	قطر دایره ساخته شده توسط مراکز پایه‌ها یا پیچ مهارها (mm)
$D_m$	متوسط قطر در موقعیت طراحی (mm)
$D_s$	ضریب مشخصات سازه‌ای
$e_f$	حداکثر فاصله از محور خنثی پایه تا قسمت کمان پوسته برج (mm)
$E$	مدول الاستیسیته طولی مصالح پایه ( $N/mm^2$ )
$F$	تنش تسلیم پایه یا پیچ ( $N/mm^2$ )
$F_H$	نیروی زلزله افقی طراحی (N)
$F_V$	نیروی زلزله قائم طراحی (N)
$F'$	تنش کمانش پایه ( $N/mm^2$ )
$g$	شتاب ثقل ( $mm/s^2$ )
$G$	مدول الاستیسیته عرضی برشی مصالح پایه ( $N/mm^2$ )
$h_{sp}$	ارتفاع صفحه سخت‌کننده (mm)
$H_1$	ارتفاع از وجه پایین‌تر صفحه پایه تا مرکز جوشکاری نصب (mm)
$H_2$	ارتفاع از وجه پایین‌تر صفحه پایه تا مرکز ثقل برج (mm)
$H_l$	طول پایه (mm)
$H_t$	ارتفاع از کف صفحه پایه برج (m)
$i_c$	شاخص تنش
$i_{S1}$	شاخص تنش مربوط به لنگر خمشی پایه
$i_{S2}$	شاخص تنش مربوط به نیروی محوری پایه
$I_1$	ممان اینرسی سطح نسبت به محور پایه در راستای مماسی مقطع پوسته ( $mm^4$ )

$I_2$	ممان اینرسی سطح نسبت به محور پایه در راستای شعاعی مقطع پوسته ( $\text{mm}^4$ )
$K$	سختی افقی تجهیز ( $\text{N/mm}$ )
$K_1$	کل سختی دورانی ( $\text{N/mm}$ )
$K_2$	کل سختی برشی ( $\text{N/mm}$ )
$K_c$	سختی خمشی هر یک از پایه‌ها ( $\text{N/mm}$ )
$K_{MH}$	ضریب زلزله اصلاح شده طراحی سازه
$K_{MV}$	ضریب زلزله قائم اصلاح شده
$K_y$	ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد تسلیم
$K_{ybb}$	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه پایه
$K_{ybc}$	ضریب زلزله تسلیم خمشی ملحقات پایه
$K_{ybH}$	ضریب زلزله تسلیم خمشی پایه
$K_{yBL}$	ضریب زلزله تسلیم خمشی پایه در موقعیت طراحی
$K_{ycbL}$	ضریب زلزله تسلیم تنش فشاری و خمشی در موقعیت طراحی پایه
$K_{ycL}$	ضریب زلزله تسلیم کمانش فشاری پایه در موقعیت طراحی
$K_{ycs}$	ضریب زلزله تسلیم برای کمانش فشاری پوسته در موقعیتی که تنش محاسبه می‌شود.
$K_{yck}$	ضریب زلزله تسلیم برای کمانش فشاری پوسته در موقعیتی که تنش محاسبه می‌شود.
$K_{yCB}$	ضریب زلزله تسلیم برشی میل‌مه‌ار در موقعیت طراحی
$K_{ySL}$	ضریب زلزله تسلیم برشی پایه در موقعیت طراحی
$K_{yTB}$	ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مه‌ار
$K_{yTB}$	ضریب زلزله تسلیم کششی پیچ مه‌ار در موقعیت طراحی
$K_{yTBL}$	ضریب زلزله تسلیم تنش کششی و خمشی در موقعیت طراحی پایه
$K_{yML}$	ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی در موقعیت طراحی پایه
$K_{yTL}$	ضریب زلزله تسلیم کششی پایه در موقعیت طراحی ( $\text{N/mm}^2$ )
$K_{yTS}$	ضریب زلزله تسلیم برای تسلیم کششی پوسته در موقعیت محاسبه تنش
$K_{yTSB}$	ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش میل‌مه‌ار
$L$	بزرگترین مقدار $I_1$ و $I_2$ ( $\text{mm}$ )
$L_m$	بزرگترین مقدار $I_1$ و $I_2$ ( $\text{mm}$ )
$M$	مجموع لنگرهایی که در موقعیت مربوط به ضریب افقی اصلاح شده طراحی بکار می‌روند ( $\text{N/mm}$ )
$n$	تعداد پایه‌ها
$n_a$	تعداد پیچ مه‌ار هر پایه
$n_{ab}$	تعداد پیچ مه‌ار

تعداد پایه‌ها	$n_1$
تعداد پیچ مهار	$N$
فشار در بهره‌برداری عادی MPa	$P_o$
پایین‌ترین فشار در بهره‌برداری عادی MPa	$P_o$
نیروی بیرون کشیدگی اعمالی بر صفحه پایه (N)	$P_b$
مقاومت تسلیم خمشی پانل در اثر لنگر خمشی که بر پایه اعمال می‌شود (N)	$Q_{y1}$
مقاومت تسلیم خمشی پانل در اثر نیروی محوری اعمالی بر پایه (N)	$Q_{y2}$
مقاومت تسلیم که بوسیله تسلیم خمشی پانل پوسته ملحقه پایه (N)	$Q_{ybc}$
مقاومت تسلیمی که توسط تسلیم خمشی پانل در بخش تأسیسات خارجی پوسته پایه تعیین می‌شود	$Q_{yBH}$
مقدار بدست آمده از $r = 0.5D_m / t$	$r$
شعاع صفحه خوردگی پایه	$r_o$
کمترین مقدار بین مقاومت تسلیم در دمای طراحی یا دمای عادی مصالح و مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ فولاد	$S_y$
	$N/mm^2$
ضخامت صفحه دامنی یا پوسته با در نظر گرفتن مقدار مجاز خوردگی (mm)	$t$
ضخامت پانل (mm)	$t_h$
وزن بهره‌برداری (N)	$W_o$
مجموع وزن سازه و محتویات (N)	$W_v$
حداکثر طول افقی بازشو دامنی یا پوسته (mm)	$Y_s$
اساس مقطع نسبت به راستای شعاعی ورق کف یا صفحه پایه ( $mm^3$ )	$Z$
ضریب اصلاح که با توجه به ارتفاع مرکز ثقل بدست می‌آید	$\lambda$
نصف زاویه راس مخروط درجه	$\theta$
تنش فشاری ایجاد شده در پوسته یا تکیه‌گاه دامنی ( $N.mm^2$ )	$\sigma_c$
نصف زاویه راس دامنی مخروط شکل درجه	$\theta$
تنش کششی ایجاد شده در پیچ مهار یا پایه ( $N.mm^2$ )	$\sigma_t$
تنش خمشی ایجاد شده در ورق کف یا در پایه ( $N.mm^2$ )	$\sigma_b$
تنش فشاری ایجاد شده در پایه ( $N.mm^2$ )	$\sigma_c$
تنش کششی ایجاد شده در پیچ مهار. ( $N.mm^2$ )	$\sigma_t$
تنش کششی ایجاد شده در پوسته در بهره‌برداری عادی ( $N.mm^2$ )	$\sigma_{tOs}$
تنش کششی ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی افقی طراحی. ( $N.mm^2$ )	$\sigma_{tHs}$
تنش کششی ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی قائم طراحی ( $N.mm^2$ )	$\sigma_{tVs}$

$\sigma_{co}$	تنش فشاری ایجاد شده در پوسته در اثر بار بهره‌برداری عادی، ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{cH}$	تنش فشاری ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی زلزله افقی طراحی ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{cV}$	تنش فشاری ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی زلزله قائم طراحی ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{cO}$	تنش فشاری ایجاد شده در تکیه‌گاه دامنی در اثر بار بهره‌برداری عادی ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{tOb}$	تنش ایجاد شده در پیچ مهار در اثر بار عادی. ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{tHb}$	تنش ایجاد شده در پیچ مهار توسط نیروی زلزله افقی ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{tVb}$	تنش ایجاد شده در پیچ مهار توسط نیروی زلزله قائم ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{bO}$	تنش خمشی ایجاد شده در صفحه پایه توسط بار عادی ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{bH}$	تنش خمشی ایجاد شده در صفحه پایه توسط نیروی زلزله افقی ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{bV}$	تنش خمشی ایجاد شده در صفحه پایه توسط نیروی زلزله قائم ( $N.mm^2$ )
$\sigma_O$	تنش بهره‌برداری
$\sigma_{EL}$	تنش لرزه‌ای ناشی از $K_{MH}$ و $K_{MV}$
$\sigma_{BO}$	تنش پیچ مهار در اثر وزن بهره‌برداری ( $N.mm^2$ )
$\sigma_{tBE}$	تنش بیرون کشیدگی پیچ مهار در اثر نیروی زلزله طراحی
$\beta$	ضریبی که از $\beta = h_{sp} / D_m$ به دست می‌آید
$\theta$	نصف زاویه رأس مخروط در شرایط طراحی درجه
$\tau$	تنش برشی ایجاد شده در پیچ مهار یا در پایه ( $N.mm^2$ )
$\mu_p$	ضریب شکل پذیری پاسخ در مد خرابی، اگر $K_{MH} \leq K_y$ پس $\mu_p = 0$
$\mu_{pa}$	ضریب شکل پذیری مجاز

### فصل دهم

$F_{MH}$	نیروی زلزله افقی اصلاح شده
$F_{MV}$	نیروی زلزله قائم اصلاح شده
$h_e$	مقدار بدست آمده از شکل و براساس ثابت میرایی برج‌ها و مخازن
$H$	ارتفاع نقطه‌ای که در آن نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی $F_{MH}$ برج یا مخزن محاسبه می‌شود.
$H_o$	ارتفاع پایین‌ترین نقطه اتکا برج و مخزن
$H_{sf}$	ارتفاع بخش فلزی سازه قابی (m)
$H_t$	ارتفاع سازه قابی (m)
$Q_u$	نیاز لرزه‌ای نهایی (N)
$Q_{un}$	نیاز لرزه‌ای موجود طبقه $i$ ام (N)
$T_a$	مقداری که از رابطه $T_a = 0.057\sqrt{\eta_a}$



$T_{fs}$	پریود طبیعی سازه قابی
$w_i$	وزن هر طبقه (N)
$w_H$	وزن بهره‌برداری
$w_V$	مجموع وزن محتویات و وزن سازه نگهداشته شده با قاب در موقعیتی که نیروی زلزله قائم اصلاح شده محاسبه می‌شود.
$\eta$	بیشترین تغییرمکان سازه قابی در حالتی که وزن سازه قابی به صورت افقی بکار رود. (mm)
$\beta_5$	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی
$\beta_7$	ضریب بزرگنمایی پاسخ سازه قابی برج‌ها و مخازن
$\lambda$	مقداری است که از رابطه‌های محاسباتی و براساس پریود طبیعی Ta برج‌ها و مخازن بدست می‌آید.
$\gamma$	نسبت وزن سازه قابی
$\eta_a$	بیشترین تغییرمکان (mm) در حالتی که وزن برج یا مخزن به صورت افقی بکار برده شده و سازه قابی صلب فرض می‌شود.
$\mu$	ضریب توزیع زلزله در ارتفاع

### فصل یازدهم

A	مساحت سطح مقطع ( $\text{cm}^2$ )
$A_i$	سطح مقطع لوله
$A_r$	مساحت سطح مقطع لوله جدار لوله ( $\text{cm}^2$ )
$B_w$	عرض تکیه‌گاه
$C_B$	ضریب اصلاح کرنش خمشی در ناحیه کاملاً خمیری
$c_F$	ضریب تغییرمکان طراحی قید
D	قطر خارجی لوله (cm)
$D_i$	قطر لوله (m)
$D_m$	قطر میانگین
$D_o$	قطر خارجی لوله (cm)
$D_{600}$	قطر لوله استاندارد (mm) ۶۰۰ میلی‌متری
$E_2$	مدول ارتجاعی وتری
$\bar{E}$	سختی ارتجاعی معادل ( $\text{N/cm}^2$ )
$F_Y$	مقاومت تسلیم مصالح
FEM	روش اجزای محدود
h	طول لوله علمک بین نقطه گیرداری و نقطه فوقانی، ضریب لوله

$H_F$	نیروی زلزله طراحی قید kN
$H_g$	ارتفاع مرکز ثقل پایه کناری پل
$H_p$	ارتفاع از مرکز لوله
$H_{p0}$	عمق خط لوله از قسمت بالای لوله تا سطح زمین
$H_w$	ارتفاع از مرکز ثقل راهرو
$i_B$	ضریب تشدید تنش در خم
$I_i$	ممان اینرسی لوله
$I_r$	ممان اینرسی سطح مقطع ( $cm^4$ )
$k$	نسبت $L_s/2$ به $D_i$
$K$	ضریب عکس‌العمل زمین ( $N/cm^3$ )
$K_1$	ضریب فنریت خاک اطراف در راستای طولی نیوتن بر متر مربع بر متر
$K_2$	مدول فنریت خاک اطراف برای عکس‌العمل قائم خاک. ( $N.cm^2$ )
$K_{30}$	ضریب عکس‌العمل زمین از نتیجه آزمایش صفحه، به قطر ۳۰ سانتی‌متر
$K_H$	ضریب شدت زلزله افقی
$L$	طول دهانه سازه تکیه‌گاهی مجاور (m)
$L_a$	طول مؤثر تغییرشکل لوله ناشی از تغییرمکان گسل
$L_A$	طول موج ظاهری (cm)
$L_{sp}$	طول لوله در توده خاک جابجا شده (cm)
$M_{pbs}$	لنگر خمشی پلاستیک کامل لوله و خم
$M_{ps}$	لنگر خمشی پلاستیک کامل لوله
$M_{ys}$	لنگر تسلیم لوله
$n_b$	ضریب انعطاف‌پذیری خم
$n_1$	تعداد اتصالات انبساطی
$P_1$	فشار آب
$P_2$	فشار دینامیکی آب
PGD	تغییرمکان ماندگار زمین
$q$	ضریب لغزش
$r_m$	شعاع میانگین لوله (cm)
$R_c$	شعاع انحنای خم
$R_d$	عکس‌العمل بار مرده kN

$R_{Df}$	نیروی عکس‌العمل kN تکیه‌گاه ناشی از بار مرده روسازه. نیروی عکس‌العمل رو به پایین باید مثبت فرض شود.
$R_L$	نیروی زلزله رو به بالا kN
$R_r$	شعاع انحنای خم (cm)
$R_U$	نیروی زلزله رو به پایین kN
$R_{VEQ}$	نیروی عکس‌العمل رو به بالا و پایین kN ایجاد شده توسط ضریب شدت زلزله قائم $k_V$ که به صورت زیر بدست می‌آید.
$R_{VP}$	وزن لوله و سیال
$R_{VW}$	وزن راهرو
$S_E$	طول نشیمن شاه‌تیر در تکیه‌گاه (cm)
$S_F$	حداکثر جابجایی طراحی قید (cm)
$t$	ضخامت لوله (cm)
$t_b$	ضخامت خم
$t_s$	ضخامت لوله مستقیم
$U_G$	تغییر مکان نسبی (mm) ناشی از تغییر شکل خاک بین سازه‌های تکیه‌گاهی مجاور
$U_H$	عرض تغییر مکان افقی زمین (cm)
$U_R$	تغییر مکان نسبی (mm) بین پاسخ‌ها در سازه‌های تکیه‌گاهی مجاور
$U_{R1}$	پاسخ سازه تکیه‌گاهی ۱ (mm)
$U_{R2}$	پاسخ سازه تکیه‌گاهی ۲ (mm)
$w_{bs}$	زاویه دوران درجه در ضلع بیرونی در نواحی ساحلی
$w_{bs}$	زاویه بحرانی خمش درجه در خم
$W_G$	عرض توده خاک
$w_{sc}$	زاویه بحرانی لوله مستقیم
$\Sigma W$	وزن کل روسازه‌ی سیستم پل
$\Sigma W_0$	وزن آب - $\Sigma W$
$\mu$	ضریب اصطکاک
$\delta_x$	تغییر مکان اتصال انبساطی (mm)
$\Delta_x$	طول مجاز برای تغییر مکان اضافی نامعلوم (mm)
$\delta_T$	تغییر مکان ناشی از افزایش دما (mm)
$\alpha_t$	ضریب انبساط حرارتی
$\Delta_T$	افزایش دما
$\varepsilon_G$	کرنش میدان آزاد سطح زمین

کرنش زمین	$\varepsilon_G$
ضریب تبدیل تنش زمین به تنش لوله در راستای طولی	$\alpha_0$
ضریب اصلاح q	$\Omega$
تنش برشی بحرانی در شروع لغزش نیوتن بر متر مربع	$\tau_{cr}$
تنش برشی اعمالی بر سطح لوله نیوتن بر متر مربع	$\tau_G$
کرنش در زمین یکنواخت	$\varepsilon_{G1}$
اضافه کرنش زمین در ناحیه انتقال	$\varepsilon_{G3}$
حداکثر تنش محدود شده خاک ( $N.cm^2$ )	$\sigma_{cr}$
تغییر مکان تسلیم (cm)	$\delta_{cr}$
	$\gamma_a \ \gamma_\delta$
ضرایب جزئی ایمنی	$\gamma_m \ \gamma_k$
	$\gamma_b$
جابجایی دائمی زمین	$\delta_h$
تنش فشاری خاک	$\sigma_c$
زاویه برخورد با گسل نسبت به محور لوله	$\beta$
تغییر مکان ماندگار زمین (cm)	$\delta$
تنس برش مماسی بین خاک و لوله ( $N.cm^2$ )	$\tau_{cr}$
مقدار حداکثر تغییر مکان ماندگار زمین	$\delta$
ظرفیت تغییر مکان محوری	$\Delta u$
تنش برشی زمین ( $N.cm^2$ )	$\tau$
کرنش بحرانی	$\varepsilon_0$
کرنش تسلیم	$\varepsilon_y$
تنش تسلیم ( $N.cm^2$ )	$\sigma_y$
ضریب سخت‌شوندگی کرنش	$\lambda E$
جابجایی قائم (cm)	$\Delta v$
ضریب نسبی بین زاویه دوران یک اتصال و لنگر اعمالی ( $Ncm/rad$ )	$\mu$
زاویه بحرانی اتصال rad	$\theta_0$
ضریب تبدیل خم لوله ( $1/cm$ )	$\beta_B$
تغییر مکان نسبی بین میدان آزاد و لوله مستقیم متصل به خم	$\Delta$
پارامتر	$\lambda$
کرنش خمشی	$\varepsilon_B$

تنش تسلیم لوله	$\sigma_y$
ضریب تبدیل اتصال T شکل	$\beta_T$
کرنش سازه‌ای اتصال T شکل	$\varepsilon_T$
کرنش تسلیم لوله‌های انشعابی متصل به لوله اصلی	$\varepsilon_y$
تغییر مکان نسبی بین قسمت آزاد و لوله مستقیم متصل به اتصال T شکل	$\Delta$
تغییر مکان نسبی افقی	$\Delta u$
زاویه دوران مجاز	$\beta_{cr}$
زاویه دوران خمشی علمک	$\beta$
زاویه خم	$\phi_b$
کرنش نهایی، ۰/۳۵	$\varepsilon_f$
پارامتر مربوط به مصالح	$\eta$
کرنش بحرانی ۰/۳۵	$\varepsilon_{cr}^{PGD}$



# فصل ۱

---

---

## کلیات





## ۱- کلیات

راهنمای حاضر بر اساس مدارک مشابه در کشورهای پیشرفته لرزه خیز همراه با تجربیات داخلی و بعضی دیگر از کشورهای مطرح در زمینه مهندسی زلزله تدوین شده است. در راستای بهره‌گیری از تجارب دیگر کشورها سعی شده است که حتی‌الامکان به مسأله بومی‌سازی توجه شده و مطالب ساده و کاربردی‌تر ارائه شود.

### ۱-۱- هدف

هدف این راهنما تأمین ایمنی عمومی و پیشگیری از آسیب جدی به سامانه گاز ناشی از زلزله است.

- در این راهنما، طراحی لرزه‌ای سامانه گازرسانی شهری ارائه گردیده است.
- آسیب‌پذیری در زلزله ماهیت ریسک و خطرپذیری دارد. لذا هدف این راهنما تأمین ایمنی قابل قبول با توجه به ریسک منطقی بر اساس شرایط اقتصادی و ماهیت خطر زلزله و آسیب‌پذیری تأسیسات سامانه گاز شهری می‌باشد.
- این راهنما بر آن است تا با رعایت مفاد آن آسیب جدی و مخل ایمنی عمومی پیش نیاید.

### ۱-۲- گستره کاربرد این راهنما

تأسیسات هدف این راهنما، تأسیسات سامانه گازرسانی شامل مؤلفه‌های پالایشگاهی، ایستگاه‌های تقلیل فشار، خطوط لوله انتقال و شبکه توزیع می‌باشد.

- برای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های این سامانه از استاندارد ۲۸۰۰ و مقررات ملی ساختمان ایران استفاده می‌گردد.
- برای طراحی لرزه‌ای پی تجهیزات از مباحث مربوطه در مقررات ملی ساختمان، فصل چهارم نشریه ۳۶۰ و نشریه ۱۲۳ با استفاده از نتایج استخراج شده از طراحی لرزه‌ای تجهیز مربوطه از این راهنما می‌توان استفاده نمود.

### ۱-۲-۱- سازماندهی این راهنما

این راهنما با هدف و گستره فوق در فصول زیر سازماندهی شده است:

فصل اول: کلیات

فصل دوم: مبانی

فصل سوم: بارگذاری لرزه‌ای

فصل چهارم: روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

فصل پنجم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی لوله‌کشی و قفسه لوله

فصل ششم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخزن افقی

فصل هفتم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخزن کروی

فصل هشتم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخزن استوانه‌ای

فصل نهم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی برج و محفظه قائم

فصل دهم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی سازه‌های شبه ساختمانی

فصل یازدهم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی خطوط لوله

فصل دوازدهم: مثالها

پیوست

## ۱-۲-۲- نکاتی در کاربرد این راهنما

با توجه به این که این اولین روایت راهنمای مربوطه در کشور می‌باشد به‌طور طبیعی دارای ابهامات و اشکالاتی نظیر سایر راهنماها و آیین‌نامه‌های قبلی تدوین شده برای کشور خواهد بود. برای به حداقل رساندن این مشکلات در این راهنما و رفع هرچه سریع‌تر آنها توجه به موارد زیر بسیار موثر و مفید است:

- ۱- سعی شده است ضوابط این راهنما با استاندارد ۲۸۰۰ تناقضی نداشته باشد.
- ۲- در صورت کمبود اطلاعات برای بارگذاری مؤلفه‌های سامانه گازرسانی هدف در این راهنما، از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می‌توان استفاده نمود.
- ۳- در موارد طراحی مؤلفه‌های بتنی تأسیسات گازرسانی هدف در این راهنما به‌ویژه در مورد مشخصات مصالح بتنی از نشریه ۱۲۳ و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان می‌توان استفاده کرد.
- ۴- مبحث دهم مقررات ملی، مکمل این راهنما برای رفع کمبودهای مربوط به مؤلفه‌های فولادی تأسیسات برقی آن می‌باشد.
- ۵- سایر راهنماها و مدارک مشابهی که به‌صورت موردی برای طراحی لرزه‌ای سامانه گازرسانی توسط مراجع ذی‌صلاح خارجی و داخلی تهیه و تدوین شده باشد، می‌تواند در هماهنگی با این راهنما مورد استفاده قرار گیرد.
- ۶- از تمامی استفاده‌کنندگان این راهنما انتظار می‌رود برای تطابق هرچه بهتر و سهولت هرچه بیشتر کاربرد آن در کشور، نظرات اصلاحی و پیشنهادات خود را ارسال نمایند تا در ویرایش‌های بعدی، مورد استفاده تدوین‌کنندگان قرار گیرد.

## ۱-۳- قوانین و مقررات مربوطه

### ۱-۳-۱- مراجع اصلی این راهنما

در تدوین این راهنما از استانداردها، آئین‌نامه‌ها، راهنماها و دستورالعمل‌های مختلفی استفاده شده است. اهم این مدارک به شرح زیر می‌باشد:

- استاندارد ۲۸۰۰ ایران: آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۰۰۵
- Euro code 8: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۴: سیلوها، مخازن و خطوط لوله، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۶
- BCJ1997: مشخصات طراحی لرزه‌ای تجهیزات ساختمانی، مرکز ساختمان ژاپن، ۱۹۹۷

کمیته گاز ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای خط لوله گاز فشار قوی برای روانگرایی، JGA-207-01، ۲۰۰۱  
 کمیته راه ژاپن: مشخصات پل‌های بزرگراهی، بخش ۵ طراحی لرزه‌ای، ۲۰۰۲  
 کمیته گاز ژاپن: مراحل پیشنهادی برای مخازن LNG بالای زمین، آگوست ۲۰۰۲  
 مرکز ساختمان ژاپن (BCJ): راهنمای طراحی سازه‌ای و ساخت دودکش‌ها، ۱۹۸۲ (Stack-82)  
 انجمن معماری ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای جرثقیل، می ۱۹۸۹  
 انجمن ایمنی گاز فشار قوی ژاپن (KHK): آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازی فشار قوی، ۲۰۰۶  
 مجله فنی شرکت تلگراف و تلفن ژاپن: تکنولوژی طراحی سازه فضایی (۱-۳)، آگوست، سپتامبر و اکتبر ۲۰۰۷ (NTT)

### ۱-۳-۲- مخفف آیین‌نامه‌ها

مخفف	نام کامل
AIJ1996	پیشنهادات طراحی مخازن ذخیره و تکیه‌گاه‌های آنها، ژاپن، انجمن معماری ژاپن، ۱۹۹۶
ALA2005	راهنماهای لرزه‌ای خطوط لوله آب، ALA، ۲۰۰۵
ANGTS	متمم اطلاعات فنی کاربردی ایالت آلاسکا، شرکت انتقال گاز طبیعی شمال غرب آلاسکا، ۲۰۰۴
API 5L	API مشخصات L5، مشخصات خط لوله، API، ۲۰۰۴
API620	API استاندارد ۶۲۰، طراحی و ساخت مخازن ذخیره کم فشار جوش شده بزرگ، API، ۲۰۰۵
API650	API استاندارد ۶۵۰، مخازن فلزی جوش شده برای ذخیره سوخت، API، ۲۰۰۵
ASCE7	حداقل بارهای طراحی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها، ASCE، ۲۰۰۶
ASCE1984	راهنماهای طراحی لرزه‌ای سیستم‌های خط لوله گاز و سوخت، ASCE، ۲۰۰۶
ASCE1985	طراحی سازه‌های مقاوم در برابر اثرات سلاح‌های اتمی، دستورالعمل و گزارش شماره ۴۲، ASCE، ۱۹۸۵
ASCE1997	راهنماهای ارزیابی لرزه‌ای و طراحی تأسیسات پتروشیمی، ASCE، ۱۹۹۷
ASME B31	آیین‌نامه ASME برای لوله‌کشی تحت فشار، B31، ASME، ۲۰۰۴، AWWAD100-96
AWWA96	AWWAD100-96
BCJ1997	مشخصات طراحی لرزه‌ای تجهیزات ساختمانی، مرکز ساختمان ژاپن، ۱۹۹۷
BS EN1998-1	Euro code 8: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۱، مقررات کلی، تحریکات لرزه‌ای و مقررات ساختمان‌ها، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۴
BS EN1998-4	Euro code 8: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۴: سیلواها، مخازن و خطوط لوله، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۶
BS EN1998-5	Euro code 8: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۵: پی، سازه‌های متمرکز و جنبه‌های ژئوتکنیکی. کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۴
IBC2006	آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان، USA، ۲۰۰۶
INBC10	آیین‌نامه ملی ایران، بخش ۱۰، طراحی و ساخت ساختمان‌های فولادی

نام کامل	مخفف
استانداردهای نفتی ایران	IPS-X-XX
آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۰۰۵	Iran2800
استاندارد ۵۱۹ ایران، بارگذاری ساختمان‌ها	Iran519
استاندارد B8501 صنعتی ژاپن، مخازن فولادی جوش شده برای ذخیره سوخت، ژاپن، ۲۰۰۱	JIS B8501
شیوه‌های پیشنهادی طراحی مقاوم در برابر زلزله برای خطوط لوله گاز فشار قوی و متوسط، انجمن گاز ژاپن، ۱۹۸۲	JGA1982
شیوه‌های پیشنهادی برای طراحی مقاوم در برابر زلزله خطوط لوله گاز فشار قوی، انجمن گاز ژاپن، ۲۰۰۰	JGA2000
شیوه‌های پیشنهادی برای طراحی مقاوم در برابر زلزله خطوط لوله گاز فشار قوی در مناطق با پتانسیل روانگرایی، انجمن گاز ژاپن، ۱۹۸۲	JGA2001
استاندارد فنی برای خط لوله نفت، انجمن راه ژاپن، ۱۹۷۴	JRA74
مشخصات طراحی پل‌های بزرگراهی، طراحی لرزه‌ای ۷- انجمن راه ژاپن، ۱۹۹۶	JRA V
مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات فاضلاب، شرکت فاضلاب ژاپن، ۲۰۰۶	JSWA2006
مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات آب‌رسانی، شرکت آب ژاپن، ۱۹۹۷	JWWA1997
استاندارد فنی طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازی فشار بالا، انجمن ایمنی گاز فشار قوی ژاپن (KHK)، ۲۰۰۰	KHK
MCA راهنمای ایمنی ۲۲	MCA22
ضمیمه طراحی لرزه‌ای مقررات پدافند آتش‌سوزی، ابلاغیه شماره ۳ وزارت ارتباطات و امور داخلی، ۲۰۰۵	MIAC No.30
مشخصات NIOEC	NIOEC-SP-XX-XX
طراحی لرزه‌ای پالایشگاه پتروشیمی، وزارت انرژی، نیوزلند، ۱۹۸۱	NZ1981
طراحی لرزه‌ای مخازن ذخیره، وزارت انرژی، پیشنهادات گروه مطالعاتی انجمن ملی نیوزلند برای مهندسی زلزله، نیوزلند، ۱۹۸۶	NZ1986
استاندارد طراحی پل لوله آب، WSP 064-2007، انجمن لوله فلزی آب	WSP064
آیین‌نامه ساختمان‌های یکنواخت، ایالات متحده آمریکا، ۱۹۹۷	UBC97

# فصل ۲

---

---

## مبانی



## ۲- مبانی

اصول و مبانی مربوط به زلزله طراحی، روش‌های طراحی (کنترل ایمنی) و عملکردهای مورد انتظار در این راهنما به‌طور خلاصه در این فصل ارائه شده‌اند. اهم این مبانی عبارتند از:

- ۱- دو سطح خطر با تبعیت از استاندارد ۲۸۰۰ ایران  
توجه به دو طیف شتاب و سرعت سازگار با شرایط ایران و تطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰
- ۲- در نظر گرفتن بار زلزله به دو صورت نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب در جرم که در مرکز یا مراکز جرم وارد می‌شود و نیروی ناشی از جابه‌جایی زمین و اعمال آن از طریق اندرکنش خاک و سازه مدفون در آن به بدنه در محدوده تماس با خاک
- ۳- استفاده از دو روش طراحی و کنترل ایمنی شامل روش تنش مجاز در محدوده ارتجاعی رفتار مصالح برای سطح خطر-۱ و روش شکل‌پذیر در محدود غیر ارتجاعی رفتار مصالح برای سطح خطر-۲
- ۴- استفاده از دو سطح عملکرد به‌صورت حد آسیب و حد نهایی که در اولی استفاده بی‌وقفه و در دومی حداقل وقفه تضمین می‌شود. از نظر رفتار مؤلفه‌های سازه‌ای در اولی رفتار در محدوده ارتجاعی و بدون آسیب می‌ماند، در حالی که در دومی رفتار از مرز تسلیم عبور نموده ولی به حد مجاز تغییر شکل خمیری مشخصی محدود می‌گردد. این محدوده مجاز بعد از تسلیم را شکل‌پذیری قابل قبول راهنما، بر اساس آزمایشات یا تجربیات حاصله تعیین می‌نماید.  
موارد فوق در ادامه به‌طور خلاصه شرح داده شده است.

### ۲-۱- زلزله طراحی

#### ۲-۱-۱- سطوح خطر زلزله و دوره بازگشت آنها

<p>۱- دو سطح خطر که در ذیل آمده است باید برای طراحی لرزه‌ای مؤلفه‌های سامانه گازرسانی در نظر گرفته شود:</p> <p>سطح خطر-۱: حداکثر زلزله بهره‌برداری (MOE که مخفف Maximum Operational Earthquake می‌باشد). (احتمال وقوع ۵۰٪ ظرف ۵۰ سال عمر مفید مفروض)</p> <p>سطح خطر-۲: حداکثر زلزله طرح (MCE که مخفف Maximum Considerable Earthquake می‌باشد). (احتمال وقوع ۱۰٪ ظرف ۵۰ سال عمر مفید مفروض)</p> <p>۲- بزرگا (بزرگای لنگر) و فاصله از گسل بر اساس احتمال وقوع MOE و MCE باید در محل ساخت تأسیسات در ایران مد نظر قرار گیرد.</p>
---

۱- در این راهنما عمر مفید مؤلفه‌های شریان‌های حیاتی شامل تأسیسات گازرسانی هدف به‌طور نسبی حدود ۵۰ سال در نظر گرفته شده است. حداکثر زلزله بهره‌برداری ممکن است یک یا دو بار در طول مدت سرویس‌دهی تأسیسات گاز اتفاق بیفتد. حالات خرابی غیر قابل پذیرش در بهره‌برداری از تأسیسات به سطح خطر-۱ محدود گردیده و بهره‌برداری از

سامانه گاز با اطمینان ادامه می‌یابد. در این سطح خطر احتمال وقوع ۵۰٪ ظرف مدت ۵۰ سال، مطابق با دوره بازگشت ۷۲ سال می‌باشد. در استاندارد ۲۸۰۰، احتمال تجاوزی حدود ۹۹/۵ درصد در نظر گرفته شده است که دوره بازگشت حدود ۱۰ ساله را به دست می‌دهد. حداکثر زلزله طرح، زلزله‌ای است که احتمال وقوع کمتر و دوره بازگشت طولانی‌تری نسبت به زلزله MOE داشته باشد. رفتار مؤلفه‌های سامانه گاز در سطح خطر-۲ در حالت حد نهایی بوده و کل سیستم، حتی اگر عضوی صدمه ببیند، باید پایداری خود را حفظ نماید. احتمال ۱۰٪ وقوع زلزله‌ای بزرگ‌تر از این زلزله، ظرف ۵۰ سال مطابق با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله می‌باشد.

از نظر مدیریت ریسک، ۱۰ درصد احتمال تجاوز، کاربرد بسیار وسیع و مناسبی از نظر اقتصادی با رعایت ایمنی لازم دارد. برای بعضی از سازه‌ها نظیر پل‌ها که عمر آنها تا حدود ۲۵۰ سال نیز در نظر گرفته می‌شود، این احتمال تجاوز در ریسک، دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله را به دست می‌دهد که برای سازه‌های با عمر مفید ۵۰ سال نظیر ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی، احتمال تجاوزی حدود ۲ درصد را به دست می‌دهد که اقتصادی نیست.

واژه MCE در بعضی از زمینه‌ها نظر سدسازی به معنی حداکثر زلزله قابل باور یا ممکن (Maximum Credible Earthquake) نیز آمده است. در این راهنما این واژه از فصل دوازدهم ASCE-7-05 برگرفته و به همان معنی استفاده شده است.

۲- برای تخمین تغییرشکل ماندگار زمین PGD (Permanent Ground Deformation) ناشی از جابه‌جایی گسل (گسلش)، روانگرایی و زمین لغزش، بزرگای زلزله M و فاصله از گسل R مورد نیاز می‌باشد. M، R و دیگر پارامترهای لرزه‌ای وابسته، با روابط تحلیلی یا تجربی حاصل از تحلیل خطر منطقه مورد نظر طراح، به‌ویژه با توجه به سوابق لرزه‌خیزی آن به دست می‌آیند.

## ۲-۱-۲- طیف‌های طراحی لرزه‌ای

- ۱- طیف‌های پاسخ طراحی لرزه‌ای برای تأسیسات گاز باید با توجه به پیوند طبیعی و خصوصیات میرایی سیستم‌های سازه‌ای محاسبه گردند. بار ناشی از زلزله نیز باید با استفاده از این طیف‌ها محاسبه شود.
- ۲- تحلیل‌های دینامیکی طیفی برای کنترل ایمنی لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای باید با ترکیب مشخصات طیفی مودال انجام شود.

۳- یکی از دو طیف پاسخ ذیل باید برای طراحی تأسیسات گازرسانی شهری به کار رود:

- الف- طیف پاسخ شتاب برای محاسبه نیروی اینرسی ناشی از جرم مؤلفه‌های روزمینی
- ب- طیف پاسخ سرعت برای محاسبه نیروی اندرکنشی ناشی از تغییر مکان خاک بر بدنه مؤلفه‌های مدفون

۱- در استفاده از این طیف‌ها باید موارد زیر در نظر گرفته شود

۱-۱- در راهنمای حاضر، طیف پاسخ الاستیک برای میرایی ۵٪ به کار می‌رود.

۱-۲- طیف پاسخ برای طراحی لرزه‌ای از روش‌های زیر به دست می‌آید:

الف) طیف‌های ویژه ساختگاه



طیف‌های ویژه ساختگاه با توجه به فعالیت‌های لرزه‌ای، گسل‌های فعال و شرایط ژئومورفولوژی محاسبه می‌گردند. برای تهیه طیف ویژه ساختگاه از ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می‌شود. برای سازه‌های مدفون لازم است که طیف سرعت نیز استخراج گردد.

ب) طیف‌های احتمالاتی یا تعینی بر اساس ثبت زلزله‌های نیرومند روش‌های احتمالاتی کاربرد مهندسی بیشتری دارند. طیف‌های حاصل از این روش‌ها، به‌طور معمول مقادیر کمتری نسبت به مشابه خود از روش‌های تعینی دارند. به‌طور کلی در تعیین طیف‌های طراحی، احتمال وقوع زلزله براساس حرکت‌های قوی زمین در نظر گرفته شده است. طیف‌های تعینی اغلب برای طراحی محافظه‌کارانه و مدیریت بحران به کار می‌روند.

۲- تحلیل‌های پاسخ دینامیکی، روشی برای کنترل ایمنی لرزه‌ای سازه، به‌خصوص سازه‌های با رفتار پیچیده تحت اثر زلزله می‌باشد. این تحلیل‌ها گران و زمان‌بر بوده و تنها زمانی به کار می‌روند که استفاده از روش طیف‌های پاسخ، سخت و نامطمئن باشد.

۳- در خصوص طیف موارد زیر را باید مدنظر داشت:

۳-۱- طیف پاسخ شتاب برای سازه‌های روزمینی به کار می‌رود. طیف‌های پاسخ شتاب هم‌چنین برای سیستم‌های چند درجه آزادی با به‌کارگیری روش تحلیل مودال مناسب هستند. در این راهنما، برای محاسبات متکی بر طیف شتاب، از طیف شتاب موجود در ویرایش معتبر و رایج استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می‌شود.

۳-۲- طیف‌های پاسخ سرعت برای تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی از قبیل خطوط لوله، تونل‌های پوشش‌دار و مخازن زیرزمینی که عملکرد آنها با رفتار لرزه‌ای خاک اطراف کنترل می‌شود، به کار می‌روند. بارگذاری زلزله چنین سازه‌هایی بر مبنای پاسخ تغییر مکان صورت می‌گیرد که در آن ابتدا تغییر شکل خاک در موقعیت سازه‌های مدفون با به‌کارگیری طیف پاسخ سرعت محاسبه و سپس برهم‌کنش بین زمین و سازه‌های مدفون با روش‌های استاتیکی تعیین می‌شود.

۳-۳- طیف‌های پاسخ شتاب و سرعت باید برای طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازرسانی سازگار باشد. در این راهنما برای اولین ویرایش و به‌طور تقریبی طیف پاسخ سرعت سازگار با آیین‌نامه ۲۸۰۰ پیشنهاد شده است. برای ویرایش‌های بعدی لازم است که برای نگاشت‌های ایران یک سری طیف سرعت (نظیر طیف شتاب استاندارد ۲۸۰۰) تهیه شود.

## ۲-۱-۳- توزیع شدت لرزه‌ای در طبقات

برای تجهیزات واقع بر روی سایر تجهیزات یا بر روی طبقات بالایی ساختمان‌ها از شدت لرزه‌ای افقی طبقه استفاده می‌گردد. برای توزیع شدت لرزه‌ای افقی ( $K_H$ )، می‌توان از ضریب توزیع ساده شده  $A_i$  که در رابطه (۱-۲) نشان داده شده است، استفاده نمود. برای این منظور این ضریب در هر طبقه در  $K_H$  ضرب می‌گردد.

$$A_i = 1 / \sqrt{\frac{H-x}{H}} \quad (1-2)$$

H : ارتفاع کل طبقات

x : ارتفاع طبقات فوقانی طبقه i

برای تجهیزاتی که در ارتفاع روی تجهیز یا سازه دیگری قرار دارد، شدت لرزه تابعی از شدت لرزه در محل استقرار آنها می‌باشد. برای تجهیزات داخل ساختمان‌ها، رفتار تجهیز به زلزله طبقه متکی بر آن بستگی خواهد داشت.

## ۲-۱-۴- شدت لرزه‌ای قائم طرح

ورودی‌های لرزه‌ای جهت قائم باید برای تجهیزاتی که رفتار آنها به مؤلفه قائم زلزله حساس است در نظر گرفته شود. شدت لرزه‌ای قائم طرح  $K_V$  توسط رابطه (۲-۳) به دست می‌آید:

$$K_V = \frac{1}{2} K_H \quad (2-3)$$

در اینجا  $K_H$  شدت لرزه‌ای طراحی در جهت افقی می‌باشد.

در این راهنما حسب مورد برای هریک از مؤلفه‌ها که در فصول ۵ به بعد ارائه شده، زلزله‌های افقی و قائم آنها محاسبه شده است. در اکثر قریب به اتفاق موارد، زلزله قائم، نصف زلزله افقی منظور شده است.

## ۲-۲- روند کنترل ایمنی لرزه‌ای (روش‌های طراحی)

### ۲-۲-۱- کنترل ایمنی لرزه‌ای

ایمنی تجهیزات طراحی شده باید با روش‌های زیر کنترل گردد:

- ۱- روش طراحی تنش مجاز که باید برای سطح خطر-۱ اعمال شود.
  - ۲- روش ظرفیت نیروی افقی که می‌تواند برای سطح خطر-۲ با احتساب حداکثر نیروهای جانبی در اثر تغییر شکل سازه‌ای در حالت نهایی، به کار رود.
  - ۳- روش طراحی شکل‌پذیر معادل (روش جایگزین) که در آن ضریب به دست آمده برای زلزله طرح در سطح خطر-۲، به نصف تقلیل یافته و طراحی به روش تنش مجاز صورت می‌گیرد.
  - ۴- روش طراحی شکل‌پذیر که برای سطح خطر-۲، نسبت شکل‌پذیری موجود سازه را با نسبت شکل‌پذیری مجاز مقایسه می‌نماید.  
توجه:
- در مواردی که سازه با روش شکل‌پذیر کنترل می‌شود لازم است که برای شدت لرزه برابر  $0.3$  نیز، با روش تنش مجاز کنترل گردد.
- در مواردی که تجهیز دارای اهمیت بسیار زیاد و یا پیچیدگی خاصی در رفتار لرزه‌ای باشد حسب قضاوت مهندس طراح و برای کنترل روش‌های ارائه شده در فوق از روش‌های مناسب دینامیکی استفاده می‌گردد.

۱- به‌طور کلی روش طراحی تنش مجاز در سطح خطر-۱ برای زلزله بهره‌برداری به کار می‌رود.

۲- روش ظرفیت نیروی افقی (جانبی) یکی از روش‌های کنترل می‌باشد. این روش حسب مورد در طراحی لرزه‌ای بعضی مؤلفه‌های سامانه گازرسانی در این راهنما استفاده و در جای خود با جزئیات مربوطه به کار برده شده است.

۳- روش طراحی شکل‌پذیر معادل (روش جایگزین) روشی است که در آن تنش عضو با استفاده از یک طیف طراحی الاستیک معادل محاسبه می‌گردد. این طیف معادل، از ضرب ضریبی در یک طیف طراحی لرزه‌ای الاستیک به دست می‌آید.

این ضریب با توجه به ضریب شکل‌پذیری یا ظرفیت جذب انرژی سازه‌ها تعیین می‌گردد. در این راهنما این ضریب ۰.۵ ملحوظ شده است.

۴- اساس روش طراحی شکل‌پذیر این است که برای زلزله‌های قوی‌تر با شتاب (و سرعت) زیاد، به سازه اجازه جذب انرژی بیشتری (بعد از نقطه تسلیم مصالح) داده شده تا مؤلفه‌های آن بتوانند کرنش زیادتری را جذب نمایند. ضریب شکل‌پذیری مورد محاسبه با روابط این راهنما با ضریب شکل‌پذیری مجاز مربوطه کنترل می‌گردد. گاهی اوقات ضریب شکل‌پذیری را می‌توان بر حسب کرنش‌های سازه‌ای بیان کرد.

## ۲-۳- عملکردهای مورد انتظار در این راهنما

دو عملکرد برای مؤلفه‌های سامانه گاز در مقابل سطوح خطر داده شده در این راهنما در نظر گرفته شده است:

- عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه (تا قبل از تسلیم مصالح)  
سطح خطر-۱: مؤلفه‌های طراحی شده نباید دچار هیچ آسیب مؤثری بر عملکرد سامانه گاز رسانی شده و عملکرد آنها بدون وقفه ادامه یابد.
- عملکرد حداقل وقفه (بعد از تسلیم مصالح)  
سطح خطر-۲: مؤلفه‌های طراحی شده ممکن است دچار آسیبی فیزیکی مؤثر بر عملکرد ولی بدون اثر بر زندگی افراد، محیط زیست و پایداری سامانه گاز رسانی شود. آسیب وارده باید هرچه زودتر قابل رفع بوده و عملکرد مختل شده به حالت اولیه باز گردد.

در سطح خطر-۱ اعضای سازه‌ای نباید هیچ آسیبی فیزیکی که منجر به توقف کاربری سامانه شود، ببینند. این سطح «وضعیت یا حالت حدی آسیب» نامیده می‌شود. در این حالت هر عضو تشکیل‌دهنده سامانه باید در محدوده ارتجاعی روابط تنش و کرنش بوده و به حد تسلیم نرسد.

در سطح خطر-۲ اعضای سیستم سازه‌ای می‌توانند آسیبی فیزیکی محدودی ببینند، اما پایداری سامانه‌ای و سازه‌ای نباید از بین رود. این شرایط «وضعیت یا حالت حد نهایی» نامیده می‌شود. در این حالت تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی (بعد از تسلیم مصالح) ممکن است رخ دهد.

تقسیم‌بندی عملکرد مورد انتظار به دو وضعیت حدی در کلیات، در سایر آیین‌نامه‌ها و راهنماها مورد توجه قرار گرفته است، لیکن در جزئیات با هم متفاوت هستند. در این راهنما نحوه اعمال این حدود حسب مؤلفه مورد طراحی در فصول ۵ به بعد بر اساس روش

---

طراحی تنش مجاز (برای حالت حدی آسیب) و روش‌های طراحی شکل‌پذیر (برای حالت حد نهایی) محاسبات و معیارهای لازم داده شده است.

# فصل ۳

---

---

## بارگذاری لوزه‌های



### ۳-۱- انواع بار

بارهای محاسباتی در تجهیزات سامانه‌های گاز رسانی می‌تواند از انواع زیر باشد:

- بار مرده ناشی از وزن تجهیز و ملحقات آن
- وزن ناشی از مواد داخلی بعضی تجهیزات
- فشار داخلی محتوی (به‌ویژه در محفظه‌ها، مخازن، لوله‌کشی و خط لوله)
- فشارهای هیدروستاتیک و هیدرودینامیک ناشی از آب
- فشارهای ناشی از خاک برای مؤلفه‌های مدفون
- بار ناشی از حرارت
- بارهای جانبی و قائم ناشی از زلزله
- بار باد

در مورد انواع بار با توجه به نوع مؤلفه‌های سامانه گاز، ملاحظات زیر لازم می‌باشد:

- ✓ بار باد بر روی سازه‌های مدفون اثری ندارد.
- ✓ برخلاف ساختمان‌ها، سازه‌های تأسیسات گاز دارای بار زنده انسانی نیستند.
- ✓ مؤلفه‌هایی نظیر مخازن، خطوط لوله و لوله‌کشی بین تجهیزات به‌طور عمده تحت اثر فشار مواد و فراورده‌های داخل خود هستند.
- ✓ دودکش و لوله‌کشی بین تجهیزات، تحت اثر بارهای ناشی از حرارت‌های زیاد قرار دارند.

### ۳-۲- محاسبه وزن‌ها

برای محاسبه وزن واحد مصالح و بارهای مختلف از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان شود.

### ۳-۳- ترکیب بارها

در این راهنما حسب هر تجهیز بارهای وارده و نحوه ترکیب آنها در فصول ۵ به بعد داده شده است.

### ۳-۴- انواع تجهیزات از نظر محل استقرار

تجهیزات سامانه‌های گاز رسانی به‌طور کلی به‌صورت زیر استقرار می‌یابند:

- تجهیزات هوایی
- تجهیزات روی زمین
- تجهیزات زیرزمینی و مدفون

### ۳-۵- روش‌های محاسبه بارهای زلزله

بارهای ناشی از زلزله روی تجهیزات سامانه‌های گاز به طرق زیر وارد می‌شود:

- ۱- نیروی اینرسی ناشی از جرم تجهیزات که حرکت آنها مقید در خاک نشده باشد. این نیرو به‌طور عمده در سازه‌های هوایی و روزمینی ایجاد و محاسبه می‌گردد.
- ۲- نیروی ناشی از تغییر مکان خاک بستر که بر روی سازه‌های مدفون اعمال می‌گردد. در این حالت تغییر مکان خاک در ضریب فنریت بین خاک و سازه ضرب شده و نیروی خود را بر تجهیز اعمال می‌نماید.
- ۳- در بعضی از موارد برای سازه‌هایی که در زمین مدفون هستند ولی وضعیت آنها طوری است که جرم آنها و مواد داخل آنها می‌توانند در اثر تکان زمین ایجاد نیروی اینرسی نمایند، هر دو نیروی اینرسی و نیروی ناشی از اثر تغییر شکل خاک بستر بر روی تجهیز باید در نظر گرفته شود.

### ۳-۶- آثار زلزله بر تجهیزات سامانه گاز

آثار زلزله بر تجهیزات سامانه گاز را می‌توان به دو اثر زیر تقسیم‌بندی نموده و محاسبات مربوط به بارگذاری لرزه‌ای ناشی از هر یک را آن‌جا داد:

- ۱- اثر دینامیکی زلزله ناشی از ارتعاشات زمین (انتشار امواج لرزه‌ای در خاک) که حاصل آن سه پاسخ زیر می‌باشد:
  - شتاب (برای سازه‌های روزمینی و ایستگاهی ایجاد نیروی اینرسی می‌نماید).
  - سرعت (در سازه‌های مدفون به ویژه خطوط انتقال و توزیع بیش از شتاب تأثیر گذار است).
  - جابه‌جایی (برای کلیه سازه‌ها به ویژه خطوط مدفون باعث آسیب جدی می‌گردد).
- ۲- اثر استاتیکی یا همان مخاطرات ژئوتکنیکی که تغییر مکان‌های ماندگار در زمین ایجاد می‌کنند شامل:
  - روانگرایی (و گسترش جانبی به ویژه در سواحل دریاها و رودخانه‌ها).
  - زمین‌لغزه (در مناطق کوهپایه‌ای که شیب آنها تند می‌باشد).
  - گسلش (برای سازه‌های ایستگاهی واقع بر محدوده گسل‌ها و یا خطوط مدفون گذرنده از آنها).

چگونگی اعمال بارهای لرزه‌ای ناشی از آثار فوق بر اساس روش‌های مختلف در راهنمای روش‌های بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی داده شده است.

### ۳-۷- نحوه اعمال اثرات زلزله بر تجهیزات گازی

- ۱- برای محاسبه بار وارد بر مؤلفه‌های هوایی و روزمینی باید نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب زلزله بر جرم تجهیز محاسبه گردد. در این روش از طیف شتاب مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می‌شود.
- ۲- برای انجام محاسبات نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب از «روش شبه استاتیکی» استفاده می‌گردد. برای مواردی که پیوند تجهیز بلند و یا دارای پیچیدگی سازه‌ای باشد (عدم حاکمیت مود اول ارتعاش سازه) از «روش شبه استاتیکی



اصلاح شده» استفاده می‌شود.

۳- برای محاسبه نیروی ناشی از جابه‌جایی زمین بر سازه‌های مدفون، «روش پاسخ تغییر مکان» به کار می‌رود. در این روش پس از محاسبه جابه‌جایی زمین در نقاط مورد نظر، با تعیین ضریب فنریت خاک اطراف سازه، نیروی وارد به آن محاسبه می‌گردد. در این روش از طیف سرعت سازگار با طیف شتاب ۲۸۰۰ و یا طیف سرعت ویژه ساختگاه استفاده می‌شود.

۴- در روش پاسخ تغییر مکان می‌توان با محاسبه کرنش خاک اطراف سازه، با توجه به میزان چسبندگی بین سازه مدفون و خاک اطراف آن، کرنش سازه مدفون را از روی کرنش خاک محاسبه نمود.

### ۳-۸- روش‌های محاسبه بارهای ناشی از زلزله

برای تعیین نیروی زلزله وارد بر مؤلفه‌های هوایی و روزمینی سامانه گاز، اغلب "روش شبه استاتیکی" به کار می‌رود، به علاوه در صورت لزوم می‌توان با توجه به شکل، مشخصات ارتعاشی، اهمیت تأسیسات و مود خرابی سازه، از روش‌های زیر نیز استفاده کرد:

- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

- روش تحلیل دینامیکی (طیفی یا تاریخچه زمانی)

روش شبه استاتیکی برای به دست آوردن تغییر مکان و تنش در یک سازه با صلبیت زیاد و با اعمال بار زلزله به صورت یک بار استاتیکی معادل، استفاده می‌شود. بار استاتیکی معادل به صورت حاصل ضرب ضریب زلزله در جرم سازه به دست می‌آید.

جدول ۳-۱ تجهیزات واجد شرایط جهت استفاده از روش شبه استاتیکی

نوع تأسیسات	مشخصه‌های قابل اجرا
برج و محفظه قائم	ارتفاع از صفحه پایه کمتر از ۲۰ متر
مخزن کروی	ظرفیت مخزن کمتر از ۸۰ تن
مخزن استوانه‌ای	قطر خارجی و ارتفاع دیواره کناری کمتر از ۱۰ متر
مخزن افقی	ظرفیت مخزن کمتر از ۱۰۰ تن

در روش شبه استاتیکی اصلاح شده، پیروید طبیعی، میرایی سازه و نیروی اینرسی ناشی از زلزله را در نظر گرفته و از ضریب اصلاحی در مقایسه با روش شبه استاتیکی استفاده می‌نماید.

علاوه بر این روش‌ها، برای کنترل روش‌های ساده استاتیکی و درک دقیق‌تر رفتار لرزه‌ای مؤلفه‌ها و اطمینان از طراحی صورت گرفته، از روش تحلیل دینامیکی طیفی یا تاریخچه زمانی استفاده می‌شود. در این گونه روش‌ها میزان قابلیت اعتماد نتایج به مناسب بودن شتاب‌های ورودی و ضرایب انتخاب شده برای میرایی بستگی دارد.

## ۳-۸-۱- ضریب اهمیت مؤلفه‌های گاز رسانی

ضریب اهمیت سازه براساس اهمیت آن با  $(\beta_1)$  نشان داده شده و از جدول (۳-۲) تعیین می‌گردد.

جدول ۳-۲ ضریب اهمیت  $\beta_1$ 

دسته اهمیت	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم
$\beta_1$	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸

نیاز به بهره‌برداری بی‌وقفه از مؤلفه مورد طراحی و ضرورت ایمنی آن بعد از زلزله نقش مهمی در بالا بردن ضریب اهمیت آن مؤلفه در سامانه گاز دارد. تعاریف رده‌های مختلف اهمیت در جدول (۳-۳) و نیز طبقه‌بندی اهمیتی تجهیزات مختلف در جدول (۳-۴) داده شده است.

در مواردی که دو سطح اهمیت متصور باشد، قضاوت کارفرما سطح اهمیت نهایی را مشخص می‌نماید.

جدول ۳-۳ تعریف رده‌های مختلف اهمیت

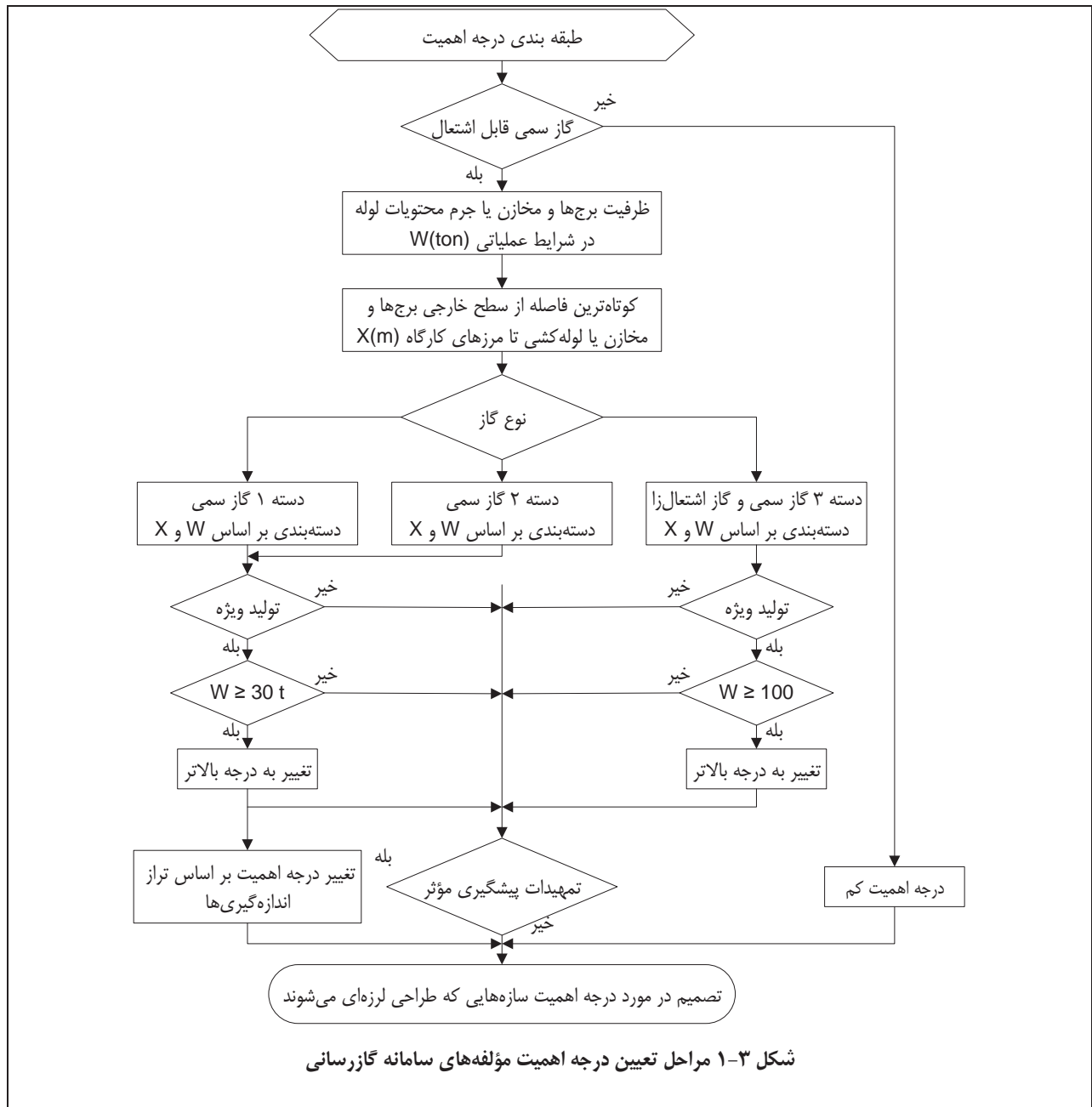
شرح	اهمیت
مؤلفه‌هایی که خرابی آنها موجب گسترش تلفات وسیع جانی و مالی و خسارت به تجهیزات و محیط زیست گردد. همین‌طور مؤلفه‌هایی که توقف عملکرد آنها، می‌تواند موجب خسارت‌های ثانویه جانی، مالی و زیست محیطی شود.	خیلی زیاد
مؤلفه‌هایی که خرابی آنها می‌تواند موجب قطع گاز یا تلفات و خسارات جانی، مالی و زیست محیطی گردد.	زیاد
مؤلفه‌هایی که خرابی آنها موجب اختلال در گازرسانی شود.	متوسط
مؤلفه‌هایی که خرابی آنها تاثیر قابل توجهی بر سامانه گاز نداشته و موجب تلفات و خسارات مالی و زیست محیطی نگردد.	کم

جدول ۳-۴ طبقه‌بندی اهمیت تأسیسات مختلف

تجهیزات کنترل و حفاظت	تجهیزات گاز با فشار زیاد	تجهیزات سوخت LNG	تجهیزات اهمیت
×	×	×	خیلی زیاد
	×	×	زیاد
×	×	×	متوسط و کم

## ۳-۸-۲- ملاحظات مربوط به تعیین درجه اهمیت مؤلفه‌های گاز رسانی

تعیین درجه اهمیت سازه‌ها بر اساس جداول (۳-۵) و (۳-۶) آن‌جام می‌شود. این طبقه‌بندی به عواملی هم‌چون کوتاه‌ترین فاصله از سطح بیرونی برج‌ها، مخازن و یا لوله‌کشی تا مرز ساختگاه سازه‌ها (که سازه‌ها براساس گنجایش برج‌ها، مخازن و یا لوله‌کشی در آن‌جا قرار گرفته‌اند) و نوع و جرم محتویات گاز در حالت بهره‌برداری، بستگی دارد. در بین سامانه لوله‌کشی، اتصالات لوله به برج‌ها و مخازن بیشترین اهمیت را دارند. مراحل تعیین درجه اهمیت در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



جدول ۳-۵ تعیین درجه اهمیت (کلی)

نوع گاز	ظرفیت مخزن W(ton)		فاصله X(m)	۲۰۰ یا بیشتر	از ۱۰۰ تا ۲۰۰	از ۲۰ تا ۱۰۰	از ۵ تا ۲۰	کمتر از ۵
	۱۰۰ کمتر از	از ۱۰۰ تا ۲۰۰						
دسته ۱ گازهای سمی	کمتر از ۱۰۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	از ۱۰۰ تا ۲۰۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
	از ۲۰۰ تا ۵۰۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	متوسط	کم
	از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	کم	کم	کم
	۱۰۰۰ و بیشتر	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	کم	کم	کم
دسته ۲ گازهای سمی	کمتر از ۵۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	از ۵۰ تا ۲۰۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط
	از ۲۰۰ تا ۵۰۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	کم
	از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	متوسط	کم	کم
	۱۰۰۰ و بیشتر	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	کم	کم	کم

جدول ۳-۶ تعیین درجه اهمیت (کلی)

نوع گاز	ظرفیت مخزن W(ton)		فاصله X(m)	کمتر از ۱۰	از ۱۰ تا ۱۰۰	از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰	از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰ یا بیشتر
	۲۰ کمتر از	از ۲۰ تا ۴۰						
دسته ۳ گازهای سمی گاز اشتعال‌زا	کمتر از ۲۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	از ۲۰ تا ۴۰	متوسط	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	از ۴۰ تا ۹۰	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	از ۹۰ تا ۲۰۰	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	از ۲۰۰ تا ۴۰۰	کم	کم	کم	زیاد	متوسط	متوسط	زیاد
	از ۴۰۰ تا ۹۰۰	کم	کم	کم	کم	کم	متوسط	متوسط
	از ۹۰۰ تا ۲۰۰۰	کم	کم	کم	کم	کم	کم	متوسط
	۲۰۰۰ و بیشتر	کم	کم	کم	کم	کم	کم	کم

صرف‌نظر از ظرفیت یا فاصله، سایر گازها همیشه در درجه ۳ اهمیت هستند.

جدول ۳-۷ تعیین درجه اهمیت (ویژه)

نوع گاز	ظرفیت مخزن W(ton)		کمتر از ۵	از ۵ تا کمتر از ۲۰	از ۲۰ تا کمتر از ۱۰۰	از ۱۰۰ تا کمتر از ۲۰۰	۲۰۰ یا بیشتر
	فاصله X(m)						
دسته ۱ گازهای سمی	کمتر از ۱۰۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۱۰۰ تا ۲۰۰	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۲۰۰ تا ۵۰۰	کم	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد
	۱۰۰۰ و بیشتر	کم	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
دسته ۲ گازهای سمی	کمتر از ۵۰	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۵۰ تا ۲۰۰	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۲۰۰ تا ۵۰۰	کم	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۵۰۰ تا ۱۰۰۰	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد	زیاد
	۱۰۰۰ و بیشتر	کم	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد

جدول ۳-۸ تعیین درجه اهمیت (ویژه)

نوع گاز	ظرفیت مخزن W(ton)		کمتر از ۱۰	از ۱۰ تا ۱۰۰	از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰	از ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰ یا بیشتر
	فاصله X(m)						
دسته ۳ گازهای سمی گاز اشتعال‌زا	کمتر از ۲۰	زیاد	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۲۰ تا ۴۰	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۴۰ تا ۹۰	متوسط	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۹۰ تا ۲۰۰	کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد
	از ۲۰۰ تا ۴۰۰	کم	کم	کم	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
	از ۴۰۰ تا ۹۰۰	کم	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
	از ۹۰۰ تا ۲۰۰۰	کم	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد
	۲۰۰۰ و بیشتر	کم	کم	کم	متوسط	متوسط	متوسط

صرف نظر از ظرفیت یا فاصله، سایر گازها همیشه در درجه ۳ اهمیت هستند.

## ۱- تغییر درجه اهمیت

اگر در دسته ۱ و ۲ گازهای سمی ظرفیت ذخیره‌سازی بیش از ۳۰ تن، یا در دسته ۳ گازهای سمی و گازهای اشتعال‌زا بیش از ۱۰۰ تن باشد، برای برج‌ها و لوله‌کشی درجه اهمیت نشان داده شده در جداول بالا باید یک درجه بیشتر در نظر گرفته شود. در چنین مواردی درجه اهمیت زیاد به خیلی زیاد تغییر می‌یابد.

## ۲- طبقه‌بندی گاز

برای تعیین درجه اهمیت سازه‌ها، گازها به پنج نوع زیر تقسیم می‌شوند.

(الف) دسته ۱ گازهای سمی: گاز بسیار سمی

(ب) دسته ۲ گازهای سمی: گاز نیمه سمی

(ج) دسته ۳ گازهای سمی: گاز با سمیت پایین

(د) گاز اشتعال‌زا: گازهایی مانند ایزوبوتان، اتان، اتیلن، نورمال بوتان، پروپان، LPG و گازهای زیر:

- احتمال پایین انفجار (احتمال انفجار در زمان اختلاط با هوا): ۱۰٪ یا پایین‌تر

- احتمال مختلف انفجار بین حد بالا و پایین: ۲۰٪ یا بیشتر

۳- ظرفیت ذخیره

۱-۳- برج‌ها و مخازن:

ظرفیت ذخیره،  $W$  در تعیین درجه اهمیت برج‌ها و مخازن به صورت زیر است.

(الف) مخزن گاز فشرده

ظرفیت مخزن گاز فشرده، از تبدیل حجم مخزن (متر مکعب) به جرم (تن) تحت دمای بهره‌برداری و فشار گاز،

تعیین می‌گردد. رابطه تبدیل در ادامه نشان داده شده است.

$$W = \frac{273}{T_t} (10P_0 + 1) \frac{V}{1000 \times 22.4} M_g \quad (1-3)$$

$W$ : ظرفیت مخزن (تن)

$P_0$ : فشار بهره‌برداری (مگا پاسکال)

$V_1$ : حجم داخلی مخزن (متر مکعب)

$M_g$ : وزن مولکولی گاز (kg/kmol)

$T_t$ : دمای مطلق بهره‌برداری (کلوین)

(ب) مخزن گاز مایع

ظرفیت مخزن گاز مایع از رابطه (۲-۳) به دست می‌آید.

$$W = C_1 w V_1 \quad (2-3)$$

$C_1$ : ۰/۹

$w$ : چگالی (t/m<sup>3</sup>) گاز مایع در دمای بهره‌برداری مخزن

$V_1$ : حجم داخلی مخزن (متر مکعب)

ملاحظات: دمای بهره‌برداری در طراحی لرزه‌ای، دمایی است که در آن چگالی گاز مایع، در حالی که به صورت

معمولی ذخیره شده است، بیشترین مقدار باشد.

(ج) برج و مخزن دریافت میانی

در شرایط عادی، بهره‌برداری از برج‌ها و مخازنی که فرآیند گاز در آنها جریان دارد، مانند برج و مخزن دریافت

میانی (مخزن میانی فرآیند)، شامل مراحل روشن شدن تا خاموش شدن می‌شود.

## ۳-۲- لوله‌کشی

جرم  $W$  محتویات لوله، در طبقه‌بندی درجه اهمیت لوله‌کشی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

الف) لوله‌کشی گاز فشرده

جرم  $W$  محتویات لوله‌کشی گاز فشرده از تبدیل حجم لوله‌کشی (مترمکعب) به جرم (تن) در دمای بهره‌برداری و فشار گاز تعیین می‌گردد. رابطه تبدیل در ادامه نشان داده شده است.

$$W = \frac{273}{T_i} (10P_0 + 1) \frac{V_1}{100 \times 22.4} M_g \quad (3-3)$$

$W$ : جرم محتویات لوله‌کشی (تن)

$P_0$ : فشار بهره‌برداری (مگا پاسکال)

$V_1$ : حجم داخلی لوله‌کشی (مترمکعب)

$M_g$ : وزن مولکولی گاز (kg/kmol)

$T$ : دمای مطلق بهره‌برداری (کلوین)

ب) لوله‌کشی گاز مایع

جرم محتویات لوله‌کشی گاز مایع مقداری است که از رابطه (۳-۴) به دست می‌آید.

$$W = wV_1 \quad (4-3)$$

$W$ : جرم محتویات لوله‌کشی (تن)

$w$ : چگالی (t/m<sup>3</sup>) گاز مایع در دمای بهره‌برداری مخزن

$V_1$ : حجم داخلی لوله‌کشی (مترمکعب)

## ۴- فاصله

## ۴-۱- برج‌ها و مخازن

یکی از پارامترهای مورد استفاده در طبقه‌بندی درجه اهمیت، فاصله افقی (نزدیک‌ترین فاصله  $X$ ) سطح بیرونی برج‌ها و مخازن از مرز بیرونی منطقه صنعتی مورد نظر یا اولین مرکز امنیتی در برابر خطرات می‌باشد. ولی چنانچه سازه‌های اشاره شده در بندهای (الف) تا (د) که در مجاورت ساختگاه هستند، موجود باشند، فاصله افقی،  $X(m)$  نزدیک‌ترین موقعیت مسافت تا مرز بیرونی تجهیزات، خواهد بود.

الف) دریا، دریاچه، باطلاق، رودخانه و آبراهه برای مصارف صنعتی

ب) خط راه آهن انتقال

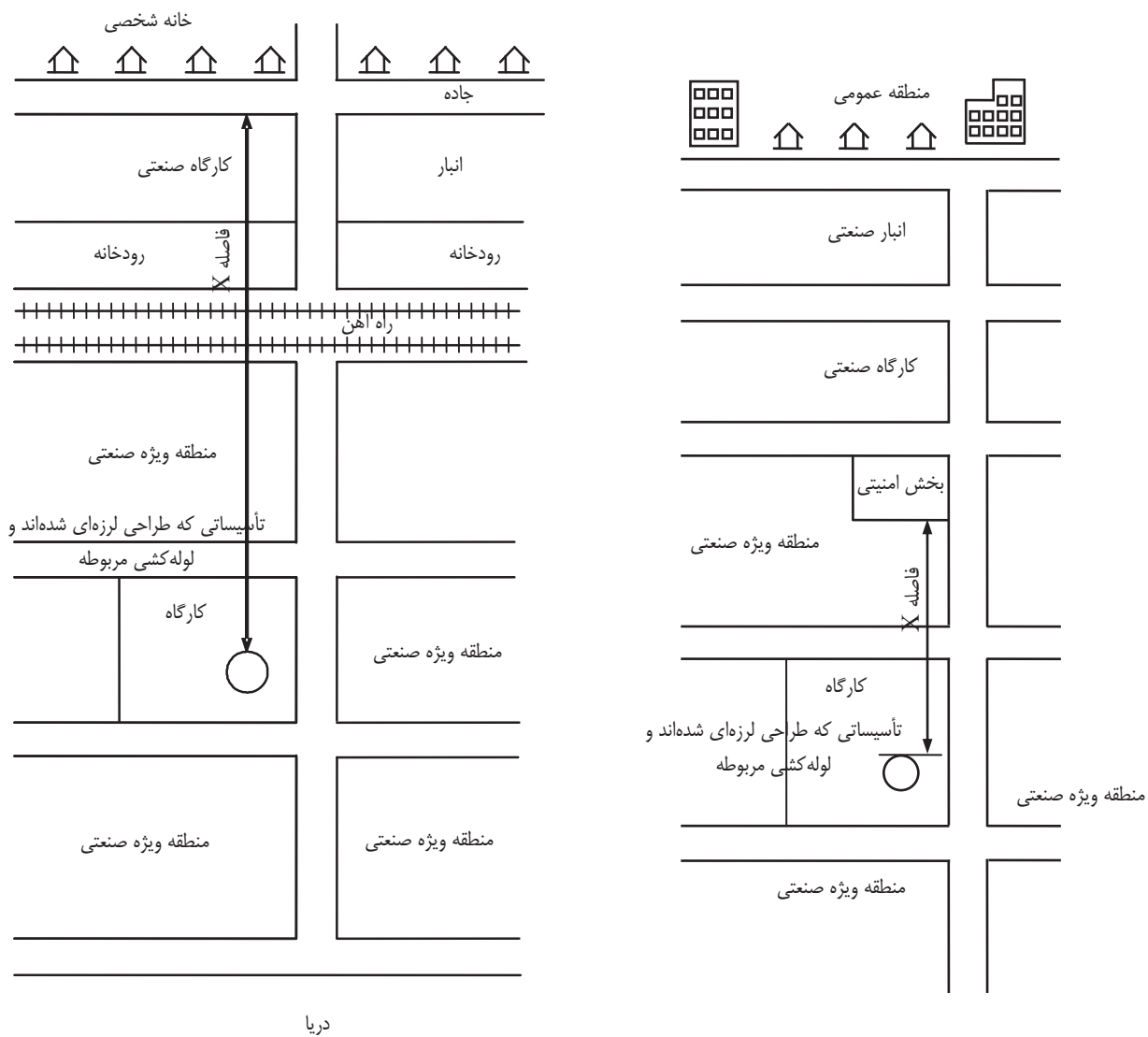
ج) مناطق صنعتی

د) راه یا راه‌آهن چسبیده به ساختگاه

مثالی برای نمونه در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.

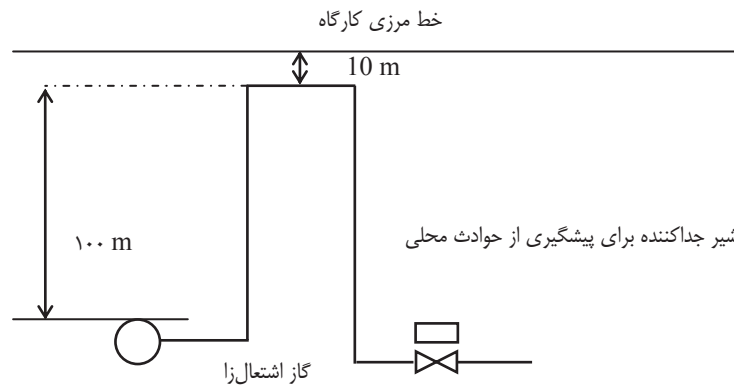
## ۲-۴- لوله‌کشی

برای لوله‌کشی برخلاف برج‌ها و مخازن فاصله از مرز کارگاه از جایی به جای دیگر متفاوت است. مقیاس حادثه مفروض با توجه به نزدیکی یا دوری تغییر می‌کند. فاصله‌ای مستقیم تا مرزها فرض شده و در مورد درجه اهمیت لوله‌کشی تصمیم‌گیری می‌شود. به‌عنوان مثال در شکل (۳-۳) درجه اهمیت با توجه به فاصله ۱۰ متر تعیین می‌شود.



شکل ۳-۲ مثالی از چگونگی تعیین فاصله X

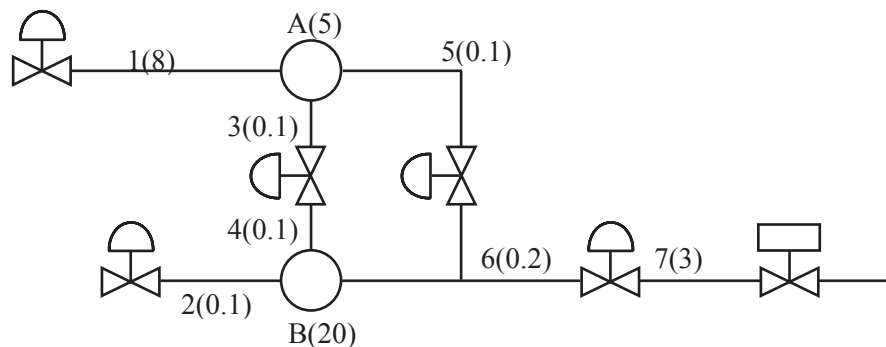




شکل ۳-۳ فاصله لوله‌کشی تا مرز کارگاه

۵- جداسازی لوله‌کشی با توجه به درجه اهمیت

اگر در اثر زلزله، اتصال لوله‌کشی به برج‌ها و مخازن آسیب ببیند، کل گاز موجود در اتصال خارج می‌شود. اما اگر یک شیر قطع بین برج‌ها و مخازن وجود داشته باشد، در زمان وقوع زلزله می‌توان مقدار نشت را به حجم گاز محصور شده به‌وسیله شیر محدود نمود. بنابراین با توجه به جرم گاز فشار قوی محصور شده بین شیر قطع زلزله، مخازن و برج‌ها، درجه اهمیت لوله‌کشی مانند مثال شکل (۳-۴)، تعیین می‌شود.

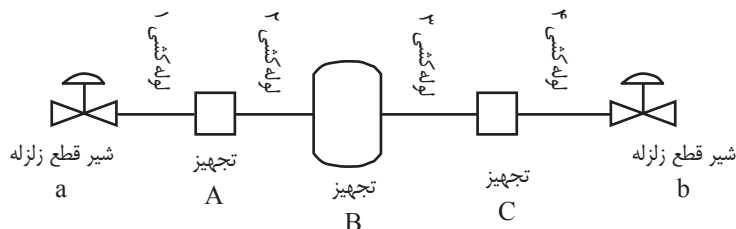


شکل ۳-۴ تفکیک مقطع لوله‌کشی

شماره لوله‌کشی	۱	۳	۵	۲	۴	۶	۷
جرم محتویات لوله‌کشی (t)	۸	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۳
ظرفیت برج‌ها و مخازن (t)	۵			۲۰			

مثالی برای تعیین حجم جدا شده برج‌ها و مخازن توسط شیر قطع زلزله در قسمت‌های (الف) تا (ه) نشان داده شده است. در این مورد، محتویات لوله، اتصالات انبساطی و شیرها، جمع می‌شود. همچنین فرض می‌شود که مرز لوله‌کشی، برج‌ها و مخازن، در واقع اولین خط جوش از وجه فلنج افشانه لوله‌کشی یا برج‌ها و مخازن باشد.

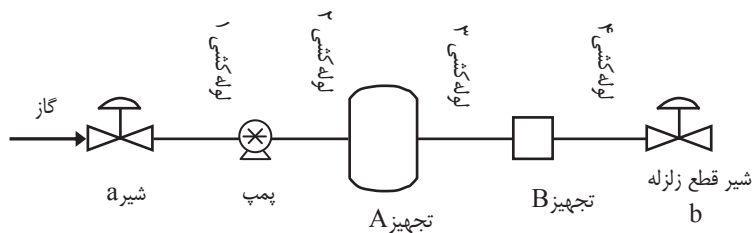
(الف) وجود تجهیز گاز فشار قوی بین شیرهای قطع زلزله



حجم محتویات = نصف حجم محتویات شیر قطع زلزله a + محتویات لوله ۱ + محتویات لوله ۲ + ... + محتویات لوله ۳ + محتویات لوله ۴ + نصف حجم محتویات شیر قطع زلزله b  
ملاحظات: محل جدا شدگی تجهیز و لوله، اولین فلنج یا اولین خط جوش در دو انتهای تجهیز است.

شکل ۳-۵ وجود تجهیز گاز فشار قوی بین شیرهای قطع زلزله

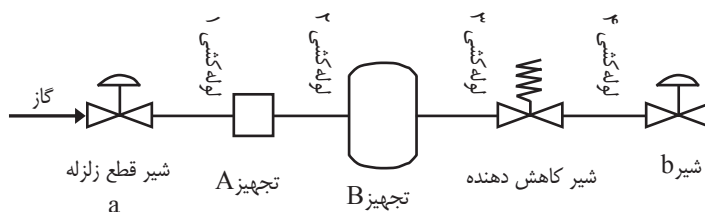
(ب) تجهیزات گاز فشار قوی و پمپ در بالا دست شیر قطع زلزله



حجم محتویات = محتویات لوله ۲ + محتویات لوله ۳ + نصف محتویات شیر قطع زلزله، b  
ملاحظات: محل جداشدگی پمپ و لوله‌کشی بخش خروجی، اولین فلنج یا اولین خط جوش پمپ می‌باشد.

شکل ۳-۶ قرارگیری شیر کاهنده در بالا دست شیر قطع لرزه‌ای گاز فشار قوی

(ج) وقتی شیر کاهنده در پائین دست شیر قطع لرزه‌ای، تجهیز گاز فشار قوی می‌باشد.



حجم محتویات = نصف حجم محتویات شیر قطع زلزله a + حجم محتویات لوله ۱ + حجم محتویات لوله ۲ + حجم محتویات لوله ۳ + نصف حجم محتویات شیر قطع زلزله

شکل ۳-۷ قرارگیری شیر کاهنده در پایین دست شیر قطع لرزه‌ای، تجهیز گاز فشار قوی

### ۳-۹- روش پاسخ تغییر مکان (برای سازه‌های مدفون)

این روش بر اساس تئوری تیر روی بستر الاستیک تدوین شده است. در این روش با استفاده از طیف پاسخ سرعت زلزله و با در نظر گرفتن مود اول ارتعاش برشی خاک مقدار تغییر مکان محاسبه شده و با توجه به فنریت خاک به نیروی مؤثر به سازه تبدیل می‌گردد.

در فصل بعدی، بارگذاری لرزه‌ای هر تجهیز با استفاده از روش‌های فوق برای آن تجهیز داده شده است.

### ۳-۱۰- روش دینامیکی

در این روش مدل ریاضی تجهیز تحت بارگذاری طیفی و یا تاریخچه زمانی قرار داده شده و با حل معادلات تعادل دینامیکی حل شده است. روش دینامیکی معمولاً برای کنترل روش‌های استاتیکی یا شبه دینامیکی و یا برای تحلیل سازه‌های بسیار مهم یا پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۳-۱۱- بارگذاری ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله بر تجهیزات

علاوه بر تکان‌های زمین در زلزله، تجهیزات بایستی در مقابل بارهای ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی ناشی از زلزله نیز ایمن باشند. اهم این مخاطرات عبارتند از روانگرایی (و گسترش جانبی)، زمین‌لغزه و گسلش.

### ۳-۱۱-۱- روانگرایی

گرچه در ایران پتانسیل روانگرایی زیاد نیست لیکن در مناطق ساحلی دریاها، رودخانه‌ها و در قسمت‌هایی که بافت ماسه ریزدانه همراه با سطح آب زیرزمینی بالا باشد، این مخاطره تجهیزات مختلف از جمله انواع مدفون آن را تهدید می‌نماید.

- طراحی لرزه‌ای در مقابل روانگرایی باید با بررسی عملکرد لرزه‌ای در اثر تغییر مکان ماندگار زمین ناشی از روانگرایی و با توجه به شرایط زمین انجام شود.

- مناطقی که نیاز به طراحی لرزه‌ای در مقابل روانگرایی دارند، باید بر اساس زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، وضعیت زمین و موقعیت نصب تأسیسات گازی انتخاب شوند.

تغییر مکان ماندگار زمین ناشی از روانگرایی باید به صورت‌های زیر در نظر گرفته شود.

- تغییر مکان افقی ناشی از گسترش جانبی بر سطح شیبدار زمین

- تغییر مکان افقی ناشی از گسترش جانبی زمین در مناطق ساحلی

- نشست زمین

اثر روانگرایی به صورت جابه‌جایی قائم و افقی محاسبه شده و مطابق با توزیع داده شده روی سازه مدفون اعمال می‌گردد.

اگر تأسیسات گازی مانند خطوط لوله، بر روی سازه‌ها نصب شده باشند، نیازی به در نظر گرفتن نشست زمین نمی‌باشد.

## ۳-۱۱-۲- زمین لغزه

در مناطق کوهستانی که شیب زمین زیاد بوده و لایه‌های سست در آن قرار گرفته است، احتمال رانش زمین وجود داشته و می‌تواند منجر به آسیب به تجهیزات مختلف گازی گردد.

برای مقابله با مخاطره زمین لغزه ناشی از تغییر مکان ماندگار زمین باید طبق مراحل زیر ارزیابی لازم صورت پذیرد:

- ارزیابی پتانسیل زمین به زمین لغزه
- ارزیابی پتانسیل راه‌اندازی زمین لغزه و تغییر شکل شیب
- ارزیابی احتمال زمین لغزه و وقوع تغییر شکل شیب
- ارزیابی خطرات ناشی از زمین لغزه و تغییر شکل شیب

## ۳-۱۱-۳- گسلش

عبور از مناطق با پتانسیل گسلش در سامانه گاز رسانی امری اجتناب ناپذیر است. لذا بایستی حتی‌الامکان اثر ناشی از جابه‌جایی گسل‌های فعالی که سازه‌های این سامانه از آنها عبور می‌نمایند را بر این سازه‌ها در نظر گرفت.

- وجود گسل فعال باید توسط مشخصات زمین‌شناختی شکل گسل فعال تعیین شود.
  - منطقه‌ای که ممکن است گسل فعال از آن عبور کند باید بر اساس بازرسی زمین‌شناسی، اکتشافات ژئوفیزیکی، اکتشافات گمانه‌زنی و بازرسی ترانشه تأیید شود.
  - چنانچه تأسیسات گازی، گسل فعالی را قطع نمایند، باید برای تحقق عملکرد لوزه‌ای، با در نظر گرفتن تغییر مکان ماندگار زمین ناشی از جابه‌جایی گسل، طراحی شوند.
  - چنانچه اثر جابه‌جایی گسل در سطح زمین نمایان شود، تأسیسات گازی باید برای جابه‌جایی گسل، طراحی لوزه‌ای شوند.
- نحوه محاسبه و اعمال بارهای ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی لوزه‌ای در فصل سوم از شریان‌های حیاتی ارائه شده است.

## ۳-۱۲- طبقه‌بندی خاک

برای استفاده ساده‌تر از روابط استاندارد ۲۸۰۰ از همان طبقه‌بندی خاک در این استاندارد نیز استفاده شده است.

# فصل ۴

---

---

روش‌های طراحی لرزه‌ای

و کنترل ایمنی



## ۴-۱- مؤلفه‌های هدف

مؤلفه‌های هدف در این راهنما به‌طور کلی عبارتند از:

- ۱- مؤلفه‌های پالایشگاهی
  - ۱-۱- لوله‌کشی و نگهدارنده لوله
  - ۲-۱- محفظه (جانبی و قائم)
  - ۳-۱- برج
  - ۴-۱- مخزن کروی
  - ۵-۱- مخزن استوانه‌ای در ابعاد بزرگ (مخزن ذخیره، پی مخزن، تجهیزات وابسته به مخزن و غیره)
  - ۶-۱- تنظیم‌کننده
  - ۷-۱- شیرهای فشار قوی و غیره
- ۲- خط انتقال (فشار قوی، ۱۰۰۰ پاند بر اینچ مربع)
- ۳- خطوط شبکه توزیع پایه (فشار متوسط، ۲۵۰ پوند بر اینچ مربع)
- ۴- خطوط شبکه توزیع (فشار ضعیف، ۶۰ پاند بر اینچ مربع)
- ۵- خطوط مدفون گازرسانی
- ۶- دسترسی‌ها و آدم‌روها

ایستگاه‌های تقلیل فشار در ورودی شهرها (City Gas Station-CGS) که فشار گاز را از ۱۰۰۰ به ۲۵۰ پاند بر اینچ مربع تقلیل می‌دهد، سازه ساختمانی نداشته و طراحی آن‌ها از چنان استحکامی برخوردار است که در مقابل زلزله هیچ آسیبی نمی‌بینند اما در مقابل مخاطرات ژئوتکنیکی از ساخت این ایستگاه‌ها در زمین‌های مستعد روانگرایی، زمین لغزه و گسلش بایستی جداً خودداری شود. ایستگاه‌های تقلیل فشار مرز شهرها (Town Border Station-TBS) و نواحی (District Reduction Station-DRS) که در آن‌ها فشار گاز از ۲۵۰ به ۶۰ پاند بر اینچ مربع کاهش می‌یابد نیز دارای دو نوع هستند.

۱- ایستگاه‌های مسقف ساختمانی: این ایستگاه‌ها نیز از نظر مکانیکی بسیار مستحکم بوده و ارتعاش زمین بر آن‌ها اثر آسیب‌رسان ندارد. لیکن آسیب ساختمان آن‌ها می‌تواند منجر به آسیب دیدگی مؤلفه‌های ضعیف‌تر داخل ایستگاه نظیر لوله‌های با قطر کوچک شده و منجر به نشت گاز گردد. لذا لازم است که ساختمان این ایستگاه‌ها با استفاده از استاندارد ۲۸۰۰ در مقابل زلزله طراحی شوند.

۲- ایستگاه‌های کابینتی: این ایستگاه‌ها که بسیار کوچک‌تر از نوع مسقف هستند، معمولاً داخل یک محفظه کابینتی قرار می‌گیرند. با توجه به ابعاد و استحکام این ایستگاه‌ها، ارتعاش زمین در زلزله آسیبی به آن‌ها نمی‌رساند. هیچ‌یک از ایستگاه‌های فوق را نباید بر زمین‌های مستعد مخاطرات ژئوتکنیکی بنا نمود.

## ۴-۲-۲- روند طراحی لرزه‌ای

### ۴-۲-۱- الزام طراحی لرزه‌ای

سازه‌های زیر با توجه به شرایط داده شده باید طراحی لرزه‌ای شوند:

- ۱- برج (ارتفاع بیشتر از ۵ متر)،
- ۲- مخزن (ظرفیت بیشتر از ۳ تن یا بالای ۳۰۰ مترمکعب)،
- ۳- سازه نگهدارنده و پی
- ۴- لوله‌کشی: لوله‌هایی با قطر بیش از ۴۵ میلی‌متر، لوله‌هایی با حجم بیش از ۳ متر مکعب بین شیرهای قطع زلزله و لوله از محفظه تا شیر.

### ۴-۲-۲- اصول مراحل طراحی لرزه‌ای

مؤلفه‌های پالایشگاهی بسته نوع سطح خطر مورد استفاده، به یکی از روش‌های تنش مجاز یا شکل پذیر طراحی می‌گردد. روش تنش مجاز وقتی استفاده می‌شود که از سطح خطر-۱ استفاده شود. برای حالتی که از سطح خطر-۲ استفاده می‌شود، طراحی لرزه‌ای به روش شکل پذیر انجام می‌گردد.

- ۱- در روش تنش مجاز، تنش‌ها نباید در اعضاء از مقادیر تنش مجاز، تجاوز کند. در غیر این صورت تغییر شکل‌های برگشت‌ناپذیر بعد از زلزله در اعضاء باقی می‌ماند.
- ۲- در طراحی به روش شکل‌پذیر، تغییر شکل‌های پلاستیک که در اعضاء روی می‌دهد باید از مقادیر تغییر شکل‌های پلاستیک مجاز کمتر باشد. در این حالت عملکرد تجهیز در حین و بعد از زلزله دچار خدشه نمی‌شود.

### ۴-۲-۳- نحوه طراحی به روش تنش مجاز

#### ۴-۲-۳-۱- محاسبه تنش

تنش محاسبه شده برای سازه از مجموع تنش ناشی از نیروهای داخلی، وزن خود سازه، مؤلفه‌ها و بار سیستم در حالت بهره‌برداری عادی و تنش ناشی از زلزله در سخت‌ترین شرایط به دست می‌آید.

#### ۴-۲-۳-۲- تنش‌های مجاز

تنش‌های مجاز طراحی لرزه‌ای تأسیسات بر اساس تقسیمات مصالح قسمت فشاری، مصالح سازه تکیه‌گاهی و لوله‌کشی تعریف در فصول مربوطه تعریف شده است.

تنش‌های مجاز مصالح در بند (۳-۴) نشان داده شده است.

#### ۴-۲-۳-۳- ارزیابی تنش محاسبه شده

اگر کل تنش‌های محاسبه شده کم‌تر از تنش‌های مجاز متناظر باشد، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قابل قبول است.



## ۴-۲-۴- طراحی به روش شکل پذیر

## ۴-۲-۴-۱- سطح خطر زلزله برای طراحی

روند ارزیابی طراحی لرزه‌ای به روش شکل پذیر، برای زلزله سطح خطر-۲ به کار می‌رود.

## ۴-۲-۴-۲- تحلیل پاسخ لرزه‌ای

تغییر شکل‌های الاستو-پلاستیک در هر نقطه از سازه را می‌توان با تحلیل پاسخ تحت اثر زلزله طرح به دست آورد.

برای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، تغییر شکل‌های پلاستیک، از تحلیل پاسخ به یکی از روش‌های زیر به دست می‌آید.

۱- روش انرژی

۲- روش پاسخ خطی معادل

۳- روش تحلیل پاسخ غیرخطی

کلیات مربوط به این روش‌ها در ادامه آورده شده است:

۱- روش انرژی

۱-۱- روش طراحی تغییر شکل پلاستیک نهایی

در سازه‌هایی که تحت طراحی لرزه‌ای قرار گرفته و اولین مد ارتعاش آن‌ها غالب است، ضریب شکل پذیری را می‌توان از قانون بقای انرژی هر مد خرابی محاسبه نمود.

الف) ضریب زلزله اصلاح شده طراحی

ضریب زلزله اصلاح شده مورد استفاده در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها از ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ نرمال شده به دست می‌آید.

ب) ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری،  $\mu_p$  بخش‌های آسیب دیده سازه از رابطه (۱-۴) محاسبه می‌شود.

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad (1-4)$$

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری عضو وابسته به مد خرابی، اگر  $K_y \leq K_{MH}$  آنگاه  $\mu_p = 0$

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده

$K_y$ : ضریب زلزله افقی در نقطه آغاز جاری شدن عضو آسیب دیده

C: ثابتی که طبق مد خرابی تعیین می‌شود

ج) ارزیابی تغییر شکل پلاستیک

برای ارزیابی رابطه (۲-۴) باید برقرار باشد:

$$\mu_p \leq \mu_{pa} \quad (2-4)$$

$\mu_{pa}$ : ضریب شکل پذیری مجاز

۲-۱- روش طراحی مقاومت تسلیم

برای سازه‌های قابی شکل و پی، طراحی لرزه‌ای پلاستیک به روش مقاومت تسلیم طی مراحل زیر انجام می‌شود.

الف) محاسبه ضریب زلزله اصلاح شده طراحی

مشابه روش شبه استاتیکی اصلاح شده محاسبه می‌شود. ( $K_{MH}$ )

ب) محاسبه ضریب مشخصه سازه‌ای

ضریب مشخصه سازه‌ای،  $D_s$  از رابطه (۳-۴) یا مقادیر مشخص شده در سایر آیین‌نامه‌ها به دست می‌آید.  $D_s$  باید در محدوده ۰/۲۵ تا ۰/۵ باشد.

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{1 + 4C\mu_{pa}}} \quad (3-4)$$

$D_s$ : ضریب مشخصه سازه‌ای

ج) محاسبه نیاز لرزه‌ای نهایی

نیاز لرزه‌ای از رابطه (۴-۴) محاسبه می‌شود.

$$Q_u = K_y \times W_H \quad (4-4)$$

$Q_u$ : نیاز لرزه‌ای نهایی

$W_H$ : وزن بهره‌برداری سازه

د) محاسبه نیاز لرزه‌ای موجود

نیاز لرزه‌ای از رابطه (۵-۴) به دست می‌آید.

$$Q_{un} = D_s \times K_{MH} \times W_H \quad (5-4)$$

$Q_{un}$ : نیاز لرزه‌ای موجود

ه) پاسخ جابه‌جایی از تحلیل مؤلفه مورد نظر، تحت بار لرزه‌ای محاسبه می‌شود.

و) ارزیابی نیاز لرزه‌ای

نیاز لرزه‌ای موجود،  $Q_{un}$  سازه نباید از نیاز لرزه‌ای نهایی،  $Q_u$  تجاوز نماید. ( $Q_{un} < Q_u$ )

۲- روش پاسخ خطی معادل

در مورد عضوی با رفتار غیر خطی که ظرفیت آن از ظرفیت تسلیم تجاوز کرده است، تحلیل پاسخ خطی، با کاهش سختی از سختی الاستیک، بسته به میزان غیر خطی بودن و ضریب میرایی معادل، می‌تواند انجام شود.

۱-۲- تحلیل پاسخ مودال خطی

تحلیل پاسخ مودال خطی با استفاده از تحلیل پاسخ شتاب، طبق مراحل (الف) تا (و) انجام می‌شود.

الف) طیف شتاب افقی و قائم طراحی از روابط ۶-۴ و ۷-۴ محاسبه می‌شود.

$$A_H^{(i)} = 350 \beta_1 \beta_2 \beta_5 \quad (6-4)$$

$$A_V^{(i)} = 175 \beta_1 \beta_2 \beta_6 \quad (7-4)$$

$A_H^{(i)}$ : شتاب پاسخ افقی طراحی اولین مد ارتعاش (گال)

$A_V^{(i)}$ : شتاب پاسخ قائم طراحی اولین مد ارتعاش (گال)

$\beta_1$ : ضریب اهمیت

$\beta_2$ : نسبت شتاب مبنای طرح

$\beta_3$ : ضریب تقویت ساختگاه

$\beta_5$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی

$\beta_6$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ قائم

ب) سختی عضو بسته به درجه غیر خطی بودن آن، باید کاهش داده شود.

ج) می‌توان از ضریب میرایی معادل با انرژی کرنشی پلاستیک که از پاسخ غیرخطی سازه به دست آمده، استفاده نمود.

د) مقدار پاسخ  $R$  مانند نیروی برشی، ممان، شتاب، تغییر مکان طراحی از روش ترکیبی مناسب برای هر مد ارتعاش محاسبه می‌شود.

$$R = \sqrt{\sum_i R_i^2} \quad (8-4)$$

در این جا  $R_i$  مقدار پاسخ مد  $i$ ام است.

ه) تغییر شکل پاسخ از تحلیل رفتار عضو در مودهای مختلف بدست می‌آید.

و) ضریب شکل پذیری به دست آمده از مرحله ه) نباید از ضریب شکل پذیری مجاز تجاوز کند.

۲-۲- تحلیل پاسخ به روش بار معادل

تحلیل پاسخ به روش بار معادل طبق مراحل الف) تا ه) انجام می‌شود.

الف) بار معادل برای تحلیل از روش مناسبی تعیین می‌شود. اگر بتوان سازه را به صورت یک سیستم یک درجه آزادی مدل نمود، بار معادل از ضرب وزن عضو در ضریب زلزله اصلاح شده طراحی محاسبه می‌گردد.

ب) سختی عضو بسته به درجه غیر خطی بودن آن، باید کاهش داده شود.

ج) برای ضریب میرایی، می‌توان ضریب میرایی معادل انرژی کرنشی پلاستیک را که از تحلیل پاسخ غیرخطی سازه به دست می‌آید، استفاده کرد.

د) تغییر شکل پاسخ از تحلیل رفتار عضو در مودهای مختلف بدست می‌آید.

ه) ضریب شکل پذیری به دست آمده از مرحله د) نباید از ضریب شکل پذیری مجاز تجاوز نماید.

۲-۳- روش تغییر مکان معادل

روش تغییر مکان معادل طبق مراحل الف) تا د) انجام می‌شود.

الف) تغییر مکان اجباری در قید (تکیه‌گاه) باید برابر تغییر مکان پاسخ سازه تکیه‌گاهی یا تغییر مکان ایجاد شده در پی در اثر حرکت زمین باشد.

ب) سختی عضوی که طراحی لرزه‌ای می‌شود، بر اساس درجه غیرخطی کاهش می‌یابد.

ج) ضریب شکل پذیری از روی تغییر مکان عضو به‌دست می‌آید.

د) ضریب شکل پذیری به‌دست آمده از مرحله ج) نباید از ضریب شکل پذیری مجاز تجاوز کند.

۳- روش تحلیل پاسخ غیرخطی

۳-۱- تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی

تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی، طبق مراحل الف) تا د) انجام می‌شود:

الف) مشخصات بار- تغییر شکل باید به‌صورت مدل چرخه‌ای غیرخطی تعریف و نتایج نیز مستقیماً از تحلیل تاریخچه زمانی حاصل گردد.

ب) وارد کردن موج زلزله با حداکثر شتاب در نقطه مورد نظر.

ج) ضریب شکل پذیری از روی تغییر مکان عضو به‌دست می‌آید.

د) ضریب شکل پذیری به‌دست آمده از مرحله ج) نباید از ضریب شکل پذیری مجاز تجاوز کند.

۳-۲- تحلیل پاسخ غیرخطی استاتیکی در روش بار معادل

تحلیل غیرخطی استاتیکی از روش بار معادل طبق مراحل الف) تا ه) انجام می‌شود.

الف) بار معادل از روش مناسب تعیین می‌شود. اگر بتوان سازه را به‌صورت یک سیستم یک درجه آزادی مدل کرد، بار معادل از ضرب وزن عضو در ضریب زلزله اصلاح شده طراحی محاسبه می‌گردد.

ب) ضریب زلزله اصلاح شده طراحی را می‌توان با استفاده از ضریب میرایی که معادل انرژی کرنشی پلاستیک ناشی از پاسخ غیرخطی سازه می‌باشد، به‌دست آورد.

ج) تغییر مکان عضو را می‌توان از تحلیل استاتیکی مدل با استفاده از رابطه غیر خطی بار- تغییر مکان به‌دست آورد.

د) ضریب شکل پذیری از تغییر مکان عضو به‌دست می‌آید.

ه) ضریب شکل پذیری به دست آمده از مرحله د) نباید از ضریب شکل پذیری مجاز تجاوز کند.

۳-۳- روش تغییر مکان پاسخ

روش تغییر مکان پاسخ طبق مراحل الف) تا د) انجام می‌شود.

الف) تغییر مکان اجباری در قید (تکیه‌گاه) باید برابر تغییر مکان پاسخ سازه تکیه‌گاهی یا تغییر مکان ایجاد شده در پی، ناشی از حرکت زمین باشد.

ب) تغییر مکان عضو از تحلیل استاتیکی مدل با رابطه غیر خطی بار- تغییر مکان به‌دست می‌آید.

ج) ضریب شکل پذیری از روی تغییر مکان عضو به‌دست می‌آید.

د) ضریب شکل پذیری بند ج) نباید از ضریب شکل پذیری مجاز تجاوز کند.

#### ۴-۲-۳- ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری منطقه خسارت دیده مورد نظر، از تغییر شکل پلاستیکی که به وسیله تحلیل پاسخ مرتبط با مود خرابی تجهیز مورد نظر، در طراحی در اثر حرکت زمین لرزه طراحی (حرکت افقی و قائم) به‌دست می‌آید، تعیین می‌شود. نیروی در راستای قائم

برای قسمتی از خرابی که امکان تشدید آن بر اساس شرایط سازه‌ای و مد خرابی تأسیسات مختلف وجود دارد، در نظر گرفته می‌شود.

#### ۴-۲-۴- ضریب شکل پذیری مجاز

ضریب شکل پذیری مجاز عضو، با در نظر گرفتن مشخصات تغییر شکل پلاستیک، مانند خستگی و کمانش با توجه به اعوجاج الاستو پلاستیک با بارگذاری دوره کوتاه، در بدترین حالت متناظر با مد خرابی تجهیز برای زلزله، تعیین می‌گردد.

#### ۴-۲-۵- ارزیابی ضریب شکل پذیری

در صورتی که ضریب شکل پذیری مجاز تمام اعضای اصلی برابر یا بزرگ‌تر از ضریب شکل پذیری مورد نظر باشد، در این صورت برآورد عملکرد لرزه‌ای مورد قبول می‌باشد.

### ۴-۳- مصالح

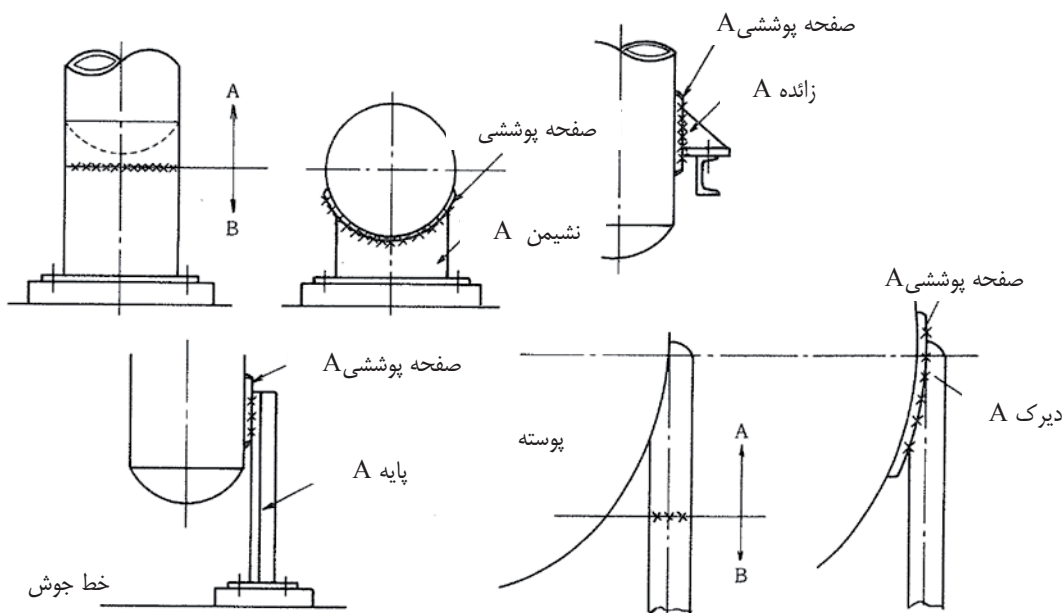
#### ۴-۳-۱- مقادیر مجاز برای روش طراحی تنش مجاز

در روش طراحی تنش مجاز، با توجه به مصالح بخش فشاری، مصالح سازه تکیه‌گاهی، پی و زمین، تنش‌های مجاز مختلفی برای طراحی لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

چنانچه سازه تکیه‌گاهی به صورت مستقیم به مصالح بخش فشاری جوش شده باشد، بین مقادیر تنش مجاز مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی، مقدار کوچک‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شرایط کاربرد مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی:

اولین خط جوشی که شرایط تنش مجاز مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی برآن اعمال می‌شود، در شکل (۴-۱) نشان داده شده است.



A: بخشی که با وجود مصالح سازه تکیه‌گاهی، نیاز به مطالعه تنش‌های مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح بخش فشاری دارد.  
B: بخشی که در آن تنها تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاهی اعمال می‌شود.

شکل ۴-۱ شرایط کاربرد تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی

حداقل الزامات برای مصالح اعضای تکیه‌گاهی در جدول (۴-۱) آورده شده است.

جدول ۴-۱ حداقل الزامات برای مصالح اعضای تکیه‌گاهی

مصالح سازه تکیه‌گاهی که مستقیماً به مصالح بخش فشاری جوش شده‌اند.	مصالح بخش فشاری	دمای بهره‌برداری
مصالحی که خصوصیات معادل ASTM A573 Gr.70 یا بیشتر را دارند.	SPV450 و SPV490 (برای دمای عادی)	$-10^{\circ}\text{C}$ یا بیشتر
مصالحی که خصوصیات معادل ASTM A678 Gr. C یا بیشتر را دارند.	HW685 (برای دمای عادی)	کم‌تر از $-10^{\circ}\text{C}$
صرف‌نظر	SPV450 و SPV490 (برای دمای پایین)	
صرف‌نظر	HW685 (برای دمای پایین)	

#### ۴-۳-۱-۱- تنش مجاز برای مصالح تحت فشار

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار مقداری است که از ضرب ضریبی در تنش کششی یا تنش تسلیم یا تنش معادل  $0.2\%$  کرنش در دمای طراحی مصالح و بر اساس نوع تنش به دست می‌آید.  
تنش مجاز به صورت جدول (۴-۲) ارائه می‌شود.

جدول ۴-۲ تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای اعضای فشاری

تنش مجاز	نوع تنش
S (برای مصالح با اتصالات جوشی مقداری است که از ضرب $\eta_w$ در S به دست می‌آید).	تنش کششی
S	تنش خمشی
کوچک‌ترین مقدار S یا S'	تنش فشاری
0.6S	تنش برشی

S: تنش مجاز اعضای فشاری که مقدار آن در جدول (۳-۴) داده شده است. ( $N/mm^2$ )

S': مقدار مجاز کمانش برای طراحی لرزه‌ای اعضای فشاری که مقدار آن در جدول (۴-۴) داده شده است. ( $N/mm^2$ )

$\eta_w$ : حداقل ابعاد جوش

جدول ۴-۳ تنش مجاز مربوط به طراحی لرزه‌ای بر اساس نوع مصالح

S	نوع مصالح
کوچک‌ترین مقادیر زیر $0.6Su$ $0.9Sy$	آلیاژ آلومینیوم و فولاد نیکل دار ۹٪ که در دمایی کمتر از دمای اتاق استفاده می‌شود.
کوچک‌ترین مقادیر زیر $0.6Su0$ $0.6Su$ $0.9Sy0$ $Sy$	سایر مصالح

جدول ۴-۴ تنش مجاز مربوط به شروع کمانش

S'	نوع مصالح
$0.6Et$ $\left(1 + 0.004 \frac{E}{S'_y}\right) D_m$	برج‌ها و مخازن استوانه‌ای افقی
$\frac{Et}{3D}$	مخازن استوانه‌ای

در جداول فوق:

$S_u$ : مقاومت کششی در دمای طراحی مصالح، (دمای طراحی بین ۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد) بوده و مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در استاندارد مصالح فرض می‌شود.

$S_{u0}$ : مقاومت کششی در دمای عادی مصالح و مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در استاندارد فرض می‌شود.

$S_y$ : مقاومت تسلیم کششی یا مقاومت معادل ۰/۲٪ کرنش در دمای طراحی مصالح، دمای طراحی از ۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بوده و مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در مصالح می‌باشد.

$S_{y0}$ : مقاومت تسلیم کششی یا مقاومت معادل  $0.2\%$  کرنش در دمای عادی مصالح، مقداری کمتر از حداقل مقدار داده شده در استاندارد مصالح است.

$S_y$ : کوچک‌ترین مقدار بین  $S_y$  و  $S_{y0}$  ( $N/mm^2$ )

E: مدول الاستیسیته در دمای طراحی مصالح ( $N/mm^2$ )

$D_m$ : قطر متوسط پوسته (mm)

t: ضخامت پوسته یا صفحه کناری (mm)

D: قطر داخلی مخزن (mm)

#### ۴-۳-۱-۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاهی

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاهی از ضرب ضریبی در کوچک‌ترین مقدار تنش تسلیم و مقاومت کششی نظیر کرنش  $0.2\%$  درصد بدست می‌آید.

در ادامه، تنش مجاز مصالح فلزی سازه‌ای تکیه‌گاه آمده است. تنش‌های مجاز فولاد سازه‌ای باید مطابق با آیین‌نامه AISC باشد.

##### ۱- مصالح سازه تکیه‌گاهی

تنش مجاز ( $N/mm^2$ ) مصالح سازه تکیه‌گاهی که مستقیماً به مصالح بخش فشاری جوش نشده‌اند، در جدول (۴-۵)، بر اساس نوع تنش ارائه شده است. در صورت نیاز و در صورت وجود ترکیب تنش، بر اساس نوع ترکیب از جدول (۴-۷) برای مصالح سازه تکیه‌گاهی استفاده می‌شود.

جدول ۴-۵ تنش مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای		نوع تنش
F		تنش کششی
F		تنش فشاری
کم‌ترین مقدار $S'$	(الف) تکیه‌گاه دامنی	تنش فشاری
F	(ب) نشیمن	
کم‌ترین مقدار F یا $F'$	(ج) مصالح سازه تکیه‌گاهی به غیر از (الف) و (ب)	
$\sqrt{3}F$		تنش برشی

F: کوچک‌ترین مقدار بین  $70\%$  درصد مقاومت تسلیم و مقاومت کششی نظیر کرنش  $0.2\%$  درصد ( $N/mm^2$ )

$F'$ : تنش فشاری مجاز کمانش با در نظر گرفتن ضریب لاغری عضو ( $N/mm^2$ )

$S'$ : مقدار به‌دست آمده از جدول (۴-۴)

توجه: ارزیابی تنش فشاری مجاز،  $F'$ ، برای کمانش با در نظر گرفتن ضریب لاغری عضو به صورت زیر انجام می‌شود.



برای حالتی که  $\lambda_s \leq \Lambda$

$$F' = \frac{1.5 \left\{ 1 - 0.4 \left( \frac{\lambda_s}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{v} \quad (9-4)$$

برای حالتی که  $\lambda_s > \Lambda$

$$F' = \frac{1.5 \times (0.277F)}{\left( \frac{\lambda_s}{\Lambda} \right)^2} \quad (10-4)$$

که در آن  $\lambda_s$  ضریب لاغری عضو فشاری است و از رابطه (۱۱-۴) به دست می‌آید.

$$\lambda_s = \frac{l_k}{i} \quad (11-4)$$

$l_k$ : طول کمانش (mm) نشان داده شده در جدول (۶-۴) با توجه به نوع تکیه‌گاه دو انتهای عضو  
 $i$ : شعاع ژیراسیون سطح نسبت به محور کمانش (mm)

جدول ۶-۴ طول کمانش

قیود			شرایط حرکت
یک انتها آزاد و یک انتها مقید	دو انتها گیردار	دو انتها آزاد	شرایط دوران
0.71	0.51	1	$l_k$

1: طول عضو (mm)

$\Lambda$ : حد ضریب لاغری که مقدار آن از رابطه (۱۲-۴) به دست می‌آید.

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}} \quad (12-4)$$

$v$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۱۳-۴)

$$v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda_s}{\Lambda} \right)^2 \quad (13-4)$$

جدول ۷-۴ ترکیب تنش

رابطه کنترل	نوع ترکیب تنش
$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$	ترکیب تنش فشاری و خمشی
$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1$	ترکیب تنش کششی و خمشی
$\sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t$	ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی
$\frac{\sigma_t + 1.6\tau}{1.4} \leq f_t$	ترکیب تنش کششی و برشی (محدود به پیچ مهار)

$f_c$ : تنش فشاری مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای، به‌دست آمده از جدول (۵-۴) ( $N/mm^2$ )

$f_b$ : تنش خمشی مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای، به‌دست آمده از جدول (۵-۴) ( $N/mm^2$ )

$f_t$ : تنش کششی مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی برای طراحی لرزه‌ای، به‌دست آمده از جدول (۵-۴) ( $N/mm^2$ )

$\sigma_c$ : تنش فشاری ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی ( $N/mm^2$ )

$\sigma_b$ : تنش خمشی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی

$\sigma_t$ : تنش کششی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی

$\tau$ : تنش برشی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی

۲- مصالح سازه تکیه‌گاهی که مستقیماً به مصالح بخش فشاری جوش شده‌اند.

در مصالح سازه تکیه‌گاهی که مستقیماً به مصالح بخش فشاری جوش شده‌اند، تنش مجاز مشابه مصالح بخش فشاری است.

از آنجایی که لازم است این مصالح عملکرد سازه تکیه‌گاهی داشته باشند، باید شرایط زیر برقرار شود.

- تنش مجاز مربوط به طراحی لرزه‌ای کوچک‌ترین مقدار بین مقادیر به‌دست آمده از جدول (۵-۴) است.

- در صورت ترکیب تنش، باید رابطه کنترل ترکیب تنش جدول (۷-۴) برقرار باشد.

### ۳-۱-۳-۴- تنش مجاز مصالح لوله‌کشی

تنش‌های مجاز مصالح لوله‌کشی مشابه ASME هستند.

۱- تنش مجاز لوله‌کشی

جدول ۸-۴ تنش مجاز لوله‌کشی برای طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	نوع تنش
S	تنش طولی لوله‌کشی
$2S_y$	گستره تنش تناوبی

## ۲- تنش مجاز اتصال فلنجی

جدول ۴-۹ تنش مجاز اتصال فلنجی برای طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	نوع تنش
S	تنش شعاعی فلنج
S	تنش پیرامونی فلنج
$2S_y$	تنش محوری مادگی لوله

## ۳- تنش مجاز شیر

جدول ۴-۱۰ تنش مجاز طراحی لرزه‌ای شیر

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	نوع شیر
0.5 S	شیر قطع زلزله
S	سایر شیرها

## ۴- تنش مجاز اتصال انبساطی

اتصال تحت ۵۰۰ سیکل بارگذاری قرار داده شده و بار نهایی مشخص گردد.

## ۵- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای برج‌ها و مخازن

جدول ۴-۱۱ تنش مجاز برج‌ها و مخازن

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	نوع مقاومت تنش
S	(الف) تنش اولیه غشایی کلی
1.5S	(ب) مجموع تنش اولیه غشایی محلی و تنش اولیه خمشی
$2S_y$	(ج) تفاوت بین بیشترین و کم‌ترین مقدار مجموع مقاومت تنش اولیه غشایی محلی، مقاومت تنش اولیه خمشی و مقاومت تنش ثانویه در سیکل

## ۴-۳-۲- مقادیر مجاز برای روش طراحی شکل پذیر

طراحی شکل پذیر مؤلفه‌های پالایشگاهی اساساً با روش تغییر شکل پلاستیک انجام شده و سازه قابی نیز با روش مقاومت تسلیم، طراحی می‌شود.

ضریب شکل پذیری مورد استفاده در روش تغییر شکل پلاستیک و ضریب مشخصه سازه‌ای مورد استفاده در روش مقاومت تسلیم، در مراحل طراحی هر تجهیز توضیح داده می‌شود.

به‌علاوه، از آنجایی که حد مجاز، به ارزیابی هر بخش از لوله‌کشی بستگی دارد، رواداری برای طراحی شکل پذیر هر بخش در بند مربوط به طراحی لوله‌کشی آمده است.

## ۴-۴- سطح عملکرد قابل قبول مؤلفه و ورودی لرزه‌ای

### ۴-۴-۱- عملکرد لرزه‌ای مورد نیاز

عملکرد لرزه‌ای مورد نیاز سازه‌ها (برج‌ها و مخازن، لوله‌کشی، پی و ...) به صورت موارد زیر است.

(الف) در زلزله بهره‌برداری در سطح خطر-۱، تغییر شکل مخربی ایجاد نمی‌گردد. سازه‌های نگهدارنده گاز در این سطح خطر و بر اساس روش تنش مجاز نباید هیچگونه آسیب فیزیکی ببینند.

(ب) در سطح خطر-۲ زلزله تجهیز باید با آسیب‌های جزئی با حداقل وقفه بکار خود ادامه دهد. لذا معیارهای طراحی در این سطح خطر و بر اساس شکل پذیری آنها بطور مناسب ارائه می‌شود.

عملکرد لرزه‌ای تأسیسات پیشگیری از خطرات زلزله (شیر قطع زلزله و...) به صورت زیر است.

(الف) جلوگیری از نشت گاز فشار قوی در تجهیز و پیشگیری از حوادث ناشی از آن با قطع گاز

(ب) تلاش برای پیشگیری از وقوع و گسترش آسیب ناشی از زلزله در مواردی که سازه عملکرد لرزه‌ای خود را از دست می‌دهد.

### ۴-۴-۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تأسیسات باید با استفاده از روش‌های زیر انجام شود.

۱-۱- موارد الف و ب در زلزله بهره‌برداری در سطح خطر-۱، اعمال می‌شود.

الف- با انجام تحلیل پاسخ برای جنبش لرزه‌ای طرح در حالت بهره‌برداری عادی، تنش ایجاد شده در عضو مهم نباید از تنش مجاز مصالح، تجاوز نماید.

ب- در بند ۱، ارزیابی جنبش لرزه‌ای طرح برای نیروی اینرسی (مد حرکت صلب مایع) و هم‌چنین، جهت محاسبه تلاطم در مخزن استوانه‌ای (مد تلاطم مایع) را می‌توان جداگانه انجام داد.

۲-۱- موارد الف تا د در زلزله طرح در سطح خطر-۲، اعمال می‌شود.

الف- مقدار حاصل از تقسیم تغییر مکان غیر ارتجاعی پاسخ مصالح بر تغییر مکان تسلیم (از این پس «ضریب شکل پذیری») که در عضو مهم به روش طراحی شکل پذیر رخ داده، نباید از مقدار حاصل از تقسیم حداکثر تغییر شکل پلاستیک قابل قبول مصالح بر تغییر شکل تسلیم (از این پس «ضریب شکل پذیری مجاز») که از تحلیل پاسخ حرکت لرزه‌ای طراحی در حالت بهره‌برداری عادی به‌دست آمده، بیشتر باشد.

ب- در بند ۱، ارزیابی جنبش لرزه‌ای طرح برای نیروی اینرسی (مد حرکت صلب مایع) و زلزله طراحی، در محاسبه تلاطم (مد تلاطم مایع) مخزن استوانه‌ای را می‌توان به‌صورت جداگانه انجام داد.

۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی باید با روش‌های مطرح شده در بند الف و ب صورت گیرد.

۲-۱- در زلزله بهره‌برداری بندهای الف و ب اعمال می‌شود.

الف- تنش ایجاد شده در عضو مهم، به‌دست آمده از تحلیل پاسخ برای حرکت لرزه‌ای طراحی در حالت بهره‌برداری عادی نباید بیش از تنش مجاز مصالح باشد.

ب- اگر سیستم لوله‌کشی دارای درجه اهمیت متوسط و کم باشد، طراحی به روش دهانه مجاز انجام و از بند ۱ صرف‌نظر می‌گردد.

۲-۲- در زلزله حالت طرح بندهای الف تا ج اعمال می‌شوند.

الف- ضریب شکل پذیری نباید از نسبت تغییر شکل پلاستیک نهایی مجاز مصالح، حاصل از تحلیل پاسخ مناسب برای جنبش لرزه‌ای طراحی در حالت بهره‌برداری عادی، بیشتر باشد.

ب- در بند ۱ می‌توان ارزیابی لرزه‌ای طراحی برای نیروی اینرسی (مد حرکت صلب مایع) و همچنین محاسبه تلاطم مخزن استوانه‌ای (مد تلاطم مایع) را به صورت جداگانه انجام داد.

# فصل ۵

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

لوله‌کشی و قفسه لوله



### ۱-۵- مراحل ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی

در مواردی که اهمیت سازه کم است، نیازی به استفاده از روش طراحی لرزه‌ای نبوده و طراحی با استفاده از روش‌های ارزیابی ساده شده تکیه‌گاه لوله‌کشی (روش دهانه مجاز لوله) انجام می‌شود.

طراحی لرزه‌ای باید برای لوله‌های زیر انجام شود:

(الف) لوله با قطر خارجی ۴۵ میلی‌متر یا بیشتر

(ب) محتویات لوله ۳ متر مکعب یا بیشتر

(ج) لوله متصل به برج‌ها و مخازن

### ۲-۵- روش ارزیابی ساده شده (روش دهانه مجاز)

اگر درجه اهمیت سامانه لوله‌کشی متوسط یا کم باشد، طول دهانه لوله کم‌تر از طول دهانه مجاز بوده و همچنین ظرفیت جذب تغییر مکان برای لوله در سازه‌های تکیه‌گاهی مختلف بیشتر از تغییر مکان نسبی سازه باشد، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای پایان می‌یابد. در کاربرد روش دهانه مجاز بایستی به موارد زیر توجه نمود:

(الف) ارزیابی عملکرد باید در هر مقطع لوله بین دو نقطه تکیه‌گاهی ثابت انجام شود. اگر مقطع لوله‌کشی متغیر باشد،

ارزیابی با یکسان‌سازی مقطع همانند رابطه‌ای که در پیوست ۱ خواهد آمد انجام می‌شود.

(ب) روش دهانه مجاز را برای موارد زیر باید به کار برد:

- طولانی‌ترین دهانه سیستم لوله‌کشی از هر مقطع
- دهانه‌هایی که دارای بار متمرکز هستند

(ج) در صورتی که نقطه تکیه‌گاهی لوله، سازه‌های تکیه‌گاهی مختلفی باشد، ارزیابی ظرفیت تغییر مکان باید انجام شود و اگر دهانه لوله دارای انشعاب بوده و قطر خارجی لوله انشعاب، برابر با نصف یا کم‌تر از قطر لوله مادر باشد، ارزیابی از نقطه انشعاب تا اولین نقطه اتکای لوله انشعابی باید انجام شود.

(د) ارزیابی بندهای (ب) و (ج) در هر سه راستا انجام می‌شود (دو راستای افقی و یک راستای قائم). اگر دهانه لوله دارای اتصال انبساطی باشد، ارزیابی ظرفیت تغییر مکان با احتساب ظرفیت اتصال انجام می‌شود.

### ۱-۲-۵- طول دهانه مجاز

لوله در سه راستا، دو راستای عمود و یک راستای موازی با محور لوله‌کشی، باید در برابر زلزله مهار شود.

طول لوله بین سازه‌های تکیه‌گاهی مجاور (طول دهانه لوله) که عملکرد تکیه‌گاهی مؤثری در راستای زلزله دارد، نباید از طول دهانه مجاز متناظر با حالت بهره‌برداری گاز فشار قوی و قطر خارجی، بیشتر باشد. معیارهای پذیرش روش دهانه مجاز در رابطه (۱-۵) نشان داده می‌شود.

$$L_{ps} \leq L_a$$

(۱-۵)



$L_{ps}$ : طول دهانه لوله، محاسبه شده در بند (۱-۱) پیوست (m)

$L_a$ : طول دهانه مجاز، محاسبه شده در بند (۲-۱) پیوست (m)

### ۲-۲-۵- ظرفیت تغییر مکان

تغییر مکان نسبی لوله‌کشی در راستای زلزله بین تکیه‌گاه‌ها نباید از ظرفیت تغییر مکان لوله‌کشی تجاوز کند. زمانی که دهانه لوله روی تکیه‌گاه‌های مختلف باشد، باید ارزیابی ظرفیت تغییر مکان انجام شود و اگر دهانه لوله دارای انشعاب بوده و قطر خارجی لوله انشعاب، برابر با نصف یا کم‌تر از قطر لوله مادر باشد، ارزیابی باید از نقطه انشعاب تا اولین نقطه اتکای لوله انشعابی انجام شود.

ارزیابی ظرفیت تغییر مکان به صورت زیر انجام می‌شود:

$$\Delta \leq \delta_a \quad (۲-۵)$$

$\Delta$ : تغییر مکان نسبی بین دو تکیه‌گاه یا بین انشعاب و اولین تکیه‌گاه انشعاب لوله محاسبه شده در بند (۴-۱) پیوست (mm)

$\delta_a$ : ظرفیت تغییر مکان دهانه لوله در راستای زلزله محاسبه شده در بند (۳-۱) پیوست (mm)

### ۳-۵- روش طراحی تنش مجاز

طراحی لرزه ای سیستم‌های لوله‌کشی در سطح خطر ۱- باروش تنش مجاز با استفاده از روش دهانه مجاز یا تحلیل تفصیلی صورت می‌پذیرد.

روند طراحی لرزه‌ای استاندارد سیستم لوله‌کشی در بند ۲ پیوست ارائه شده است.

رفتار سیستم لوله‌کشی را می‌توان از طریق تحلیل پاسخ به صورت یک سیستم یکپارچه محاسبه نمود، اما برای ساده سازی، معمولاً تحلیل پاسخ سازه نگهدارنده لوله، و لوله‌کشی، به صورت مستقل از هم انجام می‌شود.

### ۱-۳-۵- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی

ضریب زلزله افقی و تغییر مکان پاسخ نقطه اتکای لوله با استفاده از تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله محاسبه می‌شود. در تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی، صلبیت لوله نادیده گرفته و وزن لوله‌کشی به عنوان بار به سازه تکیه‌گاهی وارد می‌شود. برای تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی با اهمیت زیاد و خیلی زیاد از روش شبه استاتیکی اصلاح شده و روش تحلیل مودال استفاده می‌شود.

روش تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

برای سازه تکیه‌گاهی با درجه اهمیت متوسط و کم، روش شبه استاتیکی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جزئیات تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در بند (۳) پیوست آمده است.

## ۵-۳-۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی (تکیه‌گاه و تجهیزات تکیه‌گاهی لوله‌کشی) تنش به‌وجود آمده در مصالح، باید کمتر از تنش‌های مجاز طراحی در زلزله باشد.

در صورت انجام طراحی لرزه‌ای تجهیزات تکیه‌گاهی لوله‌کشی، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای آنها به روش‌های ارزیابی تجهیزات انجام می‌شود. علاوه بر این، روش ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه در بند (۱۱) پیوست نشان داده می‌شود.

## ۵-۳-۳- تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی

محاسبه تنش استاتیکی سیستم لوله‌کشی برای نیروی زلزله اصلاح شده، تغییر مکان پاسخ تکیه‌گاه لوله‌کشی، فشار، وزن لوله و فرآورده انجام می‌شود.

تحلیل با مدل کردن سیستم لوله‌کشی به صورت زیر انجام می‌شود.

این تحلیل با استفاده از روش شبه استاتیکی اصلاح شده صورت گرفته و سپس نیروی زلزله طراحی از رابطه‌های (۳-۵) و (۴-۵) به‌دست می‌آید.

$$F_{MH} = \beta_8 \mu K_{MH} W_H \quad (۳-۵)$$

$$F_{MV} = \beta_9 K_{MV} W_V \quad (۴-۵)$$

$F_{MH}$ : نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی (N)

$F_{MV}$ : نیروی زلزله قائم اصلاح شده طراحی (N)

$\beta_8$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی که برابر با ۲ فرض می‌شود. اگر سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی برج‌ها و مخازن باشد، ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ  $\beta_8$  سازه، باید در ۲ ضرب شود. علاوه بر این، در محل قرارگیری یا استقرار شیر، ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ بر حسب سازه و نوع تکیه‌گاه شیر باید در ۱ تا ۳ ضرب شود (مطابق جدول ۵-۱).

$\beta_9$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ قائم سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی که برابر با ۲ فرض می‌شود.

$\mu K_{MH}$ : مقدار محاسبه شده بر اساس نوع تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، با استفاده از ضریب زلزله افقی طراحی در نقطه اتکای لوله‌کشی می‌باشد. (بند ۳ پیوست)

$K_{MV}$ : ضریب زلزله قائم طراحی اصلاح شده

$W_H$ : وزن محرک (N). در این حالت وزن مجاز فرسودگی در نظر گرفته می‌شود.

$W_V$ : مجموع وزن محتویات و وزن مرده لوله‌کشی اعمالی بر محلی که نیروی زلزله قائم اصلاح شده، طراحی محاسبه می‌شود

(N). در این حالت وزن مجاز فرسودگی در نظر گرفته می‌شود. (بند ۴ پیوست)

## ۵-۳-۴- محاسبه تنش لوله کشی

تنش لوله در راستای طولی ناشی از نیروی لرزه‌ای، فشار سیال و وزن محرک با ترکیب بار بهره‌برداری و زلزله، محاسبه می‌شود.

## ۱- تنش راستای طولی

تنش راستای طولی ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی زلزله افقی طراحی و نیروی زلزله قائم طراحی برای بخش منحنی لوله کشی، محدوده انشعابی و بخش تکیه‌گاهی لوله کشی، از رابطه (۵-۵) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_{\ell} = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_0 M_0)^2}}{Z} + \left| \frac{F_T}{A_p} \right| \quad (5-5)$$

$\sigma_{\ell}$ : تنش راستای طولی ناشی از فشار، وزن و نیروی زلزله ( $N/mm^2$ )

$i_i$ : ضریب تشدید تنش درون صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال لوله

$i_0$ : ضریب تشدید تنش برون صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال لوله

$M_i$ : لنگر خمشی درون صفحه‌ای لوله کشی ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی زلزله افقی و قائم طراحی وارد بر لوله (به بند ۵ پیوست مراجعه کنید) ( $N.mm$ )

$M_0$ : لنگر خمشی برون صفحه‌ای لوله کشی ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی زلزله افقی و قائم طراحی وارد بر لوله کشی (به بند ۵ پیوست مراجعه کنید) ( $N.mm$ )

$Z$ : مدول مقطع لوله که محاسبات آن بدون در نظر گرفتن مقدار مجاز خوردگی انجام می‌شود. برای لوله انشعابی با قطرهای مختلف از رابطه (۶-۵) استفاده می‌شود. ( $mm^3$ )

$$Z = \pi (r_p)^2 t_s \quad (6-5)$$

$r_p$ : شعاع متوسط لوله در محل خم ( $mm$ )

$t_s$ : ضخامت موثر لوله در (محل) خم که در آن ضخامت مجاز خوردگی و صفحه تقویتی در نظر گرفته نمی‌شود. ( $mm$ )

$F_T$ : نیروی محوری لوله ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی زلزله افقی و قائم طراحی وارد بر لوله کشی ( $N$ )

$A_p$ : سطح مقطع لوله که در محاسبه آن مقدار مجاز خوردگی نادیده گرفته می‌شود ( $mm^2$ )

## ۲- تنش تناوبی بر اساس نیروی زلزله

تنش تناوبی بر اساس نیروی زلزله افقی، نیروی لرزه‌ای قائم طراحی و جابه‌جایی نقطه اتکای لوله کشی با استفاده از رابطه (۷-۵) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_E = 2 \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_0 M_0)^2} + M_t^2}{Z} \quad (7-5)$$

$\sigma_E$ : تنش تناوبی ( $N/mm^2$ )

$M_i$ : لنگر خمشی درون صفحه‌ای لوله کشی ناشی از نیروی زلزله افقی طراحی، نیروی زلزله قائم طراحی وارد بر

لوله کشی و جابه‌جایی تکیه‌گاه لوله کشی (جدول بند ۵ پیوست) ( $N.mm$ )

$M_0$ : لنگر خمشی برون صفحه‌ای لوله کشی مطابق با نیروی زلزله افقی، نیروی زلزله قائم طراحی وارد بر لوله کشی و جابه‌جایی تکیه‌گاه لوله کشی (جدول بند ۵ پیوست) (N.mm)

$M_1$ : لنگر پیچشی لوله کشی بر اساس نیروی زلزله افقی، نیروی زلزله قائم طراحی وارد بر لوله کشی و جابه‌جایی تکیه‌گاه لوله کشی (به بند ۵ پیوست مراجعه کنید) (N.mm)

### ۵-۳-۵- ارزیابی تنش لوله کشی

اگر تنش محاسبه شده از تنش مجاز تجاوز نکند، ارزیابی قابل قبول می‌باشد. در مواردی که تنش محاسبه شده بیشتر از تنش مجاز است، مشخصات سازه و شرایط تکیه‌گاهی تغییر داده شده و ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکرار می‌شود. تنش‌های مجاز در بند ۶ پیوست ارائه شده است.

### ۵-۳-۶- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی

ارزیابی نشت در اثر نیروی محوری یا لنگر خمشی محاسبه شده از تحلیل پاسخ شتاب و تحلیل پاسخ تغییر مکان لوله کشی، باید انجام گیرد. موارد زیر در این ارزیابی لحاظ می‌گردد:

- این ارزیابی باید در اتصال فلنجی و اطراف آن انجام شود.
- عدم نشت در اتصال فلنجی زمانی مورد تایید قرار می‌گیرد که تنش‌های ایجاد شده در اتصال (تنش شعاعی فلنج، تنش پیرامونی فلنج و تنش محوری مادگی لوله) کم‌تر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای باشد.
- می‌توان از ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی با درجه اهمیت متوسط و کم صرف نظر کرد.
- محاسبات مربوط به اتصال فلنج در ادامه توضیح داده شده است.

۱- محاسبه کل فشارهای معادل

فشار داخلی معادل  $P_e$ ، ناشی از نیروی کششی محوری  $F_T(N)$  و لنگر خمشی  $M(N.mm)$  ناشی از بار لرزه‌ای، با استفاده از رابطه (۸-۵) به دست می‌آید:

$$P_e = \frac{4F_T}{\pi D_e^2} + \frac{16M}{\pi D_e^3} \quad (8-5)$$

$P_e$ : فشار معادل در زلزله (MPa)

$F_T$ : نیروی کششی محوری ناشی از زلزله (N)

$M$ : لنگر خمشی (N.mm)

$D_e$ : قطر متوسط در وجه تماس واشر (mm)

$$D_e = D_{gi} + 2(N_g - b_g) \quad (9-5)$$

$D_{gi}$ : قطر داخلی واشر (mm)

$N_g$ : عرض واشر (mm)

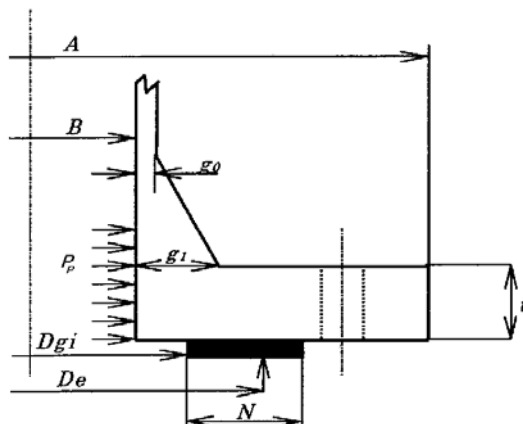
$b_g$ : عرض مؤثر واشر (mm)

کل فشار معادل  $P_{eq}$  از رابطه (۱۰-۵) و با استفاده از فشار  $P_p$  سیال در لوله کشی و فشار معادل در زلزله به دست می‌آید. از فشار معادل کل برای محاسبه باری که بر وجه (بر قطر) درونی فلنج وارد می‌شود استفاده می‌گردد.

$$P_{eq} = P_p + P_e \quad (10-5)$$

$P_{eq}$ : کل فشار معادل (MPa)

$P_p$ : فشار سیال در لوله (MPa)



شکل ۱-۵ فلنج با واشر مسطح

## ۲- محاسبه تنش

تنش در اتصال فلنجی در حالت بهره‌برداری محاسبه می‌شود. از فشار معادل کل برای محاسبه باری که بر وجه (بر قطر) درونی فلنج در اثر بار کل  $H$  و فشار داخلی وارد بر فلنج، وارد می‌شود، استفاده می‌گردد.

تنش‌ها در انواع فلنج بدون مادگی از رابطه‌های (۱۱-۵) تا (۱۳-۵) و در فلنج‌های با مادگی از رابطه‌های (۱۴-۵) تا (۱۶-۵) محاسبه می‌شود.

تنش محوری مادگی لوله

$$\sigma_H = 0 \quad (11-5)$$

تنش شعاعی فلنج

$$\sigma_R = 0 \quad (12-5)$$

تنش حلقوی فلنج

$$\sigma_T = \frac{YM}{t^2 B_f} \quad (13-5)$$

تنش فلنج یک قطعه و فلنج شل با در نظر گرفتن مادگی لوله با استفاده از رابطه (۱۴-۵) محاسبه می‌شود:

تنش محوری مادگی لوله

$$\sigma_H = \frac{fM}{Lg_1^2 B_f} \quad (14-5)$$

تنش شعاعی فلنج ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_R = \frac{(1.33t_e + 1)M}{Lg_1^2 B_f} \quad (۱۵-۵)$$

تنش حلقوی فلنج (N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_T = \frac{YM}{t^2 B_f} - Z\sigma_R \quad (۱۶-۵)$$

$\sigma_H$ : تنش محوری طوقه (N/mm<sup>2</sup>)

$B_f$ : قطر داخلی فلنج. در محاسبه تنش محوری مادگی لوله، زمانی که  $B_f$  کوچک‌تر از  $20g_1$  است، می‌توان از  $B_1$  به جای  $B_f$  استفاده کرد.

$B_1$ :  $B_f + g_0$  در فلنج چندکاره و  $B_f + g_1$  در فلنج شل

$f$ : ضریب اصلاح تنش طوقه تعیین شده بر اساس مقدار  $g_1/g_0$  و  $h_h/h_0$ . به نمودار بند (۷) پیوست مراجعه شود.

$F$ : ضریب تعیین شده بر اساس مقدار  $g_1/g_0$  و  $h_h/h_0$ . به بند (۷) پیوست مراجعه شود.

$F_L$ : ضریب تعیین شده بر اساس مقدار  $g_1/g_0$  و  $h_h/h_0$ . به بند (۷) پیوست مراجعه شود.

$h_h$ : طول طوقه (mm)

$h_0$ : برابر  $\sqrt{Bg_0}$  گرفته می‌شود.

$g_0$ : ضخامت مادگی لوله (mm)

$g_1$ : ضخامت طوقه وجه پشتی فلنج (mm)

$L$ : ضریب است و مقدار آن برابر است با  $(t_e + 1)/T + t_f^3/d$

$d$ : ضریب، برای فلنج یکپارچه  $\frac{U}{V} h_0 g_0^2$  و برای فلنج شل  $\frac{U}{V_L} h_0 g_0^2$

$M$ : لنگر وارد بر فلنج با در نظر گرفتن فشار معادل در اثر نیروی لرزه‌ای (N.mm)

$T$ : ضریب تعیین شده بر اساس مقدار  $K(= A/B_f)$ . به بند (۷) پیوست مراجعه شود.

$A$ : شعاع خارجی فلنج (mm)

$t_f$ : ضخامت فلنج (mm)

$U$ : ضریب تعیین شده بر اساس مقدار  $K(= A/B_f)$ . به بند (۷) پیوست مراجعه شود.

$V$ : ضریب تعیین شده بر اساس مقدار  $g_1/g_0$  و  $h_h/h_0$ . به بند (۷) پیوست مراجعه شود.

$V_L$ : ضریب تعیین شده بر اساس مقدار  $g_1/g_0$  و  $h_h/h_0$ . به بند (۷) پیوست مراجعه شود.

$Y$ : ضریب تعیین شده بر اساس مقدار  $K(= A/B_f)$ . به بند (۷) پیوست مراجعه شود.



اگر راستای میله شیر، عمود بر راستای قائم زلزله باشد، نیروی طراحی به جای رابطه (۵-۱۷) از رابطه (۵-۱۸) به دست می‌آید.

$$F_{MH} = \beta_9 K_{MV} W_H \quad (۵-۱۸)$$

$F_{MH}$ : نیروی لرزه‌ای افقی اصلاح شده طراحی شیر (N)

$\beta_8$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی لوله‌کشی شیر که از جدول (۵-۱) تعیین می‌شود.

جدول ۵-۱ ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ لوله‌کشی شیر

$\frac{H_{VD}}{\sqrt{D_V}}$	ضریب
۴۰ یا کمتر	۱ (هرچند ارزیابی قابل صرف‌نظر است)
۴۰-۶۰	$0.1 \frac{H_{VD}}{\sqrt{D_V}} - 3.0$
بیشتر از ۶۰	۳/۰

$\beta_9$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ قائم شیر. دارای مقدار ۱ تا ۳ است که در ۲ که ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ تعیین شده لوله‌کشی براساس سازه و روش تکیه‌گاهی شیر می‌باشد، ضرب می‌گردد.

$K_{MV}$  و  $\mu K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی و ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی

$W_H$ : وزن بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی مانند بخش‌های محرک شیر (N)

۵- محاسبه تنش

بیشترین تنش در بدنه اصلی قسمت گرداننده شیر، از رابطه (۵-۱۹) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_n = \frac{F_{MH} \cdot L_b}{Z} + \sigma_L \quad (۵-۱۹)$$

$F_{MH}$ : نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی شیر (N)

$L_b$ : فاصله مرکز ثقل اعضا بین بخش‌های وزنی مانند بدنه‌های اصلی شیرها و محرک‌ها تا بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی مانند محرک‌ها (mm)

$Z$ : مدول مقطع ارتجاعی ( $\text{mm}^3$ )

$\sigma_L$ : تنش ایجاد شده در مقطع در اثر فشار داخلی و نیروی محرک (N.mm)

چون مکانیزم ایجاد تنش با توجه به سازه متفاوت می‌باشد، بنابراین  $\sigma_L$  شیر باید با استفاده از روندی مناسب به دست آید. مثالی در این جا آورده شده است.

در صورتی که مقطع عضو به شکل استوانه باشد و فشار داخلی به بدنه اصلی شیر اعمال شود و ساق شیر در راستای محوری و خروجی محرک در راستای محوری ساق شیر باشد، تنش از رابطه (۵-۲۰) به دست می‌آید:



$$\sigma_L = (F_p + F_m) \frac{4}{\pi(D_o^2 - D_i^2)} \quad (20-5)$$

$F_p$ : نیروی ناشی از فشار داخلی (N)

$$F_p = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot P_p \quad (21-5)$$

$F_m$ : نیروی خروجی از بخش محرک (بر اساس مشخصات فنی شیر) N

$D_o$ : قطر خارجی مقطع (mm)

$D_i$ : قطر داخلی مقطع (mm)

$P_p$ : فشار سیال در بدنه اصلی شیر (MPa)

در شیر معمولی مانند شیر دستی، تا زمانی که فرکانس طبیعی به اندازه کافی بالا باشد، شتاب ناشی از زلزله به مقدار زیاد افزایش نمی‌یابد. اگرچه، در شیرهای که وزن بخش محرک آن زیاد و مرکز ثقل این بخش محرک از محور لوله‌کشی دور است، به علت کاهش نسبی فرکانس طبیعی، نیروی محرک بزرگی در اثر زلزله در بخش محرک ایجاد می‌شود. برای شیرهای با فرکانس طبیعی کم‌تر از ۲۰ هرتز، تنش در بخش ضعیف بین بدنه اصلی شیر و بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی از محور لوله‌کشی (از این پس «بخش خارج از مرکز وزن بخش محرک» نامیده می‌شود) برای نیروی اینرسی ناشی از زلزله محاسبه و عملکرد لرزه‌ای ارزیابی می‌شود. اگر مقاومت به اندازه کافی زیاد باشد، عملکرد قطع جریان نیز ایمن فرض می‌شود. روند روش ارزیابی در بند ۸ پیوست نشان داده می‌شود.

### ۵-۳-۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی حداکثر دامنه تنش محوری به وجود آمده در آکاردئون‌ها، در اثر تغییر مکان تکیه‌گاه لوله‌کشی، باید کم‌تر از دامنه تنش قابل قبول متناظر با ۵۰۰ سیکل طراحی، باشد.

۱- محاسبه تنش

۱-۱- مقدار جابه‌جایی محوری چین آکاردئون

تغییر مکان آکاردئون در تکیه‌گاه لوله‌کشی در اثر زلزله به صورت زیر تبدیل به جابه‌جایی محوری چین می‌شود.

$$e_{be} = e_x + e_y + e_\theta \quad (22-5)$$

الف) برای آکاردئون‌های ساده

$$e_x = \frac{x}{N_b} \quad (23-5)$$

$$e_y = \frac{3d_p y}{L_{lb} + x_c} \quad (24-5)$$

$$e_\theta = \frac{d_p \theta_A}{2N_b} \quad (25-5)$$

ب) برای آکاردئون دوتایی

$$e_x = \frac{x}{2N_b} \quad (26-5)$$

$$e_y = \frac{K_{b1} d_p y}{2N_b (L_{1b} - C_{b1} + 0.5x_c)} \quad (27-5)$$

$e_{be}$ : مقدار جابه‌جایی چین‌های آکاردئون (mm)

$x$ : کل تغییر مکان‌های محوری (mm)

$y$ : مقدار تغییر مکان عمود بر محور (mm)

$\theta_A$ : مجموع دوران‌های خمشی حول همه محورها (rad)

$x_c$ : مقدار تغییر مکان وجه انقباضی در راستای محوری (mm)

$N_b$ : تعداد چین‌های آکاردئون‌های یک قطعه

$d_p$ : قطر متوسط آکاردئون‌ها (mm)

$L_{1b}$ : طول مؤثر بخش آکاردئونی (mm)

$C_{b1}$ : طول مؤثر یک آکاردئون (mm)

$K_{b1}$ : ضریب اصلاح جابه‌جایی معادل آکاردئون دوتایی

۲-۱- محاسبه تنش

محاسبه تنش در آکاردئون‌ها U شکل به صورت زیر می‌باشد:

در مورد آکاردئون‌های غیر U شکل، مانند نوع Gesc و نوع Omega، تنش از رابطه‌ای مناسب باید محاسبه شود.

الف) برای آکاردئون‌های بدون حلقه تقویتی

(i) تنش غشایی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mmp} = \frac{P_p W_b}{2n_b t_p} \quad (28-5)$$

(ii) تنش خمشی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mbp} = \frac{P_p}{2n_b} \left( \frac{W_b}{t_p} \right)^2 C_p \quad (29-5)$$

(iii) تنش غشایی در راستای محوری ناشی از جابه‌جایی کل هر چین

$$\sigma_{mmd} = \frac{E'_b t_2^2}{2W_b^3 C_f} e_{ba} \quad (30-5)$$

(iv) تنش خمشی در راستای محوری ناشی از جابه‌جایی کل هر چین

$$\sigma_{mbd} = \frac{5E'_b t_p}{3W_b^2 C_d} e_{ba} \quad (31-5)$$

ب) برای آکاردئون‌های با حلقه تقویتی

(i) تنش غشایی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mmp} = \frac{P_p (W_b - k_r q)}{2n_b t_p} \quad (۳۲-۵)$$

(ii) تنش خمشی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mbp} = \frac{P_p}{2n_b} \left( \frac{W_b - k_r q}{t_p} \right)^2 C_p \quad (۳۳-۵)$$

(iii) تنش غشایی در راستای محوری ناشی از جابه‌جایی کل هر چین

$$\sigma_{mmd} = \frac{E'_b t_p^2}{3(W_b - k_r q)^3 C_f} e_{ba} \quad (۳۴-۵)$$

(iv) تنش خمشی در راستای محوری ناشی از جابه‌جایی کل هر چین

$$\sigma_{mbd} = \frac{5E'_b t_p}{(W_b - k_r q)^2 C_d} e_{ba} \quad (۳۵-۵)$$

$\sigma_{mmp}$ : تنش غشایی در راستای محوری ناشی از فشار ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{mbp}$ : تنش خمشی در راستای محوری ناشی از فشار ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{mmd}$ : تنش غشایی در راستای محوری ناشی از جابه‌جایی کل هر چین ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{mbd}$ : تنش خمشی در راستای محوری ناشی از جابه‌جایی کل هر چین ( $N/mm^2$ )

$P_p$ : فشار محرک (MPa)

$E'_b$ : ضریب الاستیسیته در دمای عادی مصالح آکاردئون‌ها ( $N/mm^2$ )

$W_b$ : ارتفاع چین آکاردئون (mm)

$q$ : گام چین آکاردئون (mm)

$n_b$ : تعداد لایه‌های آکاردئونی

$t_p$ : ضخامت محاسباتی یک لایه آکاردئونی (mm)

$k_r$ : ضریب اصلاح آکاردئون با حلقه تقویتی

$C_p$ : ضریب اصلاح تنش خمشی محاسباتی ناشی از فشار

$C_f$ : ضریب اصلاح تنش غشایی محاسباتی ناشی از جابه‌جایی آکاردئون

$C_d$ : ضریب اصلاح تنش خمشی محاسباتی ناشی از جابه‌جایی آکاردئون

$e_{ba}$ : کل جابه‌جایی هر چین آکاردئون (mm)

۲- محاسبه دامنه تنش کل

حداکثر دامنه تنش محوری به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S_{am} = 0.7(\sigma_{mmp} + \sigma_{mbp}) + (\sigma_{mmd} + \sigma_{mbd}) \quad (۳۶-۵)$$

$S_{am}$ : حداکثر دامنه‌های محوری تنش ( $N/mm^2$ )

لازم است نوع مناسبی از اتصال انبساطی در یک مکان مناسب جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی نصب

شود. روند روش ارزیابی در بند (۹) پیوست نشان داده شده است.

### ۵-۳-۹- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

روش محاسبه تنش افشانه برج‌ها و مخازن با استفاده از تکنیکی ساده بر مبنای تئوری پوسته نازک در زیر نشان داده شده است.

۱- تنش پوسته جدار نازک

تنش در راستای  $i$  از رابطه (۳۷-۵) محاسبه می‌شود:

$$\sigma_i = K_N \frac{N_i}{t_w} \pm K_b \frac{6M_{ii}}{t_w^2} \quad (37-5)$$

$t_w$ : ضخامت پوسته جدار نازک (mm)

$N_i$ : بار غشایی در راستای  $i$  به ازای واحد طول (N/mm)

$M_{ii}$ : لنگر خمشی در راستای  $i$  در واحد طول (N.mm/mm)

$K_N$ : ضریب تمرکز تنش برابر با ۱ برای نیروی غشایی

$K_b$ : ضریب تمرکز تنش برابر با ۱ برای لنگر خمشی

۲- محاسبه ضریب تنش

ضریب تنش از رابطه (۳۸-۵) محاسبه می‌شود.

$$S_I = M_{ax} \left( \frac{\sigma_x + \sigma_\phi \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2}}{2} \times \sqrt{(\sigma_x - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2} \right) \quad (38-5)$$

$S_I$ : ضریب تنش

$\sigma_x$ : تنش در راستای شعاعی

$\sigma_\phi$ : تنش در راستای محوری

$\tau$ : تنش محیطی

در افشانه برج‌ها و مخازن، تنش مربوط به نیروی لرزه‌ای افقی طراحی، نیروی لرزه‌ای قائم طراحی و جابه‌جایی تکیه‌گاه لوله‌کشی

باید محاسبه شود. جزئیات روش ارزیابی در بند ۱۰ پیوست نشان داده می‌شود.

### ۵-۴- روش طراحی شکل‌پذیر

زمانی که سطح خطر-۲ را در نظر می‌گیریم، طراحی لرزه‌ای به روش طراحی شکل‌پذیر انجام می‌شود. ارزیابی اثر جابه‌جائی‌های

زمین نیز علاوه بر ارزیابی اثر ارتعاشی زمین با نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ انجام می‌شود.

چهارچوب طراحی لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر در بند (۱۲) پیوست نشان داده می‌شود.

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با تأیید ایمنی در مقابل نیروی اینرسی و تأیید ارزیابی تغییر مکان پاسخ و ارزیابی

حرکت زمین، انجام می‌شود. سیستم لوله‌کشی از لوله، تجهیزات تکیه‌گاهی و تکیه‌گاه لوله متصل به هر دو، تشکیل شده است.

- ۱- در عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار سیستم لوله‌کشی، زمانی که سیستم تحت تأثیر حرکت زمین می‌باشد، باید مخزن گاز فشار قوی، غیر قابل نفوذ باقی بماند.
- ۲- این روش طراحی در صورتی به کار می‌رود که اثرات تغییر مکان زمین مانند روانگرایی در کنار اثرات مربوط به نیروی اینرسی نیز و تغییر مکان نسبی پاسخ تکیه‌گاهی در نظر گرفته شود.
- ۳- در این روش طراحی، ضریب شکل‌پذیری مصالح، باید کم‌تر از ضریب شکل‌پذیری مجاز باشد (از نقطه نظر ضد زلزله بودن). بنابراین در این روش طراحی، باید رفتار غیرخطی در نظر گرفته شود.
- ۴- در صورتی که به علت قرار گرفتن سیستم لوله‌کشی بر پی مناسب، حرکت زمین، لوله‌کشی را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد، نیازی به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای حرکت زمین نیست.
- ۵- انعطاف‌پذیری در تغییر شکل‌های بزرگ سیستم لوله‌کشی به خم لوله بستگی دارد. در این طراحی، عملکرد در تغییر شکل بزرگ لوله‌های منحنی بسیار مهم می‌باشد. ارزیابی خم لوله در بند (۱۳) پیوست نشان داده شده است.

#### ۵-۴-۱- ارزیابی طراحی لرزه‌ای نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ

مراحل ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ در بند (۱۴) پیوست نشان داده می‌شود.

#### ۵-۴-۱-۱- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله

ضریب زلزله جانبی طراحی و تغییر مکان پاسخ نقطه اتکاء لوله به‌وسیله تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی محاسبه می‌شود. در تحلیل پاسخ، سازه تکیه‌گاهی با یک مدل سیستم ارتعاشی مناسب، جایگزین می‌شود و شتاب پاسخ و تغییر مکان پاسخ در نقطه اتکا به روش شبه استاتیکی اصلاح شده (بند ۱۴-۱ پیوست)، تحلیل مودال یا تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی محاسبه می‌شود.

#### ۵-۴-۱-۲- تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی

شتاب و تغییر مکان نقطه اتکا لوله با تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی به‌دست می‌آید. تحلیل نیز با استفاده از مدل تحلیلی که رفتار غیرخطی تغییر شکل خمیری را در نظر می‌گیرد، انجام می‌شود. برای تحلیل پاسخ شتاب و تغییر مکان، مدل تحلیلی سیستم لوله‌کشی بر اساس قواعد کلی زیر تهیه می‌شود.

- ۱- مدل تحلیلی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی بر اساس مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای برج‌ها و مخازن و سازه قابی تهیه می‌شود.
- ۲- در مدل تحلیلی سیستم لوله‌کشی، لوله مستقیم به صورت المان تیر و لوله منحنی به صورت المان تیر منحنی در نظر گرفته می‌شوند.
- ۳- در کل، مدل‌سازی تحلیلی لوله‌کشی بین نقاط گیردار انجام می‌شود.
- ۴- محاسبه صلیب المان تیری لوله‌کشی با استفاده از ابعادی انجام می‌شود که در آن مقدار مجاز خوردگی از ابعاد اسمی کم شده‌اند.
- ۵- برای محاسبه وزن، مقدار مجاز خوردگی در نظر گرفته نشده و از ابعاد اسمی استفاده می‌شود.
- ۶- برای محاسبه تنش لوله‌کشی، از مقدار مجاز خوردگی صرف نظر می‌شود.

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در مقابل نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ، به روش انرژی، روش تحلیل خطی معادل یا روش تحلیل پاسخ غیرخطی یا روش‌های ترکیبی انجام می‌شود. در چنین مواردی تحلیل پاسخ باید با در نظر گرفتن موارد (۱) و (۲) انجام شود.

#### ۱- المان لوله‌کشی

در المان‌های لوله‌کشی مانند لوله‌های مستقیم و لوله‌های T شکل، المان تیر خطی در نظر گرفته می‌شود. در لوله منحنی، رابطه بار و کرنش غیرخطی در نظر گرفته می‌شود. رفتار خطی را می‌توان با استفاده از ضریب انعطاف‌پذیری مناسب محاسبه نمود.

#### ۲- ثابت میرایی

اثر جذب انرژی توسط تغییر شکل پلاستیک خم لوله، تکیه‌گاه لوله و تکیه‌گاه‌های لوله‌کشی با ثابت میرایی که به طور مناسبی کاهش می‌یابد، جایگزین می‌شود.

با توجه به این که می‌توان تحلیل غیرخطی را به آسانی انجام داد، مدل تحلیلی پاسخ با مدل تیر خطی معادل با در نظر گرفتن اثر الاستو پلاستیک انحنای لوله، سازگار می‌باشد.

روند کلی تحلیل خطی معادل و تحلیل تفصیلی و هم‌چنین ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ در بند ۱۴-۲ پیوست توضیح داده شده است.

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی از ترکیب نتایج تحلیل پاسخی که ورودی آن شتاب و تحلیل پاسخی که ورودی آن تغییر مکان تکیه‌گاه می‌باشد، به دست می‌آید.

### ۵-۴-۱-۳- مد خرابی

در سیستم لوله‌کشی، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مد خرابی موارد ۱ تا ۸ برای نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ انجام می‌شود. ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ سیستم لوله‌کشی می‌تواند به صورت جداگانه با ارزیابی در خصوص تغییر مکان ناشی از حرکت زمین، انجام شود.

۱- تغییر شکل پلاستیک خم لوله

۲- ترک در ناحیه انشعاب

۳- ترک لوله در تکیه‌گاه لوله‌کشی

۴- تغییر شکل موجی لوله

۵- خرابی افشانه تجهیزات طراحی لرزه‌ای شده

۶- خرابی اتصال انبساطی

۷- نشت گاز فشار قوی از اتصال فلنجی

۸- خرابی تکیه‌گاه لوله

## ۵-۴-۱-۴- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی

با توجه به راستای زلزله و ترکیب بار لوله‌کشی، محدوده تنش تناوبی و تنش طولی ناشی از نیروی زلزله، فشار و وزن بهره‌برداری سیال محاسبه شده و طراحی به گونه‌ای انجام می‌شود که موارد ذکر شده، کم‌تر از تغییر شکل پلاستیک نهایی مجاز باشد. در چنین مواردی ارزیابی مدهای خرابی لوله‌های انشعابی و لوله‌ها مستقیم، انجام می‌شود. ضریب شکل‌پذیری مجاز ناشی از نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ لرزه‌ای طراحی با استفاده از جدول (۵-۲) محاسبه می‌شود.

جدول ۵-۲ تغییر شکل نهایی مجاز در مقابل نیروی اینرسی و جابجایی زمین

تغییر شکل نهایی مجاز	بار
تغییر شکل نظیر فشار داخلی محدود به مقاومت رزوه اتصال لوله‌ها	فشار داخلی، وزن مرده و تنش طولی ناشی از نیروی اینرسی لرزه‌ای
۲٪ کرنش پلاستیک نصف دامنه در منحنی هیستریسیس	در تنش تکرار شونده (زلزله)

در این موارد ممکن است ارزیابی با موارد ۱ یا ۲ جایگزین شود.

## ۱- ارزیابی مد خرابی خم لوله

زاویه اعوجاج خم لوله نباید از زاویه مجاز تجاوز کند. در اینجا زاویه مجاز خم لوله  $\theta$  برابر زاویه اعوجاج خم لوله متناظر به حداکثر کرنش پلاستیک معادل ۲٪ نیم دامنه می‌باشد.

## ۲- ارزیابی مد خرابی لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم

ابتدا تنش ظاهری محاسبه می‌شود که باید کوچک‌تر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای طبق جدول (۵-۳) باشد.

جدول ۵-۳ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساده با استفاده از مدل خطی برای نیروی اینرسی و پاسخ تغییر مکان

ملاحظات	تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	بار
S: توضیح داده شده در ۳-۱-۴	2S	تنش طولی
Sy: مقاومت تسلیم در دمای طراحی مصالح یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪	4Sy	محدوده تنش تکرار شونده در زلزله

ارزیابی مد خرابی لوله منحنی، لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم و جزئیات رزوه در بند (۳-۱۴) پیوست نشان داده می‌شود.

## ۵-۴-۱-۵- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی

در اطراف اتصال فلنجی ارزیابی نشت در راستای نیروی محوری انجام شده و لنگر خمشی از ارزیابی پاسخ شتاب و پاسخ تغییر مکان لوله‌کشی محاسبه می‌شود.

زمانی که نیروی کششی در راستای محوری F و لنگر خمشی M بر اتصال فلنجی اعمال می‌شود، ارزیابی نشت با استفاده از رابطه

(۳۹-۵) انجام می‌شود.

$$mP_p + \alpha_1 P_e \leq \sigma_a$$

(۳۹-۵)

m: ضریب واشر

P<sub>p</sub>: فشار داخلی (MPa)α<sub>1</sub>: ضریب اصلاح نشت مربوط به فشار داخلی معادل که ۰/۷۵ ضریب واشر در نظر گرفته می‌شود.

P<sub>e</sub>: فشار داخلی معادل ناشی از نیروی کششی محوری F و لنگر خمشی M تحت اثرات لرزه‌ای (N/mm<sup>2</sup>). برای واشر سراسری، فشار داخلی مجازی در محلی که تنش ناشی از آن معادل با تنش ایجاد شده در اثر F و M در لبه لوله و برای واشر با نشیمنگاه تخت، درکناره واشر در نظر گرفته می‌شود.

σ<sub>a</sub>: باربری واشر (N/mm<sup>2</sup>) ناشی از نیروی بستن اولیه پیچ. در مواردی که پیچ‌ها منظم نیستند، تنش بستن اولیه هر یک از پیچ‌ها کوچک‌ترین مقدار بین تنش تسلیم و  $1500/\sqrt{D}$  پیچ می‌باشد. در این جا D (mm) قطر اسمی پیچ است. مطالعه تفصیلی و باربری مورد نیاز واشر در اتصال فلنجی در بند ۱۴-۴ پیوست نشان داده شده است.

#### ۵-۴-۱-۶- ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی

تغییر مکان نسبی دو انتهای اتصال انبساطی باید کم‌تر از تغییر مکان نسبی مربوط به ۵۰ بار تکرار در اتصال باشد. در چنین مواردی، ارزیابی جداگانه مانند ارزیابی مربوط به جابه‌جایی زمین، انجام می‌شود. در راستایی که جابه‌جایی نسبی نباید رخ دهد، مقاومت کافی برای عکس‌العمل محاسبه شده از محاسبات پاسخ، باید وجود داشته باشد. جزئیات مراحل ارزیابی اتصال انبساطی در بند ۱۴-۵ پیوست نشان داده شده است.

#### ۵-۴-۱-۷- ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

لنگر خمشی، لنگر پیچشی و کشش محوری اعمالی بر افشانه باید کم‌تر از مقادیر مجاز باشد. جزئیات مراحل ارزیابی افشانه برج‌ها و مخازن در بند ۱۴-۶ پیوست نشان داده شده است.

#### ۵-۴-۱-۸- ارزیابی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

ارزیابی مربوط به نیروی اینرسی و پاسخ تغییر مکان تکیه‌گاه لوله با استفاده از عکس‌العمل به‌دست آمده از محاسبات پاسخ مربوط به مدهای خرابی زیر از ۱ تا ۴، در تکیه‌گاه لوله، انجام می‌شود.

۱- تغییر شکل پلاستیک تکیه‌گاه لوله

۲- ترک تکیه‌گاه لوله

۳- حد تغییر مکان تکیه‌گاه لوله

۴- حد کمانش تکیه‌گاه لوله

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله در بند (۱۴-۷) پیوست نشان داده شده است.



### ۵-۴-۲- ارزیابی طراحی لرزه‌ای به جابه‌جایی زمین

#### ۵-۴-۲-۱- طراحی سیستم لوله‌کشی ناشی از جابه‌جایی پی در اثر جابه‌جایی زمین

برای سیستم لوله‌کشی نصب شده بر زمینی که احتمال روانگرایی در آن وجود دارد، باید با استفاده از پی مشترک، از اثرات جابه‌جایی نسبی پی‌های منفرد در اثر جابه‌جایی زمین، جلوگیری کرد. اگر غیر قابل نفوذ بودن گاز فشار قوی با وجود انعطاف‌پذیری کافی در لوله‌کشی تأیید شود، نیازی به این مورد نیست.

در مواردی که پی دچار جابه‌جایی می‌شود (نشست و تغییر مکان افقی ناشی از روانگرایی)، تغییر مکان نسبی رخ داده و بار وارد بر نقاط تکیه‌گاهی لوله بیشتر از ظرفیت پی‌های مختلف می‌گردد. البته با وجود این بار اضافی لوله باید عملکرد خود را برای غیر قابل نفوذ بودن گاز فشار قوی حفظ کند. تحقیقات در مورد جابه‌جایی پی ناشی از جابه‌جایی زمین به صورت پویا ادامه داشته و در حال حاضر به سختی می‌توان گفت یک روش ارزیابی به اثبات رسیده است. برای حفظ قابلیت اطمینان طراحی، این یک اصل است که طراحی سازه به صورتی انجام شود که به‌جای به‌کارگیری پی‌های مختلف برای تکیه‌گاه لوله با استفاده از پی مشترک، تغییر مکان نسبی اضافی به لوله‌کشی تحمیل نشود.

در مواردی که انجام چنین اقداماتی مشکل است، لازم است لوله‌کشی انعطاف‌پذیر باشد تا بتواند غیر قابل نفوذ بودن گاز فشار قوی را در تغییر مکان نسبی حفظ کند. محاسبه تغییر مکان نسبی نقاط تکیه‌گاهی لوله ناشی از تغییر مکان زمین به صورت مناسب با رجوع به پیشنهادات یا نتایج تحقیقات مربوط به جابه‌جایی پی ناشی از جابه‌جایی زمین انجام می‌شود. مراحل طراحی پس از تخمین جابه‌جایی پی در ادامه توضیح داده می‌شود، در بند (۱۵) پیوست روش تأمین انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی و مراحل طراحی لرزه‌ای شرح داده می‌شود.

#### ۵-۴-۲-۲- جابه‌جایی پی ناشی از جابه‌جایی زمین

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای پی در برابر حرکت زمین برای حداکثر جابه‌جایی نسبی بین پی‌های وابسته به جابه‌جایی پی مورد نظر به صورت زیر اعمال می‌شود.

- نشست یکنواخت پی ناشی از روانگرایی زمین و جریان خاک روانگرا شده
- نشست غیر یکنواخت پی ناشی از روانگرایی زمین و جریان خاک روانگرا شده
- تغییر مکان جانبی پی ناشی از جریان ناشی از روانگرایی

مقدار تغییر مکان و تغییر مکان نسبی بین پی‌ها ناشی از جابه‌جایی زمین در بند (۱۶) پیوست تشریح شده‌اند. اگرچه تغییر مکان پی ناشی از جابه‌جایی زمین با استفاده از نتایج زلزله‌های گذشته یا تکنیک تحلیل عددی به دست می‌آید.

#### ۵-۴-۲-۳- روش تحلیل پاسخ

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تحت جابه‌جایی زمین با استفاده از روش انرژی یا روش تحلیل خطی معادل یا روش تحلیل پاسخ غیرخطی یا ترکیب آنها انجام می‌شود. در چنین مواردی برای خم لوله رابطه تنش کرنش غیر خطی فرض شده و برای سایر انواع لوله می‌تواند خطی باشد. اگرچه در خم لوله می‌توان پاسخ خطی را با استفاده از ضریب انعطاف‌پذیری مناسب اصلاح شده در

تغییر شکل پلاستیک محاسبه کرد.  
ضریب انعطاف‌پذیری خم لوله در تحلیل لوله‌کشی برای جابه‌جایی پی و مراحل تحلیل با استفاده از ضریب انعطاف‌پذیری در بند ۱۵ پیوست آورده شده‌اند.

#### ۵-۴-۲-۴-مد خرابی

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مد خرابی ۱ تا ۸ برای جابه‌جایی زمین ناشی از روانگرایی انجام می‌شود.

۱- تغییر شکل پلاستیک خم لوله

۲- ترک در محدوده انشعاب

۳- ترک لوله‌کشی در تکیه‌گاه لوله

۴- تغییر شکل موجی لوله

۵- خرابی افشانه تأسیسات طراحی لرزه‌ای شده

۶- خرابی اتصال انبساطی

۷- نشت گاز فشار بالا از اتصال فلنجی

۸- خرابی تکیه‌گاه لوله

جابجایی ماندگار زمین یک تغییر مکان استاتیکی یکطرفه است که به لوله وارد شده و ماهیت سیکی ندارد.  
ضریب شکل‌پذیری مجاز برای اثر نیروی اینرسی ناشی از رفتار دینامیکی ۲ درصد است در حالیکه برای اثر جابجایی ماندگار زمین ۵ درصد می‌باشد.

#### ۵-۴-۲-۵-ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی

با محاسبه فشار سیال، وزن بهره‌برداری، تنش طولی ناشی از نیروی زلزله و محدوده تنش تکرار شونده ناشی از نیروی زلزله و با در نظر گرفتن ترکیب بار لوله‌کشی و جهت زلزله، ضریب شکل‌پذیری باید در محدوده ضریب شکل‌پذیری مجاز باشد.  
در این موارد، ممکن است از ارزیابی مربوط به مد خرابی خم لوله یا لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم استفاده شود.

ضریب شکل‌پذیری مجاز لوله‌کشی در کرنش پلاستیک معادل بیان شده و برای جابه‌جایی زمین در حرکت لرزه‌ای طراحی برابر ۵٪ فرض می‌شود. در این موارد، ممکن است از ارزیابی موارد ۱ یا ۲ استفاده شود.

۱- ارزیابی مد خرابی خم لوله

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای خم لوله به این صورت انجام می‌شود که زاویه انحنا  $\theta_a$  خم لوله نباید از زاویه مجاز در محلی که ارزیابی با استفاده از ضریب شکل‌پذیری انجام می‌شود، تجاوز نماید. در اینجا زاویه مجاز  $\theta_a$  خم لوله برابر زاویه انحنا خم لوله مطابق با حداکثر کرنش پلاستیک معادل ۵٪ فرض می‌شود.

۲- ارزیابی مد خرابی لوله انشعابی، مستقیم و سایر لوله‌ها

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لوله انشعابی، مستقیم یا سایر لوله‌ها به این صورت انجام می‌شود که تنش ظاهری محاسبه شده باید برابر یا کمتر از تنش مجاز  $4S_y$  برای طراحی لرزه‌ای در محلی که ارزیابی توسط ضریب شکل‌پذیری انجام می‌شود، باشد. جزئیات زاویه مجاز خم لوله در بند ۱۸ پیوست نشان داده می‌شود.

#### ۵-۴-۲-۶- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی

هنگامی که نیروی کششی در راستای محوری  $F$  و لنگر خمشی  $M$  بر اتصال فلنجی اعمال می‌شوند، ارزیابی نشت بر اساس بند ۱-۵ انجام شود. مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی در بند (۷) پیوست نشان داده شده است.

#### ۵-۴-۲-۷- ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی

تغییر مکان نسبی دو انتهای اتصال انبساطی باید کمتر از تغییر مکان نسبی مجاز مربوط به ده بار تکرار در اتصال انبساطی باشد. در چنین مواردی، ارزیابی جابه‌جایی زمین می‌تواند به صورت مجزا از ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ انجام شود. علاوه بر این، در جایی که نمی‌توان جابه‌جایی نسبی را برای اتصال انبساطی انتظار داشت، اتصال انبساطی باید مقاومت کافی برای عکس‌العمل به‌دست آمده از محاسبات پاسخ را داشته باشد. جزئیات مراحل تخمین در بند (۲۰) پیوست نشان داده شده است.

#### ۵-۴-۲-۸- ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

لنگر خمشی، لنگر پیچشی و کشش محوری اعمالی بر افشانه باید کمتر از مقادیر مجاز باشد. جزئیات مراحل ارزیابی مربوط به جابه‌جایی زمین افشانه برج‌ها و مخازن در بند (۲۱) پیوست ارائه شده است.

#### ۵-۴-۲-۹- ارزیابی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

ارزیابی تغییر مکان زمین (جابه‌جایی زمین) تکیه‌گاه لوله برای عکس‌العمل تکیه‌گاه لوله به‌دست آمده از محاسبات پاسخ مربوط به مدهای خرابی (الف) تا (د) انجام می‌شود. در چنین مواردی ارزیابی می‌تواند به صورت مجزا برای ارزیابی مربوط به نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ انجام شود.

(الف) تغییر شکل پلاستیک تکیه‌گاه لوله  
 (ب) حد تغییر مکان تکیه‌گاه لوله  
 (ج) بار رهایی تکیه‌گاه آزاد  
 (د) حد کمانش تکیه‌گاه لوله

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه در بند (۲۲) پیوست ارائه شده است.

# فصل ۶

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

مخزن افقی



## ۶-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای مخزن افقی

هنگامی که از زلزله سطح خطر-۱ استفاده می‌شود، روش تنش مجاز و هنگامی که از زلزله سطح خطر-۲ استفاده می‌شود، روش شکل‌پذیر به کار رود. تأسیسات هدف طراحی لرزه‌ای، مخازن افقی هستند که گنجایش آن‌ها از نظر جرم بیش از ۳ تن یا از نظر حجم بیش از ۳۰۰ مترمکعب می‌باشد.

برای مخازن گازهای مایع معیار وزنی و برای گازهای بخار مانند تحت فشار معیار حجم استفاده می‌شود.

## ۶-۲- طراحی به روش تنش مجاز

### ۶-۲-۱- روش تحلیل پاسخ

بر اساس اندازه و پیوند طبیعی مخزن افقی، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای با استفاده از روش شبه استاتیکی، روش شبه استاتیکی اصلاح شده یا روش‌های تحلیل مودال انجام شود.

### ۶-۲-۱-۱- روش شبه استاتیکی

روش شبه استاتیکی را می‌توان برای مخزن با درجه اهمیت متوسط و کم و وزن ذخیره کمتر از ۱۰۰ تن به کار برد.

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (۱-۶)$$

$K_{SH}$ : ضریب زلزله افقی طراحی

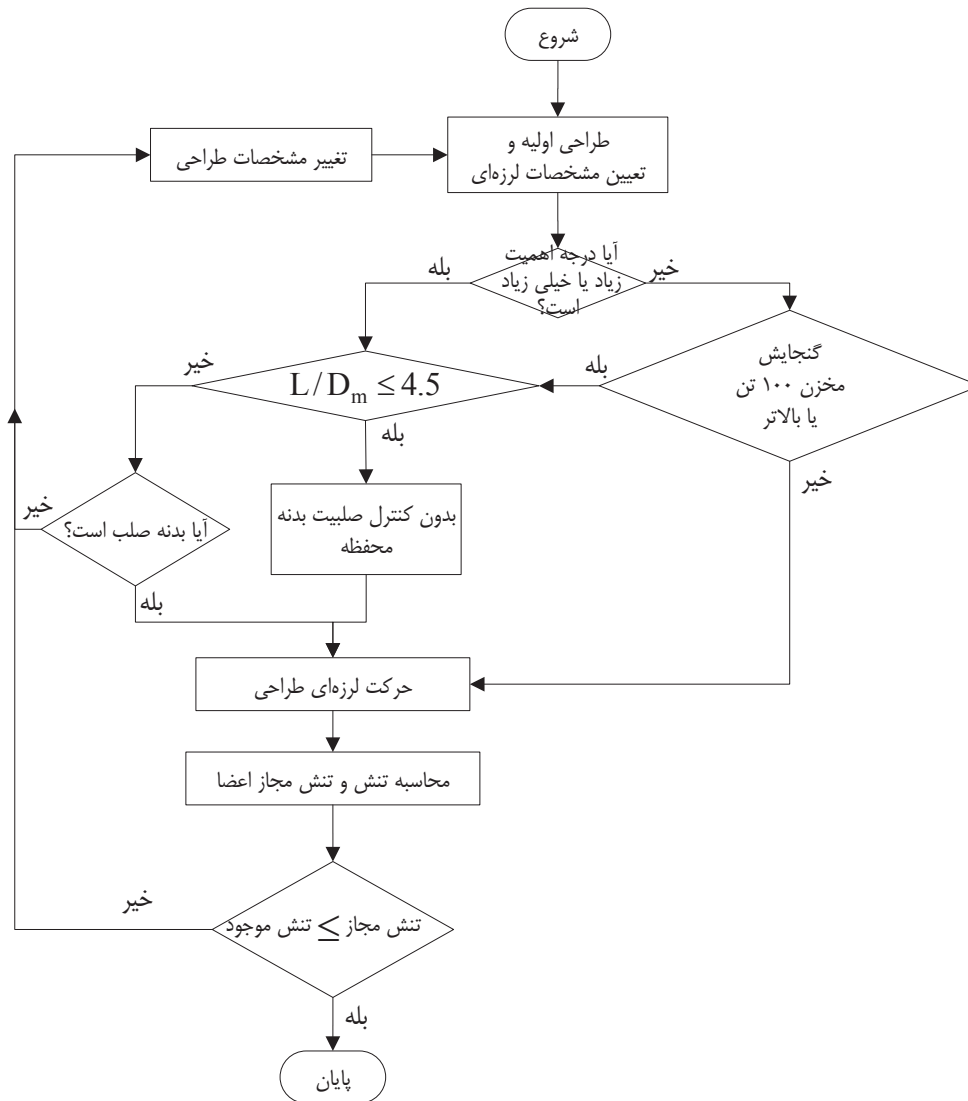
$K_H$ : شدت لرزه افقی در سطح

نیروی زلزله افقی از رابطه (۲-۶) محاسبه می‌شود:

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \quad (۲-۶)$$

$F_{SH}$ : نیروی زلزله افقی استاتیکی طراحی (N)

$W_H$ : مجموع وزن خود مخزن و وزن سیال



شکل ۶-۱ روند طراحی روش تنش مجاز

## ۶-۲-۱-۲- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

۱- پریود طبیعی مخزن افقی

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_0}{Kg}} \quad (۳-۶)$$

T: پریود طبیعی (s)

g: شتاب ثقل ( $\text{mm/s}^2$ ) $W_0$ : وزن بهره‌برداری (N)، مجموع وزن خود محفظه و وزن سیالK: صلبیت افقی مخزن افقی به‌دست آمده از رابطه (۴-۶) ( $\text{N/mm}$ )

$$K = \frac{1}{\frac{\lambda}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \quad (۴-۶)$$

 $K_1, K_2$ : مقادیر به‌دست آمده از روابط (۵-۶)، (۶-۶) و (۷-۶) ( $\text{N/mm}$ )

$$K_1 = \frac{3n_1EA_1D_1^2}{2H_1^3} \quad (۵-۶)$$

$$K_2 = \frac{n_1K_C}{1 + \frac{H_1K_C}{E_GA_1}} \quad (۶-۶)$$

$$K_c = \frac{4E(I_1 + I_2)}{H_1^3} \quad (۷-۶)$$

 $n_1$  و  $H_1$ : طول پایه (mm) و تعداد پایه‌هاE: مدول الاستیسیته طولی مصالح پایه ( $\text{N/mm}^2$ ) $E_G$ : مدول الاستیسیته عرضی مصالح پایه ( $\text{N/mm}^2$ ) $A_1$ : سطح مقطع پایه ( $\text{mm}^2$ ) $D_1$ : قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز پایه‌ها (mm) $I_1$ : ممان اینرسی پایه نسبت به راستای محیطی (ممان اینرسی مقطع طولی (مستطیل)) ( $\text{mm}^4$ ) $I_2$ : ممان اینرسی پایه در راستای شعاعی (ممان اینرسی مقطع عرضی (دایره)) ( $\text{mm}^4$ ) $\lambda$ : مقدار محاسبه شده از رابطه (۸-۶)

$$\lambda = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 - \frac{H_2}{H_1} + 4 \quad (۸-۶)$$

 $H_2$ : ارتفاع مرکز ثقل از صفحه پایه (mm)

۲- نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی

$$F_{MH} = K_{MH} W_H \quad (۹-۶)$$



$$F_{MV} = K_{MV} W_v \quad (۱۰-۶)$$

$F_{MH}$ : نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی (N)

$F_{MV}$ : نیروی زلزله قائم اصلاح شده طراحی (N)

$W_v$ : مجموع وزن سازه و وزن سیال اعمال شده به نقطه‌ای که طراحی برای آن انجام می‌شود.

### ۶-۲-۲- محاسبه تنش

تنش مخازن افقی (محدود به دو نقطه تکیه‌گاهی) از روابط زیر به دست می‌آید. زمانی که صفحه‌های برشی (سخت کننده‌ها) نصب می‌شوند، نیازی به محاسبه تنش برشی پیچ مهراری نیست.

۱- تنش پوسته در محل اتصال به نشیمن

۱-۱- تنش کششی

$$\sigma_t = \frac{P_0 D_m}{4t} + \frac{M_{LS}}{Z_s} \quad (۱۱-۶)$$

$\sigma_t$ : تنش کششی پوسته در محل اتصال به نشیمن ( $N/mm^2$ )

$t$ : ضخامت پوسته (به استثنای مقدار مجاز خوردگی) (mm)

$P_0$ : فشار طراحی ( $N/cm^2$ )

$D_m$ : قطر متوسط پوسته (mm)

$M_{LS}$ : لنگر خمشی پوسته در محل اتصال به نشیمن محاسبه شده از رابطه (۱۲-۶) ( $N.mm$ )

$$M_{LS} = Q \left\{ a - \frac{6a(L-a) + 3(R_m^2 - H_{00}^2)}{2(3L + 4H_{00})} \right\} \quad (۱۲-۶)$$

$Q$ : نیروی عکس‌العمل پوسته از نشیمن، محاسبه شده از رابطه (۱۳-۶) (N)

$$Q = \frac{W_v + F_v}{2} + F_{ev} \quad (۱۳-۶)$$

$W_v$ : وزن بهره‌برداری (N)

$F_v$ : نیروی زلزله قائم طراحی (N)

$F_{ev}$ : بزرگ‌ترین مقدار محاسبه شده از روابط (۱۴-۶) و (۱۵-۶) (N)

$$F_{VX} = \frac{F_H H_v}{L_s} \quad (۱۴-۶)$$

$$F_{VY} = \frac{3F_H H_v}{4b} \quad (۱۵-۶)$$

$F_{VX}$ : بار قائم معادل نیروی زلزله افقی طراحی اعمالی در راستای محوری (N)

$F_{VY}$ : بار قائم معادل نیروی زلزله افقی طراحی اعمالی در راستای عمود بر محور (N)

$L_s$ : گام نشیمن نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$F_H$ : نیروی زلزله افقی طراحی (N)

$H_V$ : ارتفاع مخزن بین مرکز پوسته و صفحه پایه نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$b$ : عرض نشیمن نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$a$ : فاصله بین مرکز نشیمن و خط مماسی پوسته نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$L$ : طول پوسته در راستای محوری نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$H_{00}$ : ارتفاع هد نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$R_m$ : شعاع متوسط نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$Z_S$ : مدول مقطع پوسته در محل اتصال به نشیمن به دست آمده از رابطه (۱۶-۶) ( $\text{mm}^3$ )

الف) هنگامی که پوسته با هد (محدود به مواردی که در آن‌ها  $a/R_m \leq 0.5$ ) یا حلقه سخت کننده مسلح شده باشد.

$$Z_S = \pi R_m^2 t$$

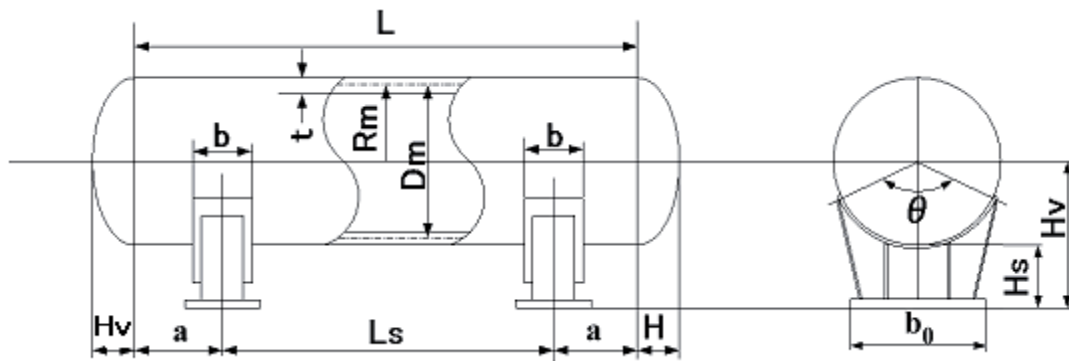
(۱۶-۶)

ب) سایر موارد

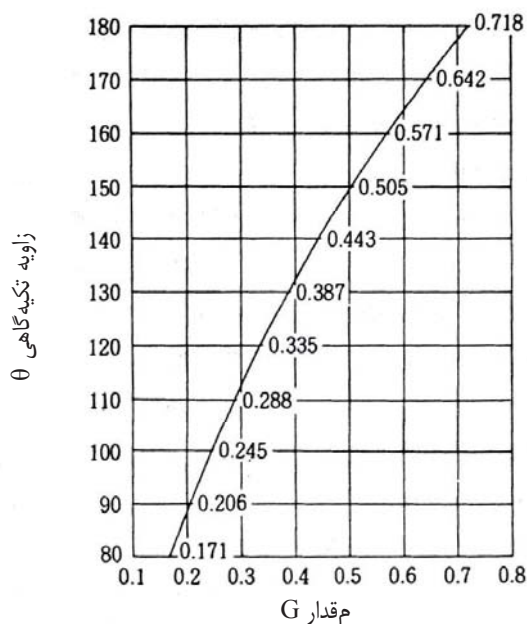
$$Z_S = GR_m^2 t$$

(۱۷-۶)

$G$ : مقدار به دست آمده از زاویه تکیه‌گاهی  $\theta$ ، نشان داده شده در شکل‌های (۲-۶) و (۳-۶).



شکل ۲-۶ پیکربندی فرضی مخزن افقی



شکل ۶-۳: زاویه تکیه گاهی و مقدار G

۲-۱- تنش فشاری

$$\sigma_c = \frac{K_1 Q}{(b + 1.56\sqrt{R_m t})t} \quad (۱۸-۶)$$

$\sigma_c$ : تنش فشاری پوسته در محل اتصال به نشیمن ( $N/mm^2$ )

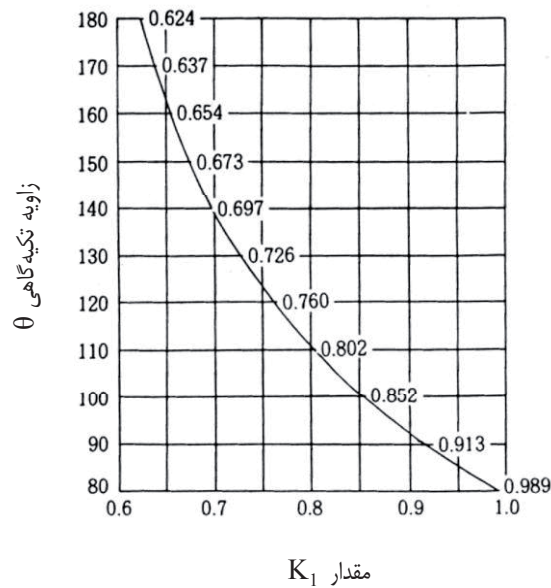
b: عرض نشیمن نشان داده شده در شکل (۴-۶) (mm)

t: توضیح داده شده در روابط پیشین، اما اگر عرض صفحه مسلح کننده بیشتر از مقدار محاسبه شده از رابطه

(۱۹-۶) باشد، می توان از ضخامت کلی پوسته و صفحه مسلح کننده استفاده نمود.

$$b + 1.56\sqrt{R_m t} \quad (۱۹-۶)$$

$K_1$ : مقداری که با استفاده از شکل (۴-۶) و بر حسب زاویه تکیه گاهی نشیمن  $\theta$  به دست می آید.

شکل ۶-۴ زاویه تکیه‌گاهی و مقدار  $K_1$ 

۲- تنش محوری مرکز پوسته

۱-۲- تنش کششی

$$\sigma_t = \frac{P_0 D_m}{4t} + \frac{M_{LC}}{Z_c} \quad (20-6)$$

 $\sigma_t$ : تنش کششی مرکز پوسته ( $N/mm^2$ ) $M_{LC}$ : لنگر خمشی مرکز پوسته محاسبه شده از رابطه (۲۱-۶) ( $N.mm$ )

$$M_{LC} = Q \left\{ \frac{3L^2 + 6(R_m^2 - H^2)}{4(3L + 4H)} - a \right\} \quad (21-6)$$

 $Z_c$ : مدول مقطع در مرکز پوسته محاسبه شده از رابطه (۲۲-۶) ( $mm^3$ )

$$Z_c = \pi R_m^2 t \quad (22-6)$$

۲-۲- تنش فشاری

$$\sigma_{bs} = \frac{M_{LC}}{Z_c} \quad (23-6)$$

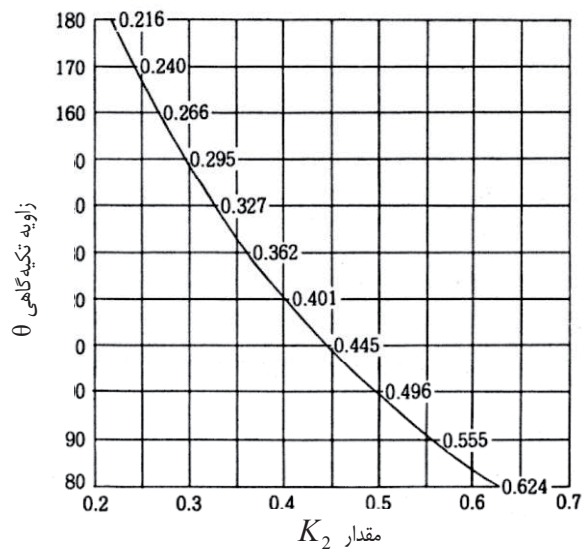
 $\sigma_{bs}$ : تنش فشاری در مرکز پوسته ( $N/mm^2$ )

تنش هد (مواردی که در آن‌ها پوسته توسط هد مسلح شده است)

$$\sigma_t = \frac{K_2 Q}{R_m t_h} + \sigma' \quad (24-6)$$

 $\sigma_t$ : تنش کششی هد ( $N/mm^2$ ) $t_h$ : ضخامت هد (به استثنای مقدار مجاز خوردگی) ( $mm$ )

$K_2$ : مقدار به دست آمده از زاویه تکیه‌گاهی  $\theta$  در شکل (۵-۶)



شکل ۵-۶ زاویه تکیه‌گاهی و مقدار  $K_2$

$\sigma'$ : تنش کششی هد در اثر فشار داخلی، محاسبه شده از روابط جدول (۱-۶) در رابطه با شکل هندسی ( $N/mm^2$ )

جدول ۱-۶ روابط برای محاسبه  $\sigma'$

$\sigma'$	شکل هندسی هد
$\frac{P_0 D_h}{2t_h} \cdot \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left( \frac{D_h}{2h_{ma}} \right)^2 \right\}$	هد نیمه بیضوی
$\frac{P_0 D_h}{4t_h}$	هد نیم کروی
$\frac{P_0 D_m}{4t_h} \cdot \frac{1}{4} \left\{ 3 + \sqrt{\frac{R_m}{r_k}} \right\}$	هد مقعر

$D_h$ : قطر داخلی بزرگ‌تر هد نیمه بیضوی، قطر داخلی هد نیم‌کروی و شعاع تاج هد مقعر (به استثنای مقدار مجاز

خوردگی (mm))

$h_{ma}$ : نصف محور داخلی کوچک‌تر (به استثنای مقدار مجاز خوردگی (mm))

$r_k$ : شعاع داخلی کمر بند مهار (mm)

۳- تنش نشیمن

۳-۱- در مواردی که یک سمت نشیمن ثابت شده است.

$$\sigma_c = \frac{W_V + F_V}{2A_{SD}} + \frac{\{2F_H - 0.1(W_V + F_V)\}H_S}{2Z_{SD}} + \frac{F_H H_V}{A_{SD} L_S} \quad (۲۵-۶)$$

۳-۲- در مواردی که هر دو سمت نشیمن ثابت شده است.

$$\sigma_c = \frac{W_v + F_v}{2A_{SD}} + \frac{F_H H_S}{2Z_{SD}} + \frac{F_H H_V}{A_{SD} L_S} \quad (۲۶-۶)$$

$\sigma_c$ : تنش فشاری نشیمن ( $N/mm^2$ )

$A_{SD}$ : سطح مقطع مؤثر نشیمن ( $mm^2$ )

$Z_{SD}$ : مدول مقطع مؤثر نشیمن ( $mm^3$ )

$H_S$ : ارتفاع از صفحه پایه تا سطح پایینی نشیمن (mm)

۴- تنش پیچ مهراری

۴-۱- تنش کششی

$$\sigma_t = \frac{F_H H_V}{n_{abs} A_b C_b} - \frac{W_v - F_v}{2n_{abs} A_b} \quad (۲۷-۶)$$

$\sigma_t$ : تنش کششی پیچ مهرار ( $N/mm^2$ )

$A_b$ : سطح مقطع مؤثر پیچ مهرار ( $mm^2$ )

$C_b$ : فاصله پیچ‌های مهراری مماس با محور محفظه (mm)

$n_{abs}$ : تعداد پیچ‌های مهرار هر نشیمن

۴-۲- تنش برشی

الف) در مواردی که یک سمت نشیمن ثابت شده‌است:

$$\tau = \frac{F_H - 0.2(W_v - F_v)}{n_{abf} A_b} \quad (۲۸-۶)$$

ب) در مواردی که هر دو سمت نشیمن ثابت شده‌است.

$$\tau = \frac{F_H - 0.3(W_v - F_v)}{2n_{abf} A_b} \quad (۲۹-۶)$$

$\tau$ : تنش برشی پیچ مهراری برای نشیمن ثابت شده ( $N/mm^2$ )

$n_{abf}$ : تعداد پیچ‌های مهراری هر کناره ثابت شده

۵- تنش صفحه برشی

۵-۱- تنش خمشی

$$\sigma_b = \frac{3h_{sa}^2 \sigma_{CP}}{t_{sa}^2} \quad (۳۰-۶)$$

$\sigma_b$ : تنش خمشی صفحه برشی ( $N/mm^2$ )

$t_{sa}$ : ضخامت صفحه برشی (mm)

$h_{sa}$ : ارتفاع صفحه برشی (mm)

$\sigma_{CP}$ : تنش فشاری صفحه برشی در اثر نیروی فشاری بتن نشان داده شده در جدول (۲-۶) در راستای نیروی زلزله

( $N/mm^2$ )

جدول ۲-۶ رابطه‌های  $\sigma_{CP}$ 

$\sigma_{CP}$	راستای نیروی زلزله
$\frac{F_H}{b_y h_{sa}}$	محور پوسته
$\frac{F_H}{b_x h_{sa}}$	عمود بر محور پوسته

$b_y$ : طول صفحه برشی در راستای محور پوسته (mm)

$b_x$ : طول صفحه برشی در راستای عمود بر محور پوسته (mm)

۲-۵- تنش برشی

مقدار آن با استفاده از رابطه‌های جدول (۳-۶) و با توجه به راستای نیروی زلزله محاسبه شود.

جدول ۳-۶ راستای نیروی زلزله و تنش برشی

$\tau$	راستای نیروی زلزله
$\frac{F_H}{b_y t_{sa}}$	محور پوسته هم‌راستای
$\frac{F_H}{b_x t_{sa}}$	عمود بر محور پوسته

$\tau$ : تنش برشی صفحه برشی ( $N/mm^2$ )

موقعیت‌هایی که در آن‌ها تنش مخزن افقی با دو نقطه تکیه‌گاهی محاسبه می‌شود در جدول (۴-۶) آمده‌اند.

جدول ۴-۶ نقاط مشخص شده

نوع تنش				بخشی که تنش آن تعیین می‌شود
کماتش	فشار	خمشی	کشش	
○	○			تنش پوسته متصل به نشیمن
○	○			تنش محوری مرکز پوسته
				تنش هد $A/Rm < 0.5$
○	○			نشیمن
			○	پیچ مهار
		○	یکی از این دو ○	صفحه برشی

## ۶-۲-۳- تنش مجاز

تنش مجاز برای اعضای مقاوم در برابر فشار و اعضای تکیه‌گاهی تعیین می‌شود.

## ۶-۲-۴- معیارهای پذیرش

همه تنش‌های محاسبه شده باید کمتر از تنش‌های مجاز باشد.

## ۶-۳- طراحی شکل‌پذیر

## ۶-۳-۱- مد خرابی

ارزیابی لرزه‌ای توسط طراحی شکل‌پذیر باید برای مدهای زیر انجام شود.

## ۱- شکست پوسته

- تسلیم یا کمناش ناشی از تنش فشاری، تسلیم کششی در محل اتصال به نشیمن

- تسلیم یا کمناش ناشی از تنش فشاری، تسلیم کششی در مرکز پوسته

- تسلیم کششی هد

## ۲- شکست تکیه‌گاه پایینی

- تسلیم فشاری

## ۳- شکست پیچ مهر

- تسلیم کششی

- تسلیم برشی

- ترکیب تنش کششی و برشی

## ۴- شکست صفحه برشی

- تسلیم خمشی

- تسلیم برشی

- ترکیب تنش خمشی و برشی



## ۶-۳-۲- ضریب زلزله تسلیم

ضریب زلزله تسلیم باید برای هر مد خرابی محاسبه شود.

۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد خرابی پوسته

۱-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی در محل اتصال به نشیمن

$$K_{yIS} = K_{MH} \frac{S_y - (\sigma_{ps} + \sigma_{tISO})}{\sigma_{tSE}} \quad (31-6)$$

$K_{yIS}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی در محل اتصال به نشیمن

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی برای محل اتصال به نشیمن

$S_y$ : تنش تسلیم یا تنش متناظر با کرنش ۰/۲٪ از آزمایش فولاد صفحه پوسته در دمای طراحی ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{ps}$ : تنش کششی صفحه پوسته ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{ps} = \frac{P_0 D_m}{4t} \quad (32-6)$$

$t$ : ضخامت صفحه پوسته (به استثنای مقدار مجاز خوردگی، (mm))

$P_0$ : فشار طراحی (MPa)

$\sigma_{tISO}$ : تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tISO} = \frac{C_{LS} W_V}{2Z_S} \quad (33-6)$$

$$C_{LS} = a - \frac{6a(L-a) + 3(R_m^2 - H_{00}^2)}{2(3L + 4H_{00})} \quad (34-6)$$

$a$ : فاصله بین مرکز نشیمن و خط مماسی پوسته نشان داده شده در شکل زیر (mm)

$Z_S$ : مدول مقطع پوسته در محل اتصال به نشیمن به دست آمده از روابط زیر ( $mm^3$ )

الف) زمانی که پوسته با هد (محدود به مواردی که در آن‌ها  $a/R_m \leq 0.5$ ) یا حلقه سخت کننده مسلح شده باشد.

$$Z_S = \pi R_m^2 t \quad (35-6)$$

ب) سایر موارد

$$Z_S = GR_m^2 t \quad (36-6)$$

$G$ : مقدار ضریب به دست آمده از زاویه تکیه‌گاهی،  $\theta$  نشان داده شده در شکل (۳-۶)

$\sigma_{tSE}$ : تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار زلزله

$$\sigma_{tSE} = \frac{C_{LS}}{Z_S} \left( \frac{F_V}{2} + F_{ev} \right) \quad (37-6)$$

$$F_V = K_{MV} W_V \quad (38-6)$$

$K_{MV}$ : ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی

$W_V$ : وزن بهره‌برداری (N)

$$F_{ev} = \max\left(F_{HX} \frac{H_V}{L_S}, F_{HY} \frac{3H_V}{4b}\right) \quad (۳۹-۶)$$

$F_{HX}$ : نیروی زلزله افقی طراحی در راستای محوری (N)

$F_{HY}$ : نیروی زلزله افقی طراحی در راستای عمود بر محور (N)

$H_V$ : ارتفاع محفظه بین مرکز پوسته و صفحه پایه (mm)

$b$ : عرض نشیمن نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

$L_S$ : گام نشیمن نشان داده شده در شکل (۲-۶) (mm)

۲-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به کمانش یا تسلیم در محل اتصال به نشیمن

$$K_{yCS} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{cSO}}{\sigma_{cSE}} \quad (۴۰-۶)$$

$K_{yCS}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تنش فشاری

$$S_c = \min(S_y, S_f S') \quad (۴۱-۶)$$

$S_y$ : مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ از آزمایش فولاد صفحه پوسته در دمای طراحی

(N/mm<sup>2</sup>)

۱/۵:  $S_f$

$$S' = \frac{0.6Et}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S_y}\right) D_m} \quad (۴۲-۶)$$

$E$ : مدول الاستیسیته طولی (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_{cSO}$ : تنش فشاری صفحه پوسته ناشی از بار نرمال بهره‌برداری (N/mm<sup>2</sup>):

$$\sigma_{cSO} = \frac{W_v}{2C_{K1}} \quad (۴۳-۶)$$

$$C_{K1} = \frac{(b + 1.56\sqrt{R_m t})t}{K_1} \quad (۴۴-۶)$$

$t$ : در روابط پیشین توضیح داده شده است. اما اگر عرض صفحه مسلح‌کننده بیشتر از مقدار محاسبه شده از رابطه

(۴۵-۶) باشد، می‌توان از ضخامت کلی پوسته و صفحه مسلح‌کننده استفاده کرد.

$$b + 1.56\sqrt{R_m t} \quad (۴۵-۶)$$

$b$ : عرض نشیمن (mm)

$K_1$ : مقداری که با استفاده از شکل (۴-۶) بر حسب زاویه تکیه‌گاهی نشیمن  $\theta$  به دست می‌آید.

$\sigma_{cSE}$ : تنش فشاری صفحه پوسته ناشی از بار زلزله (N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{cSE} = \frac{1}{C_{K1}} \left( \frac{F_V}{2} + F_{ev} \right) \quad (۴۶-۶)$$

در روابط فوق  $K_{MH}, F_V, W_V, D_m, R_m, F_{ev}$ : همان تعاریف روابط پیشین

۳-۱- ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم کششی در مرکز پوسته

$$K_{ytc} = K_{MH} \frac{S_y - (\sigma_{ps} + \sigma_{tCO})}{\sigma_{tCE}} \quad (۴۷-۶)$$

$\sigma_{tCE}$ : تنش کششی صفحه پوسته ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tCE} = \frac{C_{LC}}{Z_C} \left( \frac{F_V}{2} + F_{ev} \right) \quad (۴۸-۶)$$

$$C_{LC} = \frac{3L^2 + 6(R_m^2 - H^2)}{4(3L + 4H)} - a \quad (۴۹-۶)$$

۴-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به کمانش یا تسلیم در مرکز پوسته

$$K_{ycC} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{tCO}}{\sigma_{tCE}} \quad (۵۰-۶)$$

۵-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی هد (محدود به مواردی که پوسته توسط هد مسلح شده است)

$$K_{ytK} = K_{MH} \frac{S_y - (\sigma_{tKO} + \sigma_{ph})}{\sigma_{tKE}} \quad (۵۱-۶)$$

$S_y$ : مقاومت تسلیم یا ۰/۲٪ مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ از آزمایش فولاد صفحه پوسته در دمای طراحی ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{tKO}$ : تنش کششی هد ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tKO} = \frac{W_v}{2C_{K2}} \quad (۵۲-۶)$$

$t_n$ : ضخامت صفحه (به استثنای مقدار مجاز خوردگی، mm)

$K_2$ : مقدار به دست آمده از زاویه تکیه‌گاهی  $\theta$  و شکل (۵-۶)

$$\sigma_{tKE} = \frac{1}{C_{K2}} \left( \frac{F_V}{2} + F_{ev} \right) \quad (۵۳-۶)$$

$C_{K2}$ : مانند  $C_{K1}$  و با استفاده از  $K_2$  تعیین می‌گردد

$\sigma_{tKE}$ : تنش کششی هد ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )

۲- ضریب زلزله تسلیم مربوط به خرابی نشیمن

۲-۱- مواردی که یک وجه ثابت شده و وجه دیگر ثابت نشده است.

$$K_{ycD} = K_{MH} \frac{F - (\sigma_{cDO} - \sigma_{bDO})}{\sigma_{cDE} + \sigma_{bDE}} \quad (۵۴-۶)$$

$K_{ycD}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم فشاری نشیمن

$F$ : مقاومت تسلیم یا ۰/۲٪ مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ از آزمایش فولاد مصالح نشیمن ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{cDO}$ : تنش فشاری نشیمن ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cDO} = \frac{W_v}{2A_{SD}} \quad (۵۵-۶)$$

$A_{SD}$ : سطح مقطع مؤثر نشیمن ( $\text{mm}^2$ )

$\sigma_{bDO}$ : تنش خمشی نشیمن ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bDO} = \frac{0.1W_V H_S}{2Z_{SD}} \quad (56-6)$$

$Z_{SD}$ : مدول مقطع مؤثر نشیمن ( $\text{mm}^3$ )

$H_S$ : ارتفاع از صفحه پایه تا سطح پایینی نشیمن ( $\text{mm}$ )

$\sigma_{cDE}$ : تنش فشاری نشیمن ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{cDE} = \frac{F_V + 2F_H \left( \frac{H_V}{L_S} \right)}{2A_{SD}} \quad (57-6)$$

$\sigma_{bDE}$ : تنش خمشی نشیمن ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bDE} = \frac{(2F_H - 0.1F_V)H_S}{2Z_{SD}} \quad (58-6)$$

۲-۲- مواردی که هر دو وجه ثابت شده‌اند.

$$K_{YCD} = K_{MH} \frac{F - \sigma_{cDO}}{\sigma_{cDE} + \sigma_{bDE}} \quad (59-6)$$

$K_{yCD}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم فشاری نشیمن

$\sigma_{bDE}$ : تنش خمشی نشیمن ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{bDE} = \frac{F_H H_S}{2Z_{SD}} \quad (60-6)$$

۳- ضریب زلزله تسلیم مربوط به خرابی پیچ مهار

۱-۳- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار

$$K_{yTB} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{tBO}}{\sigma_{tBE}} \quad (61-6)$$

$K_{yTB}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار

$F$ : مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ از آزمایش فولاد مصالح پیچ مهار ( $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_{tBO}$ : تنش فشاری پیچ مهار ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tBO} = \frac{W_V}{2n_{abs}A_b} \quad (62-6)$$

$n_{abs}$ : تعداد پیچ‌های مهار هر نشیمن

$A_b$ : سطح مقطع مؤثر پیچ مهار ( $\text{mm}^2$ )

$\sigma_{tBE}$ : تنش کششی پیچ مهار ناشی از بار زلزله ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\sigma_{tBE} = \frac{1}{nA_b} \left( \frac{F_H H_V}{C_b} + \frac{F_V}{2} \right) \quad (63-6)$$

$C_b$ : فاصله بین پیچ مهارها در راستای عمود بر محور مخزن (mm)

۳-۲- ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی پیچ مهار

الف) مواردی که یک وجه نشیمن ثابت شده است.

$$K_{ysB} = K_{MH} \frac{\frac{F}{\sqrt{3}} + 0.4\sigma_{tBO}}{\tau_{BE}} \quad (۶۴-۶)$$

$K_{ysB}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی پیچ مهار

$\tau_{BE}$ : تنش برشی پیچ مهار ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\tau_{BE} = \frac{F + 0.2F_V}{nA_b} \quad (۶۵-۶)$$

ب) مواردی که هر دو وجه نشیمن ثابت شده‌اند.

$$K_{ysB} = K_{MH} \frac{\frac{F}{\sqrt{3}} + 0.3\sigma_{tBO}}{\tau_{BE}} \quad (۶۶-۶)$$

$K_{ysB}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی پیچ مهار

$$\tau_{BE} = \frac{F_H + 0.3F_V}{2nA_b} \quad (۶۷-۶)$$

۳-۳- ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش پیچ مهار

الف) مواردی که یک وجه نشیمن ثابت شده است.

$$K_{ymB} = K_{MH} \frac{1.4F + 1.64\sigma_{tBO}}{\sigma_{tBE} + 1.6\tau_{BE}} \quad (۶۸-۶)$$

$K_{ymB}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش پیچ مهار

ب) مواردی که هر دو وجه نشیمن ثابت شده‌اند.

$$K_{ymB} = K_{MH} \frac{1.4F + 1.64\sigma_{tBO}}{\sigma_{tBE} + 1.6\tau_{BE}} \quad (۶۹-۶)$$

$K_{ymB}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش پیچ مهار

۴- ضریب زلزله تسلیم مربوط به خرابی صفحه برشی

۴-۱- ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم خمشی صفحه برشی

$$K_{yb} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bE}} \quad (۷۰-۶)$$

$K_{yb}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه برشی

F: مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ از آزمایش فولاد مصالح صفحه برشی ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{bE}$ : تنش خمشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{bE} = \frac{3h_{sa}^2 C_{cp1}}{t_{SP}^2} F_H \quad (71-6)$$

$t_{SP}$ : ضخامت صفحه برشی (mm)

$h_{sa}$ : ارتفاع صفحه برشی (mm)

$$C_{cp1} = \max\left(\frac{1}{b_Y h}, \frac{1}{b_X h}\right) \quad (72-6)$$

$b_Y$ : طول صفحه برشی عمود بر محور پوسته (mm)

$b_X$ : طول صفحه برشی در راستای محور پوسته (mm)

۲-۴- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم برشی صفحه برشی

$$K_{ys} = K_{MH} \frac{F}{\sqrt{3}\tau_E} \quad (73-6)$$

$K_{ys}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم برشی صفحه برشی

$\tau_E$ : تنش برشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\tau_E = C_{cp2} F_H \quad (74-6)$$

$$C_{cp2} = \max\left(\frac{1}{b_Y t_{SP}}, \frac{1}{b_X t_{SP}}\right) \quad (75-6)$$

۳-۴- ضریب زلزله تسلیم مربوط به ترکیب تنش خمشی و برشی صفحه برشی

$$K_{yms} = K_{MH} \frac{F}{\sqrt{\sigma_{bE}^2 + 3\tau_E^2}} \quad (76-6)$$

$K_{yms}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به ترکیب تنش خمشی و برشی صفحه برشی

### ۶-۳-۳- ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری با استفاده از ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی و ضریب زلزله تسلیم، برای هر مد خرابی مخزن افقی از رابطه (۷۷-۶) محاسبه شود.

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad (77-6)$$

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری برای هر مد خرابی، اگر  $K_{MH} \leq K_y$  پس  $\mu_p = 0$

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی

$K_y$ : ضریب زلزله تسلیم برای هر مد خرابی

$C$ : مقادیر مشخص شده به صورت زیر بر اساس خصوصیات مد خرابی

۱- شکست پوسته

- تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری، تسلیم کششی در محل اتصال به نشیمن، تسلیم یا کمانش ناشی از تنش

فشاری، تسلیم کششی در مرکز پوسته و تسلیم کششی هد  $C = 2.0$

۲- شکست تکیه‌گاه زینی

- تسلیم فشاری  $C = 2.0$

۳- شکست پیچ مهار

- تسلیم کششی و ترکیب تنش کششی و برشی  $C = 1.0$

- تسلیم برشی  $C = 2.0$

۴- شکست صفحه برشی

- تسلیم خمشی، تسلیم برشی و ترکیب تنش خمشی و برشی  $C = 2.0$

### ۶-۳-۴- ضریب شکل پذیری مجاز

ضریب شکل پذیری مجاز برای هر مد خرابی مخزن افقی محاسبه شود.

۱- خرابی پوسته

- تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری، تسلیم کششی در محل اتصال نشیمن و تسلیم یا کمانش ناشی از تنش

فشاری، تسلیم کششی در مرکز پوسته  $\mu_{pa} = 0.35$

- تسلیم کششی هد  $\mu_{pa} = 1.0$

۲- شکست تکیه‌گاه زینی

- تسلیم فشاری  $\mu_{pa} = 1.0$

۳- شکست پیچ مهار

- تسلیم کششی و ترکیب تنش کششی و برشی  $\mu_{pa} = 1.8$

- تسلیم برشی  $\mu_{pa} = 0.35$

۴- شکست صفحه برشی

- تسلیم خمشی، تسلیم برشی و ترکیب تنش خمشی و برشی  $\mu_{pa} = 0.35$

### ۶-۳-۵- معیارهای پذیرش

رابطه (۶-۷۸) برای هر مد خرابی مخزن افقی باید برقرار باشد.

$$\mu_p \leq \mu_{pa}$$

(۶-۷۸)

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری هر مد خرابی

$\mu_{pa}$ : ضریب شکل پذیری مجاز هر مد خرابی

# فصل ۷

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

مخزن کروی





## ۱-۷- مراحل طراحی لرزه‌ای مخزن کروی

زمانی که از زلزله سطح خطر-۱ استفاده می‌شود، روش تنش مجاز و هنگامی که از زلزله سطح خطر-۲ استفاده می‌شود، روش طراحی شکل‌پذیر به کار رود. تأسیسات هدف طراحی لرزه‌ای، مخازن کروی هستند که گنجایش آن‌ها از نظر جرم بیش از ۳ تن یا از نظر حجم بیش از ۳۰۰ مترمکعب است.

برای مخازن گازهای مایع معیار وزنی و برای گازهای بخار مانند تحت فشار معیار حجم استفاده می‌شود.

## ۲-۷- طراحی به روش تنش مجاز

### ۱-۲-۷- روش‌های تحلیل

بر اساس اندازه و پیوند طبیعی مخزن کروی، با استفاده از روش شبه استاتیکی، روش شبه استاتیکی اصلاح شده یا روش‌های تحلیل مودال، عملکرد لرزه‌ای این مخازن ارزیابی می‌شود.

### ۱-۱-۲-۷- روش شبه استاتیکی

روش شبه استاتیکی را می‌توان برای سازه با درجه اهمیت متوسط و کم و وزن ذخیره کمتر از ۱۰۰ تن به کار برد.

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (1-7)$$

$K_{SH}$ : ضریب زلزله افقی استاتیکی طراحی

$K_H$ : ضریب زلزله افقی در سطح

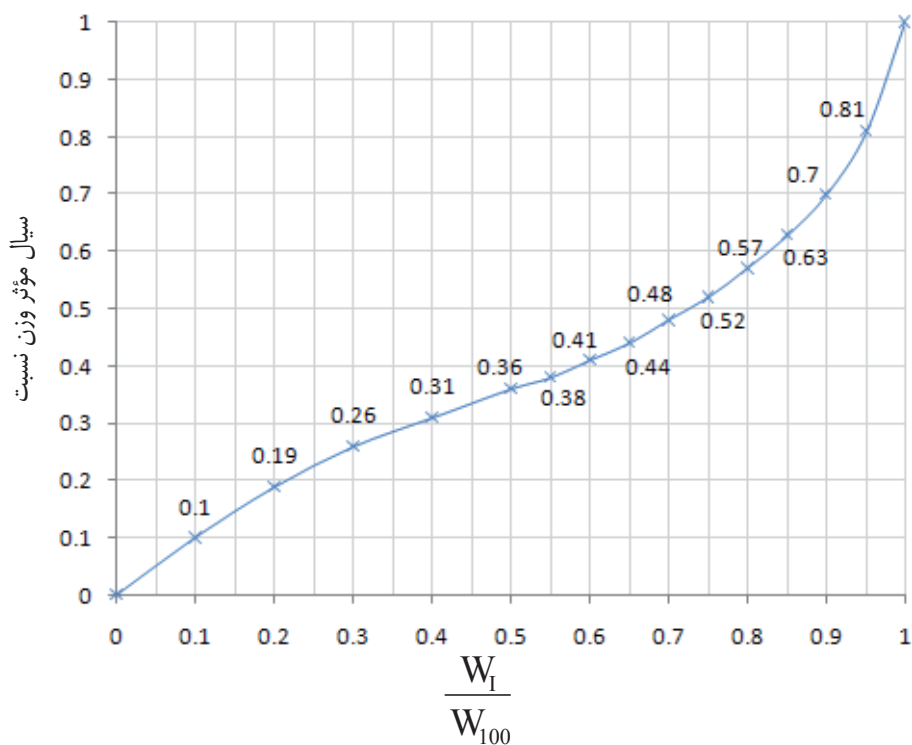
$\beta_4$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \quad (2-7)$$

$F_{SH}$ : نیروی زلزله افقی استاتیکی طراحی (N)

$W_H$ : مجموع وزن مخزن و وزن مؤثر سیال.

وزن مؤثر از ضرب وزن سیال و نسبت وزن مؤثر نشان داده شده در شکل (۱-۷) به دست می‌آید.



شکل ۷-۱ نسبت وزن مؤثر سیال

 $W_1$ : وزن سیال $W_{100}$ : وزن سیال زمانی که مخزن پر است.

## ۷-۲-۱-۲- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

۱- پریود طبیعی مخزن کروی

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_0}{Kg}}$$

(۳-۷)

T: پریود طبیعی (Sec)

K: صلبیت افقی مخزن کروی به دست آمده از رابطه (۴-۷) (N/mm)

g: شتاب ثقل ( $\text{mm/s}^2$ ) $W_0$ : وزن بهره‌برداری (N)، مجموع وزن مخزن و وزن مؤثر سیال.

وزن مؤثر از ضرب وزن سیال و نسبت وزن مؤثر نشان داده شده در شکل (۷-۱) محاسبه گردد.

۲- صلبیت افقی مخزن کروی

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$

(۴-۷)

K: صلبیت افقی (N/mm)

 $K_1$ : صلبیت دورانی کل بدنه (N/mm)

$$K_1 = \frac{3n_s EA_{CL} D_B^2}{8H_C^3} \quad (5-7)$$

 $K_2$ : صلبیت برشی کل بدنه (N/mm)

$$K_2 = n_s K_C \left( \frac{2C}{C_2 + \frac{4LK_C}{EA}} + 1 \right) \quad (6-7)$$

$$K_C = \frac{3EI_C}{H_1^3} \quad (7-7)$$

$$A = \frac{1}{\frac{C_3}{A_B \cos^3 \theta_e} + \frac{C_4 \tan^3 \theta_e}{A_{CL}}} \quad (8-7)$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \lambda_C^2 (3 - \lambda_C^2)^2 \quad (9-7)$$

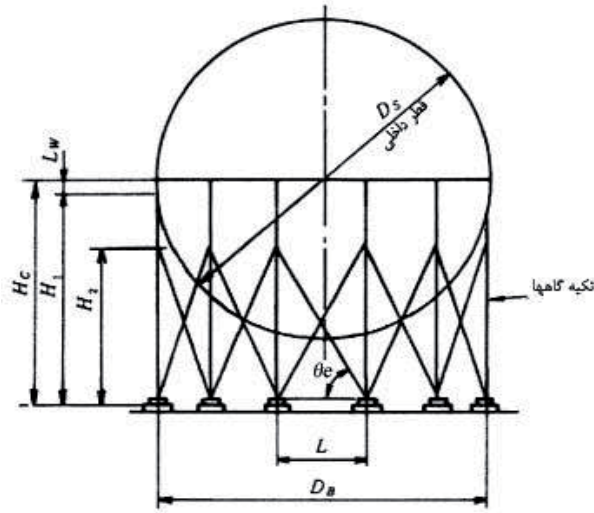
$$C_2 = \lambda_C^2 (1 - \lambda_C)^3 (3 + \lambda_C) \quad (10-7)$$

 $H_C$ : ارتفاع از سطح زیرین صفحه پایه تا مرکز بدنه کرووی (mm) $n_s$ : تعداد تکیه‌گاه‌هاE: مدول الاستیسیته طولی مصالح تکیه‌گاه پایینی (N/mm<sup>2</sup>) $A_{CL}$ : سطح مقطع پایه در زمین که برابر است با مساحت سطح مقطع یک ستون در روی پی (mm<sup>2</sup>) $D_B$ : قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز تکیه‌گاه‌ها (mm)

L: فاصله بین تکیه‌گاه‌های مجاور (mm)

 $H_1$ : ارتفاع مؤثر به‌دست آمده از رابطه (7-11)

$$H_1 = H_C - L_w \quad (11-7)$$



شکل ۷-۲ مخزن کروی

$$L_w = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{D_c D_s}{2}} \quad (۱۲-۷)$$

$D_c$ : قطر خارجی تکیه‌گاه بالایی (mm)

$D_s$ : قطر داخلی مخزن کروی (mm)

$I_c$ : ممان اینرسی سطح تکیه‌گاه پایینی ( $mm^4$ )

$A_B$ : مقطع مهار ( $mm^2$ )

$\theta_e$ : زاویه مهار مورب با سطح افق (درجه)

$C_3, C_4$ : مقادیر داده شده در جدول (۷-۱)

جدول ۷-۱ ضریب مهار

مهار لوله‌ای	مهار تیر اتصالی	
۰/۵	۱/۰	$C_3$
۰/۰	۱/۰	$C_4$

$$\lambda_c = \frac{H_2}{H_1} \quad (۱۳-۷)$$

$H_2$ : ارتفاع از سطح زیرین صفحه پایه تا اتصال مهار (mm)

۳- نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی

$$F_{MH} = K_{MH} W_H \quad (۱۴-۷)$$

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \quad (۱۵-۷)$$

$F_{MH}$ : نیروی زلزله افقی اصلاح شده طراحی (N)

$F_{MV}$ : نیروی زلزله قائم اصلاح شده طراحی (N)

$W_V$ : مجموع وزن سازه و وزن سیال اعمال شده به نقطه‌ای که طراحی برای آن انجام می‌شود.

### ۷-۲-۲- محاسبه تنش

تنش مخزن کروی باید طبق شرایط زیر محاسبه شود. زمانی که صفحات برشی نصب می‌شود، از محاسبه تنش برشی می‌توان صرف‌نظر کرد.

۱- تنش تکیه‌گاه بالایی

۱-۱- تنش فشاری

$$\sigma_c = \frac{P_V}{A_{CU}} \quad (۱۶-۷)$$

$\sigma_c$ : تنش فشاری تکیه‌گاه بالایی ( $N/mm^2$ )

$A_{CU}$ : سطح پایه در بالا (mm)

$P_V$ : نیروی فشاری اعمالی بر تکیه‌گاه بالایی محاسبه شده از رابطه (۷-۱۷) (N)

$$P_V = \frac{1}{n_s} \left\{ W_V + F_V + \frac{4L(H_c - H_{21})F_H}{D_B^2} \right\} \quad (۱۷-۷)$$

$n_s$ : تعداد تکیه‌گاه

$W_V$ : وزن بهره‌برداری (N)

$F_V$ : نیروی زلزله قائم طراحی (N)

$D_B$ : قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز تکیه‌گاه‌ها (mm)

$L$ : فاصله بین تکیه‌گاه‌های مجاور (mm)

$H_c$ : ارتفاع از سطح زیرین صفحه برشی تا مرکز بدنه کروی (mm)

$H_{21}$ : ارتفاع از سطح زیرین صفحه برشی تا اتصال مهار (mm)

$F_H$ : نیروی زلزله افقی طراحی (N)

۲-۱- تنش برشی

$$\tau = \frac{2(\sqrt{C_1}KS_H + K_cF_H)}{A_{CU}K} \quad (۱۸-۷)$$

$\tau$ : تنش برشی تکیه‌گاه بالایی ( $N/mm^2$ )

$$S_H = \frac{4\sqrt{C_1}EAK_cF_H}{(C_2EA + 4LK_c)K} \quad (۱۹-۷)$$

$E$ : مدول الاستیسیته تکیه‌گاه پایینی ( $N/mm^2$ )

$L$ : فاصله بین تکیه‌گاه‌های مجاور (mm)

$A$ : از رابطه (۷-۸) محاسبه می‌گردد.

۳-۱- تنش خمشی

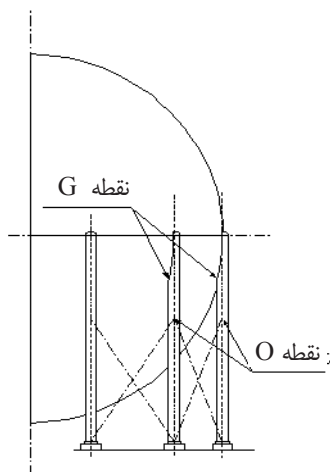
بزرگترین مقدار به دست آمده از روابط زیر

$$\sigma_G = \frac{M_{G1} + M_{G2}}{Z_{CU}} \quad (۲۰-۷)$$

$$\sigma_O = \frac{|M_{O1} + M_{O2}|}{Z_{CU}} \quad (۲۱-۷)$$

$\sigma_G$ : تنش خمشی در نقطه (G) نشان داده شده در شکل (۳-۷) ( $N/mm^2$ )

$\sigma_O$ : تنش خمشی در نقطه (O) نشان داده شده در شکل (۳-۷) ( $N/mm^2$ )



شکل ۳-۷ نقاطی که باید ارزیابی شوند

$Z_{CU}$ : مدول مقطع تکیه‌گاه بالایی ( $mm^3$ )

$M_{G1}$ ,  $M_{G2}$ ,  $M_{O1}$ ,  $M_{O2}$ : مقادیر به دست آمده از رابطه‌های (۲۲-۷) تا (۲۵-۷) ( $N.mm$ )

$$M_{G1} = \frac{\lambda_C \{ (1 - \lambda_C^2) H_1 - (3 - \lambda_C^2) L_w \} \cdot S_H}{2} \quad (۲۲-۷)$$

$$M_{G2} = \frac{K_C (H_1 - L_w) F_H}{K} \quad (۲۳-۷)$$

$$M_{O1} = \frac{\lambda_C (1 - \lambda_C)^2 (2 + \lambda_C) H_1 S_H}{2} \quad (۲۴-۷)$$

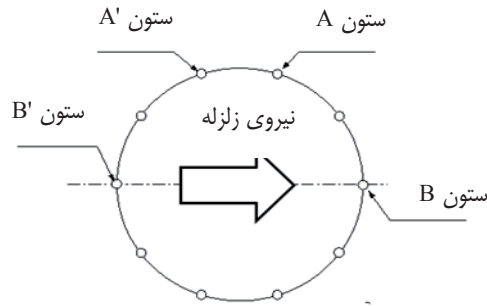
$$M_{O2} = \frac{K_C \lambda_C H_1 F_H}{K} \quad (۲۵-۷)$$

۲- تنش تکیه‌گاه پایینی

۱-۲- تنش فشاری

الف) ستون A

موقعیت ستون در شکل (۴-۷) نشان داده شده است.



شکل ۷-۴ موقعیت ستون

$$\sigma_{CA} = \frac{P_A}{A_{CL}} \quad (۲۶-۷)$$

$\sigma_{CA}$ : تنش فشاری بخش پایینی تکیه‌گاه A ( $N/mm^2$ )

$A_{CL}$ : سطح مقطع تکیه‌گاه پایینی ( $mm^2$ )

$P_A$ : نیروی فشاری اعمالی بر بخش پایینی تکیه‌گاه A محاسبه شده از رابطه (۲۷-۷) (N)

$$P_A = \frac{1}{n} \left( W_V + F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) \left( C_4 + \frac{1 - C_4}{\frac{2A_B \sin^3 \theta_e}{A_{CL}} + 1} \right) + 0.67C_4 S_H \tan \theta_e \quad (۲۷-۷)$$

$A_B$ : سطح مقطع مهار ( $mm^2$ )

$\theta_e$ : زاویه مهاربندهای محذب با سطح افقی (درجه)

(ب) ستون B (به شکل ۷-۴ رجوع کنید)

$$\sigma_{CB} = \frac{P_B}{A_{CL}} \quad (۲۸-۷)$$

$\sigma_{CB}$ : تنش فشاری بخش پایینی تکیه‌گاه B ( $N/mm^2$ )

$P_B$ : نیروی فشاری اعمالی بر بخش پایینی تکیه‌گاه B و محاسبه شده از رابطه (۲۹-۷) (N)

$$P_B = \frac{1}{n} \left( W_V + F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) \left( C_4 + \frac{1 - C_4}{\frac{2A_B \sin^3 \theta_e}{A_{CL}} + 1} \right) + 0.67C_4 S_H \tan \theta_e \quad (۲۹-۷)$$

۲-۲- تنش خمشی

الف) ستون A

$$\sigma_{bA} = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CL}} \quad (۳۰-۷)$$

$\sigma_{bA}$ : تنش خمشی بخش پایینی تکیه‌گاه A ( $N/mm^2$ )

$Z_{CL}$ : مدول مقطع تکیه‌گاه پایینی ( $mm^3$ )



ب) ستون B

$$\sigma_{bB} = \frac{\left| 2C_4 M_{O1} \sin^2 \left( \frac{180^\circ}{n} \right) - M_{O2} \right|}{Z_{CL}} \quad (31-7)$$

$\sigma_{bB}$ : تنش خمشی بخش پایینی تکیه‌گاه B ( $N/mm^2$ )

۳- تنش مهار

۳-۱- تنش کششی

$$\sigma_t = \frac{C_3 S_H}{A_B \cos \theta_e} - \frac{(1 - C_3) P_V \sin^2 \theta_e}{C_3 (2A_B \sin^3 \theta_e + A_{CL})} \quad (32-7)$$

$\sigma_t$ : تنش کششی مهار ( $N/mm^2$ )

۳-۲- تنش فشاری (محدود به مهار لوله‌ای)

$$\sigma_C = \frac{C_3 S_H}{A_B \cos \theta_e} - \frac{(1 - C_3) P_V \sin^2 \theta_e}{C_3 (2A_B \sin^3 \theta_e + A_{CL})} \quad (33-7)$$

$\sigma_C$ : تنش فشاری مهار لوله ( $N/mm^2$ )

۴- تنش پیچ مهار

۴-۱- تنش کششی

الف) ستون A'

$$\sigma_{tA'} = \frac{P_{A'}}{n_a A_b} \quad (34-7)$$

$\sigma_{tA'}$ : تنش کششی پیچ مهار تکیه‌گاه A' ( $N/mm^2$ )

$n_a$ : تعداد پیچ مهارهای هر تکیه‌گاه

$A_b$ : سطح مقطع مؤثر پیچ مهار ( $mm^2$ )

$P_{A'}$ : نیروی مهاری پیچ تکیه‌گاه A' محاسبه شده از رابطه (۳۵-۷) (N) اگر مقدار محاسبه شده منفی شد

برابر صفر در نظر گرفته شود.

$$P_{A'} = \frac{1}{n} \left( -W_V + F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) + 0.4C_4 S_H \tan \theta_e \quad (35-7)$$

ب) ستون B'

$$\sigma_{tB'} = \frac{P_{B'}}{n_a A_b} \quad (36-7)$$

$\sigma_{tB'}$ : تنش کششی پیچ مهار تکیه‌گاه B' ( $N/mm^2$ )

$P_{B'}$ : نیروی کششی پیچ مهار تکیه‌گاه B' محاسبه شده از رابطه (۳۷-۷) (N). اگر مقدار محاسبه شده منفی

شد باید برابر صفر در نظر گرفته شود.

$$P_{B'} = \frac{1}{n} \left( -W_V + F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) \quad (37-7)$$

۴-۲- تنش برشی

الف) ستون A'

$$\tau_{A'} = \frac{Q_{A'}}{n_a A_b} \quad (38-7)$$

 $\tau_{A'}$ : تنش برشی پیچ مهار تکیه‌گاه A' ( $N/mm^2$ ) $Q_{A'}$ : نیروی برشی پیچ مهار تکیه‌گاه A' محاسبه شده از رابطه (۳۹-۷) (N)

$$Q_{A'} = S_H + \frac{K_C F_H}{K} \quad (39-7)$$

ب) ستون B'

$$\tau_{B'} = \frac{Q_{B'}}{n_a A_b} \quad (40-7)$$

 $\tau_{B'}$ : تنش برشی پیچ مهار تکیه‌گاه B' ( $N/mm^2$ ) $Q_{B'}$ : نیروی برشی پیچ مهار تکیه‌گاه B' محاسبه شده از رابطه (۴۱-۷) (N)

$$Q_{B'} = 2C_3 S_H \sin^2 \left( \frac{180^\circ}{n} \right) + \frac{K_C F_H}{K} \quad (41-7)$$

۵- تنش صفحه برشی

۵-۱- تنش خمشی

$$\sigma_b = \frac{3R_{A'} b^2}{t^2} \quad (42-7)$$

 $\sigma_b$ : تنش خمشی صفحه برشی ( $N/mm^2$ )

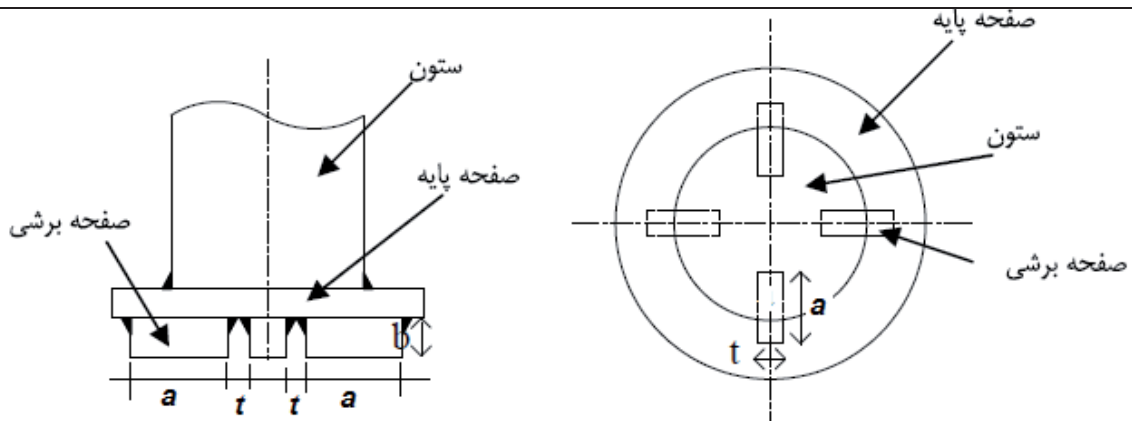
t: ضخامت صفحه برشی (mm)

b: ارتفاع صفحه برشی نشان داده شده در شکل (۵-۷) (mm)

$R_{A'}$ : نیروی باربری واحد افقی بتن، اعمالی بر صفحه برشی تکیه‌گاه A'، محاسبه شده از رابطه (۴۳-۷) ( $N/mm^2$ )

$$R_{A'} = \frac{Q_{A'}}{2ab} \quad (43-7)$$

a: ارتفاع صفحه برشی نشان داده شده در شکل (۵-۷) (mm)



شکل ۵-۷ صفحه برشی

۵-۲- تنش برشی

$$(۴۴-۷)$$

$$\tau = \frac{Q_{A'}}{2at}$$

$\tau$ : تنش برشی صفحه برشی ( $N/mm^2$ )

۶- تنش صفحه پایه

۶-۱- تنش خمشی صفحه پایه در اثر نیروی باربری بتن

$$(۴۵-۷)$$

$$\sigma_{b1} = \frac{3p'_B(D_{bp} - D_c)^2}{\pi t^2 D_{bp}^2}$$

$\sigma_{b1}$ : تنش خمشی صفحه پایه در اثر نیروی باربری بتن ( $N/mm^2$ )

$t$ : ضخامت صفحه پایه (mm)

$D_{bp}$ : قطر صفحه پایه (mm)

$D_c$ : قطر خارجی برج (mm)

$P'_B$ : نیروی عکس‌العمل قائم اعمالی بر صفحه پایه در اثر بتن تکیه‌گاه B، محاسبه شده از رابطه (۴۶-۷) (N)

$$P'_B = \frac{1}{n} \left( W_v + F_v + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) + 0.67C_4 S_H \tan \theta_e \quad (۴۶-۷)$$

۶-۲- تنش خمشی صفحه پایه در اثر نیروی مهار پیچ

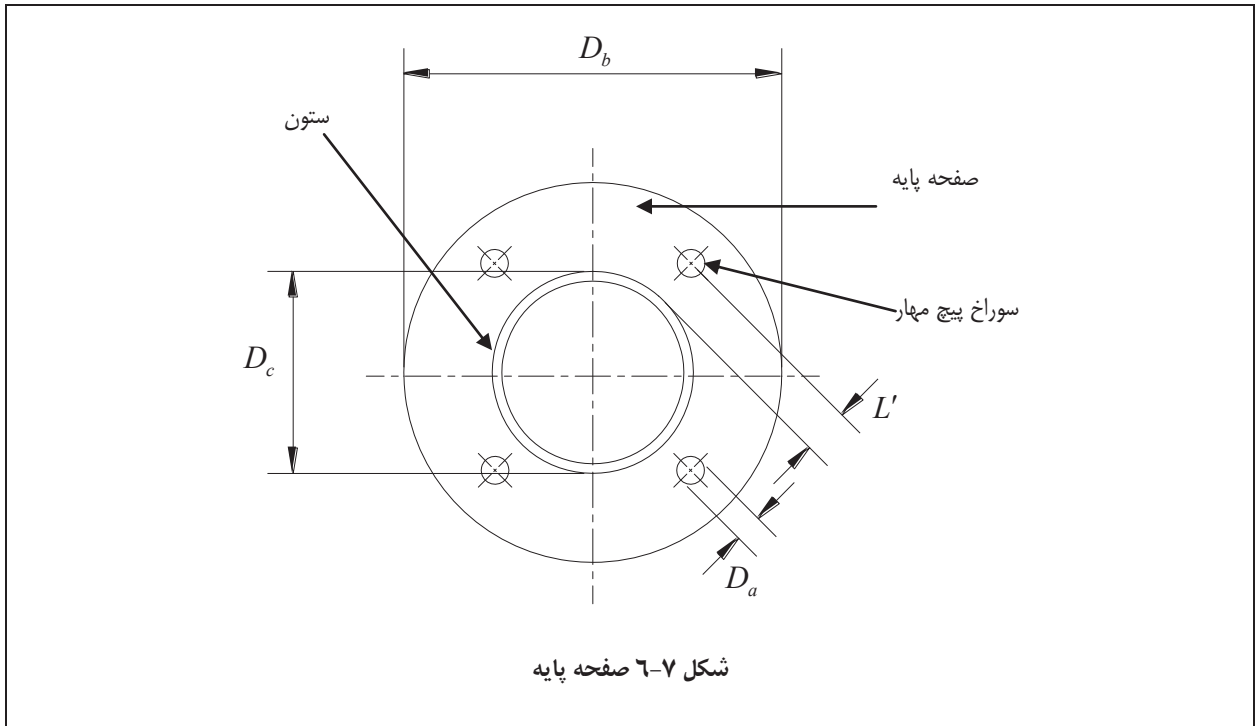
$$(۴۷-۷)$$

$$\sigma_{b2} = \frac{6P'_B L'}{n_a (D_a + 2L') t^2}$$

$\sigma_{b2}$ : تنش خمشی صفحه پایه در اثر نیروی مهار پیچ ( $N/mm^2$ )

$D_a$ : قطر سوراخ پیچ مهار (mm)

$L'$ : مقدار نشان داده شده در شکل (۶-۷) (mm)



موقعیت‌هایی که در آنها تنش باید محاسبه شود در جدول (۲-۷) نشان داده شده‌اند.

جدول ۲-۷ موقعیت‌هایی محاسبه تنش

نوع تنش					بخشی که تنش آن تعیین می‌شود
کمانش	فشار	خمش	برش	کشش	
	○	○	○		تکیه‌گاه بالایی
	○	○			تکیه‌گاه پایینی
○ تنها مهر لوله‌ای	○ تنها مهر لوله‌ای			○	مهر بند
○			○	○	پیچ مهرار
		○	یکی از این دو ○		صفحه برشی
		○			صفحه پایه

### ۲-۷-۳- تنش مجاز

تنش مجاز برای اعضای مقاوم در برابر فشار و اعضای تکیه‌گاهی تعیین می‌شود.

### ۲-۷-۴- معیارهای پذیرش

همه تنش‌های محاسبه شده باید کمتر از تنش‌های مجاز باشد.

### ۷-۳- طراحی شکل پذیر

#### ۷-۳-۱- مد خرابی

ارزیابی لرزه‌ای به روش شکل پذیر باید برای مدهای خرابی زیر انجام شود:

- ۱- شکست تکیه‌گاه بالایی
  - ۱-۱- تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری و تسلیم خمشی
  - ۲-۱- تسلیم برشی
  - ۳-۱- ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی
- ۲- شکست تکیه‌گاه پایینی
  - ۱-۲- تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری و تسلیم خمشی
  - ۳- شکست میل مهار
  - ۳-۱- تسلیم کششی
  - ۴- شکست مهار لوله
  - ۴-۱- تسلیم کششی
  - ۴-۲- تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری
- ۵- شکست پیچ مهار
  - ۱-۵- تسلیم کششی
  - ۲-۵- تسلیم برشی
  - ۳-۵- ترکیب تنش کششی و برشی
- ۶- شکست صفحه برشی
  - ۱-۶- تسلیم خمشی
  - ۲-۶- تسلیم برشی
  - ۳-۶- ترکیب تنش خمشی و برشی
- ۷- شکست صفحه پایه
  - ۱-۷- تسلیم ناشی از تنش خمشی صفحه پایه ناشی از نیروی لهیدگی بتن
  - ۲-۷- تسلیم ناشی از تنش خمشی صفحه پایه ناشی از نیروی عمل مهار پیچ

#### ۷-۳-۲- ضریب زلزله تسلیم

ضریب زلزله تسلیم باید برای هر مد خرابی محاسبه شود.

- ۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد خرابی تکیه‌گاه بالایی
- ۱-۱- ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری و تسلیم خمشی

ضریب زلزله تسلیم  $K_{yU}$  کم‌ترین مقدار به‌دست آمده از روابط (۷-۴۸) تا (۷-۵۲) است.

$$K_{yc} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{cN}}{\sigma_{cE}} \quad (۷-۴۸)$$

$$K_{ybG} = K_{MH} \frac{S_c}{\sigma_{GE}} \quad (۷-۴۹)$$

$$K_{ybO} = K_{MH} \frac{S_c}{\sigma_{oE}} \quad (۷-۵۰)$$

$$K_{yG} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cN}}{S_c}}{\frac{\sigma_{cE}}{S_c} + \frac{\sigma_{GE}}{S_y}} \quad (۷-۵۱)$$

$$K_{yO} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cN}}{S_c}}{\frac{\sigma_{cE}}{S_c} + \frac{\sigma_{OE}}{S_y}} \quad (۷-۵۲)$$

$K_{yc}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با کمانش و تسلیم فشاری

$K_{ybG}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم خمشی در نقطه G

$K_{ybO}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم خمشی در نقطه O

$K_{yG}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش فشاری و خمشی در نقطه G

$K_{yO}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش فشاری و خمشی در نقطه O

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی

$S_c$ : تنش تسلیم در وجه فشاری

الف) موارد بدون صفحه مسلح کننده

$$S_c = \min(S_y, S_f S') \quad (۷-۵۳)$$

$S_y$ : کم‌ترین مقدار بین حداقل مقاومت تسلیم در دمای طراحی یا دمای معمولی مصالح یا مقاومت متناظر با

۰/۲٪ کرنش ( $N/mm^2$ )

$S_f$ : ۱/۵

$$S'; \frac{0.6Et}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S_y}\right) D_m} \quad (۷-۵۴)$$

E: مدول الاستیسیته طولی در دمای معمولی ( $N/mm^2$ )

$D_m$ : قطر متوسط تکیه‌گاه بالایی (mm)

t: ضخامت صفحه تکیه‌گاه بالایی (mm)

ب) موارد با صفحه مسلح کننده

$$S_c = \min(F, F') \quad (55-7)$$

F: مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با ۰/۲٪ کرنش ( $N/mm^2$ )

F': تنش فشاری برای کنترل کمانش با در نظر گرفتن ضریب لاغری مؤثر ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{cN}$ : تنش فشاری تکیه‌گاه بالایی ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cN} = \frac{W_V}{nA_{CU}} \quad (56-7)$$

$\sigma_{cE}$ : تنش فشاری تکیه‌گاه بالایی ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cE} = \frac{1}{n_s A_{CU}} \left\{ F_V + \frac{4L(H_C - H_2)F_H}{D_B^2} \right\} \quad (57-7)$$

$n_s$ : تعداد تکیه‌گاه

$A_{CU}$ : سطح مقطع تکیه‌گاه بالایی ( $mm^2$ )

$W_V$ : وزن بهره‌برداری (N)

$F_V$ : نیروی زلزله قائم طراحی (N) به‌دست آمده

$D_B$ : قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز تکیه‌گاهها (mm)

L: فاصله بین تکیه‌گاه‌های مجاور (mm)

$H_C$ : ارتفاع از سطح زیرین صفحه پایه تا مرکز بدنه کروی (mm)

$H_2$ : ارتفاع از سطح زیرین صفحه پایه تا اتصال مهار (mm)

$F_H$ : نیروی زلزله افقی طراحی (N)

$W_H$ : وزن بهره‌برداری که برابر مجموع وزن و وزن سیال است.

$\sigma_{GE}$ : تنش خمشی در نقطه G ناشی از بار زلزله مشابه از رابطه (۷-۲۰)

$\sigma_{OE}$ : تنش خمشی در نقطه O ناشی از بار زلزله مشابه رابطه (۷-۲۱)

۲-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم برشی تکیه‌گاه بالایی

$$K_{ys} = K_{MH} \frac{S_y / \sqrt{3}}{\tau_{uE}} \quad (58-7)$$

$K_{ys}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی تکیه‌گاه بالایی

$\tau_{uE}$ : تنش برشی تکیه‌گاه بالایی ناشی از بار زلزله

$$\tau_{uE} = \frac{2(\sqrt{C_1} K_S H + K_C F_H)}{A_{CU} K} \quad (59-7)$$

۳-۱- ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش تکیه‌گاه بالایی

کم‌ترین مقدار بین مقادیر به‌دست آمده از رابطه‌های (۷-۶۰) و (۷-۶۱)،  $K_{yC}$  است که ضریب زلزله تسلیم تکیه‌گاه

بالایی متناظر با ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی می‌باشد.

$$K_{ymG} = K_{MH} \frac{-\sigma_{cN}(\sigma_{cE} + \sigma_{GE}) + \sqrt{\sigma_{cN}^2(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 - \left\{(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 + 3\tau_E^2\right\}(\sigma_{cN}^2 - S_y^2)}}{(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 + 3\tau_E^2} \quad (۶۰-۷)$$

$$K_{ymO} = K_{MH} \frac{-\sigma_{cN}(\sigma_{cE} + \sigma_{OE}) + \sqrt{\sigma_{cN}^2(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 - \left\{(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 + 3\tau_E^2\right\}(\sigma_{cN}^2 - S_y^2)}}{(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 + 3\tau_E^2} \quad (۶۱-۷)$$

$K_{ymG}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش در نقطه G

$K_{ymO}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش در نقطه O

۲- ضریب زلزله تسلیم متناظر با مد خرابی تکیه‌گاه پایینی

۱-۲ ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری و تسلیم خمشی

کم‌ترین مقدار بین مقادیر به‌دست آمده از رابطه‌های (۶۲-۷) تا (۶۷-۷)،  $K_{yL}$  است که ضریب زلزله تسلیم تکیه‌گاه

پایینی متناظر با تسلیم یا کمانش ناشی از تنش فشاری و تسلیم خمشی می‌باشد.

$$K_{yCA} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{cLN}}{\sigma_{cAE}} \quad (۶۲-۷)$$

$$K_{ybA} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bAE}} \quad (۶۳-۷)$$

$$K_{yA} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cLN}}{F'}}{\frac{\sigma_{cAE}}{F'} + \frac{\sigma_{bAE}}{F}} \quad (۶۴-۷)$$

$$K_{yCB} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{cLN}}{\sigma_{cBE}} \quad (۶۵-۷)$$

$$K_{yBB} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bBE}} \quad (۶۶-۷)$$

$$K_{yB} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cLN}}{F'}}{\frac{\sigma_{cBE}}{F'} + \frac{\sigma_{bBE}}{F}} \quad (۶۷-۷)$$

$K_{yCA}$ : ضریب زلزله تسلیم ستون A متناظر با کمانش یا تسلیم در اثر فشار

$K_{ybA}$ : ضریب زلزله تسلیم ستون A متناظر با تسلیم برشی

$K_{yA}$ : ضریب زلزله تسلیم ستون A متناظر با ترکیب تنش فشاری و خمشی

$K_{yCB}$ : ضریب زلزله تسلیم ستون B متناظر با کمانش یا تسلیم در اثر فشار

$K_{yBB}$ : ضریب زلزله تسلیم ستون B متناظر با تسلیم برشی

$K_{yB}$ : ضریب زلزله تسلیم ستون B متناظر با ترکیب تنش فشاری و خمشی



$F'$ : تنش فشاری برای کنترل کمانش با در نظر گرفتن ضریب لاغری مؤثر

$\sigma_{cLN}$ : تنش فشاری تکیه‌گاه پایینی ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cLN} = \frac{W_V}{nA_{CL}} C_5 \quad (۶۸-۷)$$

$\sigma_{cAE}$ : تنش فشاری ستون A ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cAE} = \frac{1}{nA_{CL}} \left( F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) C_5 + \frac{0.67C_4 S_H \tan \theta_e}{A_{CL}} \quad (۶۹-۷)$$

$C_S$ : مقدار به‌دست آمده از رابطه (۷۰-۷)

$$C_5 = C_4 + \frac{1 - C_4}{\frac{2A_B \sin^3 \theta_e}{A_{CL}} + 1} \quad (۷۰-۷)$$

$\sigma_{bAE}$ : تنش خمشی ستون A ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{bAE} = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CL}} \quad (۷۱-۷)$$

$\sigma_{cBE}$ : تنش فشاری ستون B ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cBE} = \frac{1}{nA_{CL}} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) C_5 + \frac{0.67C_4 S_H \tan \theta_e}{A_{CL}} \quad (۷۲-۷)$$

$\sigma_{bBE}$ : تنش خمشی ستون B ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{bBE} = \frac{\left| 2C_4 M_{O1} \sin^2 \left( \frac{180^\circ}{n} \right) - M_{O2} \right|}{Z_{CL}} \quad (۷۳-۷)$$

۳- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد خرابی میل مهار

$$K_{yT} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{TE}} \quad (۷۴-۷)$$

$K_{yT}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی میل مهار

$F$ : مقاومت تسلیم یا ۰/۲٪ مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ فولاد میل مهار ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{TE}$ : تنش کششی میل مهار ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{TE} = \frac{S_H}{A_B \cos \theta_e} \quad (۷۵-۷)$$

۴- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد خرابی مهاری لوله‌ای

۴-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی مهاری لوله‌ای

$$K_{yTP} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{cPN}}{\sigma_{tPE}} \quad (۷۶-۷)$$

$K_{yTP}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم کششی مهارای لوله‌ای

$\sigma_{cPN}$ : تنش فشاری مهار لوله ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cPN} = \frac{W_V \sin^2 \theta_e}{n(2A_B \sin^3 \theta_e + A_{CL})} \quad (77-7)$$

$\sigma_{tPE}$ : تنش کششی مهارای لوله‌ای ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tPE} = \frac{0.5S_H}{A_B \cos \theta_e} - \frac{1}{n} \left\{ F_V + \frac{4L(H_C - H_{21})F_H}{D_B^2} \right\} \frac{\sin^2 \theta_e}{2A_B \sin^3 \theta_e + A_{CL}} \quad (78-7)$$

۴-۲ ضریب زلزله تسلیم مربوط به کمانش یا تسلیم در اثر فشار

$$K_{yCP} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{cPN}}{\sigma_{cPE}} \quad (79-7)$$

$K_{yCP}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به کمانش و تسلیم در اثر فشار

$F'$ : تنش فشاری برای کنترل کمانش با در نظر گرفتن ضریب لاغری مؤثر ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{cPE}$ : تنش فشاری مهار لوله ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{cPE} = \frac{0.5S_H}{A_B \cos \theta_e} + \frac{1}{n} \left\{ F_V + \frac{4L(H_C - H_{21})F_H}{D_B^2} \right\} \frac{\sin^2 \theta_e}{2A_B \sin^3 \theta_e + A_{CL}} \quad (80-7)$$

۵-۲ ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد خرابی پیچ مهار

۵-۱ ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار

کم‌ترین مقدار به‌دست آمده از روابط زیر ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار است.

$$K_{yIA'} = K_{MH} \frac{F - \sigma_{cPN}}{\sigma_{tA'E}} \quad (81-7)$$

$$K_{yIB'} = K_{MH} \frac{F_A + \sigma_N}{\sigma_{tB'E}} \quad (82-7)$$

$K_{yIB'}$  و  $K_{yIA'}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار ستون  $A'$  و  $B'$

$\sigma_N$ : تنش فشاری پیچ مهار ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_N = \frac{W_V}{n n_a A_b} \quad (83-7)$$

$\sigma_{tA'E}$ : تنش کششی پیچ مهار ستون  $A'$  ناشی از بار زلزله

$$\sigma_{tA'E} = \frac{1}{n_a A_b} \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) + 0.4C_4 S_H \tan \theta_e \right\} \quad (84-7)$$

$\sigma_{tB'E}$ : تنش کششی پیچ مهار ستون  $B'$  ناشی از بار زلزله

$$\sigma_{tB'E} = \frac{1}{n n_a A_b} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) \quad (85-7)$$

$n_a$ : تعداد پیچ مهارهای هر تکیه‌گاه

$A_b$ : سطح مقطع مؤثر پیچ مهار ( $\text{mm}^2$ )

۲-۵- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم برشی پیچ مهار

کم‌ترین مقدار به‌دست آمده از رابطه‌های (۷-۸۶) و (۷-۸۷)،  $K_{ySB}$  ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی پیچ مهار است.

$$K_{ySA'} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\tau_{A'E}} \quad (۷-۸۶)$$

$$K_{ySB'} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\tau_{B'E}} \quad (۷-۸۷)$$

$K_{ySA'}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار ستون  $A'$

$K_{ySB'}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار ستون  $B'$

$\tau_{A'E}$ : تنش برشی ستون  $A'$  به‌دست آمده از رابطه (۷-۸۸)

$$\tau_{A'E} = \frac{Q_{A'}}{n_a A_b} \quad (۷-۸۸)$$

$Q_{A'}$ : نیروی برشی پیچ مهار تکیه‌گاه  $A'$  به‌دست آمده از رابطه (۷-۸۹) (N)

$$Q_{A'} = S_H + \frac{K_C F_H}{K} \quad (۷-۸۹)$$

$\tau_{B'E}$ : تنش برشی ستون  $B'$  ناشی از بار زلزله به‌دست آمده از رابطه (۷-۹۰) ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_{B'E} = \frac{1}{n_a A_b} \left\{ 2C_a S_H \sin^2 \left( \frac{180^\circ}{n} \right) + \frac{K_C F_H}{K} \right\} \quad (۷-۹۰)$$

۳-۵- ضریب زلزله تسلیم پیچ مهار متناظر با ترکیب تنش کششی و برشی

کم‌ترین مقدار به‌دست آمده از رابطه‌های (۷-۹۱) و (۷-۹۲)،  $K_{ym}$  ضریب زلزله تسلیم مربوط به ترکیب تنش کششی و برشی است.

$$K_{ymA'} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_N}{\sigma_{tA'E} + 1.6\tau_{A'E}} \quad (۷-۹۱)$$

$$K_{ymB'} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_N}{\sigma_{tB'E} + 1.6\tau_{B'E}} \quad (۷-۹۲)$$

$K_{ymA'}$  و  $K_{ymB'}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به ترکیب تنش پیچ مهار تکیه‌گاه  $A'$

$K_{ymB'}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به ترکیب تنش پیچ مهار تکیه‌گاه  $B'$

۶- ضریب زلزله تسلیم متناظر به مد خرابی صفحه برشی

۶-۱- ضریب زلزله متناظر به تسلیم خمشی صفحه برشی

$$K_{yBS} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bE}} \quad (۷-۹۳)$$

$K_{yBS}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه برشی

F: مقاومت تسلیم یا ۰/۲٪ مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ فولاد صفحه برشی ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{bE}$ : تنش خمشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله

$$\sigma_{bE} = 3 \frac{Q_{A'}}{2ab} \cdot \frac{b^2}{t^2} \quad (94-7)$$

$\alpha$ : طول صفحه برشی (mm) (به شکل ۷-۵ مراجعه کنید)

b: ارتفاع صفحه برشی (mm) (به شکل ۷-۵ مراجعه کنید)

t: ضخامت صفحه برشی (mm)

۶-۲- ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی صفحه برشی

$$K_{ySS} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\tau_E} \quad (95-7)$$

$K_{ySS}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم برشی صفحه برشی

$\tau_E$ : تنش برشی صفحه برشی ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\tau_E = \frac{Q_{A'}}{2at} \quad (96-7)$$

۶-۳- ضریب زلزله تسلیم متناظر با ترکیب تنش خمشی و برشی صفحه برشی

$$K_{yMS} = K_{MH} \frac{F}{\sqrt{\sigma_{bE}^2 + 3\tau_E^2}} \quad (97-7)$$

۷- ضریب زلزله تسلیم متناظر با مد خرابی صفحه پایه

۷-۱- ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم خمشی صفحه پایه توسط نیروی باربری بتن

$$K_{yBR} = K_{MH} \frac{F - \sigma_{RN}}{\sigma_{RE}} \quad (98-7)$$

$K_{yBR}$ : ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم خمشی صفحه پایه توسط نیروی باربری بتن

$\sigma_{RN}$ : تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{RN} = 3 \frac{W_V (D_{bp} - D_c)}{\pi t^2 D_{bp}^2} \quad (99-7)$$

$\sigma_{RE}$ : تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{RE} = 3 \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_{bp}} \right) + 0.67 C_4 S_H \tan \theta_e \right\} \frac{(D_{bp} - D_c)^2}{\pi t^2 D_{bp}^2} \quad (100-7)$$

$D_{bp}$ : قطر صفحه پایه (mm) (به شکل ۷-۶ رجوع کنید)

$D_c$ : قطر خارجی تکیه‌گاه (mm) (به شکل ۷-۶ رجوع کنید)

t: ضخامت صفحه پایه (mm)

۷-۲- ضریب زلزله تسلیم متناظر با تسلیم خمشی صفحه پایه در اثر نیروی مهار پیچ

$$K_{yBT} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{TN}}{\sigma_{TE}} \quad (101-7)$$

$K_{yBT}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه پایه در اثر نیروی مهاری پیچ

$\sigma_{TN}$ : محدوده کاهش تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار نرمال بهره‌برداری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{TN} = \frac{6W_V L'}{m n_a (D_a + 2L') t^2} \quad (102-7)$$

$\sigma_{TE}$ : تنش خمشی صفحه پایه ناشی از بار زلزله ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{TE} = 6 \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_b} \right) + 0.67 C_4 S_H \tan \theta_e \right\} \frac{L'}{n_a (D_a + 2L') t^2} \quad (103-7)$$

$D_a$ : قطر سوراخ پیچ مهار (mm)

### ۷-۳-۳- ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری مخزن کروی برای هر مد خرابی از رابطه (۷-۱۰۴) محاسبه می‌شود.

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad (104-7)$$

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری برای هر مد خرابی، اگر  $K_{MH} \leq K_y$  در آن صورت  $\mu_p = 0$

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی

$K_y$ : ضریب زلزله تسلیم برای هر مد خرابی

$C$ : بر اساس خصوصیات هر مد خرابی در زیر آورده شده است:

۱- آسیب به تکیه‌گاه بالایی

- کمانش یا تسلیم فشاری و خمشی، تسلیم برشی و ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی  $C = 2.0$

۲- آسیب به تکیه‌گاه پایینی

- کمانش یا تسلیم فشاری و خمشی  $C = 2.0$

۳- آسیب به میل مهار

- تسلیم کششی  $C = 1.0$

۴- آسیب به مهار لوله‌ای

- تسلیم کششی، کمانش یا تسلیم  $C = 2.0$

۵- آسیب به پیچ مهار

- تسلیم کششی و ترکیب تنش کششی و برشی  $C = 1.0$

- تسلیم برشی  $C = 2.0$

۶- آسیب به صفحه برشی

- تسلیم خمشی، تسلیم برشی و ترکیب تنش خمشی و برشی  $C = 2.0$

۷- آسیب به صفحه پایه

- تسلیم خمشی ناشی از نیروی لهیدگی بتن و تسلیم خمشی ناشی از نیروی مهار پیچ  $C = 2.0$

### ۷-۳-۴- ضریب شکل پذیری مجاز

ضریب شکل پذیری مجاز برای هر مد خرابی مخزن کروی محاسبه می‌شود.

۱- آسیب به تکیه‌گاه بالایی

- کمانش یا تسلیم خمشی، تسلیم برشی و ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی  $\mu_{pa} = 1.0$

۲- آسیب به تکیه‌گاه پایینی

- کمانش یا تسلیم، خمشی  $\mu_{pa} = 1.0$

۳- آسیب به میل مهار

- تسلیم کششی  $\mu_{pa} = 1.8$

۴- آسیب به مهار لوله‌ای

- تسلیم کششی  $\mu_{pa} = 1.0$

- کمانش یا تسلیم  $\mu_{pa} = 0.35$

۵- آسیب به پیچ مهار

- تسلیم کششی و ترکیب تنش کششی و برشی  $\mu_{pa} = 1.8$

- تسلیم برشی  $\mu_{pa} = 0.35$

۶- آسیب به صفحه برشی

- تسلیم خمشی، تسلیم برشی و ترکیب تنش خمشی و برشی  $\mu_{pa} = 0.35$

۷- آسیب به صفحه پایه

- تسلیم خمشی ناشی از نیروی لهیدگی بتن و تسلیم خمشی ناشی از نیروی عمل مهار پیچ  $\mu_{pa} = 0.35$

### ۷-۳-۵- معیار پذیرش

رابطه (۷-۱۰۵) برای هر مد خرابی مخزن کروی باید برقرار باشد.

$$\mu_p \leq \mu_{pa}$$

(۷-۱۰۵)

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری هر مد خرابی

$\mu_{pa}$ : ضریب شکل پذیری مجاز هر مد خرابی

# فصل ۸

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

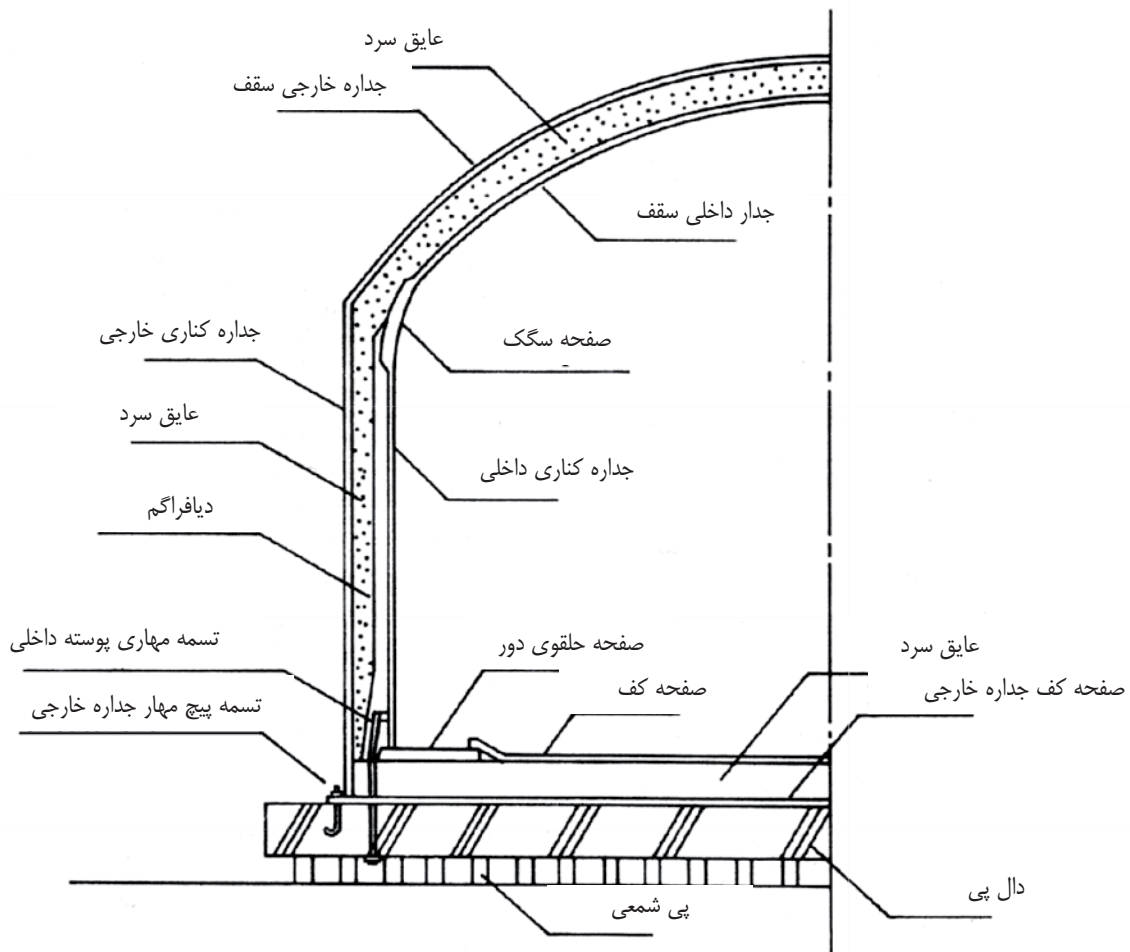
مخزن استوانه‌ای





## ۸-۱- طرح کلی مراحل طراحی لرزه‌ای

زمانی که از زلزله سطح خطر-۱ استفاده می‌شود، روش تنش مجاز و هنگامی که از زلزله سطح خطر-۲ استفاده می‌شود، روش شکل‌پذیر به کار می‌رود. در این فصل، تأسیسات هدف طراحی لرزه‌ای، مخازن استوانه‌ای هستند که گنجایش آن‌ها از نظر وزن بیش از ۳ تن یا از نظر حجم بیش از ۳۰۰ متر مکعب می‌باشد. در طراحی لرزه‌ای مخزن استوانه‌ای، ورودی لرزه‌ای هم برای مد حرکت صلب مایع یا مخزن و هم برای مد تلاطم باید در نظر گرفته شود.



شکل ۸-۱ نمونه مقطع مخزن استوانه‌ای

شکل (۸-۱) نمونه مقطع مخزن استوانه‌ای را نشان می‌دهد. مخزن استوانه‌ای که در این جا مراحل طراحی آن توضیح داده شده‌است، مخزن فشاری با سقف ثابت می‌باشد. بنابراین روند طراحی مخازن با سقف شناور در این قسمت ارائه نخواهد شد. مراحل طراحی لرزه‌ای مربوط به مد تلاطم سیال مخزن، تنها برای مخزن استوانه‌ای در سطح خطر-۲ اعمال می‌گردد.

طراحی باید برای هر دو سطح خطر-۱ و ۲ زلزله انجام شود. مدهای خرابی در شکل (۸-۲) نشان داده شده است.

۱- مدهای خرابی جداره (پوسته) کنار مخزن

(الف) کمانش ناشی از زلزله سطح خطر-۱

کمانش الاستیک بخش بالایی جداره کناری و کمانش الاستیک بخش پایینی پوسته کناری «کمانش

پافیلی» باید مورد بررسی قرار گیرد.

(ب) کمانش ناشی از زلزله سطح خطر-۲

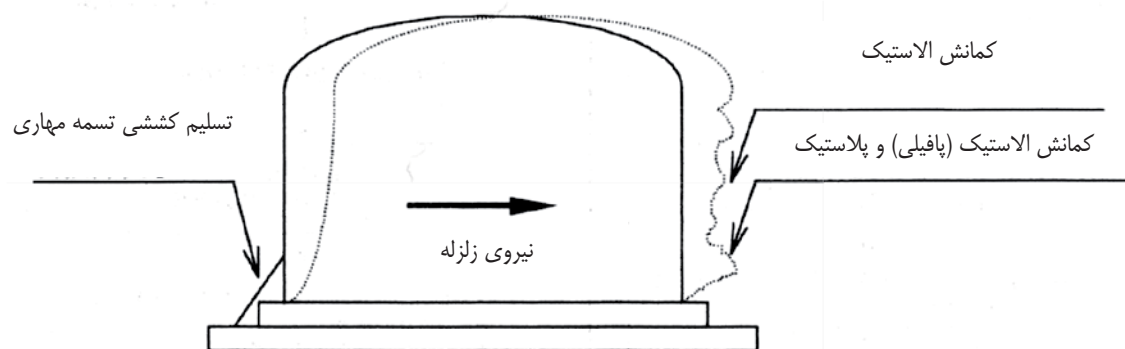
فشار دینامیکی سیال بر جداره کناری بیش از قسمت سقف بوده و شدت آن کم‌تر از فشار وارده در سطح خطر-۱

زلزله است، پس کمانش الاستیک برای جداره‌های کناری در هر ارتفاعی باید مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مدهای خرابی تسمه مهاری کناری

(الف) تسلیم کششی ناشی از زلزله سطح خطر-۱

(ب) تسلیم کششی ناشی از زلزله سطح خطر-۲



شکل ۸-۲ مد خرابی مخزن استوانه‌ای

## ۸-۲- طراحی به روش تنش مجاز

### ۸-۲-۱- روش تحلیل پاسخ

بر اساس اندازه و پریود طبیعی مخزن استوانه‌ای، با استفاده از روش شبه استاتیکی، روش شبه استاتیکی اصلاح شده یا سایر روش‌ها عملکرد لرزه‌ای ارزیابی شود.

طراحی باید برای کمانش جداره کناری مخزن و تسلیم کششی تسمه مهاری کنترل شود. روش‌های طبقه‌بندی شده در جدول (۸-۱) نشان داده شده است.

جدول ۸-۱ روش‌های تحلیل

ابعاد		سطح خطر
(الف) ارتفاع و قطر خارجی برابر یا کم‌تر از ۱۰ متر و درجه اهمیت متوسط یا کم	(ب) قطر داخلی برابر یا کم‌تر از ۲۰ متر و نسبت ارتفاع جداره کناری به قطر داخلی برابر یا کم‌تر از ۱/۲۵	

مانند ستون قبل	روش شبه استاتیکی اصلاح شده، تحلیل مودال یا تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی	روش شبه استاتیکی، روش شبه استاتیکی اصلاح شده، تحلیل مودال یا تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی	سطح خطر-۱
مانند ستون قبل	تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی	تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی	سطح خطر-۲

## ۸-۲-۲- روش شبه استاتیکی

روش شبه استاتیکی را می‌توان برای سازه با درجه اهمیت متوسط و پایین و قطر کمتر از ۱۰ متر به کار برد.

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (۱-۸)$$

$K_{SH}$ : ضریب زلزله افقی استاتیکی طراحی

$K_H$ : شدت لرزه افقی در سطح بر اساس راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان حیاتی

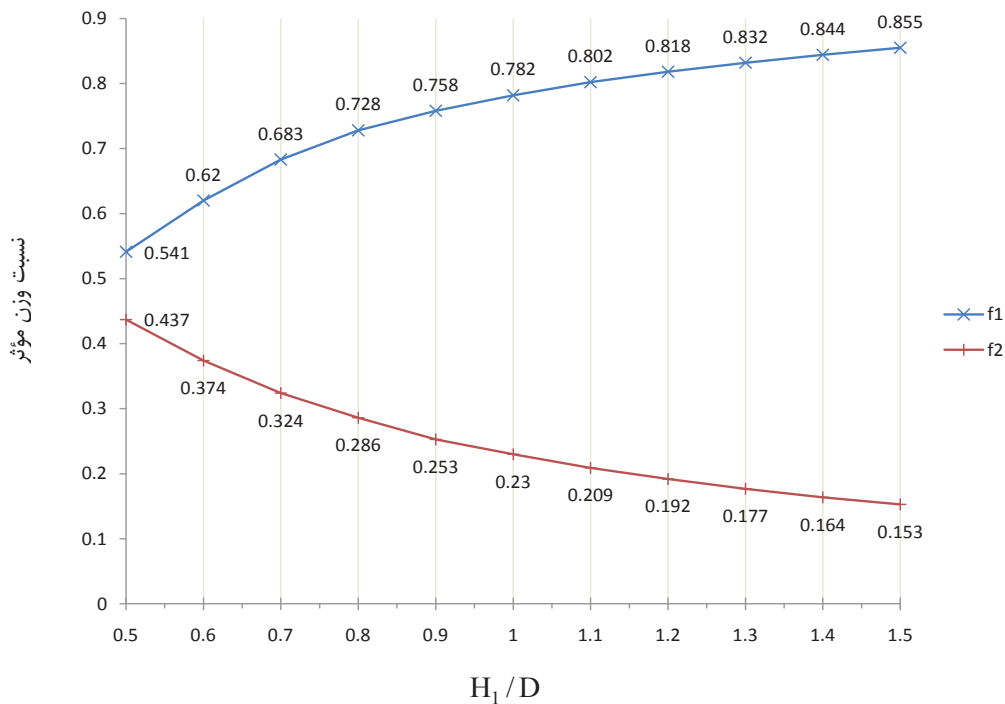
$\beta_4$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \quad (۲-۸)$$

$F_{SH}$ : نیروی زلزله افقی استاتیکی طراحی (N)

$W_H$ : مجموع وزن مخزن و وزن مؤثر سیال

وزن مؤثر از ضرب وزن سیال و نسبت وزن مؤثر  $f_i$  نشان داده شده در شکل (۳-۸) به دست می‌آید.



شکل ۳-۸ به دست آوردن وزن مؤثر سیال

## ۸-۲-۳- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

برای محاسبه ضرایب اصلاح شده زلزله نیاز به محاسبه پریود طبیعی مخزن می‌باشد که به شرح زیر به دست می‌آید:

محاسبه پریود طبیعی مخزن استوانه‌ای

$$T = \frac{2}{\lambda} \sqrt{\frac{W_0}{\pi g E t_{1/3}}} \quad (3-8)$$

T: پریود طبیعی (s)

$$\lambda = 0.067 \left( \frac{H_L}{D_0} \right)^2 - 0.30 \left( \frac{H_L}{D_0} \right) + 0.46 \quad (4-8)$$

$H_L$ : ارتفاع بالاترین سطح سیال (m)

E: مدول الاستیسیته طولی جداره کناری مخزن ( $N/mm^2$ )

$D_0$ : قطر داخلی مخزن (m)

$t_{1/3}$ : ضخامت دیوار جداره کناری در یک سوم از ارتفاع جداره کناری مخزن (mm)

$W_0$ : وزن بهره‌برداری (N)

$W_0$  برابر مجموع وزن‌های زیر است:

(الف) وزن جداره کناری داخلی

(ب) نصف وزن عایق سرد. اگر عایق جدا از جداره کناری باشد مانند دیافراگم، وزن آن به حساب نمی‌آید.

(ج) وزن سقف داخلی (اگر سقف مخزن تک جداره است همان وزن سقف است).

(د) وزن عایق سرد در سقف

(ه) وزن کل سیال

## ۸-۲-۴- محاسبه تنش

تنش فشاری جداره کناری و تنش کششی تسمه مهار باید برای سطح خطر-۱ زلزله محاسبه شوند.

۱- تنش جداره کناری

$$\sigma_c = -\frac{P_{0\min} D_0}{4t} + \frac{(1 + K_{MV})(W'_s + W_r)}{\pi D_0 t} + \frac{4M_{10}}{\pi D_0^2 t} \quad (5-8)$$

$\sigma_c$ : تنش فشاری جداره کناری برای کنترل کماتش ( $N/mm^2$ )

t: ضخامت جداره کناری به غیر از مقدار مجاز خوردگی (mm)

$P_{0\min}$ : حداقل فشار داخلی در طول بهره‌برداری عادی = 0.003MPa

$K_{MV}$ : ضریب زلزله اصلاح شده طراحی قائم

$W'_s$ : وزن جداره کناری اعمالی بر نقطه‌ای که تنش آن تعیین می‌شود (N)

$W_r$ : کل وزن سقف (شامل بار برف) (N)

$M_{10}$ : لنگر واژگونی اعمالی بر نقطه‌ای که تنش آن تعیین می‌شود (N.mm)

$$M_{10} = K \left( 1 - \frac{h_p}{H_L} \right)^2 (W_s H_s + W_r H_r + W_l H_L) \quad (۶-۸)$$

$W_s$ : کل وزن جداره کناری (N)

$K$ : که برابر  $K_{MH}$  یا  $K_{SH}$  است.

$H_L$ : بالاترین ارتفاع تراز آب (mm)

$h_p$ : ارتفاع نقطه مشخص شده از صفحه کف (mm)

$H_s$ : ارتفاع مرکز ثقل جداره کناری از صفحه کف (mm)

$H_r$ : ارتفاع مرکز ثقل سقف از صفحه کف مخزن (mm)

$W_l$ : وزن مؤثر سیال در سطح خطر-۱ زلزله (N)

$$W_l = f_1 W_l \quad (۷-۸)$$

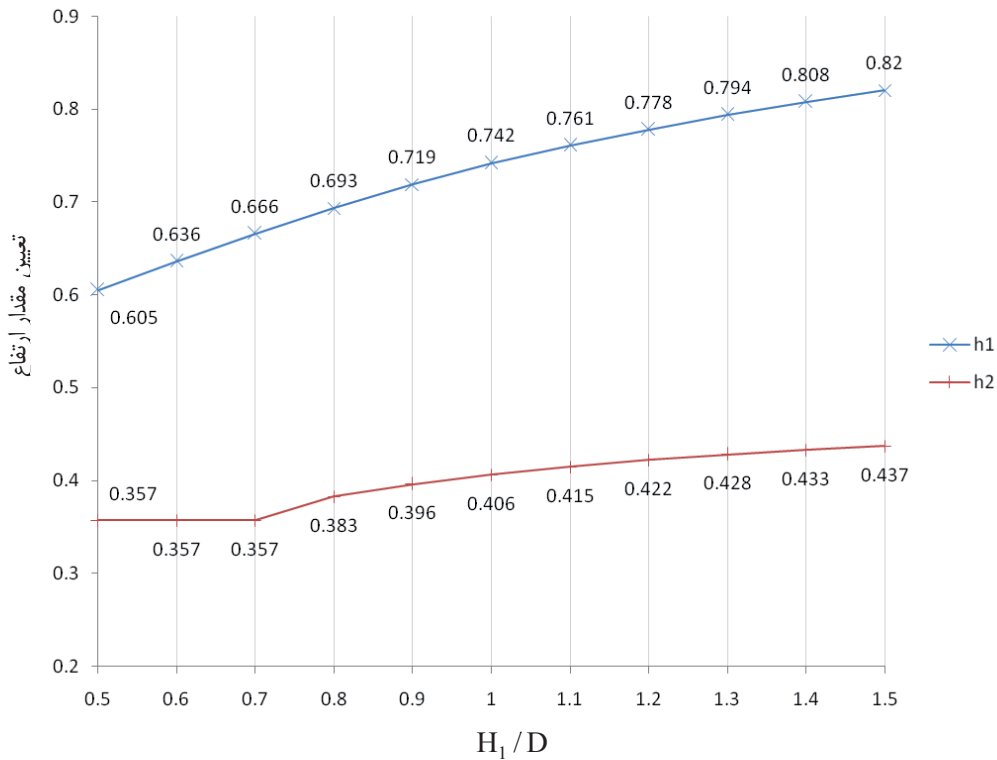
$W_l$ : وزن سیال (N)

$f_1$ : نسبت وزن مؤثر سیال (به شکل مراجعه کنید (۴-۸))

$H_l$ : ارتفاع مرکز ثقل مؤثر سیال از صفحه کف مخزن (mm)

$$H_l = h_1 H_L \quad (۸-۸)$$

$h_1$ : مقدار به دست آمده از شکل (۴-۸)



شکل ۴-۸ ضریب  $h_1$  و  $h_2$

۲- تنش تسمه مهار ناشی

$$\sigma_t = \frac{1}{N_{as} A} \left\{ \frac{\pi D_0^2 P_0}{4} - (1 - K_{MV})(W_s + W_r) + \frac{4M_{10}}{D_0} \right\} \quad (9-8)$$

 $\sigma_t$ : تنش کششی تسمه مهار ( $N/mm^2$ ) $N_{as}$ : تعداد تسمه مهارA: سطح مقطع تسمه مهار ( $mm^2$ ) $P_0$ : فشار عادی (MPa) $K_{MV}$ : ضریب زلزله اصلاح شده طراحی قائم

۳- تنش‌ها به غیر از موارد مشخص شده در بخش قبل

تنش‌ها باید برای نقطه نشان داده شده در جدول (۸-۲) بر اساس سطح خطر ۱- زلزله محاسبه شوند.

جدول ۸-۲ تنش‌های تعیین شده

بخش ارزیابی تنش	نوع تنش
جداره مخزن، صفحه سگک، صفحه سقف و صفحه حلقوی دور به استثنای بخش تمرکز تنش	تنش غشایی اولیه
	تنش فشاری
بخش اتصالات بین سقف و صفحه سگک، صفحه سگک و صفحه پوسته، صفحه پوسته و صفحه حلقوی دور	تنش غشایی محلی اولیه
	تنش خمشی اولیه
	تنش غشایی ثانویه به علاوه تنش خمشی
تسمه مهار	تنش کششی

## ۸-۲-۵- تنش مجاز

تنش مجاز جداره پوسته کناری مانند اعضای فشاری و تسمه مهار مانند اعضای تکیه‌گاهی تعریف می‌شود.

۱- تنش فشاری مجاز جداره کناری مخزن

$$S' = \frac{Et}{3D_0} \quad (10-8)$$

 $S'$ : تنش فشاری مجاز ( $N/mm^2$ )

t: ضخامت جداره کناری به غیر از مقدار مجاز خوردگی (mm)

E: مدول الاستیسیته طولی در دمای طراحی ( $N/mm^2$ )

۲- تنش کششی مجاز تسمه مهار

تنش کششی مجاز، کم‌ترین مقدار بین تنش تسلیم، مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ فولاد و ۷۰٪ مقاومت کششی

است. ( N / mm<sup>2</sup> )

### ۸-۲-۶- معیار پذیرش

همه تنش‌های محاسبه شده باید کم‌تر از تنش مجاز باشند.

### ۸-۳- طراحی به روش شکل‌پذیر

#### ۸-۳-۱- سطح خطر ۲- زلزله

سطح خطر ۲- زلزله در سطح زمین به صورت تغییر مکان و سرعت مشخص و بر اساس پریود طبیعی تلاطم که از رابطه بین ارتفاع حداکثر سیال و قطر داخلی به دست می‌آید، بیان می‌شود.

۱- پریود طبیعی تلاطم

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{D_0}{3.682g}} \coth\left(\frac{3.682H_1}{D_0}\right) \quad (۱۱-۸)$$

$T_s$ : پریود طبیعی تلاطم (Sec)

$D_0$ : قطر داخلی مخزن ( m )

$H_1$ : حداکثر ارتفاع سیال ( m )

۲- سرعت و تغییر مکان زمین برای سطح خطر ۲- در راستای افقی

زمانی که  $T_s \leq 7.5$

$$V_H = 100 \beta_1 \beta_2 \quad (۱۲-۸)$$

زمانی که  $T_s > 7.5$

$$D_H = 120 \beta_1 \beta_2 \quad (۱۳-۸)$$

$V_H$ : سرعت زمین برای سطح خطر ۲- زلزله در راستای افقی ( cm / s )

$D_H$ : نصف دامنه تغییر مکان زمین برای سطح خطر ۲- زلزله در راستای افقی ( cm )

$\beta_1$ : ضریب اهمیت

$\beta_2$ : نسبت شتاب مبنای طرح

شتاب افقی در سطح  $\alpha_2$  ( m / s<sup>2</sup> ) را بسته به پریود تلاطم می‌توان از یکی از دو رابطه (۸-۱۴) یا (۸-۱۵) محاسبه کرد.

$$a_2 = \frac{2\pi}{T_s} V_H \quad (۱۴-۸)$$

$$a_2 = \left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^2 D_H \quad (۱۵-۸)$$

شدت لرزه افقی طراحی  $K_{H2}$  برای سطح خطر ۲- زلزله از رابطه (۸-۱۶) به دست می‌آید.

$$K_{H2} = \frac{\alpha_2}{g} \quad (۱۶-۸)$$

ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی  $K_{MH2}$  برای سطح خطر-۲ زلزله از رابطه (۱۷-۸) به دست می‌آید.

$$K_{MH2} = 9K_{H2} \quad (۱۷-۸)$$

### ۸-۳-۲- مدهای خرابی

۱- شکست جداره پوسته کناری

- کماتش ناشی از زلزله سطح خطر-۲

۲- شکست تسمه مهار

- تسلیم کششی ناشی از زلزله سطح خطر-۲

### ۸-۳-۳- ضریب زلزله تسلیم

ضریب زلزله تسلیم برای هر مد خرابی و برای سطح خطر-۲ تعریف می‌شود.

۱- ضریب زلزله تسلیم برای کماتش جداره پوسته کناری

$$K_{ycS2} = K_{MH2} \frac{S_c + \sigma_p - \sigma_o}{\sigma_{E2H}} \quad (۱۸-۸)$$

$S_c$ : تنش کماتش ( $N/mm^2$ )

$$S_c = \frac{Et}{2.5D_0} \quad (۱۹-۸)$$

$\sigma_p$ : متوسط تنش کششی محوری ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_p = \frac{P_{0min} D_0}{4t} \quad (۲۰-۸)$$

$\sigma_o$ : متوسط تنش فشاری محوری ناشی از وزن خود مخزن ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_o = \frac{(W_s + W_r)}{\pi D_0 t} \quad (۲۱-۸)$$

$\sigma_{E2H}$ : تنش فشاری در نقطه‌ای به ارتفاع  $h_p$  ناشی از لنگر واژگونی، هنگامی که ضریب زلزله در سطح خطر-۲ اعمال می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{E2H} = K_{MH2} \frac{4(1 - h_p/H_1)^{1.3} W_2 H_{20}}{\pi D_0^2 t} \quad (۲۲-۸)$$

$K_{MH2}$ : ضریب اصلاح شده افقی طراحی ناشی از زلزله سطح خطر-۲

$$K_{MH2} = \frac{9\alpha_2}{g} \quad (۲۳-۸)$$

$\alpha_2$ : شتاب افقی در سطح زمین بر اساس پریود طبیعی تلاطم ( $cm/s^2$ ) (به جدول (۳-۸) مراجعه کنید)



جدول ۸-۳ شتاب زلزله سطح خطر-۲

$\alpha_2$	$T_S$
$V_H \frac{2\pi}{T_S}$	۷/۵ یا کمتر
$D_H \left( \frac{2\pi}{T_S} \right)^2$	بیشتر از ۷/۵

وزن مؤثر سیال (N) از رابطه (۸-۲۴) محاسبه می‌گردد.

$$W_2 = f_2 W_1 \quad (۸-۲۴)$$

$f_2$ : به شکل (۸-۳) مراجعه کنید.

$$H_{20} = h_2 H_L \quad (۸-۲۵)$$

$h_2$ : به شکل (۸-۴) مراجعه کنید.

۲- ضریب زلزله تسلیم پایین‌ترین قسمت جداره کناری ناشی از تنش محیطی و تنش فشاری محوری

در پایین‌ترین جداره پوسته کناری، ضریب زلزله تسلیم در اثر شکست ناشی از تنش فشاری در راستای محیطی و تنش فشاری محوری از رابطه (۸-۲۶) محاسبه می‌شود.

$$K_{ybs} = kK_{MH} \quad (۸-۲۶)$$

$k$ : ضریب نسبت در مقابل ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی. کم‌ترین مقدار از بین  $k_1$  و  $k_2$  است. اگر  $k_2$  مقداری منفی باشد،  $k$  برابر  $k_1$  است.

$$k_1 = \frac{S_{cr} - \sigma_{1o} - S_{cr} \frac{\sigma_{0h}}{S_y}}{\sigma_{EIH} + \sigma_{EIV} + S_{cr} \frac{\sigma_{Eh}}{S_y}} \quad (۸-۲۷)$$

$$k_2 = \frac{b S_{cr} - \sigma_{1o} - b S_{0.3} \frac{\sigma_{0h}}{S_y}}{\sigma_{EIH} + \sigma_{EIV} + b S_{0.3} \frac{\sigma_{Eh}}{S_y}} \quad (۸-۲۸)$$

$\sigma_{1o}$ : متوسط تنش فشاری محوری ناشی از وزن خود مخزن ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{1o} = \frac{W_r + W_{ls}}{2\pi Rt} \quad (۸-۲۹)$$

$\sigma_{0h}$ : تنش غشایی محیطی جداره کناری مخزن در طول بهره‌برداری عادی

$$\sigma_{0h} = \frac{R}{t} (P_s + P_{0max}) \quad (۸-۳۰)$$

$\sigma_{Eh}$ : تنش غشایی محیطی جداره کناری مخزن در زمان زلزله

$$\sigma_{Eh} = \frac{R}{t} P_s \left\{ K_{MV} + K_{MH} \frac{\sqrt{3}}{2} \tanh\left(\sqrt{3} \frac{R}{H_L}\right) \right\} \quad (31-8)$$

$\sigma_{EIH}$ : تنش فشاری محوری ناشی از لنگر واژگونی زمانی که ضریب زلزله افقی اصلاح شده  $K_{MH}$  اعمال می‌شود.  
( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{EIH} = K_{MH} \frac{(W_{Is} + W_r + W_1)H_G}{\pi R^2 t} \quad (32-8)$$

$\sigma_{EIV}$ : تنش فشاری محوری ناشی از ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی  $K_{MV}$  ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{EIV} = K_{MV} \frac{W_r + W_{Is}}{2\pi R t} \quad (33-8)$$

R: شعاع جداره کناری مخزن (mm)

t: ضخامت دیوار پایین‌ترین قسمت ورق جداره کناری مخزن (mm)

$P_{0max}$ : حداکثر فشار در طول بهره‌برداری عادی (mm)

$P_s$ : فشار هیدرواستاتیکی سیال (MPa)

$H_G$ : ارتفاع مرکز ثقل مخزن (mm)

$H_L$ : حداکثر ارتفاع سطح سیال (mm)

$W_r$ : کل وزن سقف (شامل بار برف) (N)

$W_{Is}$ : کل وزن جداره دیوار کناری مخزن (N)

$W_1$ : وزن مؤثر سیال (به بخش قبل مراجعه کنید) (N)

$S_{cr}$ : مقداری که از رابطه (۳۴-۸) محاسبه می‌شود ( $N/mm^2$ )

$$\text{چنان چه } \frac{R}{t} \leq 0.807$$

$$S_{cr} = \frac{0.8E}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} \cdot \frac{t}{R} \quad (34-8)$$

$$\text{چنان چه } 0.69 \frac{E}{S_y} \leq \frac{R}{t} \leq 0.807 \frac{E}{S_y}$$

$$S_{cr} = 0.6S_y + 0.4S_y \frac{0.807 - \frac{R}{t} \cdot \frac{S_y}{E}}{0.738} \quad (35-8)$$

$$\text{چنان چه } \frac{R}{t} \leq 0.69 \frac{E}{S_y}$$

$$S_{cr} = S_y \quad (36-8)$$

$S_{cr}$ : مقداری که از رابطه (۳۷-۸) محاسبه می‌شود ( $N/mm^2$ )

$$2.106 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78} \leq \frac{R}{t} \quad \text{چنان چه}$$

$${}_b S_{cr} = 0.6E \left\{ 1 - 0.731 \left[ 1 - \exp \left( - \frac{1}{16} \sqrt{\frac{R}{t}} \right) \right] \right\} \frac{t}{R} \quad (37-8)$$

$$0.274 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78} \leq \frac{R}{t} \leq 2.106 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78} \quad \text{چنان چه}$$

$${}_b S_{cr} = 0.6S_y + 0.4S_y \left[ 2.106 - \frac{R}{t} \left( \frac{S_y}{E} \right)^{0.78} \right] \frac{1}{1.832} \quad (38-8)$$

$$\frac{R}{t} \leq 0.274 \left( \frac{E}{S_y} \right)^{0.78} \quad \text{چنان چه}$$

$${}_b S_{cr} = S_y \quad (39-8)$$

${}_b S_{0.3}$ : مقداری که از رابطه (۴۰-۸) محاسبه می‌شود ( $N/mm^2$ )

$${}_b S_{0.3} = \frac{0.7S_{cr} - {}_b S_{cr}}{0.3} \quad (40-8)$$

$S_y$ : تنش تسلیم جداره کناری ( $N/mm^2$ )

$v$ : نسبت پواسون

۳- ضریب زلزله تسلیم برای تنش کششی تسمه مهار

$$K_{yA2} = K_{MH2} \frac{S_y - \sigma_{Ap} + \sigma_{A0}}{\sigma_{AEH2}} \quad (41-8)$$

$\sigma_{Ap}$ : تنش کششی ناشی از فشار داخلی ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{Ap} = \frac{\pi D_0^2 P_{0max}}{4N_{as} A} \quad (42-8)$$

$\sigma_{A0}$ : تنش فشاری ناشی از وزن خود مخزن ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{A0} = \frac{W_s + W_r}{N_{as} A} \quad (43-8)$$

$\sigma_{AEH2}$ : تنش کششی ناشی از کل لنگر واژگونی زمانی که زلزله سطح خطر-۲ اعمال می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{AE2H} = K_{MH2} \frac{4W_2 H_{20}}{D_0 N_{as} A} \quad (44-8)$$

$N_{as}$ : تعداد تسمه مهار

$A$ : سطح مقطع تسمه مهار ( $mm^2$ )

## ۸-۳-۴- ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری،  $\mu_p$ ، از رابطه (۴۵-۸) برای کمانش جداره کناری مخزن و تسلیم تسمه مهار محاسبه شود:

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad (45-8)$$

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری برای هر مد خرابی، اگر  $K_{MH} \leq K_y$  در آن صورت  $\mu_p = 0$

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی برای زلزله سطح خطر-۲

$K_y$ : ضریب زلزله تسلیم برای هر مد خرابی

بر اساس مد خرابی، مقدار C به صورت زیر تعریف می‌شود.

(۱) کمانش جداره کناری ناشی از زلزله سطح خطر-۲

(۲) تسلیم کششی تسمه مهاری ناشی از زلزله سطح خطر-۲

با فرض رفتار کاملاً الاستو پلاستیک، C برای جداره کناری برابر ۲ است.

با فرض رفتار پلاستیک، C برای تسمه مهاری برابر ۱ است.

## ۸-۳-۵- ضریب شکل پذیری مجاز

ضریب شکل پذیری مجاز  $\mu_{pa}$  باید برای هر مد خرابی ناشی از زلزله سطح خطر-۲ محاسبه شود.

۱- ضریب شکل پذیری مجاز برای کمانش جداره کناری مخزن

$$\frac{\sigma_0}{S_c} \leq 0.2 \quad \text{چنان چه}$$

$$\mu_{pa} = 0.35 \quad (46-8)$$

$$\frac{\sigma_0}{S_c} > 0.2 \quad \text{چنان چه}$$

$$\mu_{pa} = 0.13 \quad (47-8)$$

$\sigma_0$ : متوسط تنش فشاری محوری ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_0 = \frac{(W_r + W_s) - P_{0min} \pi R^2}{2\pi R t} \quad (48-8)$$

$S_c$ : تنش کمانش الاستیک هنگامی که متوسط تنش فشاری محوری در دست نمی‌باشد.

$$S_c = \frac{Et}{2.5D_0} \quad (49-8)$$

۲- ضریب شکل پذیری مجاز برای تسلیم کششی تسمه مهاری

$$\mu_{pa} = \frac{\pi_a q_y R}{K_{yA2}^2 (W_s + W_r + W_2) g} \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{0.617 t_b S_{yb}^2}{E_a P_b} \quad (50-8)$$

مشروط بر این که  $0.75 \leq \mu_{pa} \leq 2.5$

$t_b$ : ضخامت صفحه حلقوی دور (mm)

$S_{yb}$ : تنش تسلیم صفحه حلقوی دور ( $N/mm^2$ )

$E_a$ : مدول الاستیسیته طولی تسمه مهاری ( $N/mm^2$ )

$P_b$ : فشار صفحه حلقوی (MPa)

$T$ : پریود طبیعی مخزن (Sec)

$q_y$ : مقاومت تسلیم تسمه مهاری در واحد عرض ( $N/mm$ )

$$q_y = \frac{NAS_{ya} - \pi R^2 P_0 \min}{2\pi R} \quad (51-8)$$

$R$ : شعاع جداره کناری مخزن (mm)

$S_{ya}$ : تنش تسلیم تسمه مهاری ( $N/mm^2$ )

### ۸-۳-۶- معیارهای پذیرش

برای هر مد خرابی رابطه (۵۲-۸) باید برقرار باشد.

$$\mu_p \leq \mu_{pa}$$

(۵۲-۸)

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری

$\mu_{pa}$ : ضریب شکل پذیری مجاز

# فصل ۹

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

برج و محفظه قائم



## ۹-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای برج و محفظه قائم

برج‌های با ارتفاع  $H_1$ ، برابر ۵ متر یا بیشتر (فاصله بین مماس‌ها) تجهیزات هدف طراحی لرزه‌ای در این فصل هستند.

### ۹-۲- طراحی به روش تنش مجاز

#### ۹-۲-۱- تحلیل پاسخ

عملکرد لرزه‌ای بر اساس اندازه برج و پیروید طبیعی آن، با استفاده از روش شبه استاتیکی، روش شبه استاتیکی اصلاح شده یا روش‌های تحلیل مودال ارزیابی شود. زمانی که از سطح خطر ۱- استفاده می‌شود، روش تنش مجاز و هنگامی که از سطح خطر ۲- استفاده می‌شود روش شکل‌پذیر به کار رود.

#### ۹-۲-۱-۱- روش شبه استاتیکی

روش شبه استاتیکی را می‌توان برای سازه با درجه اهمیت متوسط و کم و ارتفاع کم‌تر از ۲۰ متر (ارتفاع از وجه پایینی صفحه پایه تا بالاترین نقطه تماس تکیه‌گاه دامنی و تکیه‌گاه پایه‌ای و برای تکیه‌گاه حلقوی، فاصله بین خطوط مماس) از پایه برای برج و محفظه افقی به کار برد. وزن کل برابر مجموع وزن مرده بخشی که نیروی زلزله را دریافت می‌کند و وزن محتویات، فرض می‌شود.

#### ۹-۲-۱-۲- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

روشی برای تعیین نیروی زلزله بر حسب پیروید طبیعی است. برای برج با تکیه‌گاه دامنی که نسبت قطر متوسط  $D_m$  به ارتفاع  $H_1$  از کف در آن کم‌تر از ۴ است، ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی  $\beta_s$  را می‌توان بدون محاسبه برابر ۲ در نظر گرفت. اگر پیروید طبیعی برج بزرگ‌تر از مقادیر عنوان شده در جدول (۹-۱) باشد، تحلیل پاسخ باید بر اساس تحلیل مودال که در ادامه توضیح داده می‌شود صورت پذیرد.

جدول ۹-۱ محدوده پیروید طبیعی

نوع زمین	پیروید طبیعی (sec)
نوع ۱	۰/۵
نوع ۲ و ۳	۱
نوع ۴	۱/۵

#### ۱- پیروید طبیعی برج‌های مستقل از تکیه‌گاه دامنی

در مواردی که ارتفاع برج مساوری یا بزرگتر از ۴ برابر قطر متوسط آن است، اگر نسبت حداکثر به حداقل قطر داخلی کم‌تر از ۲ بوده و نسبت ضخامت بالا و پایین جداره، بزرگتر از ۰/۵ و کم‌تر از ۴ باشد، پیروید طبیعی برج از رابطه (۹-۱) به دست می‌آید.



$$T = \frac{CH_t}{\sqrt{K_{MH} D_m}} \quad (۱-۹)$$

T: پریود طبیعی (ثانیه)

$K_{MH}$ : ضریب زلزله طراحی اصلاح شده

$D_m$ : قطر متوسط جداره (m)

C: برای برجها حدود ۰/۰۳ ملحوظ می‌شود.

$H_t$ : ارتفاع از کف برج (m)

۲- پریود طبیعی برجها با تکیه‌گاه پایه‌ای

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_0}{Kg}} \quad (۲-۹)$$

T: پریود طبیعی (sec)

g: شتاب ثقل ( $\text{mm/s}^2$ )

$W_0$ : وزن بهره‌برداری (N)

K: سختی افقی تجهیز (N/mm) به‌دست آمده از رابطه (۳-۹)

$$K = \frac{1}{\frac{\lambda}{K_1} + \frac{1}{K_2}} \quad (۳-۹)$$

$K_1$ : سختی دورانی کل به‌دست آمده از رابطه (۴-۹) (N/mm)

$$K_1 = \frac{3nEA_1 D_1^2}{2H_1^3} \quad (۴-۹)$$

$K_2$ : سختی برشی کل به‌دست آمده از رابطه (۵-۹) (N/mm)

$$K_2 = \frac{nK_c}{1 + \frac{H_1 K_c}{GA_1}} \quad (۵-۹)$$

$K_c$ : سختی خمشی هر یک از پایه‌ها که از رابطه (۶-۹) به‌دست می‌آید (N/mm)

$$K_c = \frac{4E(I_1 + I_2)}{H_1^3} \quad (۶-۹)$$

$\lambda$ : ضریب اصلاح که با توجه به ارتفاع مرکز ثقل از رابطه (۷-۹) به‌دست می‌آید:

$$\lambda = \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 - \frac{H_2}{H_1} + 4 \quad (۷-۹)$$

در روابط فوق هر یک از علائم به‌صورت مقادیر زیر هستند.

$H_1$ : ارتفاع از وجه پایین ورق کف تا مرکز جوشکاری نصب (mm)

$H_2$ : ارتفاع از وجه پایین ورق کف تا مرکز ثقل برج (mm)

n: تعداد پایه‌ها

E: مدول الاستیسیته طولی مصالح پایه ( $N/mm^2$ )

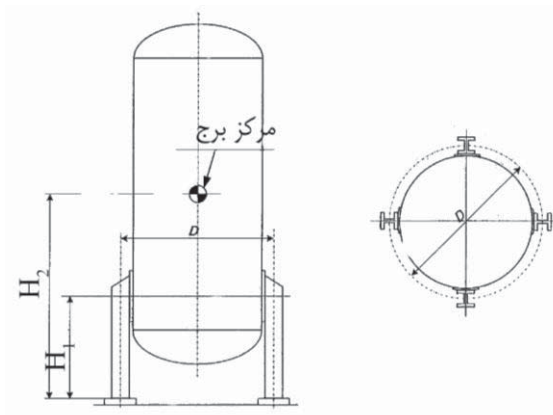
$D_1$ : قطر دایره ساخته شده توسط مراکز پایه‌ها (mm)

G: مدول الاستیسیته عرضی برشی مصالح پایه ( $N/mm^2$ )

$A_1$ : سطح مقطع پایه ( $mm^2$ )

$I_1$ : لنگر دوم سطح نسبت به محور پایه موازی مماس بر محیط محفظه ( $mm^4$ )

$I_2$ : لنگر دوم سطح نسبت به محور پایه در راستای شعاعی مقطع ( $mm^4$ )



شکل ۹-۱ برج‌ها با تکیه‌گاه پایه‌ای

### ۹-۲-۱-۳- تحلیل مودال

برای تحلیل مودال لازم است که پریود طبیعی هر برج و محفظه با شرایط تکیه گاهی متفاوت شامل دامنی، پایه‌ای و حلقوی برای هر مود محاسبه گردد.

### ۹-۲-۲- محاسبه تنش

روش محاسبه تنش در زیر بر اساس نوع سازه تکیه‌گاهی داده شده است:

۱- برج با تکیه‌گاه دامنی و حلقوی

۱-۱- تنش ایجاد شده در پوسته (بدنه)

الف) تنش کششی

$$\sigma_t = \left( \frac{P_o D_m}{4t} - \frac{W_V - F_V}{\pi D_m t} + \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad (۸-۹)$$

$\sigma_t$ : تنش کششی ایجاد شده در پوسته ( $N/mm^2$ )

t: ضخامت پوسته با در نظر گرفتن مقدار مجاز خوردگی (mm)

$P_o$ : فشار بهره‌برداری عادی (MPa)

$D_m$ : قطر متوسط (mm)

$W_V$ : مجموع وزن سازه و محتویات (N)

$F_V$ : نیروی زلزله قائم طراحی (N)

$M$ : مجموع لنگرهای ایجاد شده در ضریب زلزله افقی اصلاح شده (اگر بار خارج از مرکز داشته باشیم، لنگر

بار در نظر گرفته می‌شود) (N.mm)

$\theta$ : نصف زاویه رأس مخروط (درجه)

(ب) تنش فشاری

$$\sigma_c = \left( \frac{P_o D_m}{4t} - \frac{W_V - F_V}{\pi D_m t} + \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad (9-9)$$

$\sigma_c$ : تنش فشاری ایجاد شده در پوسته (N.mm<sup>2</sup>)

۱-۲- تنش ایجاد شده در تکیه‌گاه دامنی

$$\sigma_c = \left\{ \frac{W_V + F_V}{(\pi D_m - Y_s)t} + \frac{4M}{(\pi D_m^2 - 2D_m Y_s)t} \right\} \frac{1}{\cos \theta} \quad (10-9)$$

$\sigma_c$ : تنش فشاری ایجاد شده در تکیه‌گاه دامنی (N.mm<sup>2</sup>)

$D_m$ : قطر متوسط (mm)

$Y_s$ : حداکثر طول افقی بازشو دامنی (mm)

$t$ : ضخامت صفحه دامنی (mm)

$\theta$ : نصف زاویه راس دامنی مخروط شکل (درجه)

۱-۳- تنش ایجاد شده در پیچ مهار

$$\sigma_t = \frac{1}{n_{ab} A_b} \left( -W_V + F_V + \frac{4M}{D_1} \right) \quad (11-9)$$

$\sigma_t$ : تنش کششی ایجاد شده در پیچ مهار (N.mm<sup>2</sup>)

$n_{ab}$ : تعداد پیچ مهار

$A_b$ : سطح مقطع مؤثر پیچ مهار (mm<sup>2</sup>)

$D_1$ : قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز پیچ مهارها (mm)

۱-۴- تنش ایجاد شده در ورق کف

(الف) پایه از نوع بلوکی نباشد.

$$\sigma_b = \frac{3L_m^2}{t^2} \left( \frac{W_V + F_V}{A_{bp}} + \frac{M}{Z} \right) \quad (12-9)$$

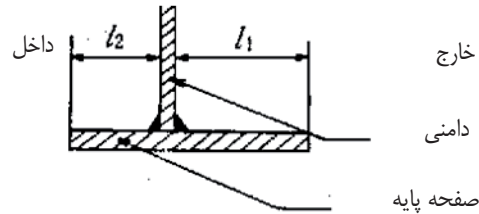
$\sigma_b$ : تنش خمشی ایجاد شده در ورق کف (N/mm<sup>2</sup>)

$t$ : ضخامت ورق (mm)

$L_m$ : بزرگ‌ترین مقدار  $l_1$  و  $l_2$  نشان داده شده در شکل (۲-۹) (mm)

$A_{bp}$ : مساحت ورق کف ( $\text{mm}^2$ )

$Z$ : اساس مقطع نسبت به راستای شعاعی ورق کف ( $\text{mm}^3$ )



شکل ۲-۹ صفحه پایه

(ب) پایه از نوع بلوکی

محاسبه تنش مشابه قسمت الف) است. تنش خمشی ایجاد شده در ورق کف می‌تواند با در نظر گرفتن تنش ایجاد شده در پایه بلوکی بر اساس سازه پایه بلوکی محاسبه شود.

۲- محاسبه تنش برج‌ها با تکیه‌گاه پایه‌ای

۱-۲- تنش ایجاد شده در پوسته

مراحل محاسبه مشابه بند ۱-۱ است. در این مورد، مخزن ذخیره استوانه‌ای قائم با طول کم‌تر از ۵ متر بین بالاترین و پایین‌ترین نقاط تماسی پایه‌ها و پوسته خط مماسی، صلب فرض شود.

۲-۲- تنش ایجاد شده در پایه

الف) تنش کششی

$$\sigma_t = \frac{1}{n_1 A_1} (-W_0 + F_V + \frac{4F_H H_2}{D_1}) \quad (۱۳-۹)$$

$\sigma_t$ : تنش کششی ایجاد شده در پایه ( $\text{N/mm}^2$ )

$n_1$ : تعداد پایه‌ها

$A_1$ : سطح مقطع پایه ( $\text{mm}^2$ )

$W_V$ : وزن بهره‌برداری (N)

$F_V$ : نیروی زلزله قائم طراحی (N)

$D_1$ : قطر دایره ایجاد شده توسط مرکز پایه‌ها (mm)

$H_2$ : ارتفاع از ورق کف تا مرکز ثقل برج‌ها (mm)

(ب) تنش فشاری

$$\sigma_c = \frac{1}{n_1 A_1} (W_V + F_V + \frac{4F_H H_2}{D_1}) \quad (۱۴-۹)$$

$\sigma_c$ : تنش فشاری ایجاد شده در پایه ( $\text{N/mm}^2$ )

(ج) تنش خمشی

$$\sigma_b = \frac{1.2F_H H_1 e_f}{n_1 (I_1 + I_2)} \quad (۱۵-۹)$$

 $\sigma_b$ : تنش خمشی ایجاد شده در پایه ( $N/mm^2$ ) $I_1$ : ممان اینرسی سطح نسبت به محور پایه در راستای مماسی مقطع پوسته ( $mm^4$ ) $I_2$ : ممان اینرسی سطح نسبت به محور پایه در راستای شعاعی مقطع پوسته ( $mm^4$ ) $e_f$ : حداکثر فاصله از محور خنثی پایه تا قسمت کمان پوسته برج ( $mm$ )

(د) تنش برشی

$$\tau = \frac{F_H}{n_1 A_1} \quad (۱۶-۹)$$

 $\tau$ : تنش برشی ایجاد شده در پایه ( $N/mm^2$ )

۳-۲- تنش ایجاد شده در پیچ مهار

این تنش بر اساس  $P_b$ ، نیروی بیرون کشیدگی اعمالی بر صفحه پایه رابطه (۱۷-۹) در ادامه آورده شده است.

$$P_b = -W_v + F_v + \frac{4F_H H_2}{D_1} (N) \quad (۱۷-۹)$$

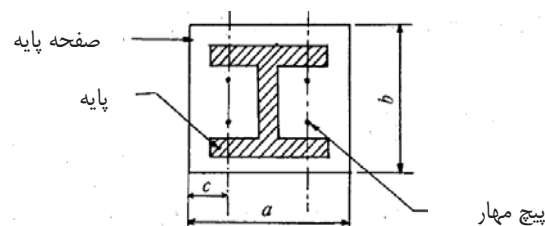
(الف) تنش کششی

برای  $P_b \geq 0$ 

$$\sigma_t = \frac{e_f + \frac{a}{2} - c}{a - 2c} \cdot \frac{2P_b}{n_a A_b} \quad (۱۸-۹)$$

برای  $P_b < 0$ 

$$\sigma_t = \frac{0.48 \left( e_f + \frac{a}{6} + \frac{c}{3} \right)}{a - c} \left\{ \frac{15}{b(a - c)} + \frac{2}{n_a A_b} \right\} P_b \quad (۱۹-۹)$$

 $\sigma_t$ : تنش کششی ایجاد شده در پیچ مهار اگر منفی به دست آید، صفر در نظر گرفته می‌شود. ( $N/mm^2$ ) $c, a, b$ : مقادیری که به ترتیب در شکل (۳-۹) نشان داده شده‌اند. ( $mm$ )

شکل ۳-۹

 $n_a$ : تعداد پیچ‌های مهاری هر پایه

$e_f$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۹-۲۰) (mm)

$$e_f = \frac{1}{P_b} \cdot \frac{1.2I_1}{I_1 + I_2} \cdot F_H H_1 \quad (9-20)$$

ب) تنش برشی

$$\tau = \frac{F_H}{n_1 n_a A_b} \quad (9-21)$$

$\tau$ : تنش برشی ایجاد شده در پیچ مهار ( $N/mm^2$ )

۳- تنش محاسباتی برج‌ها با تکیه‌گاه حلقوی

۳-۱- تنش ایجاد شده در صفحه پوسته‌ای: با استفاده از رابطه توضیح داده شده در برج با تکیه‌گاه دامنی برای پوسته محاسبه می‌شود.

۳-۲- تنش ایجاد شده در پیچ: با استفاده از رابطه توضیح داده شده در برج با تکیه‌گاه دامنی برای پیچ مهار محاسبه می‌شود.

موقعیت محاسبه تنش در برج‌ها و محفظه‌های قائم، در جدول (۹-۲) نشان داده شده است.

جدول ۹-۲ موقعیت محاسبه تنش و نوع تنش

نوع تنش محاسباتی					بخشی که تنش محاسبه می‌شود	نوع برج
کمانش	فشار	خمش	برش	کشش		
○	○			○	بدنه	تکیه‌گاه دامنی
○	○				پوسته	
				○	پیچ مهار	
		○			صفحه پایه	
○	○			○	بدنه	تکیه‌گاه پایه‌ای
○	○	○	○	○	پایه	
			○	○	پیچ مهار	
○	○			○	بدنه	تکیه‌گاه حلقوی
				○	پیچ‌ها	

قسمت‌های محاسبه تنش در برج‌ها محدود به پوسته، دامنی، پایه، پیچ مهار، صفحه پایه و سایر بخش‌های مهم سازه از جمله سامانه تکیه‌گاهی است، اما این بدان معنی نیست که سایر قسمت‌های سازه احتیاج به طراحی لرزه‌ای ندارد. اگر درجه اهمیت متوسط و کم باشد، می‌توان ارزیابی نیروی زلزله قائم را فقط برای تنش فشاری انجام داد.

## ۹-۲-۳- تنش مجاز

در این روش، طراحی بر اساس تنش‌های بدست آمده در مصالح بخش فشاری و سازه تکیه‌گاهی و با در نظر گرفتن تنش‌های مجاز صورت می‌گیرد.

تنش‌های مجاز مصالح در بند ۴-۳ توضیح داده شده است.

## ۹-۲-۴- معیارهای پذیرش

اگر تنش محاسبه شده کمتر از تنش مجاز باشد، عملکرد لرزه‌ای برای زلزله طراحی تأیید می‌شود.

## ۹-۳-۳- طراحی به روش شکل پذیر

## ۹-۳-۱- برج با تکیه‌گاه پوسته‌ای

## ۹-۳-۱-۱- مدهای خرابی

۱- شکست پوسته

- تسلیم کششی پوسته

- کمانش فشاری پوسته

۲- شکست دامنی

- کمانش فشاری دامنی

۳- شکست پیچ مهار

- تسلیم کششی پیچ مهار

۴- شکست صفحه پایه

- تسلیم خمشی صفحه پایه

## ۹-۳-۱-۲- ضریب زلزله تسلیم

ضریب زلزله تسلیم باید برای هر مد خرابی محاسبه شود.

۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد تسلیم پوسته

۱-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پوسته

$$K_{yts} = K_{MH} \frac{S_y - \sigma_{tOs}}{\sigma_{tHs} + \sigma_{tVs}} \quad (9-22)$$

$K_{yts}$ : ضریب زلزله تسلیم برای تسلیم کششی پوسته در موقعیت محاسبه تنش

$K_{MH}$ : ضریب زلزله اصلاح شده طراحی سازه

$\sigma_{tOs}$ : تنش کششی ایجاد شده در پوسته در بهره‌برداری عادی که از رابطه (۲۳-۹) محاسبه می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tOs} = \left( \frac{P_o D_m}{4t} - \frac{W_v}{\pi D_m t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad (23-9)$$

$\sigma_{tHs}$ : تنش کششی ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی افقی طراحی که از رابطه (۲۴-۹) به دست می‌آید. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tHs} = \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (24-9)$$

$\sigma_{tVs}$ : تنش کششی ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی قائم طراحی که از رابطه (۲۵-۹) به دست می‌آید. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tVs} = \frac{F_v}{\pi D_m t} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (25-9)$$

$M$ : مجموع لنگرهایی که در موقعیت مربوط به ضریب افقی اصلاح شده طراحی به کار می‌روند (اگر بار خارج از محور داشته باشیم، لنگر بار در نظر گرفته می‌شود) ( $N.mm$ )

$D_m$ : قطر متوسط ( $mm$ )

$t$ : ضخامت پوسته (با در نظر گرفتن مقدار مجاز خوردگی  $mm$ )

$P_o$ : فشار در بهره‌برداری عادی ( $MPa$ )

$\theta$ : نصف زاویه رأس مخروط (درجه)

$W_v$ : مجموع وزن سازه و محتویات آن در موقعیت طراحی لرزه‌ای ( $N$ )

$F_v$ : نیروی زلزله قائم محاسبه شده از رابطه (۲۶-۹)

$$F_v = K_{MV} W_v \quad (26-9)$$

$K_{MV}$ : ضریب زلزله قائم اصلاح شده

$S_y$ : کمترین مقدار بین مقاومت تسلیم در دمای طراحی یا دمای عادی مصالح و مقاومت متناظر با کرنش  $0.2\%$

فولاد ( $N/mm^2$ )

۲-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به کماتش فشاری پوسته

$$K_{yCS} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{co}}{\sigma_{cH} + \sigma_{cV}} \quad (27-9)$$

$K_{yCS}$ : ضریب زلزله تسلیم برای کماتش فشاری پوسته در موقعیتی که تنش محاسبه می‌شود.

$\sigma_{co}$ : تنش فشاری ایجاد شده در پوسته در اثر بار بهره‌برداری عادی که از رابطه (۲۸-۹) محاسبه می‌شود.

( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{co} = \left( -\frac{P_o D_m}{4t} + \frac{W_v}{\pi D_m t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad (28-9)$$

$\sigma_{cH}$ : تنش فشاری ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی زلزله افقی طراحی، که از رابطه (۲۹-۹) محاسبه می‌شود.



$$(N/mm^2)$$

$$\sigma_{cH} = \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (29-9)$$

$\sigma_{cV}$ : تنش فشاری ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی زلزله قائم طراحی که از رابطه (۳۰-۹) محاسبه می‌شود.

$$(N/mm^2)$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_v}{\pi D_m t} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (30-9)$$

$P_0$ : پایین‌ترین فشار در بهره‌برداری عادی (MPa)

$$S_c = \min(S_y, S_f S') \quad (31-9)$$

$S'$ : مقدار به‌دست آمده از رابطه (۳۲-۹) ( $N/mm^2$ )

$$S' = \frac{0.6Et}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S_y}\right) D_m} \quad (32-9)$$

$E$ : مدول الاستیسیته طولی مصالح در دمای عادی ( $N/mm^2$ )

$$1/5 : S_f$$

۲- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد تسلیم دامنی

۲-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به کماتش فشاری دامنی

$$K_{yck} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{c0}}{\sigma_{cH} + \sigma_{cV}} \quad (33-9)$$

$K_{yck}$ : ضریب زلزله تسلیم برای کماتش فشاری پوسته در موقعیتی که تنش محاسبه می‌شود.

$\sigma_{c0}$ : تنش فشاری ایجاد شده در تکیه‌گاه دامنی در اثر بار بهره‌برداری عادی که از رابطه (۳۴-۹) محاسبه می‌شود.

$$(N/mm^2)$$

$$\sigma_{c0} = \frac{W}{(\pi D_m - Y_s) t} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (34-9)$$

$\sigma_{cV}$ : تنش فشاری ایجاد شده در پوسته ناشی از نیروی زلزله قائم طراحی که از رابطه (۳۵-۹) محاسبه می‌شود.

$$(N/mm^2)$$

$$\sigma_{cV} = \frac{F_v}{(\pi D_m - Y_s) t} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (35-9)$$

$\sigma_{cH}$ : تنش فشاری ایجاد شده در پوسته ناشی از بار لرزه‌ای افقی طراحی که از رابطه (۳۶-۹) محاسبه می‌شود.

$$(N/mm^2)$$

$$\sigma_{CH} = \frac{4M}{(\pi D_m - 2D_m Y_s)t} \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (۳۶-۹)$$

$Y_s$ : حداکثر طول افقی بازشو پوسته (mm)

$t$ : ضخامت صفحه در موقعیت مورد نظر (mm)

$\theta$ : نصف زاویه رأس دامنی مخروط شکل در موقعیت مورد نظر (درجه)

۳- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد تسلیم پیچ مهار

۳-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار

$$K_{yTB} = K_{MH} \frac{S_y + \sigma_{tOb}}{\sigma_{tHb} + \sigma_{tVb}} \quad (۳۷-۹)$$

$K_{yTB}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی پیچ مهار

$\sigma_{tOb}$ : تنش ایجاد شده در پیچ مهار در اثر بار عادی که از رابطه (۳۸-۹) محاسبه می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tOb} = \frac{W_V}{NA_1} \quad (۳۸-۹)$$

$\sigma_{tHb}$ : تنش ایجاد شده در پیچ مهار توسط نیروی زلزله افقی که از رابطه (۳۹-۹) محاسبه می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tHb} = \frac{1}{NA_1} \cdot \frac{4M}{D_1} \quad (۳۹-۹)$$

$\sigma_{tVb}$ : تنش ایجاد شده در پیچ مهار توسط نیروی زلزله قائم که از رابطه (۴۰-۹) محاسبه می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{tVb} = \frac{F_V}{NA_1} \quad (۴۰-۹)$$

$N$ : تعداد پیچ مهار

$D_1$ : قطر دایره ایجاد شده به وسیله مرکز پیچ مهارها (mm)

$S_y$ : مقاومت تسلیم مصالح پیچ مهار ( $N/mm^2$ )

۴- ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد تسلیم صفحه پایه

۴-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه پایه برای نوع بدون بلوک

$$K_{ybb} = K_{MH} \frac{S_y - \sigma_{bO}}{\sigma_{bH} + \sigma_{bV}} \quad (۴۱-۹)$$

$K_{ybb}$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه پایه

$\sigma_{bO}$ : تنش خمشی ایجاد شده در صفحه پایه توسط بار عادی که از رابطه (۴۲-۹) محاسبه می‌شود. ( $N/mm^2$ )

$$\sigma_{bO} = \frac{3L^2}{t^2} \cdot \frac{W_V}{A_b} \quad (۴۲-۹)$$

$\sigma_{bH}$ : تنش خمشی ایجاد شده در صفحه پایه توسط نیروی زلزله افقی که از رابطه (۴۳-۹) محاسبه می‌شود

(N/mm<sup>2</sup>)

$$\sigma_{bH} = \frac{3L^2}{t^2} \cdot \frac{M}{Z} \quad (۴۳-۹)$$

$\sigma_{bV}$ : تنش خمشی ایجاد شده در صفحه پایه توسط نیروی زلزله قائم که از رابطه (۴۴-۹) محاسبه می‌شود

(N/mm<sup>2</sup>)

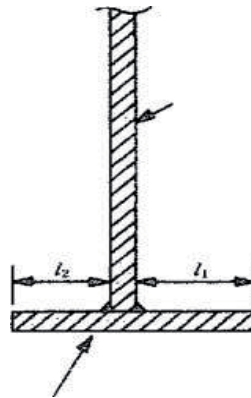
$$\sigma_{bV} = \frac{3L^2}{t^2} \cdot \frac{F_V}{A_b} \quad (۴۴-۹)$$

t: ضخامت صفحه (mm)

L: بزرگ‌ترین مقدار  $l_1$  و  $l_2$  که در شکل (۴-۹) نشان داده می‌شود. (mm)

$A_b$ : مساحت صفحه پایه (mm<sup>2</sup>)

Z: اساس مقطع نسبت به راستای شعاعی صفحه پایه (mm<sup>3</sup>)



شکل ۹-۴ صفحه پایه

۴-۲- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم خمشی صفحه پایه برای نوع بلوکی

رابطه محاسباتی بند ۱-۱ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ضریب زلزله تسلیم خمشی صفحه پایه می‌تواند با در نظر

گرفتن تنش ایجاد شده در پایه بلوکی بر اساس سازه پایه بلوکی محاسبه شود.

چنانچه روش تنش مجاز برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مناسب تشخیص داده شود، اگر تنش محاسبه شده برابر تنش تسلیم یا

تنش کمانش فشاری شود، ضریب زلزله در واقع ضریب زلزله تسلیم به حساب می‌آید.

ضریب زلزله تسلیم با جایگزینی تنش محاسبه شده به صورت پاسخ الاستیک مربوط به هر مد گسیختگی با استفاده از ضریب

زلزله تعیین شده در ارزیابی عملکرد طراحی به روش تنش مجاز، به جای تنش تسلیم، به دست می‌آید.

در چنین مواردی برای ساده‌سازی از رابطه (۴۵-۹) استفاده می‌شود.

$$\text{ضریب تسلیم افقی } K_{yH} = \text{ضریب تسلیم قائم } K_{yV} \quad (۴۵-۹)$$

$$\frac{\text{ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی } K_{MH}}{\text{ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی } K_{MH}} = \frac{\text{ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی } K_{MV}}{\text{ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی } K_{MV}}$$

پس از محاسبه پریود طبیعی سازه، ضرایب زلزله قائم و افقی اصلاح شده طراحی را می‌توان به‌دست آورد. با استفاده از رابطه توضیح داده شده در بالا ضریب زلزله تسلیم برای هر مد خرابی به‌دست می‌آید.

### ۹-۳-۱-۳- ضریب شکل پذیری پاسخ

ضریب شکل پذیری پاسخ از ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی و ضریب زلزله تسلیم به‌دست می‌آید و برای هر مد خرابی برج با تکیه‌گاه دامنی از رابطه (۹-۴۶) محاسبه می‌شود.

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad (9-46)$$

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری پاسخ برای هر مد آسیب، اگر  $K_{MH} \leq K_y$  آن‌گاه  $\mu_p = 0$

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی برای سازه مورد نظر که طراحی لرزه‌ای می‌شود.

$K_y$ : ضریب زلزله تسلیم مربوط به مد تسلیم

$C$ : مقادیر زیر برای مد تسلیم برج با تکیه‌گاه دامنی استفاده می‌شوند.

۱- مد آسیب پوسته

- خرابی ناشی از تسلیم کششی پوسته  $C = 2.0$

- تسلیم ناشی از کماتش فشاری پوسته  $C = 2.0$

۲- آسیب تکیه‌گاه دامنی

- آسیب ناشی از کماتش فشاری تکیه‌گاه دامنی  $C = 2.0$

۳- آسیب پیچ مهار

- آسیب ناشی از تسلیم کششی پیچ مهار  $C = 1.0$

۴- آسیب ورق نشیمن (صفحه پایه)

- آسیب ناشی از تسلیم خمشی ورق نشیمن  $C = 2.0$

در برج با تکیه‌گاه دامنی برای تسلیم ورق نشیمن با پیچ‌های مهاری لغزشی،  $C$  برابر ۱ و برای سایر موارد

$C$  برابر ۲ تعیین می‌شود.

### ۹-۳-۱-۴- ضریب شکل پذیری مجاز

ضریب شکل پذیری مجاز برای هر مد خرابی برج با تکیه‌گاه دامنی به صورت زیر می‌باشد.

۱- آسیب پوسته

- تسلیم کششی پوسته  $\mu_{pa} = 1.0$

- کماتش فشاری پوسته  $\mu_{pa} = 0.35$

۲- آسیب تکیه‌گاه دامنی

- کمانش فشاری دامنی  $\mu_{pa} = 0.35$

۳- آسیب پیچ مهار

- تسلیم کششی پیچ مهار  $\mu_{pa} = 1.8$

۴- آسیب صفحه پایه

- تسلیم خمشی صفحه پایه  $\mu_{pa} = 0.35$

ضریب شکل پذیری مجاز با فرض ضریب مشخصات سازه‌ای  $D_S = 0.5$  برای کمانش پوسته،  $D_S = 0.35$  برای پیچ مهار،  $D_S = 0.35$  برای خمش پوسته و  $D_S = 0.5$  برای خمش صفحه به دست می‌آید.

### ۹-۳-۱-۵- معیارهای پذیرش

اگر ضریب شکل پذیری پاسخ محاسبه شده کمتر از ضریب شکل پذیری مجاز باشد، سازه دارای عملکرد لرزه‌ای مناسب برای زلزله است.

### ۹-۳-۲- برج‌ها با تکیه‌گاه پایه‌ای و حلقوی

#### ۹-۳-۲-۱- مد خرابی

۱- برج با تکیه‌گاه پایه‌ای

عملکرد لرزه‌ای برج با تکیه‌گاه پایه‌ای برای مدهای خرابی زیر بررسی می‌شود.

۱-۱- شکست صفحه پوسته

الف) تسلیم کششی صفحه پوسته

ب) کمانش فشاری صفحه پوسته

۱-۲- شکست پایه

الف) تسلیم کششی پایه

ب) کمانش فشاری پایه

ج) تسلیم خمشی پایه

د) تسلیم برشی پایه

ه) تسلیم در اثر ترکیب تنش‌های فوق در پایه

۱-۳- شکست میل‌مهار

الف) تسلیم کششی میل‌مهار

ب) تسلیم برشی میل‌مهار

ج) تسلیم در اثر ترکیب کشش و برش میل‌مهار

۱-۴- شکست بخش الحاقی پایه

الف) تسلیم خمشی بخش الحاقی پایه

۲-۲- برج با تکیه‌گاه حلقوی

عملکرد لرزه‌ای برج با تکیه‌گاه حلقوی برای مدهای خرابی زیر بررسی می‌شود.

۲-۱- شکست صفحه پوسته

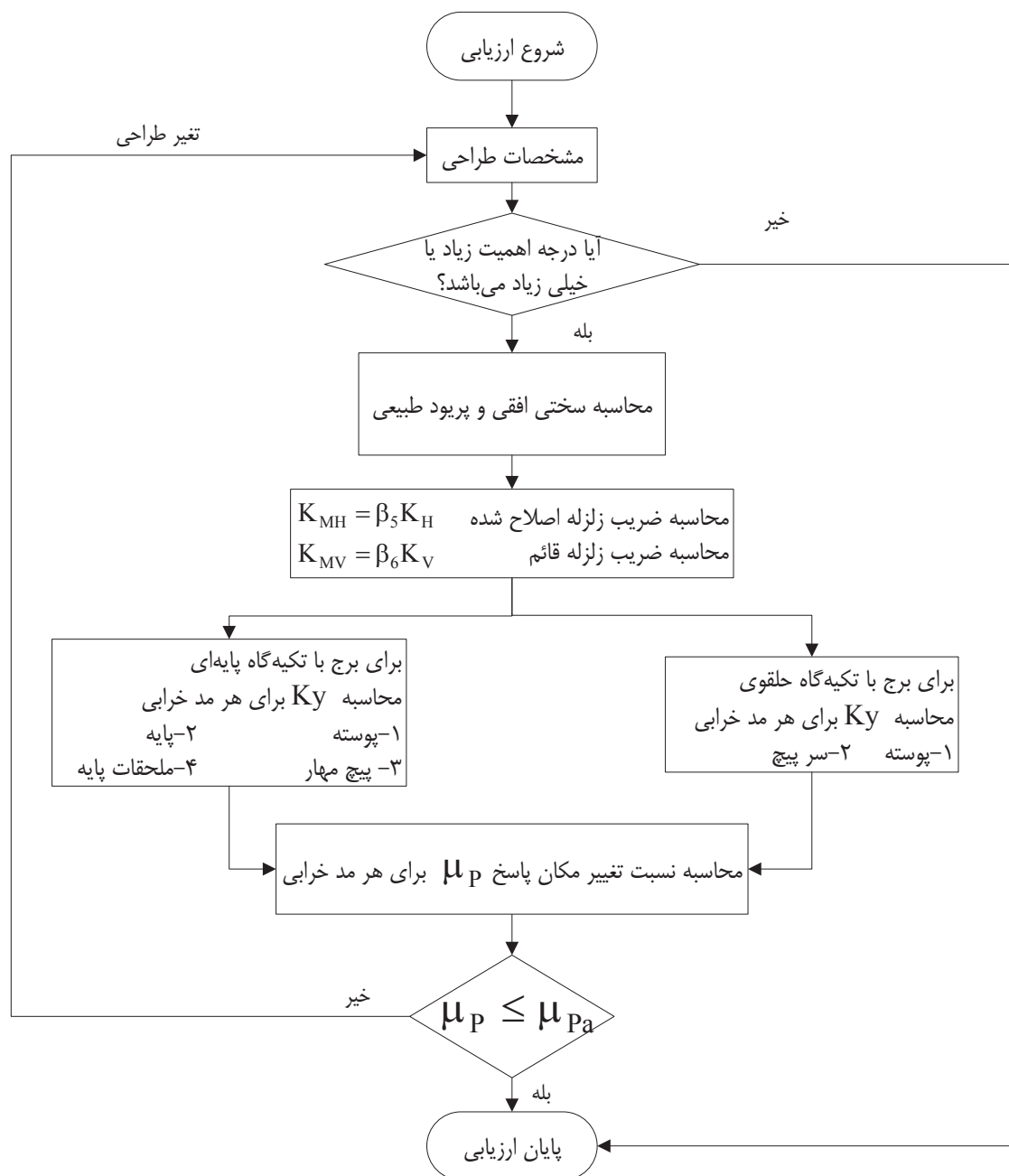
الف) تسلیم کششی صفحه پایه

ب) کماتش فشاری صفحه پایه

۲-۲- شکست پیچ‌ها

الف) تسلیم کششی پیچ‌ها

روندنمای طراحی لرزه‌ای به روش طراحی شکل‌پذیر برای برج‌ها با تکیه‌گاه پایه‌ای و حلقوی در شکل ۹-۵ ارائه شده است.



شکل ۹-۵ روند نمای طراحی لرزه‌ای به روش شکل‌پذیر برای برج‌های با تکیه‌گاه پایه‌ای و حلقوی

## ۹-۳-۲-۲- ضریب زلزله تسلیم برج با تکیه‌گاه پایه‌ای

## ۹-۳-۲-۱- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی صفحه پوسته

۱- ضریب زلزله تسلیم کششی پوسته

$$K_{yTS} = K_{MH} \frac{S_y + \sigma_O}{\sigma_{EL}} \quad (۴۷-۹)$$

 $K_{MH}$ : ضریب زلزله جانبی اصلاح شده $K_{yTS}$ : ضریب زلزله تسلیم کششی پوسته در شرایط طراحی $\sigma_O$ : تنش بهره‌برداری که از رابطه (۴۸-۹) به دست می‌آید. $\sigma_{EL}$ : تنش لرزه‌ای ناشی از  $K_{MH}$  و  $K_{MV}$  که از رابطه (۴۹-۹) به دست می‌آید.

$$\sigma_O = \left( \frac{W_v}{\pi D_m t} - \frac{P_0 D_m}{4t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad (۴۸-۹)$$

$$\sigma_{EL} = \left( \frac{F_v}{\pi D_m t} - \frac{4M}{\pi D_m^2 t} \right) \frac{1}{\cos \theta} \quad (۴۹-۹)$$

$M$ : مجموع لنگرهایی که در موقعیت طراحی برای ضریب زلزله جانبی اصلاح شده،  $K_{MH}$  اعمال می‌شود (اگر بار خارج از مرکز وجود داشته باشد، لنگر آن نیز در نظر گرفته می‌شود) (N.mm)

 $D_m$ : متوسط قطر در موقعیت طراحی (mm) $P_0$ : فشار معمول (MPa) $\theta$ : نصف زاویه رأس مخروط در شرایط طراحی (درجه) $W_v$ : مجموع وزن مرده و محتویات سازه مورد نظر که بر موقعیت مورد مطالعه اعمال می‌شود. (N) $F_v$ : نیروی زلزله در جهت قائم که از رابطه (۵۰-۹) به دست می‌آید.

$$F_v = K_{MV} W_v \quad (۵۰-۹)$$

 $K_{MV}$ : ضریب زلزله قائم اصلاح شده $t$ : ضخامت صفحه در موقعیت طراحی (بدون لحاظ مقدار مجاز خوردگی) (mm)

$S_y$ : کوچک‌ترین مقدار بین مقاومت تسلیم کششی در دمای طراحی یا دمای عادی و مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ فولاد (N/mm<sup>2</sup>)

۲- ضریب زلزله تسلیم در کماتش فشاری پوسته

$$K_{yCS} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_O}{\sigma_{EL}} \quad (۵۱-۹)$$

 $K_{yCS}$ : ضریب زلزله تسلیم کماتش فشاری پوسته در موقعیت طراحی

$$S_c = \min(S_y, S_f S') \quad (۵۲-۹)$$



$S'$ : مقدار محاسبه شده از رابطه (۵۳-۹) در موقعیت طراحی ( $N/mm^2$ )

$$S' = \frac{0.6Et}{\left(1 + 0.004 \frac{E}{S_y}\right) D_m} \quad (53-9)$$

$E$ : مدول الاستیسیته طولی در دمای طراحی مصالح ( $N/mm^2$ )

$S_f: 1/5$

### ۹-۳-۲-۲-۲- ضریب زلزله تسلیم مد خرابی پایه

۱- ضریب زلزله تسلیم کششی پایه

$$K_{yTL} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{LO}}{\sigma_{aLE}} \quad (54-9)$$

$K_{MH}$ : ضریب زلزله جانبی اصلاح شده

$K_{yTL}$ : ضریب زلزله تسلیم کششی پایه در موقعیت طراحی

$F$ : تنش تسلیم پایه ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{aLE}, \sigma_{LO}$ : مقدار به‌دست آمده از رابطه (۵۵-۹)

$$\sigma_{LO} = \frac{W_V}{n A_1} \quad (55-9)$$

$$\sigma_{aLE} = \frac{1}{n A_1} \left( F_V + \frac{4F_H H_2}{D_1} \right) \quad (56-9)$$

$n$ : تعداد پایه

$A_1$ : سطح مقطع پایه ( $mm^2$ )

$F_V$ : نیروی زلزله قائم طراحی و مقدار به‌دست آمده از رابطه (۵۷-۹) ( $N$ )

$$F_V = K_{MV} W_V \quad (57-9)$$

$F_H$ : نیروی زلزله افقی طراحی ( $N$ )

۲- ضریب زلزله تسلیم کماتش فشاری پایه

$$K_{yCL} = K_{MH} \frac{F' - \sigma_{LO}}{\sigma_{aLE}} \quad (58-9)$$

$K_{yCL}$ : ضریب زلزله تسلیم کماتش فشاری پایه در موقعیت طراحی

$F'$ : تنش کماتش پایه ( $N/mm^2$ )

۳- ضریب زلزله تسلیم خمشی پایه

$$K_{yBL} = K_{MH} \frac{F}{\sigma_{bLE}} \quad (59-9)$$

$K_{ybL}$ : ضریب زلزله تسلیم خمشی پایه در موقعیت طراحی

$\sigma_{bLE}$ : مقدار به‌دست آمده از رابطه (۹-۶۰)

$$\sigma_{bLE} = \frac{1.2F_H H_1 e_t}{n_1 (I_1 + I_2)} \quad (۹-۶۰)$$

$I_1$ : ممان اینرسی نسبت به راستای محیطی پایه ( $\text{mm}^4$ )

$I_2$ : ممان اینرسی نسبت به راستای شعاعی پایه ( $\text{mm}^4$ )

$H_1$ : طول پایه (mm)

$e_t$ : حداکثر فاصله از محور خنثی پایه تا قسمت کمان پوسته برج (mm)

۴- ضریب زلزله تسلیم برشی پایه

$$K_{ysL} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\sigma_{sLE}} \quad (۹-۶۱)$$

$K_{ysL}$ : ضریب زلزله تسلیم برشی پایه در موقعیت طراحی

$\sigma_{sLE}$ : مقداری که از رابطه (۹-۶۲) به‌دست می‌آید.

$$\sigma_{sLE} = \frac{F_H}{n_1 A} \quad (۹-۶۲)$$

$F_H, n_1, A$ : مطابق تعاریف پیشین.

۵- ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش پایه

(الف) ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش فشاری و خمشی از رابطه (۹-۶۳) به‌دست می‌آید.

$$K_{ycbL} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{LO}}{F'}}{\frac{\sigma_{aLE}}{F'} + \frac{\sigma_{bLE}}{F}} \quad (۹-۶۳)$$

(ب) ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش کششی و خمشی مطابق رابطه (۹-۶۴) باشد.

$$K_{ytlL} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{LO}}{\sigma_{LE}} \quad (۹-۶۴)$$

$\sigma_{LE}$ : مقدار به‌دست آمده از رابطه (۹-۶۵)

$$\sigma_{LE} = \sigma_{aLE} + \sigma_{bLE} \quad (۹-۶۵)$$

(ج) ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی

$$K_{ymL} = K_{MH} \frac{-\sigma_{LO}\sigma_{LE} + \sqrt{(\sigma_{LO}\sigma_{LE})^2 - (\sigma_{LE}^2 + 3\sigma_{sLE}^2)(\sigma_{LO}^2 - F^2)}}{\sigma_{LE}^2 + 3\sigma_{sLE}^2} \quad (۹-۶۶)$$

$K_{ycbL}$ : ضریب زلزله تسلیم تنش فشاری و خمشی در موقعیت طراحی پایه

$K_{ytlL}$ : ضریب زلزله تسلیم تنش کششی و خمشی در موقعیت طراحی پایه

$K_{ymL}$ : ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی در موقعیت طراحی پایه

## ۹-۳-۲-۲-۳- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی پیچ مهار

۱- ضریب زلزله تسلیم کششی پیچ مهار

$$K_{ytB} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{BO}}{\sigma_{tBE}} \quad (۶۷-۹)$$

$K_{ytB}$ : ضریب زلزله تسلیم کششی پیچ مهار در موقعیت طراحی

$K_{MH}$ : ضریب زلزله جانبی اصلاح طراحی

$F$ : تنش تسلیم پیچ ( $N/mm^2$ )

$\sigma_{BO}$ : تنش پیچ مهار در اثر وزن بهره‌برداری که از رابطه (۶۸-۹) به دست می‌آید.

$$\sigma_{BO} = j_B W_V \quad (۶۸-۹)$$

$\sigma_{tBE}$ : تنش بیرون کشیدگی پیچ مهار در اثر نیروی زلزله طراحی

$$\sigma_{tBE} = j_B \left( F_V + \frac{4F_H H_2}{D} \right) \quad (۶۹-۹)$$

$j_B$ : از روابط ۸۳-۹ و ۸۴-۹ و بر اساس  $P_b$  رابطه (۷۰-۹) به دست می‌آید.

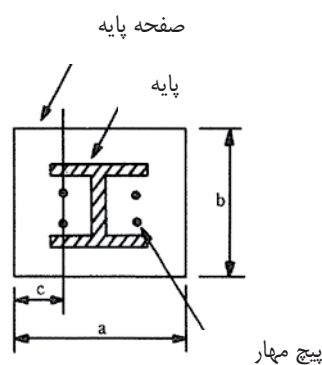
اگر  $P_b \geq 0$

$$j_B = \frac{e_d + \frac{a}{2} - c}{a - 2c} \frac{2}{n_a A_b} \quad (۷۰-۹)$$

اگر  $P_b < 0$

$$j_B = \frac{1}{n} \frac{0.48 \left( e_d + \frac{a}{6} + \frac{c}{3} \right)}{a - c} \left\{ \frac{15}{b(a - c)} + \frac{2}{n_a A_b} \right\} \quad (۷۱-۹)$$

$c, a, b$ : مقادیر نشان داده شده در شکل (۶-۹) (mm)



شکل ۶-۹ مقطع پایه

$n_a$ : تعداد پیچ مهار هر پایه

$e_d$ : مقداری که از رابطه (۷۲-۹) به دست می‌آید (mm)

$$j_B = \frac{1}{P} \cdot \frac{1.2I_1}{I_1 + I_2} \cdot F_H H_1 \quad (۷۲-۹)$$

۲- ضریب زلزله تسلیم برشی میل مهار

$$K_{ysB} = K_{MH} \frac{F/\sqrt{3}}{\sigma_{sBE}} \quad (۷۳-۹)$$

$K_{ysB}$ : ضریب زلزله تسلیم برشی میل مهار در موقعیت طراحی

$\sigma_{sBE}$ : مقداری که از رابطه (۷۴-۹) به دست می‌آید.

$$\sigma_{sBE} = \frac{F_H}{m_a A_b} \quad (۷۴-۹)$$

۳- ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش کششی و برشی میل مهار

$$K_{ytsB} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_{BO}}{\sigma_{tBE} + 1.6\sigma_{sBE}} \quad (۷۵-۹)$$

$K_{ytsB}$ : ضریب زلزله تسلیم ترکیب تنش میل مهار

### ۹-۳-۲-۲-۴- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی ملحقات پایه

۱- ضریب زلزله تسلیم خمشی ملحقات پایه

(الف) پایه به بخش استوانه‌ای متصل شده

ضریب زلزله تسلیم خمشی ملحقات پایه، مقداری است که از رابطه (۷۶-۹) به دست می‌آید.

$$K_{ybc} = \frac{Q_{ybc}}{W_H} \quad (۷۶-۹)$$

$K_{ybc}$ : ضریب زلزله تسلیم خمشی ملحقات پایه

$W_H$ : وزن بهره‌برداری (N)

$Q_{ybc}$ : مقاومت تسلیم که به وسیله تسلیم خمشی پانل پوسته ملحقات پایه تعیین شده و از رابطه (۷۷-۹) به دست

می‌آید. (N)

$$Q_{ybc} = \frac{n\beta D_m t^2}{8H_1 i_c} S_y \quad (۷۷-۹)$$

$S_y$ : مقاومت تسلیم کششی مصالح پانل ( $N/mm^2$ )

$\beta$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۷۸-۹)

$$\beta = h_{sp} / D_m \quad (۷۸-۹)$$

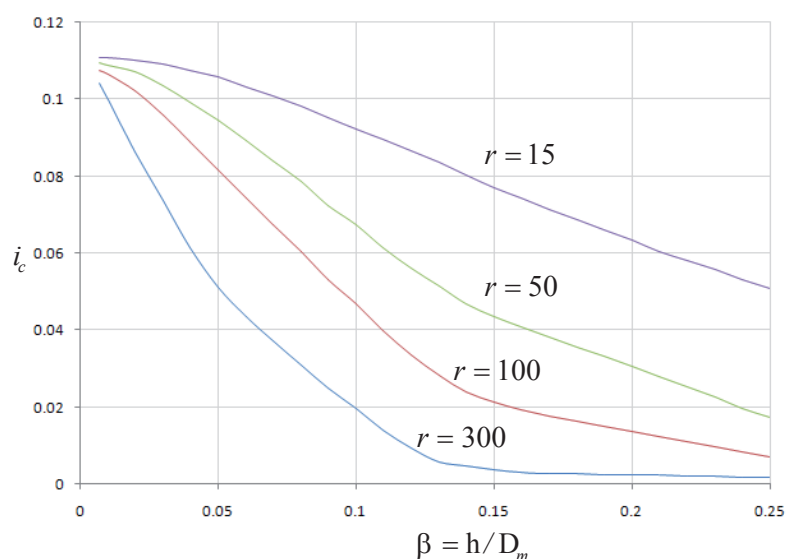
$h_{sp}$ : ارتفاع صفحه سخت کننده (mm)

$i_c$ : شاخص تنش که در شکل (۷-۹) داده شده است.

$\Gamma$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۷۹-۹)

$$r = 0.5D_m t$$

(۷۹-۹)



شکل ۷-۹ مقدار  $i_c$

(ب) پایه به پانل متصل شده

ضریب زلزله تسلیم خمشی پایه مقداری است که از رابطه (۸۰-۹) به دست می‌آید.

$$K_{ybH} = \frac{Q_{ybH}}{W_H} \quad (۸۰-۹)$$

$K_{ybH}$ : ضریب زلزله تسلیم خمشی پایه

$Q_{ybH}$ : مقاومت تسلیمی که توسط تسلیم خمشی پانل در بخش تأسیسات خارجی پوسته پایه تعیین می‌شود،

$Q_{ybH}$  کمترین مقدار بین  $Q_{y1}$  و  $Q_{y2}$  فرض می‌گردد. این مقدار در مخزن ذخیره پوسته‌ای دویل، سه برابر

کمترین مقدار  $Q_{y1}$  و  $Q_{y2}$  فرض می‌شود. (N)

$Q_{y1}$ : مقاومت تسلیم خمشی پانل در اثر لنگر خمشی که بر پایه اعمال شده و از رابطه (۸۱-۹) به دست می‌آید. (N)

$$Q_{y1} = \frac{nM_{LG}}{H_1} \quad (۸۱-۹)$$

$M_{LG}$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۸۲-۹)

$$M_{LG} = \frac{M_x \sqrt{R_m t_h}}{i_{s2}} \quad (۸۲-۹)$$

$M_x$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۸۳-۹)

$$M_x = 1.5 \frac{t_h^2}{6} S_y \quad (۸۳-۹)$$

$t_h$ : ضخامت پانل نشان داده شده در شکل (۸-۹) (mm)

$R_m$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۸۴-۹) (mm)

$$R_m = \frac{D_0}{8} \left[ 4 - 3 \left( \frac{D}{D_0} \right)^2 \right]^{3/2} \quad (۸۴-۹)$$

$D$ : قطر مرکزی پایه نشان داده شده در شکل (۸-۹) (mm)

$D_0$ : قطر خارجی پوسته نشان داده شده در شکل (۸-۹) (mm)

$i_{s2}$ : شاخص تنش مربوط به لنگر خمشی پایه، نشان داده شده در شکل (۹-۹)

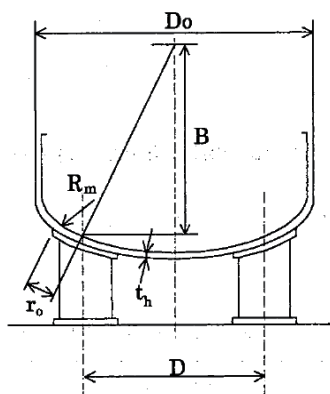
$Q_{y2}$ : مقاومت تسلیم خمشی پانل در اثر نیروی محوری اعمالی بر پایه که از رابطه (۸۵-۹) به دست می‌آید. (N)

$$Q_{y2} = \frac{M_x n D \sqrt{4B^2 + D^2}}{i_{s1} [8(H_2 - H_1)B + D^2]} \quad (۸۵-۹)$$

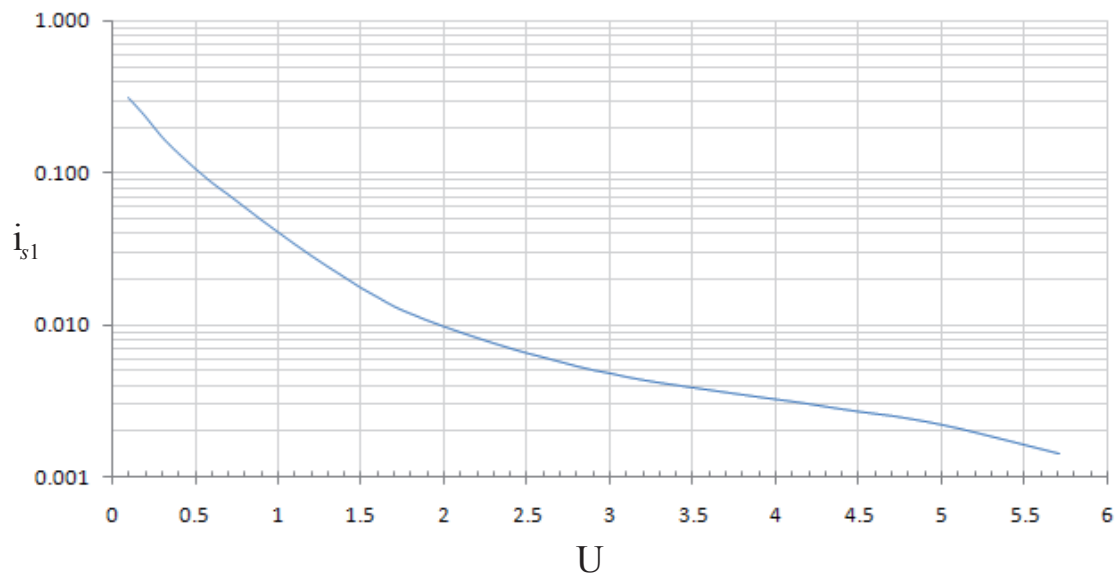
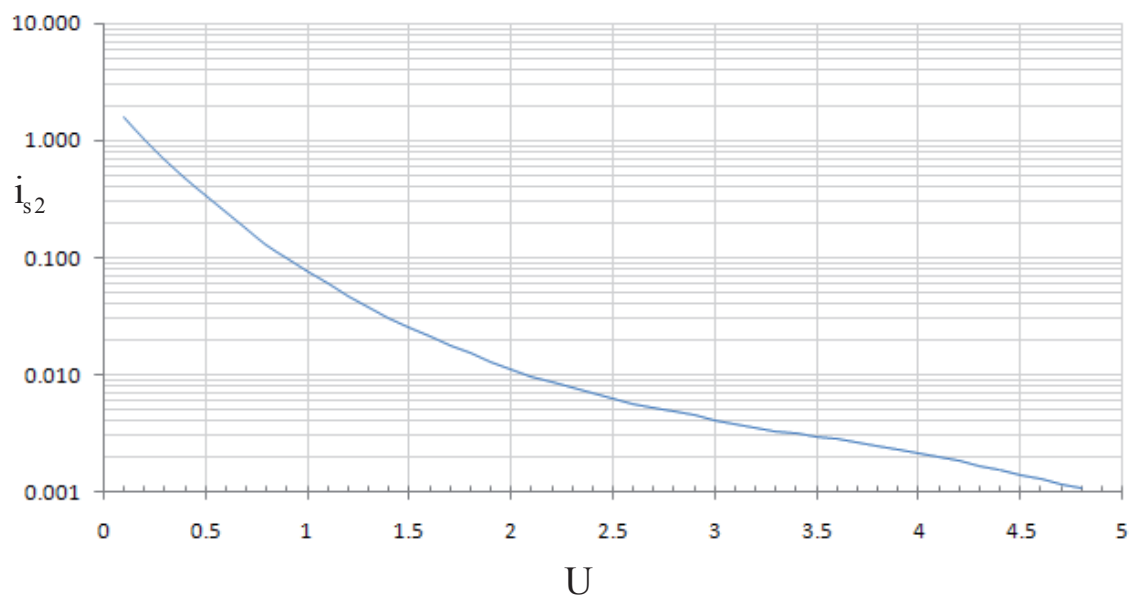
$i_{s1}$ : شاخص تنش مربوط به نیروی محوری پایه به دست آمده از شکل (۱۰-۹)

$B$ : مقدار به دست آمده از رابطه (۸۶-۹) (شکل ۸-۹)

$$B = D_0 \left[ 1 - \left( \frac{D}{D_0} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (۸۶-۹)$$



شکل ۸-۹ برج با تکیه‌گاه پایه‌ای

شکل ۹-۹ تعیین شاخص  $i_{s1}$ شکل ۹-۱۰ تعیین شاخص  $i_{s2}$ 

U در شکل های ۹-۹ و ۹-۱۰ ضریبی است که از رابطه (۸۷-۹) به دست می آید.

$$U = \frac{r_0}{\sqrt{R_m t}} \quad (87-9)$$

$r_0$ : شعاع صفحه خوردگی پایه (mm)

## ۹-۳-۲-۳- ضریب زلزله تسلیم برج با تکیه‌گاه حلقوی

## ۹-۳-۲-۳-۱- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی صفحه پوسته

- ۱- ضریب زلزله تسلیم کششی صفحه پوسته  
از قوانین مربوط به ضریب زلزله تسلیم کششی صفحه پوسته برج با تکیه‌گاه دامنی پیروی می‌کند.
- ۲- ضریب زلزله تسلیم کماتش فشاری صفحه پوسته  
از قوانین مربوط به ضریب زلزله تسلیم کماتش فشاری صفحه پوسته برج، با تکیه‌گاه پوسته‌ای پیروی می‌کند.

## ۹-۳-۲-۳-۲- ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی پیچ

از قوانین مربوط به ضریب زلزله تسلیم مد خرابی پیچ مهار برج با تکیه‌گاه دامنی پیروی می‌کند.

## ۹-۳-۲-۴- ضریب شکل پذیری پاسخ

ضریب شکل پذیری پاسخ مقداری است که از رابطه (۹-۸۸) برای هر یک از مدهای خرابی برج‌ها، با تکیه‌گاه پایه‌ای یا حلقوی، به دست می‌آید.

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_Y} \right)^2 - 1 \right\} \quad (9-88)$$

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری پاسخ در مد خرابی، برای مواردیکه  $K_{MH} \leq K_Y$  باشد، مقدار  $\mu_p = 0$  در نظر گرفته می‌شود.

$K_{MH}$ : ضریب زلزله جانبی اصلاح طراحی

$K_Y$ : ضریب زلزله تسلیم در مد خرابی

$C$ : در زیر برای هر مد خرابی داده شده است.

۱- برج با تکیه‌گاه پایه‌ای

۱-۱- خرابی صفحه پوسته

الف) خرابی در اثر تسلیم کششی صفحه پوسته  $C = 2.0$

ب) خرابی در اثر کماتش فشاری صفحه پوسته  $C = 2.0$

۲-۱- خرابی پایه

الف) خرابی در اثر تسلیم کششی پایه  $C = 2.0$

ب) خرابی در اثر کماتش فشاری پایه  $C = 2.0$

ج) خرابی در اثر تسلیم خمشی پایه  $C = 2.0$

د) خرابی در اثر تسلیم برشی پایه  $C = 2.0$



- ه) خرابی در اثر ترکیب تنش فشاری و خمشی پایه  $C = 2.0$
- و) خرابی در اثر ترکیب تنش کششی و خمشی پایه  $C = 2.0$
- ی) خرابی در اثر ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی پایه  $C = 2.0$
- ۳-۱- خرابی میل مهار
- الف) خرابی در اثر تسلیم کششی میل مهار  $C = 1.0$
- ب) خرابی در اثر تسلیم برشی میل مهار  $C = 2.0$
- ج) خرابی در اثر ترکیب تنش کششی و برشی میل مهار  $C = 1.0$
- ۴-۱- خرابی ملحقات پایه
- الف) خرابی در اثر تسلیم خمشی ملحقات پایه  $C = 2.0$
- ۲-۲- برج با تکیه‌گاه حلقوی
- ۱-۲- خرابی صفحه پوسته
- الف) خرابی در اثر تسلیم کششی صفحه پوسته  $C = 2.0$
- ب) خرابی در اثر کماتش فشاری صفحه پوسته  $C = 2.0$
- ۲-۲- خرابی سری پیچ
- الف) خرابی در اثر تسلیم کششی پیچها  $C = 1.0$

از بین مدهای آسیب مختلف برجها با تکیه‌گاه پایه‌ای و حلقوی، برای کشش میل‌مهار و کشش سر پیچها،  $C$  برابر ۱ در نظر گرفته شده است (برای ترکیب تنش کششی و برشی نیز برابر ۱ تعیین می‌شود) و در سایر موارد  $C$  برابر ۲ فرض می‌شود. ( $D_s = 0.5$ )

### ۹-۳-۲-۵- ضریب شکل پذیری مجاز

ضریب شکل پذیری مجاز  $\mu_{pa}$  برای مدهای خرابی مختلف برجها با تکیه‌گاه پایه‌ای و حلقوی به صورت زیر است.

- ۱- برج با تکیه‌گاه پایه‌ای
- ۱-۱- خرابی صفحه پوسته
- الف) خرابی در اثر تسلیم کششی صفحه پوسته  $\mu_{pa} = 1.0$
- ب) خرابی در اثر کماتش فشاری صفحه پوسته  $\mu_{pa} = 0.35$
- ۲-۱- خرابی پایه
- الف) خرابی در اثر کماتش کششی پایه  $\mu_{pa} = 1.0$
- ب) خرابی در اثر کماتش فشاری پایه  $\mu_{pa} = 0.35$
- ج) خرابی در اثر تسلیم خمشی پایه  $\mu_{pa} = 1.0$
- د) خرابی در اثر تسلیم برشی پایه  $\mu_{pa} = 1.0$

ه) خرابی در اثر ترکیب تنش فشاری و خمشی پایه  $\mu_{pa} = 0.35$

و) خرابی در اثر ترکیب تنش کششی و خمشی پایه  $\mu_{pa} = 1.0$

ی) خرابی در اثر ترکیب تنش فشاری، خمشی و برشی پایه  $\mu_{pa} = 0.35$

۳-۱- خرابی پیچ مهار

الف) خرابی در اثر تسلیم کششی میل‌مهار  $\mu_{pa} = 1.8$

ب) خرابی در اثر تسلیم برشی میل‌مهار  $\mu_{pa} = 1.0$

ج) خرابی در اثر ترکیب تنش کششی و برشی میل‌مهار  $\mu_{pa} = 1.8$

۴-۱- خرابی ملحقات پایه

خرابی در اثر تسلیم خمشی ملحقات پایه  $\mu_{pa} = 2.0$

۲-۲- برج با تکیه‌گاه حلقوی

۱-۲- خرابی صفحه پوسته

الف) خرابی در اثر تسلیم کششی صفحه پایه  $\mu_{pa} = 1.0$

ب) خرابی در اثر کماتش فشاری صفحه پوسته  $\mu_{pa} = 0.35$

۲-۲- خرابی کله پیچ

خرابی در اثر تسلیم کششی پیچ‌ها  $\mu_{pa} = 1.8$

ضریب شکل پذیری مجاز با فرض ضریب مشخصات سازه‌ای  $D_s = 0.5$  برای کماتش پوسته و  $D_s = 0.35$  برای تسلیم کششی پیچ مهار و کله پیچ تعیین شده است. ضریب مشخصات سازه‌ای برای تسلیم کششی خمش پوسته  $D_s = 0.35$  فرض می‌گردد.

### ۹-۳-۲-۶- معیارها

رابطه (۹-۸۹) برای هر یک از مدهای خرابی برج‌ها با تکیه‌گاه پایه‌ای و حلقوی باید برقرار باشد.

$$\mu_p \leq \mu_{pa}$$

(۹-۸۹)

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری پاسخ در مد خرابی

$\mu_{pa}$ : ضریب شکل پذیری مجاز در مد خرابی

# فصل ۱۰

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

سازه‌های شبه ساختمانی



## ۱-۱۰- سازه پوششی تجهیزات

## ۱-۱-۱۰- روش‌های طراحی لرزه‌ای سازه پوششی و قابی

سازه پوششی و قابی تجهیزات پالایشگاه به روش تنش مجاز یا روش شکل‌پذیر بر اساس سطح خطر طراحی می‌شود.

## ۱-۱-۲- روش تنش مجاز

در طراحی به روش تنش مجاز سازه پوششی و قابی، تنش محاسبه شده در عضو نباید بیشتر از تنش مجاز باشد.

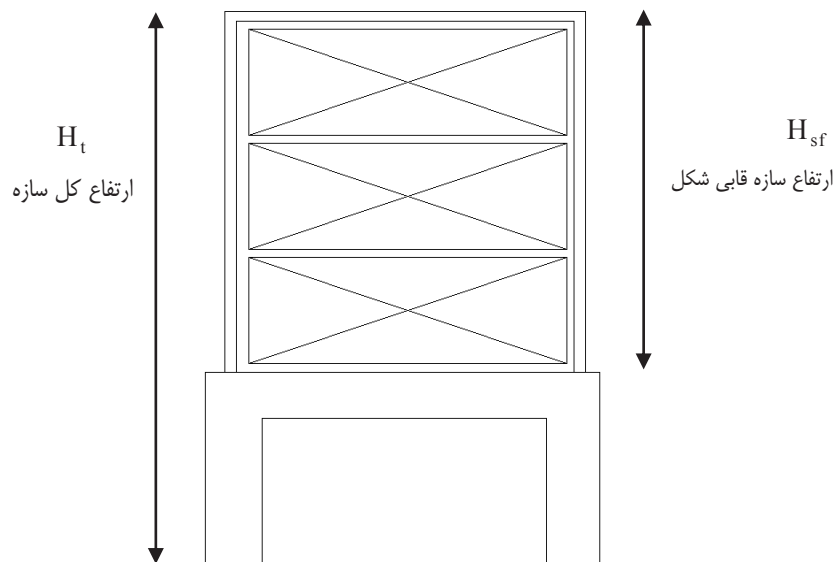
## ۱-۱-۲-۱-۱۰- محاسبه نیروی زلزله افقی وارده بر سازه پوششی و قابی

تحلیل پاسخ به روش شبه استاتیکی یا روش شبه استاتیکی اصلاح شده انجام شده و نیروی زلزله طراحی اعمالی به سازه محاسبه می‌شود.

۱- پریود طبیعی سازه قابی برج‌ها و مخازن

وزن کل / وزن بهره‌برداری برج و مخازن = نسبت وزن سازه قابی (۱-۱۰)

۱-۱- بیشترین نسبت وزن سازه قابی: ۰/۱ یا کمتر



شکل ۱-۱۰  $H_t$  و  $H_{sf}$

$$T_{fs} = 0.01H_{sf} + 0.02H_t \quad (۲-۱۰)$$

$T_{fs}$ : پریود طبیعی

$H_{sf}$ : ارتفاع بخش فلزی سازه قابی ( m )

$H_t$ : ارتفاع سازه قابی ( m )

۲-۱- بیشترین نسبت وزن سازه قابی: بیش از ۰/۱

$$T_{fs} = 0.057\sqrt{n} \quad (3-10)$$

$\eta$ : بیشترین تغییر مکان سازه قابی در حالتی که وزن سازه قابی به صورت افقی به کار رود. در این حالت برج یا

مخزن صلب فرض می‌شوند. ( mm )

۲-۲- نیروی زلزله قائم و افقی اصلاح شده

۱-۲- برج و مخزن نگهداشته شده توسط سازه قابی

$$F_{MH} = \beta_7 \mu K_{MH} W_H \quad (4-10)$$

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \quad (5-10)$$

$F_{MH}$ : نیروی زلزله افقی اصلاح شده

$F_{MV}$ : نیروی زلزله قائم اصلاح شده

$W_H$ : وزن بهره‌برداری

$W_V$ : مجموع وزن محتویات و وزن سازه نگهداشته شده با قاب در موقعیتی که نیروی زلزله قائم اصلاح شده

محاسبه می‌شود.

$\beta_7$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ سازه قابی برج‌ها و مخازن، که از رابطه (۶-۱۰) به دست می‌آید.

$$\beta_7 = 0.71 \sqrt{\frac{1 + \lambda^2}{\lambda^2 + (1 - \lambda^2) h_e^2}} \quad (6-10)$$

$\lambda$  مقداری است که از رابطه‌های محاسباتی جدول (۱-۱۰) براساس پریود طبیعی،  $T_a$ ، برج‌ها و مخازن به دست

می‌آید.

جدول ۱-۱۰ مقدار  $\lambda$

$\lambda$	پریود (ثانیه)
$\sqrt{0.52 + 0.48\lambda}$	$T_{fs} \leq 0.36$
$\sqrt{1 - (1 - \lambda) \left( \frac{1.8 T_a T_{fs}}{T_a^2 + 1.21 T_{fs}^2} \right)}$	$0.36 < T_{fs} < 0.9$
$\sqrt{y}$	$0.9 < T_{fs} < 1.1$
$\sqrt{1 - (1 - \lambda) \left( \frac{2.2 T_a T_{fs}}{T_a^2 + 1.21 T_{fs}^2} \right)^2}$	$T_{fs} \geq 1.1$

$T_{fs}$ : پریود طبیعی سازه قابی

$\gamma$ : نسبت وزن سازه قابی

$h_e$ : مقدار به‌دست آمده از شکل (۲-۱۰) براساس ثابت میرایی برج‌ها و مخازن

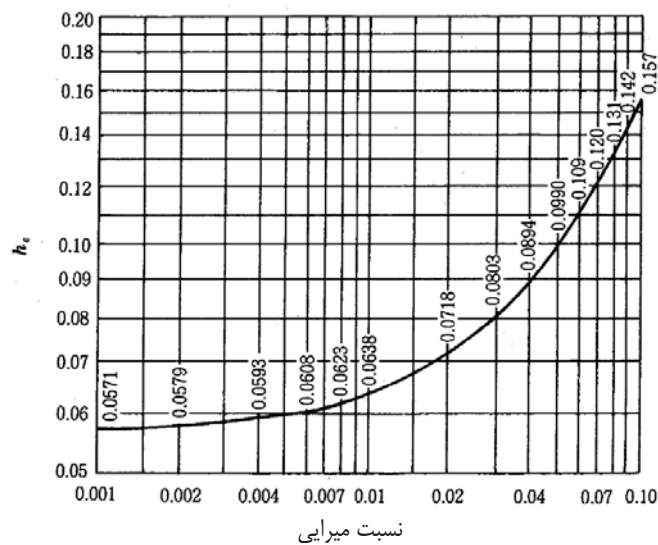
$T_a$ : مقداری که از رابطه (۷-۱۰) حاصل می‌شود.

$$T_a = 0.057 \sqrt{\eta_a} \quad (۷-۱۰)$$

$\eta_a$ : بیشترین تغییر مکان (mm) در حالتی که وزن برج یا مخزن به صورت افقی به‌کار برده شده و سازه قابی صلب فرض می‌شود.

برای موارد زیر  $T_a = 0$  است.

- مخزن ذخیره استوانه‌ای افقی با گنجایش کم‌تر از ۱۰۰ تن
- مخزن ذخیره قائم نگه‌داشته شده توسط رینگ با طول بین مماس‌ها کم‌تر از ۵ متر



شکل ۲-۱۰ مقدار  $h_e$

$\mu$ : ضریب توزیع زلزله که بیشترین مقدار به‌دست آمده از دو رابطه (۸-۱۰) و (۹-۱۰) و بیشتر از یک باشد.

$$\mu = \frac{1.5H}{H_t} \quad (۸-۱۰)$$

$$\mu = \frac{1.5H_0}{H_t} \quad (۹-۱۰)$$

$H_t$ : بیشترین ارتفاع سازه

$H$ : ارتفاع نقطه‌ای که در آن نیروی زلزله افقی اصلاح‌شده طراحی  $F_{MH}$  برج یا مخزن محاسبه می‌شود.

$H_0$ : ارتفاع پایین‌ترین نقطه اتکا برج و مخزن

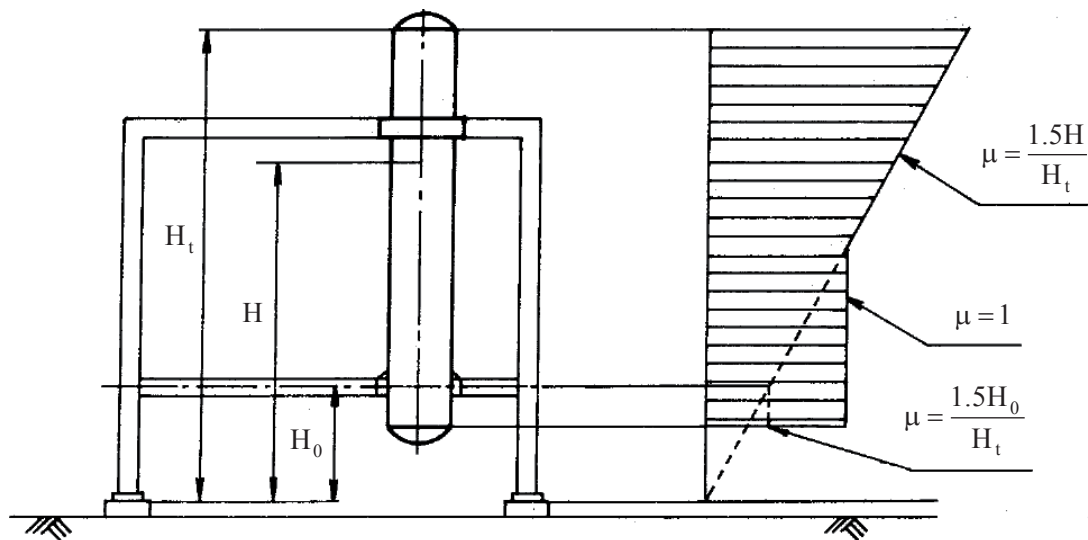
$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح‌شده طراحی. در این حالت، ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ،  $\beta_3$  برای بزرگ‌ترین مقدار

بین پریود طبیعی  $T_1$  و  $T_2$  به‌دست می‌آید. ضریب میرایی نیز برابر مقداری مربوط به برج یا مخزن فرض شود.

$$T_1 = \sqrt{(1+\lambda) \frac{T_a^2 + T_s^2}{2}} \quad (۱۰-۱۰)$$

$$T_2 = \sqrt{\frac{(1+\lambda)T_a^2 + T_s^2}{2}} \quad (11-10)$$

$K_{MV}$ : ضریب زلزله قائم اصلاح شده



شکل ۱۰-۳ توزیع ضریب زلزله برج‌ها و مخازن بر سازه قابی

### ۲-۲- سازه قابی برج‌ها و مخازن

نیروی زلزله اصلاح شده طراحی از روابط (۱۲-۱۰) و (۱۳-۱۰) به دست می‌آید. برای سازه نگهدارنده با درجه اهمیت متوسط و کم و سازه تکیه‌گاهی که روش شبه استاتیکی برای آن مجاز است، می‌توان روش شبه استاتیکی را برای طراحی به کار برد.

$$F_{MH} = \mu K_{MH} W_H \quad (12-10)$$

$$F_{MV} = K_{MV} W_V \quad (13-10)$$

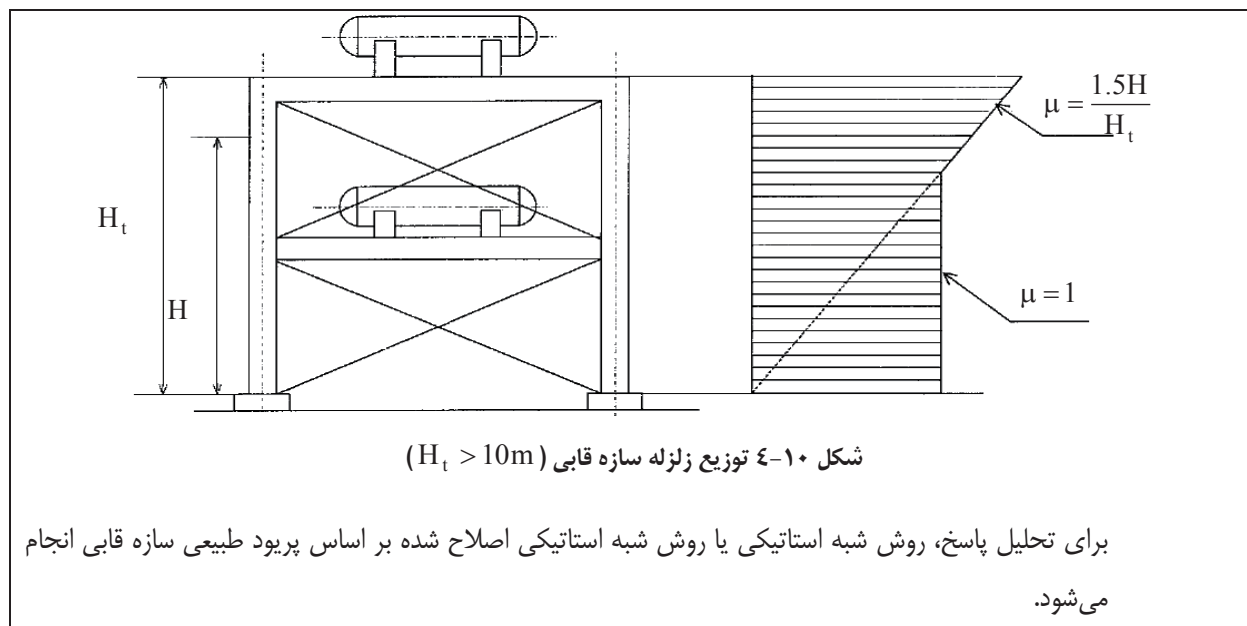
$\mu$ : ضریب توزیع نیروی زلزله. این ضریب از رابطه (۱۴-۱۰) به دست می‌آید. اگر این رابطه کوچک‌تر از ۱ باشد یا ارتفاع قاب کم‌تر از ۱۰ متر باشد (شکل ۱۰-۴)، این مقدار برابر یک در نظر گرفته می‌شود.

$$\mu = \frac{1.5H}{H_t} \quad (14-10)$$

$H_t$ : ارتفاع سازه قابی

$H$ : ارتفاعی که در آن نیروی زلزله اصلاح شده طراحی قاب محاسبه می‌شود.





### ۱۰-۱-۲-۲- تنش محاسبه شده سازه پوششی و قابی

تنش‌ها با استفاده از نیروی زلزله طراحی سازه محاسبه می‌شوند.

بخشی که تنش در آن محاسبه می‌شود و نوع این تنش در جدول (۱۰-۲) نشان داده می‌شود.

جدول ۱۰-۲ قسمتی که تنش در آن محاسبه می‌شود و نوع تنش

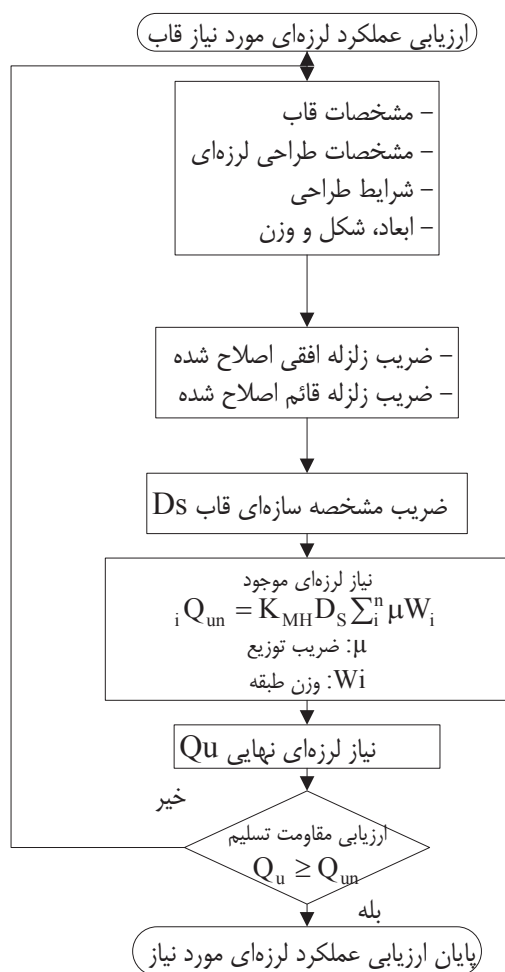
نوع تنش محاسبه شده					بخشی که تنش در آن محاسبه می‌شود
کشش	برش	خمش	فشار	کمانش	
				○	ستون
○	○	○	○	○	تیر
			○	○	مهاربند
	○			○	میل مهار

### ۱۰-۱-۲-۳- ارزیابی تنش‌های محاسبه شده

چنانچه تنش محاسبه شده کمتر از تنش مجاز طراحی باشد، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مورد نیاز به روش تنش مجاز قابل قبول می‌باشد. در حالتی که تنش‌های محاسبه شده بیش از تنش‌های مجاز باشند، مشخصات اجزای سازه تغییر نموده و ارزیابی عملکرد لرزه‌ای باید تکرار شود.

### ۱۰-۱-۳- روش طراحی شکل پذیر

طراحی شکل پذیر سازه‌های شبه ساختمانی مانند سازه‌های قابی تجهیزات، نگهدارنده برج‌های کوره و دودکش با ارزیابی مقاومت تسلیم انجام می‌شود. روند طراحی لرزه‌ای مقاومت تسلیم در شکل (۱۰-۵) آورده شده است.



شکل ۱۰-۵ روند طراحی لرزه‌ای مقاومت تسلیم

### ۱۰-۱-۳-۱- محاسبه نیروی زلزله افقی طراحی اعمالی بر سازه پوششی و قابی

نیروی زلزله افقی با استفاده از پریود طبیعی سازه و ضریب زلزله اصلاح شده به دست آمده، با مقاومت تسلیم مقایسه و کنترل می‌گردد.

پریود طبیعی سازه از طریق تحلیل مقدار مشخصه در تحلیل قاب محاسبه می‌شود اما پریود طبیعی سازه‌های با شکل ساده می‌تواند از روش مناسب توضیح داده شده در بند (۱۰-۲-۱) به دست آید.

### ۱۰-۲-۳-۱- مد خرابی

مد خرابی قاب حالتی است که بخشی از قاب یا تمام ستون‌ها ناپایدار و یا تیر در اثر نیروی زلزله تسلیم شود (مفصل پلاستیک). اگر نیروی زلزله (بار افقی) اعمالی بر قاب به تدریج افزایش یابد، مفصل پلاستیک در هر گره تیر و ستون به صورت متوالی ایجاد شده و کل قاب یا قسمتی از آن سقوط می‌کند. نیروی برش طبقه با فرض مقاومت تسلیم به دست آمده، شکست تیر و ستون بر

همین اساس تعیین می‌گردد. در این جا منظور از مقاومت تسلیم، حالتی است که با در نظر گرفتن بار افقی و قائم زلزله شرایط تسلیم را در سازه ایجاد می‌نماید.

### ۱۰-۱-۳-۳- نیاز لرزه‌ای موجود

نیاز لرزه‌ای موجود $Q_{un}$ برای هر طبقه قاب با استفاده از نیروی زلزله طراحی و رابطه (۱۰-۱۵) محاسبه می‌شود.
$Q_{un} = D_s K_{MH} \sum_i^n \mu W_i \quad (10-15)$
$W_i$ وزن هر طبقه (N)
$Q_{un}$ : نیاز لرزه‌ای موجود طبقه $i$ ام (N)
$\mu$ : ضریب توزیع زلزله در راستای ارتفاع (حداقل یک می‌باشد).
$\mu = 1.5H / H_t \quad (10-16)$
$H_t$ : ارتفاع قاب (mm)
$H$ : ارتفاعی که در آن ضریب زلزله جانبی اصلاح شده طراحی قاب محاسبه می‌شود. (mm)
$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده که از رابطه (۱۰-۱۷) به دست می‌آید.
$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (10-17)$
$\beta_5$ : تقویت پاسخ افقی که از رابطه (۳-۷) راهنمای بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی محاسبه می‌گردد.
$K_H$ : ضریب زلزله افقی در تراز سطح زمین

نیاز لرزه‌ای موجود،  $Q_{un}$  از جمع نیازهای طبقات فوقانی آن طبقه به دست می‌آید. مقدار  $D_s$  هر طبقه، از جدول (۱۰-۳) به دست آمده و بیشترین مقدار ( $D_s = 0.5$ ) می‌تواند برای هر طبقه به کار رود.

جدول ۱۰-۳ ضریب مشخصه سازه  $D_s$

مشخصات قاب	نوع قاب		
	(الف)	(ب)	(ج)
	قاب با اتصال صلب یا قاب‌هایی از این نوع	مواردی به غیر از الف و ج	قاب با مهاربند
(۱)	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۵
(۲)	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴
(۳)	۰/۳۵	۰/۴	۰/۴۵
(۴)	۰/۴	۰/۴۵	۰/۵

### ۱۰-۱-۳-۴- نیاز لرزه‌ای نهایی

نیاز لرزه‌ای نهایی قاب باید با توجه به موارد زیر به دست آید.  
 در محاسبه نیاز لرزه‌ای نهایی،  $Q_u$  روش ساده شده عملی بر اساس سازه می‌تواند در کنار روش تحلیل الاستو پلاستیک استفاده شود. شرایط محاسبه در زیر آمده است.

- ۱- نیاز لرزه‌ای نهایی برای هر قاب مسطح مستقلاً محاسبه می‌گردد.
- ۲- فرض می‌شود قاب مسطح، قابی است متشکل از عضو خطی محوری بدون در نظر گرفتن نوع اتصال تیر و ستون (اتصال پانل).
- ۳- لازم است نیازهای لرزه‌ای به اتصال اعضاء مرتبط شوند.
- ۴- اگر هر دو انتهای تیر به حالت پلاستیک خود برسند، برای جلوگیری از کماتش جانبی، سختی افقی برای تیر ایجاد شود.
- ۵- لنگرهای پلاستیک تیر و ستون در گره ایجاد می‌شوند.
- ۶- نیاز لرزه‌ای قاب با مهار، از مجموع نیازهای لرزه‌ای مهار و قاب به دست می‌آید.

### ۱۰-۱-۳-۵- ارزیابی مقاومت تسلیم

اگر رابطه (۱۰-۱۸) در هر طبقه قاب برقرار باشد، قاب عملکرد لرزه‌ای مورد نیاز نیروی زلزله را ارضاء می‌کند.

$$Q_{un} \leq Q_u$$

(۱۰-۱۸)

$Q_{un}$ : نیاز لرزه‌ای موجود (N)

$Q_u$ : نیاز لرزه‌ای نهایی (N)

### ۱۰-۱-۳-۶- ارزیابی مقاومت تسلیم ستونک

ستونک باید مقاومت تسلیم و ظرفیت تغییر شکل کافی برای عدم خرابی در برابر نیروهای لرزه‌ای را مطابق بند ۲۳ پیوست داشته باشد.

### ۱۰-۲- دودکش

#### ۱۰-۲-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای دودکش

طراحی لرزه‌ای دودکش به روش تنش مجاز برای نیروی زلزله صورت می‌گیرد.

#### ۱۰-۲-۲- نکات طراحی

دودکش انواع مختلفی دارد، مانند دودکش مستقل و دودکش نگه‌داشته شده با برج فلزی. دودکش مستقل با استفاده از روش‌های

مربوط به برج با تکیه‌گاه دامنی که در بند (۴-۱-۵-۵) توضیح داده شد، طراحی می‌شود. از سوی دیگر، چون دودکش نگه‌داشته شده با برج فلزی، مانند سازه برج با تکیه‌گاه دامنی می‌باشد، در نتیجه این نوع دودکش مشابه برج متکی بر قاب طراحی می‌شود.

### ۱۰-۳-۱۰- کوره

#### ۱۰-۳-۱-۱- مراحل طراحی لرزه‌ای کوره

طراحی لرزه‌ای کوره با روش تنش مجاز یا روش شکل پذیر انجام می‌گردد. کوره یک سازه قابی تیر و ستون است که یک صفحه فلزی روی قاب نصب و از درون عایق‌کاری شده است و لوله، مشعل، بخارات و آتش را مهار می‌کند. تحلیل تنش لوله گرمایش، تکیه‌گاه لوله گرمایش، دیوار کوره، قاب کوره و مشعل می‌تواند به صورت مستقل انجام شود.

نکات مربوط به طراحی هر قسمت در زیر آمده است.

- ۱- دیوار کوره باید بتواند تغییر شکل قاب کوره را تحمل کرده و همچنین مقاومت کافی داشته باشد.
- ۲- قاب کوره باید تا حد امکان سخت باشد و قسمت‌هایی مانند لوله گرمایش، تکیه‌گاه لوله گرمایش، دیوار کوره یا دودکش، باید به گونه‌ای طراحی شوند که نیروی زلزله طراحی را تحمل نمایند.
- ۳- لوله گرمایش باید سازه‌ای باشد که تا حد امکان از ایجاد تشدید با کوره جلوگیری نماید، همچنین باید دارای مقاومت تسلیم کافی بوده تا در اثر نیروی اینرسی و تغییر شکل قاب کوره ناشی از زلزله سقوط نکند.
- ۴- طراحی دودکش مستقل، بر اساس مراحل طراحی فصل ۹ صورت می‌گیرد و چنانچه توسط سازه کوره نگه‌داشته شده باشد، می‌تواند به صورت سازه‌ای یکپارچه طراحی گردد.
- ۵- مجرا، سازه‌ای است که تغییر مکان نسبی بین کوره و دودکش را جذب نموده و بر اساس مراحل طراحی سیستم لوله‌کشی فصل (۵) طراحی شود.
- ۶- لوله بخار جهت مهار آتش بر اساس مراحل طراحی سیستم لوله‌کشی فصل (۵) طراحی شود.

### ۱۰-۳-۲- تحلیل پاسخ کوره

#### ۱۰-۳-۱-۱- مدل‌سازی تحلیلی

چون کوره سازه‌ای متشکل از تیر و صفحه است (صفحه پوسته برای نصب مصالح عایق‌بندی گرمایشی)، دو روش مدل‌سازی برای تحلیل آن وجود دارد. یکی از این روش‌ها مدل ترکیبی قاب فضایی است که اعضای سازه‌ای در آن به صورت فضایی مدل می‌شوند و روش دیگر مدل ترکیبی فنر چند جرمی است که جرم در یک موقعیت مناسب مجازی در نظر گرفته و با اعضای فنری به هم وصل می‌شوند. در حالت اول می‌تواند به صورت قاب دو بعدی، متناسب با سازه کوره مدل شده و در مدل دوم جرم‌های متمرکز به صورت مجازی در موقعیت تیرهای اصلی کوره قرار می‌گیرد.

## ۱۰-۳-۲-۲-جرم

برای تحلیل تنش‌های وارد بر ستون، تیر، مهاربندی و سایر مؤلفه‌ها، مدل‌سازی جرم بصورت صلب در تحلیل ضروری می‌باشد. هنگامی که جرم در معرض بار متمرکز یا بار توزیع شده اعضاء قرار می‌گیرد، ارزیابی معمولاً به صورت اتوماتیک با استفاده از اطلاعات سازه‌ای انجام می‌شود. در این مدل جهت تحلیل پاسخ، سایر مؤلفه‌های کوره فقط به عنوان جرم در نظر گرفته شده و ارزیابی می‌شوند. لوله آگروز، عایق (فیبر روکش و غیر آلی (سرامیکی) و غیره)، لوله گرمایش، آتشدان، مشعل، پایه نصب و لوله‌کشی اصلی نمونه‌هایی از مؤلفه‌های اصلی هستند که باید به عنوان یک جرم ارزیابی شوند. جرم این مؤلفه‌ها بر گره عضوی که روی آن نصب شده‌اند، متمرکز می‌شود. اگر بزرگی و محل اضافه شدن این جرم به دقت تعیین شود، مدل‌سازی با دقت خوبی انجام خواهد شد. جرم عضو به صورت متمرکز روی گره وارد می‌شود.

## ۱۰-۳-۲-۳-ثابت میرایی

از آن‌جا که مؤلفه‌های مختلف کوره مانند لوله‌ها و عایق‌ها روی قاب نصب شده‌اند کوره را می‌توان سازه‌ای قابی در نظر گرفت. مقادیر زیر با توجه به ثابت میرایی سایر تجهیزات به دست آمده و ممکن است برابر ثابت میرایی کوره باشد.

(الف) فیبر غیر آلی (سرامیک‌ها) مورد استفاده در عایق کاری ۱۵٪

(ب) روکش و آجر نسوز مورد استفاده در عایق کاری: ۱۰٪

# فصل ۱۱

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

خطوط لوله





## ۱۱-۱- اجزای هدف

مؤلفه‌های مورد نظر در این فصل، خطوط لوله گازرسانی می‌باشد.

این خطوط را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

(الف) روزمینی (لوله روی پایه یا پل لوله)

(ب) لوله مدفون شامل:

- لوله‌های مستقیم
- خم لوله‌ها
- انشعابات (T شکل)

(ج) علمک گاز

- لوله‌های روزمینی به‌طور عمده روی پایه قرار دارند و طراحی لرزه‌ای، بیشتر شامل پایه و تکیه‌گاه‌های لوله می‌شود.
- لوله‌های مدفون گاز از جنس فولاد و پلی‌اتیلن با جوش مناسب در مقابل اثرات ناشی از امواج زلزله دارای مقاومت بسیار خوبی بوده و به سادگی دچار آسیب نمی‌شوند.
- مخاطرات ژئوتکنیکی زمین می‌تواند به لوله‌های گاز که در معرض این خطرات قرار دارد، آسیب وارد نماید.
- اثرات تغییر شکل‌های بسیار موضعی زمین روی لوله‌های مدفون به‌ویژه لوله‌های سرویس در محل انشعابات مشترکین به‌طور ویژه مورد بررسی قرار گرفته است.
- علمک‌های گاز به تنهایی در مقابل زلزله مقاوم بوده و مشکلی ندارند، لیکن وجود اتصالات رزوه‌ای در آنها باعث می‌شود که اگر زاویه دوران این اتصالات از حدی بیشتر شود، نشتی در آنها روی دهد. این حد دوران در این راهنما داده شده است.

## ۱۱-۲- محاسبات لرزه‌ای خط لوله روزمینی

لوله‌های روزمینی در مقابل زلزله دچار مشکل خاصی نشده‌اند.

در این راهنما با توجه به مود آسیب این لوله‌ها در زلزله‌های گذشته، طراحی لرزه‌ای پایه‌های تکیه‌گاهی ارائه شده است.

## ۱۱-۲-۱- بارها و ترکیبات آنها

۱- در طراحی لرزه‌ای، بارهای وارده عبارتند از:

۱-۱- بارهای اولیه

(الف) بار مرده

(ب) نیروی پیش‌تنیدگی

ج) اثر وزن، خزش و انقباض بتن

ه) فشار زمین

و) شناوری یا برکنش

۱-۲- بارهای ثانویه

- اثرات زلزله (شامل اثر ناشی از انتشار امواج زلزله و اثر ناشی از تغییر شکل‌های ماندگار زمین)

۲- ترکیب بار به صورت زیر است:

- بارهای اولیه

- بارهای اولیه + اثرات زلزله (ضرایب بارها یک می‌باشد).

۳- بارها باید طوری اعمال شوند که نامساعدترین تنش، تغییر مکان و سایر اثرات به وجود آید.

به عنوان اثرات زلزله، موارد زیر باید لحاظ شود. اما زمانیکه طراحی لرزه‌ای به روش شکل‌پذیر انجام می‌شود، نیازی به در نظر

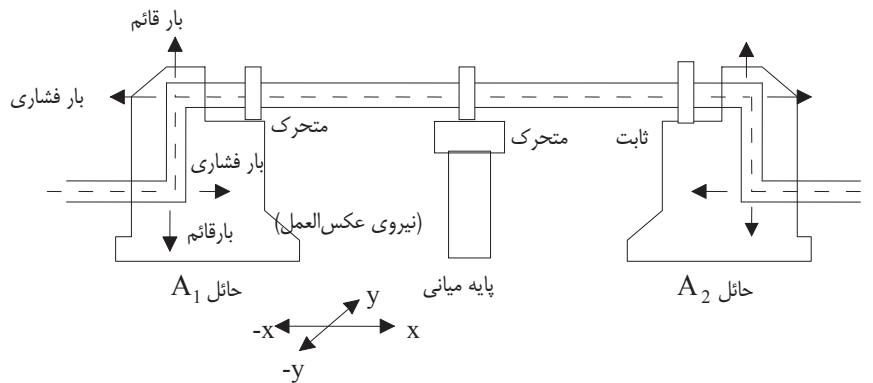
گرفتن موارد ۱ و ۲ نیست:

۱- نیروی زلزله ایجاد شده در اثر وزن سازه که با ضرب وزن سازه در ضریب زلزله و در دو راستای افقی و قائم مطابق شکل

۱-۱۱ محاسبه می‌گردد. این نیرو در روسازه به مرکز ثقل و در زیر سازه به وجه پایینی تکیه‌گاه وارد می‌گردد.

۲- فشار زمین در حین زلزله

۳- اثر روانگرایی و گسترش جانبی



شکل ۱-۱۱ مدل پل منتقل‌کننده خط لوله

بارهای وارده به نمونه فوق در جدول (۱-۱۱) داده شده است.

جدول ۱-۱۱ تحلیل سازه‌ای برای پل لوله دو دهانه

بارها	مؤلفه‌های بارگذاری	بارهای وارده				
		پایه کناری A1 (متحرک)	پایه میانی	پایه کناری A2 (ثابت)		
بارهای غیرزلزله	عمودی	$3/16 \sum W$	$5/8 \sum W$	$3/16 \sum W$		
	افقی (در جهت X)	نیروی اصطکاکی	$\pm 3/16 \sum W \cdot \mu$	$\pm 5/8 \sum W \cdot \mu$	$\pm 3/16 \sum W \cdot \mu$	
		فشار	$P_1 A_r$	—	$P_1 A_r$	
بار زلزله	محوری	عمودی	$3/16 \sum W$	$5/8 \sum W$	$3/16 \sum W$	
		افقی (جهت X)	اصطکاکی یا اینرسی	$\text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \pm 3/16 \sum W \cdot \mu \\ \pm 3/16 \sum W \cdot K_{SH} \end{array} \right.$	$\text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \pm 5/8 \sum W \cdot \mu \\ \pm 5/8 \sum W \cdot K_{SH} \end{array} \right.$	$\pm \sum W_0 \cdot K_{SH}$
			فشار	$P_2 A_r$	—	$P_2 A_r$
	عرضی	عمودی	$3/16 \sum W$	$5/8 \sum W$	$3/16 \sum W$	
		افقی (جهت Y)	نیروی اینرسی	$\pm 3/16 \sum W \cdot K_{SH}$	$\pm 5/8 \sum W \cdot K_{SH}$	$\pm 3/16 \sum W \cdot K_{SH}$
			چرخشی	$\pm 3/16 \sum W \cdot K_{SH} \cdot H_g$	$\pm 5/8 \sum W \cdot K_{SH} \cdot H_g$	$\pm 3/16 \sum W \cdot K_{SH} \cdot H_g$

 $\sum W$ : وزن کل روسازه سیستم پل $K_{SH}$ : ضریب زلزله افقی $\sum W_0$ : وزن آب -  $\sum W$

$\mu$ : ضریب اصطکاک

Hg: ارتفاع مرکز ثقل پایه کناری پل

$P_1$ : فشار سیال

$P_{21}$ : فشار دینامیکی سیال

$A_f$ : سطح مقطع لوله

### ۱۱-۲-۲- نیروی زلزله طراحی تکیه‌گاه‌های برابر

نیروی زلزله طراحی که رو به بالا و پایین تعمیم داده می‌شود به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$R_L = R_{Df} + \sqrt{R_{HEQ}^2 + R_{VEQ}^2} \quad (۱-۱۱)$$

$$R_U = R_{Df} - \sqrt{R_{HEQ}^2 + R_{VEQ}^2} \quad (۲-۱۱)$$

$R_L$ : نیروی زلزله رو به بالا (kN)

$R_U$ : نیروی زلزله رو به پایین (kN)

مقدار  $R_U$  برای سطح خطر ۲- نباید از  $0.3R_{Df}$  و برای سطح خطر ۱- از  $0.1R_{Df}$  تجاوز کند.

$R_{Df}$ : نیروی عکس‌العمل (kN) تکیه‌گاه ناشی از بار مرده روسازه. نیروی عکس‌العمل رو به پایین باید مثبت فرض شود.

نیروی عکس‌العمل رو به بالا و پایین  $R_{HEQ}$  را می‌توان از رابطه (۳-۱۱) به دست آورد.

$$R_{HEQ} = \frac{K_H \cdot R_{VP} \cdot H_p + K_H \cdot R_{VW} \cdot H_w}{B_w} \quad (۳-۱۱)$$

$K_H$ : ضریب شدت زلزله افقی

$R_{VP}$ : وزن لوله و سیال

$R_{VW}$ : وزن راهرو (در قسمت روی مقطع لوله، غلاف نگهدارنده و تکیه‌گاه آن محل عبوری قرار دارد که راهرو نامیده می‌شود).

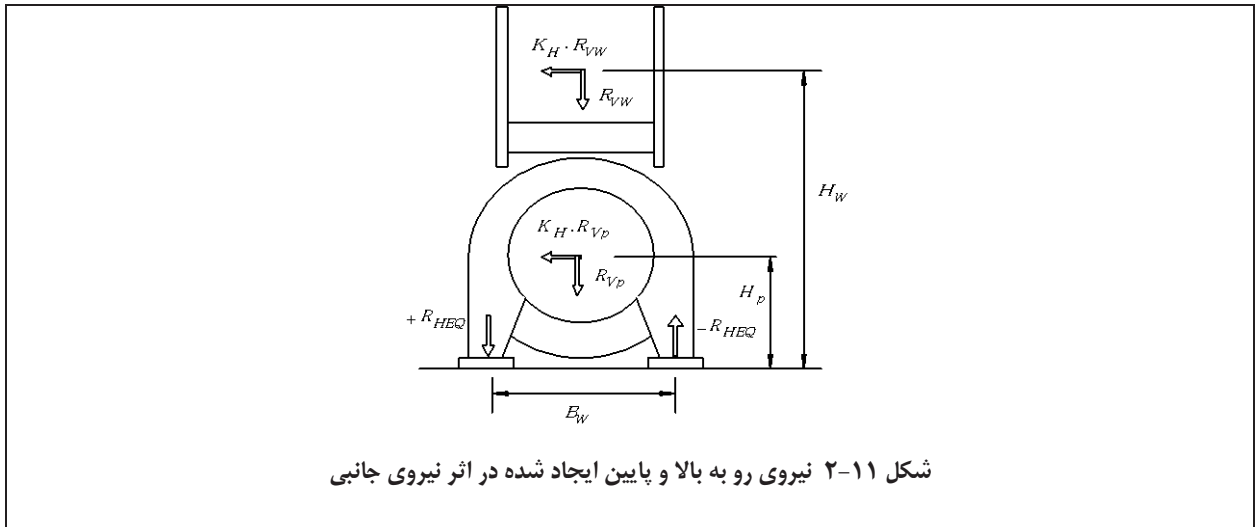
$H_p$ : ارتفاع از مرکز لوله

$H_w$ : ارتفاع از مرکز ثقل راهرو

$B_w$ : عرض تکیه‌گاه

$R_{VEQ}$ : نیروی عکس‌العمل رو به بالا و پایین (kN) ایجاد شده توسط ضریب شدت زلزله قائم  $K_V$  که به صورت زیر به دست می‌آید.

$$R_{VEQ} = K_V R_{Df} \quad (۴-۱۱)$$



### ۱۱-۲-۳- کنترل ایمنی تکیه‌گاه‌های باربر

۱- مقاومت قاب تکیه‌گاه، تجهیزات رو سازه‌ها و زیر سازه‌ها که به تکیه‌گاه متصل هستند، نباید کم‌تر از نیروی زلزله جانبی باشد.

۲- مقاومت تکیه‌گاه نباید آن قدر زیاد باشد که اتصال انبساطی نتواند عملکرد خود را به خوبی انجام دهد.

۳- اتصال انبساطی باید انعطاف‌پذیری کافی برای جذب تغییر مکان قائم تکیه‌گاه را داشته باشد.

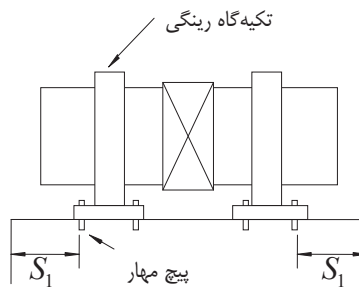
### ۱۱-۲-۴- طول نشیمن

حداقل فاصله تا پیچ مهار در تکیه‌گاه باید کمتر از مقدار  $S_1$  به دست آمده از رابطه (۵-۱۱) باشد.

$$S_1 = 0.20 + 0.005L$$

(۵-۱۱)

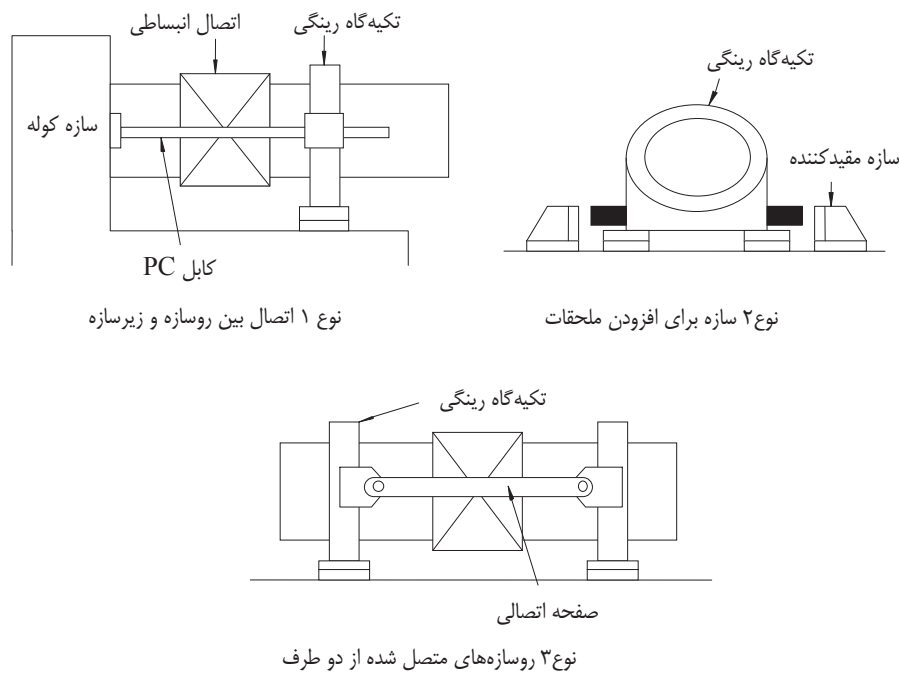
$L$  طول دهانه (m) است.



شکل ۳-۱۱ حداقل طول تا پیچ مهار در تکیه‌گاه

## ۱۱-۲-۵- قید و بست مهاری

- قید و بست‌ها برای پیشگیری از نشست و واژگونی روسازه باید نصب گردد.
- اجزای قید و بست‌ها باید به صورت مناسب برحسب نوع پل لوله، نوع باربری، شرایط زمین و غیره انتخاب شود.
- قید و بست عمود بر محور پل لوله، در تکیه‌گاه‌های اتصالی، بخش‌های هم‌پوشانی پل‌ها و تکیه‌گاه میانی شاه‌تیر سراسری پل‌ها نصب می‌شود.
- قید و بست‌ها باید دارای اجزای سازه‌ای زیر باشد:
  - ۱- اتصال روسازه به زیرسازه
  - ۲- قطعه الحاقی به روسازه و زیرسازه
  - ۳- روسازه‌های متصل شده از دو طرف



شکل ۱۱-۴ جزئیات قید و بست‌ها

## ۱۱-۲-۵-۱- نیروی طراحی قید و بست‌ها

نیروی مقاوم قید و بست‌ها نباید کم‌تر از نیروی زلزله طراحی  $H_F$  تعیین شده از رابطه (۶-۱۱) باشد.

حداکثر جابه‌جایی قیدها باید به بزرگی مقدار  $S_F$  داده شده در رابطه (۷-۱۱) باشد.

$$H_F = 1.5R_d \quad (۶-۱۱)$$

$$S_F = c_F S_E \quad (۷-۱۱)$$

$H_F$ : نیروی زلزله طراحی قید (kN)

$R_d$ : عکس‌العمل بار مرده ( kN )

$S_F$ : حداکثر جابه‌جایی طراحی قید ( cm )

$S_E$ : طول نشیمن شاه‌تیر در تکیه‌گاه ( cm )

$c_F$ : ضریب تغییر مکان طراحی قید که برابر ۰/۷۵ است.

### ۱۱-۲-۵-۲- محدودیت تغییر مکان قید و بست‌ها

حداکثر تغییر مکان قید نباید از تغییر مکان مجاز اتصال انبساطی تجاوز کند.

حداکثر تغییر مکان قید را می‌توان به صورت زیر تخمین زد.

۱- برای حالت بدون زلزله

$$\delta_x = \delta_T + \Delta_x \quad (۸-۱۱)$$

۲- برای زلزله سطح خطر-۱

$$\delta_{x1} = \delta_T + U_R + \Delta_x \quad (۹-۱۱)$$

۳- برای زلزله سطح خطر-۲

$$\delta_{x2} = \frac{\delta_T + U_R + U_G}{n_1} + \Delta_x \quad (۱۰-۱۱)$$

$\delta_x$ : تغییر مکان اتصال انبساطی ( mm )

$\Delta_x$ : طول مجاز برای تغییر مکان اضافی نامعلوم ( mm )

$\delta_T$ : تغییر مکان ناشی از افزایش دما ( mm )

$$\delta_T = \alpha_t \cdot \Delta T \cdot L \quad (۱۱-۱۱)$$

$\alpha_t$ : ضریب انبساط حرارتی

$\Delta T$ : افزایش دما

$L$ : میانگین طول دهانه سازه تکیه‌گاهی

$U_R$ : تغییر مکان نسبی ( mm ) بین سازه‌های تکیه‌گاهی مجاور

$$U_R = \sqrt{U_{R1}^2 + U_{R2}^2} \quad (۱۲-۱۱)$$

$U_{R1}$ : پاسخ سازه تکیه‌گاهی ۱ ( mm )

$U_{R2}$ : پاسخ سازه تکیه‌گاهی ۲ ( mm )

$U_G$ : تغییر مکان نسبی ( mm ) ناشی از تغییر شکل خاک بین سازه‌های تکیه‌گاهی مجاور

$$U_G = \varepsilon_G \cdot L \quad (۱۳-۱۱)$$

$\varepsilon_G$ : کرنش میدان آزاد سطح زمین

$n_1$ : تعداد اتصالات انبساطی

## ۱۱-۳- خطوط لوله مدفون

در این قسمت خطوط لوله مدفون به سه قسمت مستقیم، خم و انشعابات  $T$  شکل تقسیم شده و به ترتیب طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی هر کدام در مقابل اثرات ناشی از انتشار امواج و مخاطرات ژئوتکنیکی ارائه می‌گردد. روش‌های ارزیابی رفتار و محاسبه کرنش‌های لرزه‌ای در خطوط مدفون بر تئوری تیر روی بستر الاستیک و اندرکنش خاک و لوله متکی می‌باشد. روش اصلی این راهنما در تحلیل لرزه‌ای خطوط مدفون روش پاسخ تغییر مکان است که به‌طور مبسوط در راهنمای بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ارائه شده است.

## ۱۱-۳-۱- خط لوله مستقیم

## ۱۱-۳-۱-۱- طراحی برای انتشار موج لرزه‌ای

روش پاسخ تغییر مکان، جهت تخمین تنش‌های لوله مدفون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این روش در راهنمای بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ارائه شده است.

بر اساس این روش کرنش زمین  $\varepsilon_G$  به‌دست می‌آید.

کرنش طولی در مقطع عرضی لوله با روابط زیر به‌دست می‌آید:

برای ناحیه ارتجاعی:

$$\varepsilon_{pl} = \alpha \varepsilon_G \quad (11-14)$$

برای ناحیه غیر ارتجاعی:

$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon_G \quad (11-15)$$

$$\alpha = q \cdot \alpha_0 \quad (11-16)$$

$\alpha_0$ : ضریب تبدیل تنش زمین به تنش لوله در راستای طولی

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{\lambda_1 \cdot L_A} \right)^2}, \quad \lambda_1 = \sqrt{\frac{K_1}{E \cdot A_r}}, \quad L_A = V \cdot T_p \quad (11-17)$$

$L_A$ : طول موج ظاهری (m)

$T_G$ : پریود غالب زمین (s)

$V$ : سرعت انتقال موج (m/s)

$K_1$ : ضریب فنریت خاک اطراف در راستای طولی ( $N/m^2$ )

$A_r$ : سطح مقطع عرضی ( $m^2$ )

$E$ : مدول یانگ ( $N/m^2$ )



q: ضریب لغزش

$$q = 1 - \cos \xi + \Omega \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \xi \right) \sin \xi \quad \tau_G \geq \tau_{cr} \quad (11-18)$$

$$q = 1 \quad \tau_G < \tau_{cr}$$

 $\Omega$ : ضریب اصلاح q، که برابر ۱/۵ فرض می‌شود.

$$\xi = \arctan \left( \frac{\tau_{cr}}{\tau_G} \right) \quad (11-19)$$

 $\tau_{cr}$ : تنش برشی بحرانی در شروع لغزش ( $N/m^2$ ) $\tau_G$ : تنش برشی اعمالی بر سطح لوله ( $N/m^2$ )

$$\tau_G = \frac{2}{L_A} \cdot \frac{EA_f}{D_i} \cdot \alpha_0 \varepsilon_G = K_1 \cdot (1 - \alpha_0) \cdot U_h \quad (11-20)$$

 $D_i$ : قطر لوله (m)تعریف  $K_L$  در رابطه ۱۰-۱۷ آمده است و  $U_h$  نیز بطور مبسوط در راهنمای بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی تشریح شده است.

## ۱۱-۳-۱-۱-۲- کرنش مجاز

در سطح خطر-۱، برای لوله مستقیم با قطر میانگین  $D_m$  و ضخامت  $t$ ، کرنش مجاز، کم‌ترین مقدار بین  $35t/D_m$  و ۱٪ می‌باشد.

این کرنش برای خم ۱٪ می‌باشد.

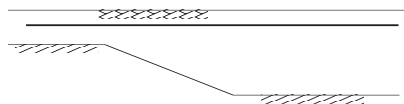
در سطح خطر-۲، کرنش بحرانی برای لوله مستقیم، خم و سه راهی ۳٪ می‌باشد.

## ۱۱-۳-۱-۱-۳- حداکثر کرنش لوله در ناحیه انتقالی زمین (حالت خاص عبور لوله از مرز دو نوع زمین)

زمانی که خط لوله از زمین سخت به زمین نرم وارد می‌شود، پاسخ ناحیه مرزی بیشتر از پاسخ در زمین یکنواخت می‌باشد.

این افزایش پاسخ با رابطه تقریبی (۱۱-۲۱) تخمین زده می‌شود:

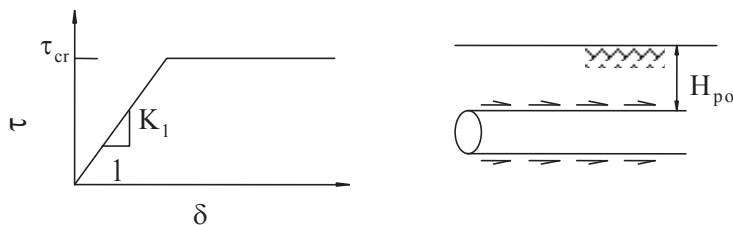
$$\varepsilon_{G2} = \sqrt{\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2} \quad (11-21)$$

 $\varepsilon_{G1}$ : کرنش در زمین یکنواخت $\varepsilon_{G3}$ : اضافه کرنش زمین در ناحیه انتقال برابر ۰.۰۰۳ می‌باشد.

شکل ۱۱-۵ خط لوله در ناحیه انتقالی زمین

## ۱۱-۳-۱-۱-۳-۱-۱-۳-۱-۱ فنریت خاک در راستای طولی

در شکل (۱۱-۶)، تنش برشی اعمالی بر سطح لوله در طول محور، دارای خصوصیات دو خطی با فنریت خاک،  $K_1$  می‌باشد.



شکل ۱۱-۶ سختی خاک در طول محور لوله

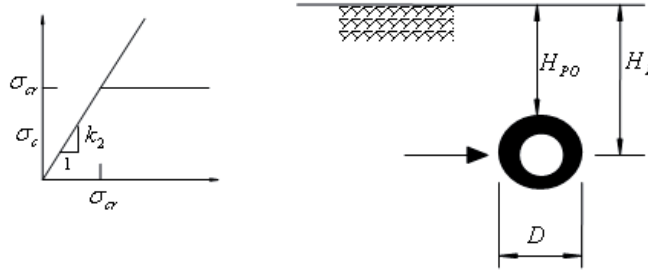
زمانی که خط لوله در عمق‌های مختلف،  $H_{po}$  نصب می‌شود، تنش برشی را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۱-۲۲) تبدیل کرد.

$$\tau_{cr} = 1.5 \left( \frac{H_{po}}{1.8} \right) \quad (\text{N/cm}^2) \quad (11-22)$$

در این رابطه  $H_{po}$  بر حسب متر می‌باشد.

## ۱۱-۳-۱-۱-۲-۳-۲- سختی خاک در راستای عرضی

فنریت خاک  $k_2$  از تقسیم حداکثر تنش محدود شده خاک،  $\sigma_{cr}$  بر تغییر مکان تسلیم،  $\delta_{cr}$  به دست می‌آید جدول (۲-۱۱).



شکل ۱۱-۷ سختی خاک عمود بر محور لوله

جدول ۲-۱۱ تنش محدود کننده عمود بر محور لوله

قطر اسمی (mm)	بیشترین تنش محدود کننده ( $N/cm^2$ )	تغییر مکان تسلیم (cm)	سختی خاک ( $N/cm^3$ )
۱۰۰	۵۳	۲/۶	۲۰
۱۵۰	۵۱	۲/۶	۲۰
۲۰۰	۴۸	۲/۶	۱۸
۳۰۰	۴۲	۲/۷	۱۶
۴۰۰	۳۹	۲/۸	۱۴
۵۰۰	۳۶	۲/۸	۱۳
۶۰۰	۳۴	۲/۹	۱۲
۶۵۰	۳۳	۲/۹	۱۱
۷۵۰	۳۲	۳/۰	۱۱
۹۰۰	۳۰	۳/۱	۱۰

## ۱۱-۳-۱-۲-۱- محل حداکثر کرنش لوله ناشی از تغییر شکل ماندگار زمین (PGD)

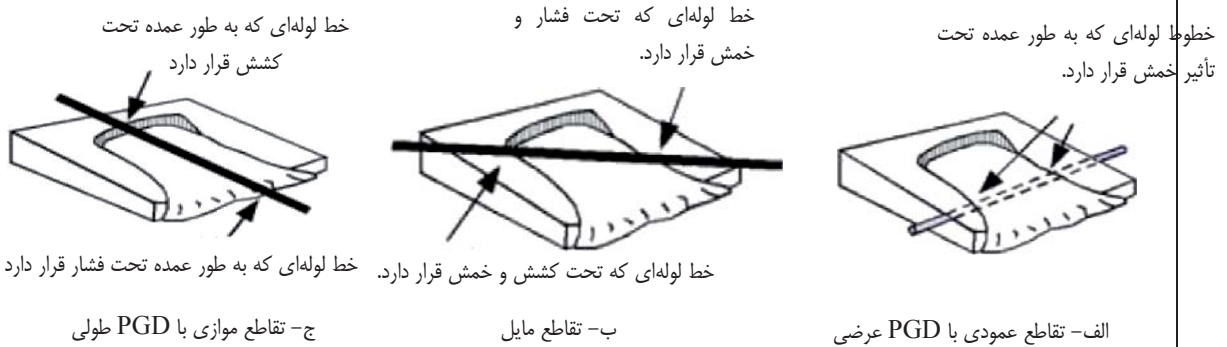
حداکثر کرنش لوله برای روان‌گرایی، در فصل مشترک بین مصالح روان‌گرا شده و نشده روی می‌دهد. حداکثر کرنش لوله برای گسلش، در اولین مسیر شکستگی ظهور می‌کند. حداکثر کرنش لوله برای زمین‌لغزه در مرز شیب‌ها و در محل بزرگ‌ترین نشست غیر یکنواخت اتفاق می‌افتد.

## ۱۱-۳-۱-۲-۱- طراحی برای تغییر مکان افقی ناشی از روانگرایی

برای لوله مستقیم عمود بر محور شیب، زاویه خمش لوله مستقیم (بر حسب درجه) از رابطه (۲۳-۱۱) به دست می‌آید:

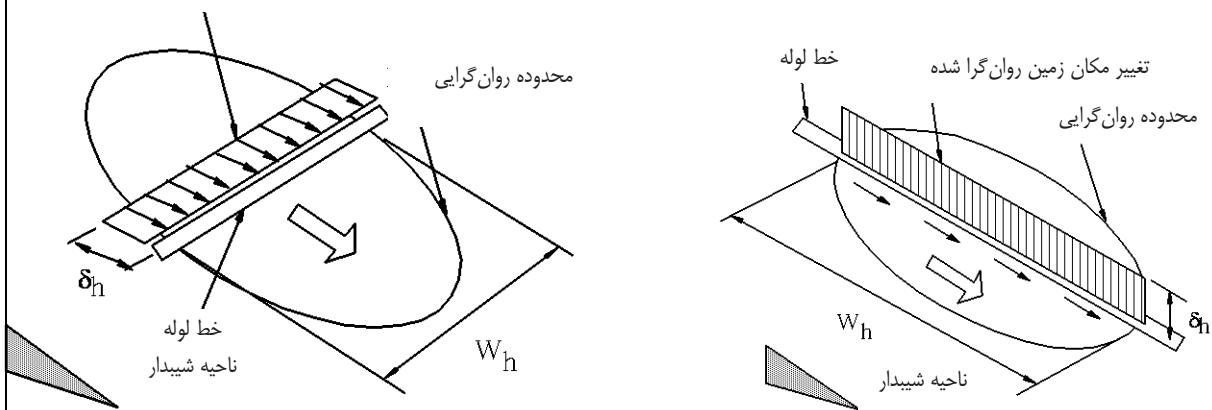
$$\omega_s = \frac{180}{\pi} \cdot 127 \cdot D_i \cdot \sqrt{\frac{P_1 \cdot \gamma_\delta \cdot \delta_h}{EI}} \quad \text{برای} \quad P_1 = D_i \cdot \gamma_k \cdot \sigma_c \quad (23-11)$$

$\gamma_k, \gamma_\delta$  ضرایب ایمنی جزئی از جدول (۳-۱۱)،  $\delta_h$  جابه‌جایی دائمی زمین و  $\sigma_c$  تنش فشاری خاک می‌باشد.



شکل ۱۱-۸ حالات عبور از ناحیه روانگرایی

تغییر مکان زمین روان گرا شده



شکل ۱۱-۹ نحوه بارگذاری طولی و عرضی لوله مستقیم مدفون در عبور از ناحیه روانگرایی

جدول ۳-۱۱ ضرایب ایمنی جزئی

مقدار استاندارد	مُد تغییر مکانی	اعضاء	ضرایب ایمنی جزئی	
			$\gamma_k$ ، برای نیروی مقاوم زمین	$\gamma_\delta$ ، برای تغییر مکان زمین
۱/۸	تمام مدها	لوله و خم	شیب	$\gamma_\delta$
۱/۳			اسکله، دیوار ساحلی	
۱/۰			نشست	
۱/۲	تمام مدها	لوله و خم	محوری	$\gamma_k$ ، برای نیروی مقاوم زمین
۱/۲			عرضی	
۱/۱			قائم	

۱۱-۳-۱-۲-۲ طراحی در تقاطع با گسل

کرش ایجاد شده در لوله در اثر تغییر مکان زمین، PGD در محل تقاطع با گسل به صورت رابطه (۱۱-۲۴) محاسبه می‌گردد.

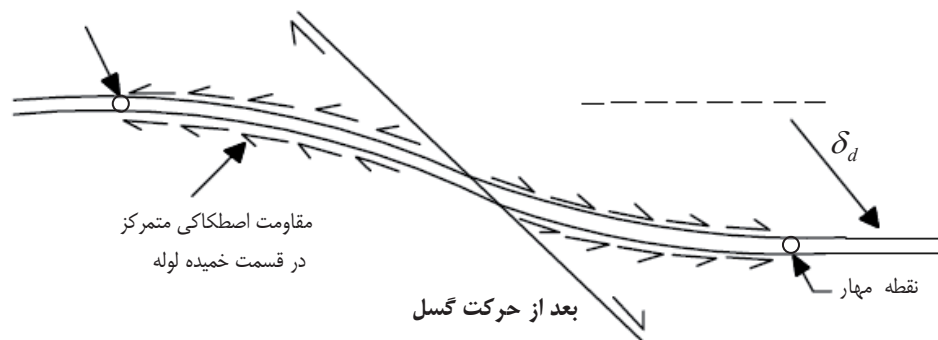
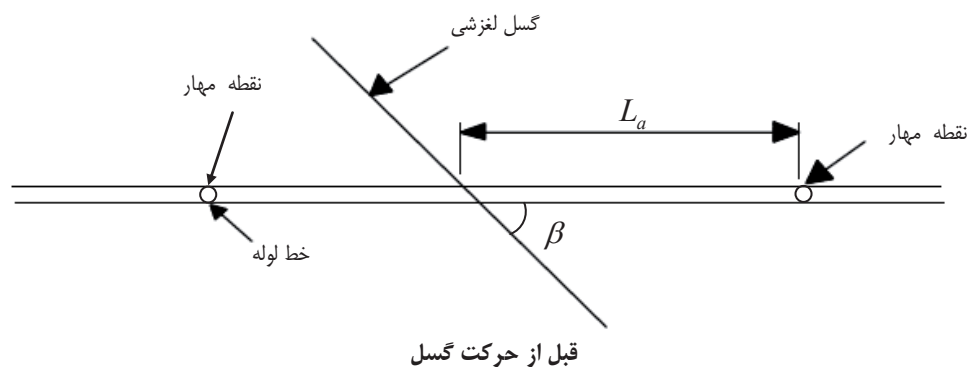
$$\varepsilon_{\text{pipe}} = 2 \left[ \frac{\text{PGD}}{2L_a} \cos \beta + \frac{1}{2} \left( \frac{\text{PGD}}{2L_a} \sin \beta \right)^2 \right] \quad (11-24)$$

که،  $\beta$  و  $L_a$  به ترتیب زاویه برخورد با گسل نسبت به محور لوله و طول مؤثر تغییر شکل لوله ناشی از تغییر مکان گسل می‌باشد شکل (۱۱-۱۰).

اگر تحلیل سازه‌ای حاکی بر این باشد که طراحی استاندارد خطوط لوله قادر به تحمل مقدار تغییر مکان گسل در محل تقاطع با گسل به طور ایمن نمی‌باشد، آن‌گاه استفاده از طراحی ویژه ساخت‌گاه ضروری می‌باشد.

طراحی ویژه ساخت‌گاه شامل مواردی مانند زیر می‌باشد:

- افزایش ضخامت و سختی لوله
- استفاده از روش‌های خاکریزی اصلاح شده
- در نظر گرفتن تغییر مکان‌ها، توپوگرافی سطح، عرض گسل یا ناحیه گسل، شرایط خاک، اثرات محیطی و نزدیکی سازه‌های مجاور
- کنترل زهکشی و فرسایش



شکل ۱۱-۱۰ لوله مستقیم مدفون در تقاطع با گسل

### ۱۱-۳-۱-۲-۳ طراحی در لغزش زمین

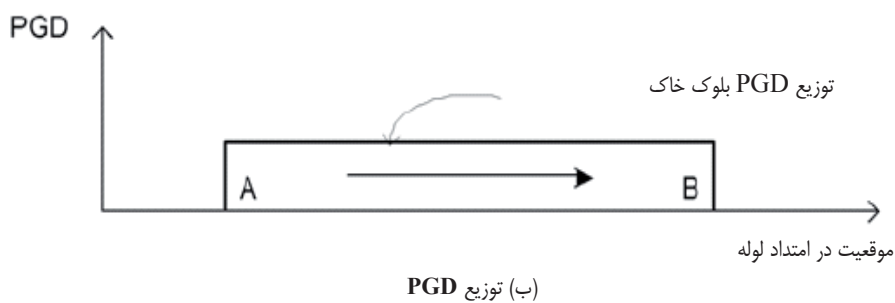
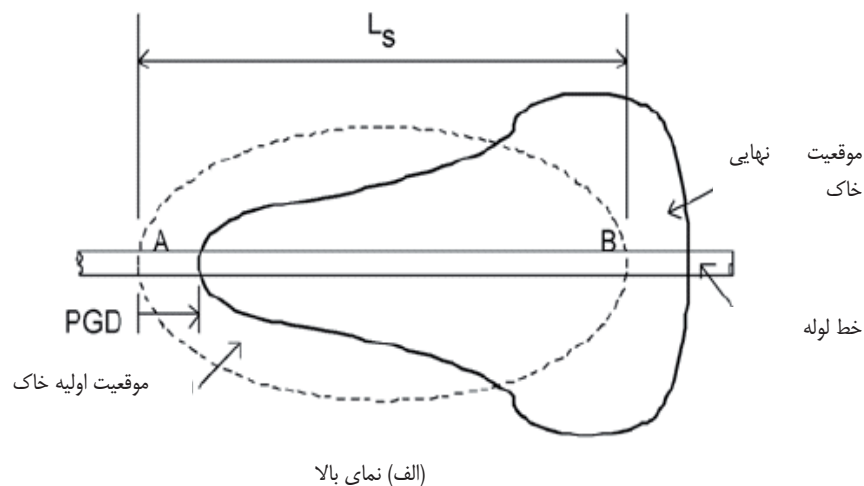
پاسخ لوله به راستای آن نسبت به راستای تغییر شکل ماندگار توده خاک (PGD) بستگی دارد. شکل‌های (۱۱-۱۱) و (۱۱-۱۲)

- (۱) اگر حرکت توده خاک موازی محور لوله باشد، PGD طولی نامیده می‌شود.  
 (۲) اگر حرکت توده خاک عمود بر محور لوله باشد، PGD عرضی نامیده می‌شود.

- معمولاً، PGD طولی در لوله نسبت به PGD عرضی، خسارت بیشتری ایجاد می‌کند.
- در مورد لوله‌های با اهمیت زیاد که تحت PGD های بزرگ (بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر) (مانند لغزش زمین یا جابه‌جایی گسل سطحی) قرار می‌گیرند، باید از روش FEM با جزئیات بیشتری استفاده گردد.

### ۱۱-۳-۲-۱-۳-۱-۱- پاسخ لوله مدفون به PGD طولی

تغییر مکان و نیروی حداکثر لوله معمولاً در نواحی مرزی توده خاک جابه‌جا شده، اتفاق می‌افتد که باعث کشش (بیرون کشیدگی) در نقطه A در ابتدای توده خاک جابه‌جا شده در شکل (۱۱-۱۱) یا فشار در نقطه B در شکل (۱۱-۱۲) در لوله می‌گردد.



شکل ۱۱-۱۱ پاسخ لوله مستقیم مدفون به PGD طولی

نیروی طراحی بدنه و اتصال لوله از کوچک‌ترین  $F_1$  و  $F_2$  که بیانگر کران بالای نیروی محوری در لوله می‌باشد، به دست می‌آید.  $F_1$  با فرض تطابق کامل رفتار لوله با خاک محاسبه می‌شود و  $F_2$  نیروی نهایی انتقالی از خاک به لوله است.

$$F = \min(F_1, F_2) \quad (۱۱-۲۵)$$

$$F_1 = \frac{A_r E \delta}{L_{sp}} \quad (۱۱-۲۶)$$

$$F_2 = \pi D_0 L_{SP} \tau_{cr} \quad (۲۷-۱۱)$$

$A_f$ : مساحت جدار لوله ( $\text{cm}^2$ )

$E$ : سختی ارتجاعی ( $\text{N/cm}^2$ )

$L_{SP}$ : طول لوله در توده خاک جابه‌جا شده (cm)

$D_0$ : قطر خارجی لوله (cm)

$\delta$ : تغییر مکان ماندگار زمین (cm)

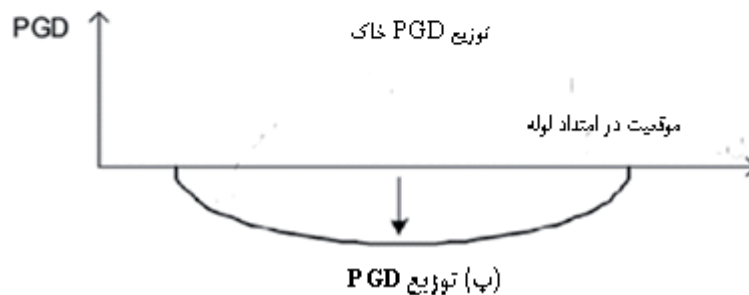
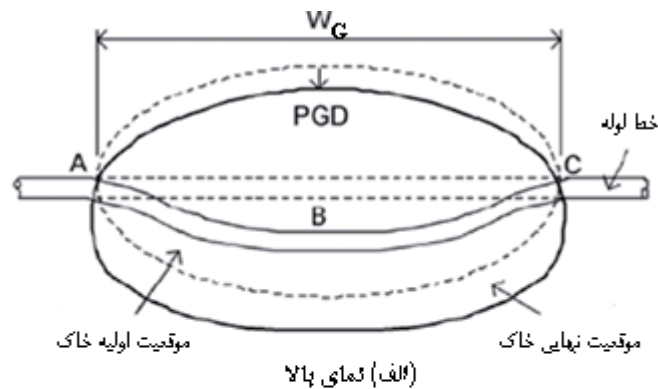
$\tau_{cr}$ : تنش برش (مماسی) بین خاک و لوله ( $\text{N/cm}^2$ )

### ۱۱-۳-۱-۲-۳-۲- پاسخ لوله مدفون به PGD عرضی

تغییر شکل لوله همانند یک تیر بارگذاری شده که تغییر مکان حداکثر آن در وسط دهانه اتفاق می‌افتد، در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که در نقاط A، B و C در شکل (۱۱-۱۲) مشاهده می‌شود، کرنش خمشی حداکثر در لوله، هم در مرکز و هم در نزدیک مرزهای توده خاکی که در جهت عرضی جابه‌جا شده، رخ می‌دهد. مقدار رابطه (۱۱-۲۸) به صورت محافظه‌کارانه به عنوان کرنش خمشی در نظر گرفته می‌شود.

$$\varepsilon_b = \pm \frac{\pi D_0 \delta}{W_G^2} \quad (۲۸-۱۱)$$

که،  $W_G$  عرض توده خاک،  $D_0$  قطر خارجی لوله و  $\delta$  مقدار حداکثر تغییر مکان ماندگار زمین می‌باشد.



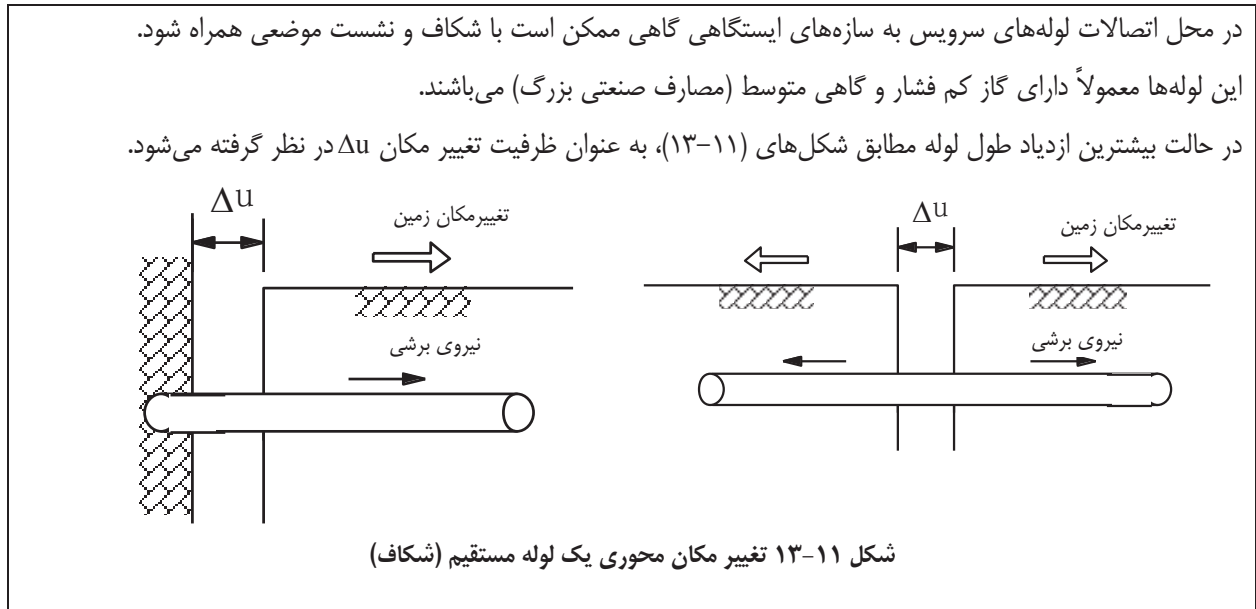
**شکل ۱۱-۱۲ پاسخ لوله مستقیم مدفون به PGD عرضی**

- کرنش خمشی لوله که از روش فوق به دست می‌آید تا حد زیادی دست بالا می‌باشد.
- اگر طراحی با استفاده از کرنش فوق عملی نباشد، استفاده از تحلیل به روش المان محدود پیشنهاد می‌گردد.

**۱۱-۳-۲- لوله‌های مستقیم مدفون در جابه‌جایی‌های موضعی زمین (شکاف و نشست موضعی)**

در بارگذاری ناشی از انتشار امواج لرزه‌ای یا مخاطرات ژئوتکنیکی طول زیادی از لوله تحت اثر قرار می‌گیرد. در این قسمت طراحی برای یک مقطع از لوله در عوارض موضعی زمین ارائه شده است.



۱۱-۳-۲-۱- ظرفیت تغییر مکان محوری  $\Delta u$  در خط لوله مستقیم

(الف) تغییر مکان محوری بحرانی لوله‌های پلی اتیلن

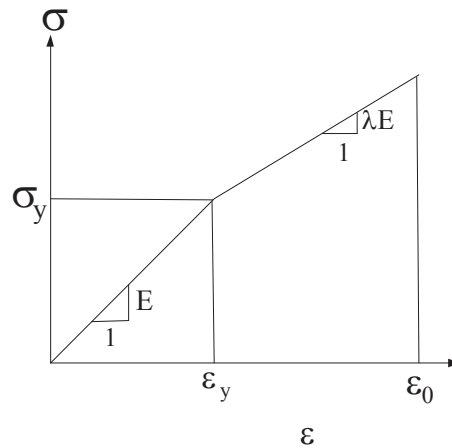
$$\Delta u = \frac{A\bar{E}\varepsilon_0^2}{\pi D\tau} \quad (\text{cm}) \quad (۲۹-۱۱)$$

D: قطر خارجی لوله (cm)

A: مساحت جداره لوله ( $\text{cm}^2$ ) $\bar{E}$ : سختی ارتجاعی معادل جدول (۱۱-۸)، ( $\text{N/cm}^2$ ) $\varepsilon_0$ : کرنش بحرانی جدول (۱۱-۸) $\tau$ : تنش برشی زمین ( $\text{N/cm}^2$ )

(ب) تغییر مکان محوری بحرانی در لوله‌های فولادی یا لوله‌های شکل‌پذیر

$$\Delta u = \frac{AE|\varepsilon_y^2 + \lambda(\varepsilon_0^2 - \varepsilon_y^2)|}{\pi D\tau} \quad (۳۰-۱۱)$$



شکل ۱۱-۱۴ نحوه تعیین E و λE

$\epsilon_y$ : کرنش تسلیم

$\sigma_y$ : تنش تسلیم ( $N/cm^2$ )

$\lambda E$ : ضریب سخت‌شوندگی کرنش

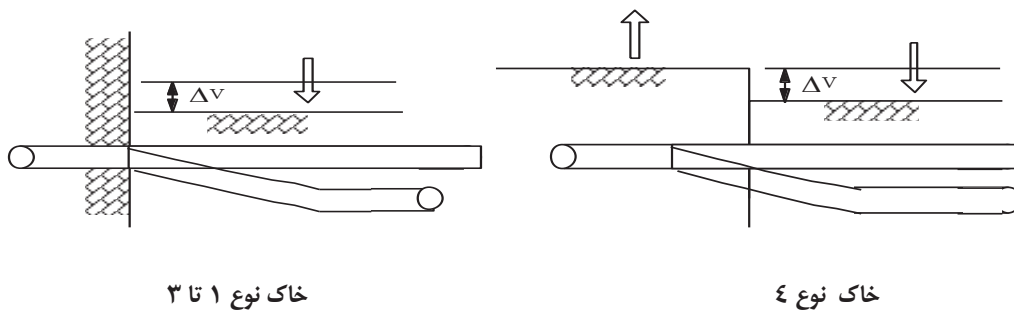
در جدول (۴-۱۱) مقادیر استاندارد تنش برشی برای انواع لوله‌ها ارائه شده است.

جدول ۴-۱۱ مقدار استاندارد تنش برشی ( $N/cm^2$ )  $\tau$

لوله	تنش برشی ( $N/cm^2$ ) $\tau$
لوله فولادی با روکش پلاستیک	۰/۹۸
لوله پلی‌اتیلن	
لوله پلی‌ونیل‌کلرید	
لوله فولادی بدون روکش	۱/۴۷

### ۱۱-۳-۲-۱-۲- ظرفیت تغییر مکان عرضی $\Delta v$ خط لوله مستقیم

دو نمونه معمول از شرایط زمین در شکل‌های (۱۱-۱۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱۵ تغییر مکان قائم زمین (نشست)

(۱) جابه‌جایی قائم در خاک نوع ۱ تا ۳

(۱) لوله فولادی جوش شده به روش قوس الکتریکی و لوله پلی اتیلن

$$\Delta v = \frac{2\sqrt{2}e^{\frac{\pi}{4}}}{D} \sqrt{\frac{4\bar{E}I}{kD}} \varepsilon_0 \quad (31-11)$$

e: عدد نپر

$\bar{E}$ : سختی (مدول) معادل ارتجاعی از جدول ۸-۱۱ ( $N/cm^2$ )

I: ممان اینرسی مقطع ( $cm^4$ )

k: ضریب عکس‌العمل زمین ( $N/cm^3$ )

$\varepsilon_0$ : کرنش بحرانی از جدول ۸-۱۱

D: قطر خارجی لوله (cm)

(۲) جابه‌جایی قائم در خاک نوع ۴

(۱) لوله فولادی جوش شده به روش قوس الکتریکی و لوله پلی اتیلن

$$\Delta v = \frac{1}{D} \sqrt{\frac{4\bar{E}I}{kD}} \varepsilon_0 \text{ (cm)} \quad (32-11)$$

(۲) لوله ثابت شده در دیوار

$$\Delta v = \frac{1}{2EI} \sqrt{\frac{4\bar{E}I}{kD}} M_0 \text{ (cm)} \quad (33-11)$$

$$M_0 = 269000 \text{ (N.cm)}$$

(۳) لوله با اتصال انعطاف‌پذیر در شکل (۱۱-۱۶)

$$\Delta v = \text{Min}(\Delta v_1, \Delta v_2, \Delta v_3) \quad (34-11)$$

که در آن، (ابعاد به cm)

$$\Delta v_1 = \frac{e^{\beta l}}{D\beta^2 \left\{ \sin(\beta l) - \frac{\mu\theta_0}{2(\bar{E}I\beta + \mu\theta_0)} \cos(\beta l) \right\}} \quad (35-11)$$

$$\Delta v_2 = \frac{\{2(\bar{E}I\beta + \mu\theta_0)\}}{D\beta^2 \mu\theta_0} \varepsilon_0 \quad (36-11)$$

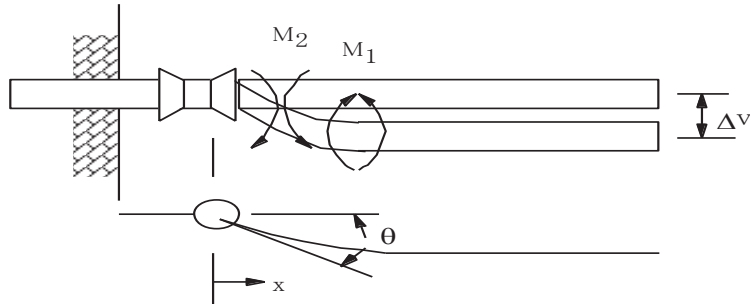
$$\Delta v_3 = \frac{\{2(\bar{E}I\beta + \mu\theta_0)\}}{D\bar{E}\beta^2} \theta_0 \quad (37-11)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kD}{4\bar{E}I}} \quad (38-11)$$

$$\beta \cdot l = \tan^{-1} \left( 1 + \frac{\mu\theta_0}{\bar{E}I\beta} \right) \quad (39-11)$$

$\mu$ : ضریب نسبی بین زاویه دوران یک اتصال و لنگر اعمالی (N.cm / rad)

$\theta_0$ : زاویه بحرانی اتصال (rad)



شکل ۱۱-۱۶ مدل لوله کشی با اتصال انعطاف پذیر نزدیک دیوار

لنگر حداکثر  $M_{max}$  به صورت زیر می باشد:

$$M_{max} = \text{Max} (M_1, M_2) \quad (40-11)$$

$$M_1 = 2\bar{E}I\beta^2 e^{-\beta l} \left\{ \sin(\beta l) - \frac{\mu}{2\bar{E}I(\beta + \mu)} \cos(\beta l) \right\} \Delta v \quad (41-11)$$

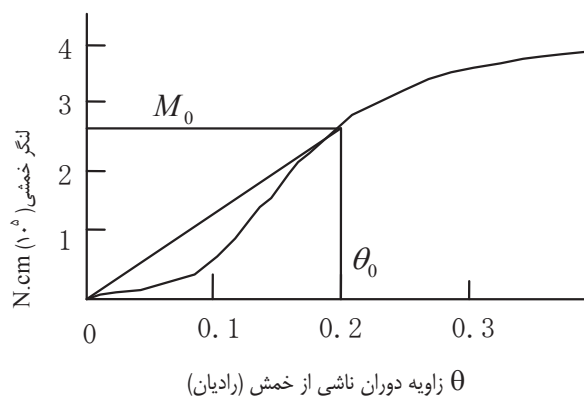
$$M_2 = 2\bar{E}I\beta^2 \frac{\mu}{2\bar{E}I(\beta + \mu)} \Delta v \quad (42-11)$$

ضریب  $\mu$  با استفاده از نتایج تجربی به صورت زیر به دست می آید.

$$\mu \approx \frac{M_0}{\theta_0} = 1.1 \times 10^6 \quad (\text{N.cm/rad}) \quad (43-11)$$

$$M_0 = 269000 \quad (\text{N.cm})$$

$$\theta_0 = 0.25 \quad \text{rad}$$



شکل ۱۱-۱۷ نمودار لنگر-زاویه دوران در اتصال یک لوله

(۴) فنریت زمین  $k$  در راستای عرضی

$$k = \frac{1}{3} K_{30} \left( \frac{D}{17} \right)^{-\frac{3}{4}} (\text{N/cm}^3) \quad (44-11)$$

D و  $K_{30}$  به ترتیب، قطر لوله و ضریب عکس‌العمل زمین از نتیجه آزمایش صفحه، به قطر ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. اگر مقدار  $K_{30}$  معلوم نباشد می‌توان مقدار آن را  $K_{30} = 29.4 \text{ N/cm}^3$  در نظر گرفت.

### ۱۱-۳-۳- لوله‌های خم (خطوط مدفون)

در این قسمت مشابه طراحی لرزه‌ای خطوط مستقیم مدفون، به طراحی لرزه‌ای لوله‌های خم مدفون پرداخته شده است.

### ۱۱-۳-۳-۱- طراحی برای انتشار موج لرزه‌ای

کرنش خمشی در لوله‌های خم به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \varepsilon_B &= \beta_B \Delta & \beta_B \Delta &\leq 1.27 \varepsilon_y \\ \varepsilon_B &= C_B \beta_B \Delta & \beta_B \Delta &> 1.27 \varepsilon_y \end{aligned} \quad (۴۵-۱۱)$$

$\beta_B$ : ضریب تبدیل خم لوله رابطه (۴۷-۱۱)

$C_B$ : ضریب اصلاح کرنش خمشی در ناحیه کاملاً خمیری

برای قطر لوله کم‌تر از 600mm،  $C_B = 2$

برای قطر لوله بزرگ‌تر از 600mm،  $C_B = 1$

$\Delta$ : تغییر مکان نسبی بین میدان آزاد و لوله مستقیم متصل به خم

$$\Delta = (1 - \alpha) \cdot U_h \quad (۴۶-۱۱)$$

$\alpha$  از رابطه (۱۶-۱۱) محاسبه می‌گردد.

ضریب تبدیل برای خم به صورت زیر می‌باشد:

$$\beta_B = \frac{2i_B A_r \lambda^2 D_o [(5 + R_r \lambda) b_1] + 4\lambda^3 I_r [5(1 + b_2) - b_1]}{10A_r + 5L_A I_r \lambda^3 (1 + b_2) + 10A_r b_3} \quad (۴۷-۱۱)$$

$$b_1 = - \frac{1 + 2R_r \lambda + (\pi - 2)n_b R_r^2 \lambda^2}{(1 + R_r \lambda) [2 + \pi n_b R_r \lambda + (4 - \pi)n_b R_r^2 \lambda^2]} \quad (۴۸-۱۱)$$

$$b_2 = \frac{1 - 2n_b R_r^2 \lambda^2 - (4 - \pi)n_b R_r^3 \lambda^3}{(1 + R_r \lambda) [2 + \pi n_b R_r \lambda + (4 - \pi)n_b R_r^2 \lambda^2]} \quad (۴۹-۱۱)$$

$$b_3 = n_b R_r^3 \lambda^3 \left\{ \frac{\pi}{2} + \frac{\pi I_r}{2n_b A_r R_r^2} + \left( 1 - \frac{I_r}{n_b A_r R_r^2} \right) b_1 + \left( \frac{2}{R_r \lambda} + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi I_r}{2n_b A_r R_r^2} \right) b_2 \right\} \quad (۵۰-۱۱)$$

$U_h$ : عرض تغییر مکان افقی زمین (cm)

$\beta_B$ : ضریب تبدیل خم (1/cm)

$i_B$ : ضریب (بدون بعد) تشدید تنش در خم

$$i_B = \max \left\{ \frac{1.95}{h^{2/3}}, 1.5 \right\} \quad (۵۱-۱۱)$$

$n_b$ : ضریب انعطاف‌پذیری خم (بدون بعد)

$$n_b = \frac{1.65}{h} \quad (52-11)$$

h: ضریب لوله

$$h = \frac{tR_r}{r_m^2} \quad (53-11)$$

t: ضخامت لوله (cm)

$r_m$ : شعاع میانگین لوله (cm)

$A_r$ : مساحت سطح مقطع لوله ( $\text{cm}^2$ )

$R_r$ : شعاع انحنای خم (cm)

$I_r$ : ممان اینرسی سطح مقطع ( $\text{cm}^4$ )

$L_A$ : طول موج ظاهری (cm)

$\lambda$ : پارامتر ( $1/\text{cm}$ )

$$\lambda = 4 \sqrt{\frac{K_2}{4EI_r}} \quad (54-11)$$

$K_2$ : فنریت خاک در راستای عرضی نسبت به خط لوله ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )

E: مدول ارتجاعی لوله فولادی، ( $\text{N}/\text{cm}^2$ )

- رابطه کرنش خمشی  $\varepsilon_B$ ، با استفاده از تغییر مکان نسبی  $\Delta$  بین میدان آزاد و لوله مستقیم متصل به خم، ناشی از انتشار موج لرزه‌ای در طول خط لوله مستقیم، به دست می‌آید.
- اگر کرنش خمیری از حد بحرانی،  $1.27\varepsilon_y$  تجاوز کند، باعث تشکیل مفصل پلاستیک می‌گردد.
- کرنش خمیری با در نظر گرفتن حاشیه اطمینان به وسیله پارامتر  $C_B$  از روش تقریبی خطی معادل، تعیین می‌گردد.

### ۱۱-۳-۳-۲- طراحی لرزه‌ای در روانگرایی

#### ۱۱-۳-۳-۳-۱- تغییر شکل خم لوله در نواحی شیب‌دار

در نواحی شیب‌دار، تغییر شکل ماندگار زمین،  $\delta_h$  ناشی از روانگرایی، به سمت پایین می‌باشد. این تغییر مکان همان‌طور که در شکل (۱۱-۱۸) نشان داده شده است از نقطه بالادست به پایین دست کاهش می‌یابد. توزیع تغییر مکان زمین، مثلی شکل فرض می‌شود. زاویه دوران حداکثر  $w_{bs}$  ناشی از  $\delta_h$  در رابطه (۱۱-۵۵) داده شده است. این مقدار نباید از دوران مجاز داده شده در جدول (۱۱-۶) بیشتر باشد.

$$w_{bs} = \frac{180}{\pi} \left\{ \frac{3}{4} \pi - 2 \sin^{-1} \left\{ 0.92 - 35.4 \frac{\delta_h}{L_{ps}} \left( 0.88 \frac{D_o}{D_{600}} + 0.12 \right) \right\} \right\} \quad (55-11)$$

$$L_{ps} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{M_{pbs} + M_{ps}}{P_1}} \quad (۵۶-۱۱)$$

$$M_{ps} = \frac{4}{\pi} M_{ys} \quad (۵۷-۱۱)$$

$$M_{ys} = \frac{\pi}{32} \frac{D_o^4 - (D_o - 2t_s)^4}{D_o} \sigma_y \quad (۵۸-۱۱)$$

$D_{600}$  : قطر لوله استاندارد 600mm میلی‌متری (mm)

$D_o$  : قطر داخلی لوله (mm)

$\sigma_y$  : تنش تسلیم لوله ( $N/mm^2$ )

$M_{ys}$  : لنگر تسلیم لوله (N.mm)

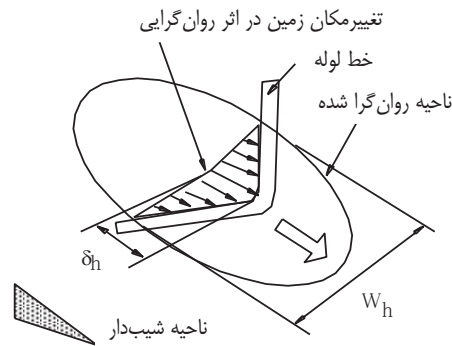
$L_{ps}$  : پارامتر (mm)

$M_{ps}$  : لنگر خمشی پلاستیک کامل لوله (N.mm)

$M_{pbs}$  : لنگر خمشی پلاستیک کامل لوله و خم (N.mm)

$t_s$  : ضخامت لوله (mm)

$P_1$  : فشار خاک روی لوله بصورت بار گسترده ( $N/mm$ )



شکل ۱۱-۱۸ مدل تحلیلی خم لوله در ناحیه شیب‌دار در ناحیه روان‌گرا

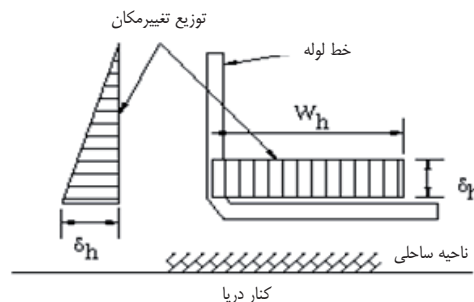
## ۱۱-۳-۲-۲- تغییر شکل خم لوله در نواحی ساحلی

زاویه دوران (درجه) در ضلع بیرونی (با  $D_o / t_o$  کمتر از ۵۰) در نواحی ساحلی به صورت زیر محاسبه می‌شود، این مقدار نباید از دوران مجاز داده شده در جدول (۱۱-۶) بیشتر باشد.

$$w_{bs} = \frac{180}{\pi} \frac{150 \delta_h}{L_{pol}} \left( 0.49 \frac{D_o}{D_{600}} + 0.69 \right) \quad (۱۱-۵۹)$$

$$L_{pol} = \sqrt[4]{\frac{1200 E I_r \delta_h}{P_1}} \quad (۱۱-۶۰)$$

مطابق شکل (۱۱-۱۹)، در نواحی ساحلی تغییر مکان ماندگار  $\delta_h$  ناشی از روانگرایی زمین به کناره دریا کشیده می‌شود، به طوری که این تغییر مکان از کناره دریا به سمت خشکی کاهش می‌یابد. نمودار توزیع تغییر مکان زمین در این مورد نیز مثلی شکل می‌باشد.



شکل ۱۱-۱۹ مدل تحلیلی خم در ناحیه روان گرا شده در ناحیه ساحلی

## ۱۱-۳-۴- طراحی انشعابات با اتصال T شکل

در اتصال T شکل لوله، کرنش خمشی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \varepsilon_T &= \beta_T \Delta & \beta_T \Delta &\leq 1.27 \varepsilon_y \\ \varepsilon_T &= 2\beta_T \Delta & \beta_T \Delta &> 1.27 \varepsilon_y \end{aligned} \quad (۱۱-۶۱)$$

$\beta_T$ : ضریب تبدیل اتصال T شکل

$\varepsilon_T$ : کرنش سازه‌ای اتصال T شکل

$\varepsilon_y$ : کرنش تسلیم لوله‌های انشعابی متصل به لوله اصلی

$\Delta$ : تغییر مکان نسبی بین قسمت آزاد و لوله مستقیم متصل به اتصال T شکل

ضریب تبدیل به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\beta_T = \frac{4\lambda_1^{-2} D_1 A_2 (C-1)}{4A_2 + L I_1 \lambda_1^{-3} C} \quad (۱۱-۶۲)$$



$$C = \frac{1 + 4 \left( \frac{\bar{\lambda}_1}{\bar{\lambda}_2} \right)^3 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)}{1 + 2 \left( \frac{\bar{\lambda}_1}{\bar{\lambda}_2} \right)^3 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)} \quad (۶۳-۱۱)$$

$$\lambda_i = \sqrt[4]{\frac{K_2}{4EI_i}} \quad i=1,2 \quad (۶۴-۱۱)$$

$D_i, A_i, I_i$  به ترتیب قطر، مساحت سطح مقطع و ممان اینرسی لوله انشعابی ( $i = 1$ ) و لوله اصلی ( $i = 2$ ) می‌باشد.  
 $K_2$ : مدول فنریته خاک اطراف برای عکس‌العمل قائم خاک می‌باشد. ( $N/cm^2$ )

### ۱۱-۳-۵- طراحی لوله علمک

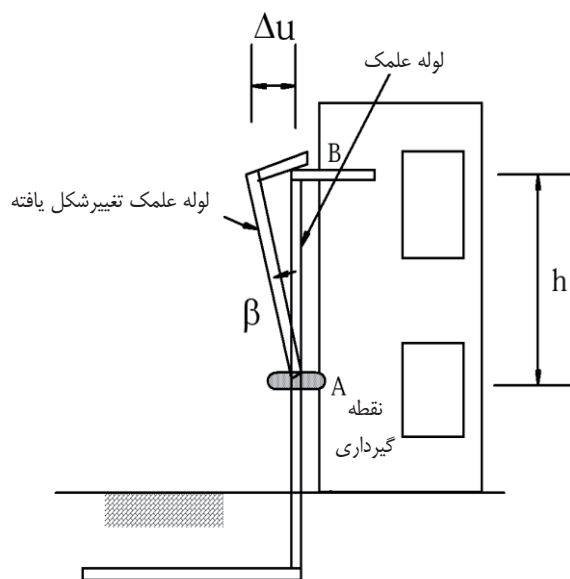
علمک‌ها در ارتعاش ناشی از زلزله مقاومت کافی داشته نیاز به طرح لرزه‌ای ندارند. مود آسیب علمک‌ها در زلزله نشت ناشی از ریزش آوار دیوار یا ساختمان روی آنها می‌باشد. اگر ساختمان در راستای افقی حرکت کند در لوله علمک متصل به آن تغییر شکل خمشی ایجاد می‌شود. به منظور جلوگیری از نشت و شکستگی لوله علمک، بایستی از تغییر شکل زیاد آن جلوگیری شود. برای کنترل جریان گاز در هر حالت تبعیت از مبحث ۱۷ مقررات ملی ساختمان و تأمین ایمنی علمک و سایر قسمت‌های لوله‌کشی داخلی الزامی است.

زاویه دوران خمشی علمک به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\beta = \arctan \left( \frac{\Delta u}{h} \right) \quad (۶۵-۱۱)$$

$\Delta u$  و  $h$  به ترتیب تغییر مکان افقی و طول لوله علمک بین نقطه گیرداری و نقطه فوقانی در شکل (۱۱-۲۰) می‌باشد.

زاویه دوران مجاز  $\beta_\alpha$  نصف مقدار تجربی یعنی حدود ۱۰ درجه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۱-۲۰ لوله علمک

تغییر مکان نسبی  $\Delta u$  را می‌توان از پاسخ تغییر مکان نسبی بین دو نقطه A و B در شکل (۱۱-۲۰) به دست آورد.

#### ۱۱-۴- مقادیر تنش مجاز حداکثر در خطوط لوله

در این قسمت تنش‌های مجاز برای طراحی مکانیکی در مقابل بارهای مختلف و ترکیب با زلزله برای لوله‌های روزمینی و مدفون، داده شده است. این مقادیر بر اساس حالت ارتجاعی به صورت زیر می‌باشد:

(۱) تنش حلقوی ناشی از فشار بهره‌برداری

جدول ۱۱-۵ تنش حلقوی

تنش مجاز	موقعیت‌رده
$0.72 F_Y$	۱
$0.60 F_Y$	۲
$0.50 F_Y$	۳
$0.40 F_Y$	۴

(۲) ترکیب تنش طولی و پیچشی در لوله روزمینی (ANSI B31.8)

الف) تنش انبساطی ناشی از تغییرات حرارتی (ترکیب تنش خمشی طولی با تنش پیچشی)  $0.72F_Y$

ب) تنش انبساطی ناشی از تغییرات حرارتی، تنش غشائی طولی ناشی از فشار داخلی و تنش خمشی طولی ناشی

از بار مرده بهره‌برداری، بار برف یا یخ و بار باد  $1.00F_Y$

ج) تنش غشائی طولی ناشی از فشار داخلی و تنش خمشی طولی ناشی از بار مرده بهره‌برداری، بار برف یا یخ و

باد  $0.72F_y$

(۳) تنش خمشی طولی و تنش غشائی مرکب در لوله روزمینی

<p>الف) تنش ناشی از فشار داخلی، تغییرات حرارتی، بار مرده بهره‌برداری، بار باد و بار برف یا یخ <math>0.90F_Y</math></p> <p>ب) تنش ناشی از فشار داخلی، تغییرات حرارتی، بار مرده بهره‌برداری و حداکثر زلزله سطح خطر-<math>1.00F_Y</math></p> <p>ج) تنش ناشی از فشار داخلی، تغییرات حرارتی، بار مرده بهره‌برداری، حداکثر زلزله سطح خطر-<math>1.10F_Y</math></p> <p>د) تنش ناشی از فشار آزمایشی، تغییرات حرارتی آزمایشی، بار مرده آزمایشی <math>1.10F_Y</math></p> <p>۴) تنش مجاز غشائی مرکب در لوله مدفون</p> <p>الف) تنش ناشی از فشار داخلی و تغییرات حرارتی <math>0.90F_Y</math></p> <p>ب) تنش ناشی از فشار داخلی، تغییرات حرارتی و حداکثر زلزله سطح خطر-<math>1.00F_Y</math></p> <p>ج) تنش ناشی از فشار داخلی و تغییرات حرارتی و حداکثر زلزله سطح خطر-<math>1.10F_Y</math></p> <p>۵) تنش مجاز خمشی و غشائی مرکب در لوله مدفون:</p> <p>الف) تنش ناشی از فشار داخلی، تغییرات حرارتی و تنش خمشی پیرامونی ناشی از سربار یا تنش خمشی طولی ناشی از شناوری <math>1.00F_Y</math></p> <p>ب) تنش ناشی از فشار داخلی، تغییرات حرارتی، حداکثر زلزله و تنش خمشی پیرامونی ناشی از سربار یا تنش خمشی طولی ناشی از شناوری، <math>1.15F_Y</math></p> <p>ج) حداکثر تنش مؤثر ناشی از فشار آزمایشی، تغییرات حرارتی آزمایشی و تنش خمشی پیرامونی ناشی از لایه سربار و بار چرخ، <math>1.10F_Y</math></p> <p>د) تنش خمشی پیرامونی ناشی از لایه سربار و تنش غشائی حلقوی ناشی از فشار طرح یا فشار صفر، <math>0.90F_Y</math></p> <p>ه) تنش خمشی پیرامونی ناشی از لایه سربار، بار چرخ و تنش غشائی حلقوی ناشی از فشار طرح یا فشار صفر (به غیر از تقاطع‌های روباز با راه‌ها) <math>0.80F_Y</math></p> <p><math>F_Y</math> مقاومت تسلیم مصالح می‌باشد.</p>
--

## ۱۱-۵- معیارهای کرنشی پذیرش متناسب با مدهای آسیب لرزه‌ای

### ۱۱-۵-۱- خطوط لوله فشار قوی

<p>با توجه به اهداف طراحی لوله‌های مدفون، کرنش حداکثر مجاز یا مقدار معادل آن به خطوط لوله، تخصیص داده می‌شود. در زلزله سطح خطر-۱، کرنش بحرانی در مد شکست ناشی از خستگی در سیکل پایین در اثر انتشار موج، برابر با حداقل دو مقدار ۱٪ و کرنش آستانه کمانش، <math>35t/D</math> می‌باشد. (D قطر خارجی لوله و t ضخامت لوله)</p> <p>در زلزله سطح خطر-۲ نیز مقادیر بحرانی در جدول (۱۱-۶) آورده شده است.</p>
---

جدول ۱۱-۶ مقادیر بحرانی برای زلزله سطح خطر-۲

معیار	واحد	مد شکست	مؤلفه	بار لرزه‌ای
۳٪	کرنش	شکست در اثر خستگی با سیکل پایین	خم لوله لوله مستقیم اتصال T شکل	اثرات موج
تغییر مکان ماندگار زمین (PGD)				
$W_{SC}$	زاویه دوران	کمانش موضعی	لوله مستقیم	روانگرایی
$W_{bC}$	زاویه دوران	کمانش موضعی	خم لوله	
$\varepsilon_{cr}^{PGD}$	کرنش	کشش	لوله مستقیم	تقاطع با گسل
$\varepsilon_{cr}^{PGD}$	کرنش	کشش	لوله مستقیم	لغزش زمین

$W_{sc}$ : زاویه دوران بحرانی ناشی از خم (درجه) در لوله مستقیم که به صورت زیر می‌باشد.

$$W_{sc} = \left\{ 0.44 \frac{t_s}{D_i} \left( 8k - \frac{2k^2}{3} \right) + \frac{3.44}{\sqrt{2D_i}} \left( 1 + \frac{\varepsilon_f}{2} \right) \right\} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (۶۶-۱۱)$$

$W_{bc}$ : زاویه بحرانی خم (درجه) در خم که به صورت زیر می‌باشد:

$W_{bc}$  برای خم داخلی و  $W_{boc}$  برای خم خارجی می‌باشد.

$$W_{bsc} = 0.9 \frac{\sqrt{D_i/t_b} \cdot \sqrt{\phi_b}}{R_c/D_i} + W_{scl} \quad , \quad W_{boc} = 2.24 \frac{\phi_b}{\sqrt{D_i/t_b} \cdot \left( \frac{R_c}{D_i} \right)^{0.25} \cdot \eta} \quad (۶۷-۱۱)$$

$k$ : نسبت  $L_s/2$  به  $D_i$

$t_s$ : ضخامت لوله مستقیم

$t_b$ : ضخامت خم

$\phi_b$ : زاویه خم

$R_c$ : شعاع انحنای خم

$\varepsilon_f$ : کرنش نهایی، ۰/۳۵

$W_{scl}$ : زاویه دوران بحرانی ناشی از خم (درجه) در لوله مستقیم برای  $k = 1$  می‌باشد.

$\eta$ : پارامتر مربوط به مصالح که در جدول (۷-۱۱) آورده شده است.

جدول ۷-۱۱ پارامتر مربوط به مصالح  $\eta$ 

پارامتر $\eta$	مصالح لوله بر اساس (API 5L)
۰/۷۷	X42
۰/۸۱	X46
۰/۸۷	X52
۰/۸۷	X56
۰/۸۸	X60
۰/۹۳	X65

 $\varepsilon_{cr}^{PGD}$ : کرنش بحرانی ۰/۳۵

## ۱۱-۵-۲- معیار طراحی لرزه‌ای در خطوط لوله با فشار متوسط و پایین

کرنش بحرانی ( $\varepsilon_0$ ) و مدول ارتجاعی معادل ( $\bar{E}$ ) در لوله‌های با فشار متوسط و پایین به صورت زیر می‌باشد.

جدول ۸-۱۱ کرنش بحرانی و سختی ارتجاعی معادل

لوله	کرنش بحرانی %	مدول ارتجاعی معادل $N/cm^2$	ضریب سخت‌شدگی کرنش
فولادی	۳	$\frac{1}{7} E$	$7/0 \times 10^{-3}$
چدن نرم	۲	$\frac{1}{5} E$	--
پلی اتیلن	۲۰	$\frac{1}{2} E$	--

اگر نتوان مدول ارتجاعی معادل را اعمال کرد، مدول ارتجاعی زیر باید در نظر گرفته شود:

$$E = 2.06 \times 10^7 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

برای لوله فولادی

$$E = 1.57 \times 10^7 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

برای لوله چدنی نرم

مدول ارتجاعی و تری  $E_2$  از مدول ارتجاعی  $E$ ، ضریب سخت‌شدگی کرنشی،  $\lambda$  به صورت رابطه (۶۸-۱۱) به دست می‌آید:

$$E_2 = \lambda E$$

(۶۸-۱۱)

مدول ارتجاعی معادل به منظور تعیین پاسخ غیر ارتجاعی لوله‌های با فشار متوسط و پایین معرفی شده است.

با استفاده از این سختی ارتجاعی معادل، پاسخ غیر ارتجاعی با استفاده از رابطه ارتجاعی ساده شده به دست می‌آید.

(۱) کرنش بحرانی

کرنش بحرانی فولاد ۳٪ در نظر گرفته می‌شود.

مقدار کرنش بحرانی لوله پلی اتیلن ۲۰٪ انتخاب می‌گردد.

(۲) مدول ارتجاعی معادل

$$\bar{E} = \frac{1}{7} E \approx 2.94 \times 10^6 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

برای لوله فولادی

$$\bar{E} = \frac{1}{2} E \approx 2.94 \times 10^4 \text{ (N/cm}^2\text{)}$$

برای لوله پلی اتیلن

### ۱۱-۵-۳- زوایای بحرانی در لوله‌های علمک

زوایای بحرانی در لوله علمک باید مطابق مقادیر زیر باشد:

$$\beta_{cr}^{MOE} = 10 \text{ (درجه) ۱- برای زلزله سطح خطر-}$$

$$\beta_{cr}^{MCE} = 20 \text{ (درجه) ۲- برای زلزله سطح خطر-}$$

# فصل ١٢

---

---

مثالها

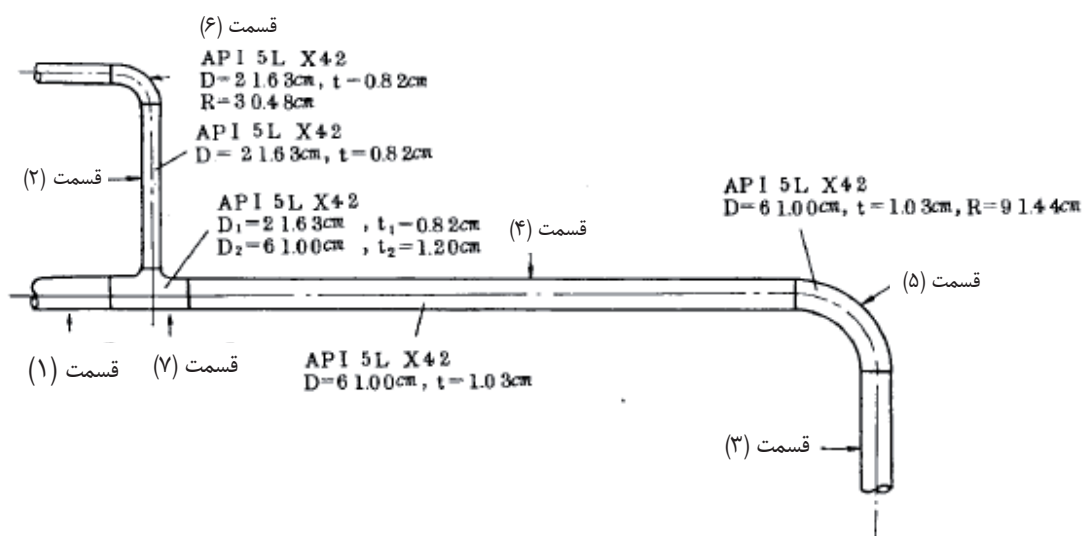




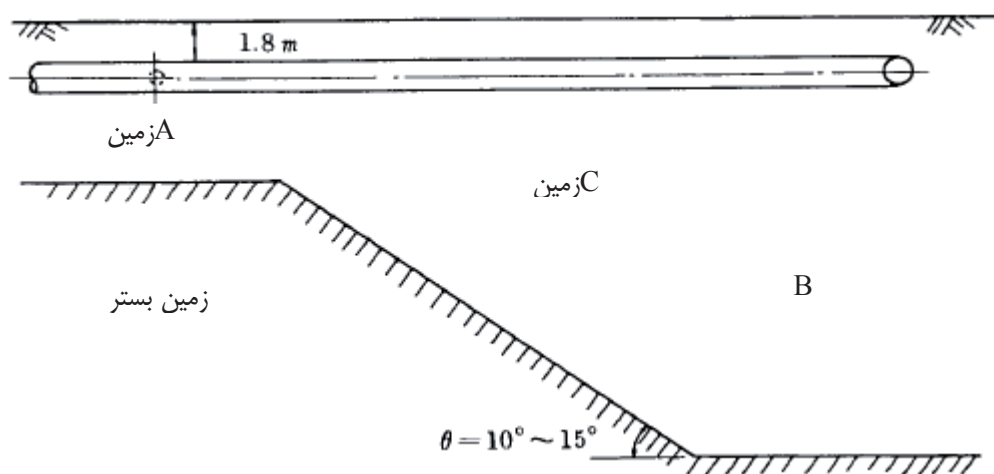
## ۱-۱۲ - خطوط لوله مدفون

## ۱-۱-۱۲ - کلیات

محاسباتی که در ادامه آمده بر اساس ابعاد مدلی است که در شکل زیر نشان شده است. لوله از جنس API 5L X42 با قطر اسمی A ۶۰۰ می‌باشد. این خط لوله شامل چهار قسمت مستقیم، دو خم لوله‌ها و یک انشعاب T می‌باشد. مدل خاک همگن در نظر گرفته شده و سنگ بستر به صورت شیب‌دار در شکل مشخص می‌باشد. خط لوله به هفت قسمت تقسیم بندی شده است. از قسمت ۱ تا ۴ خط لوله مستقیم می‌باشد. قسمت ۵ و ۶ شامل خم لوله بوده و قسمت ۷ انشعاب T می‌باشد. مشخصات مربوط به پروفیل خاک در اشکال ۱ و ۲ ارائه شده است.



شکل ۱-۱۲ - مدل پیکربندی خط لوله



شکل ۱-۲ - مدل سطح زمین نامنظم

دیگر شرایط فرض شده :

- (۱) ساختگاه در منطقه با خطر زیاد واقع است و لوله دارای اهمیت ویژه می‌باشد.
- (۲) گسلی با پتانسیل فعال در این منطقه قابل تشخیص نمی‌باشد.
- (۳) عمق مدفون خط لوله ۱/۸ متر می‌باشد.
- (۴) لوله در ناحیه شهری واقع می‌باشد.
- (۵) سطح خطر در نظر گرفته شده، سطح ۲ می‌باشد که از طیف سرعت متناظر با این سطح استفاده شده است.
- (۶) نوع لوله فشار قوی می‌باشد.

- مطلوب است تعیین کرنش وارده بر لوله در قسمت‌های مختلف در اثر لرزش زمین و مقایسه کرنش اندازه‌گیری شده با مقادیر مجاز ارائه شده و نتیجه‌گیری در مورد ایمن بودن لوله از لحاظ لرزه‌ای
- (پارامترها و مقادیر مورد نیاز در هر بخش ارائه شده است)

## ۱۲-۱-۲- طراحی لرزه‌ای خط لوله مستقیم واقع بر سنگ بستر صاف

### - قسمت ۱

مشخصات داده شده قسمت مستقیم لوله برابر با API 5L X42 600A, D=610.0mm, t=10.3 mm می‌باشد.

#### • زلزله طرح

اگر پتانسیل گسل فعال در ساختگاه قابل تشخیص نباشد، شدت لرزه‌ای، معادل زیر تخمین زده می‌شود:

$$K_{oh} = v_1 \beta_3 K_0 = 1.5 \times 1.9 \times 0.35 = 0.9975 \approx 1.0$$

(مقدار  $\beta_3$  بجای ۱/۳ که در جدول زیر آورده شده است، برابر با ۱/۹ و محافظه کارانه در نظر گرفته شده است)

جدول ۱۲-۱- شتاب پایه طراحی برای مناطق لرزه‌ای

شتاب پایه طراحی	تعریف	ناحیه لرزه‌ای
۰/۳۵	پهنه با خطر نسبی بسیار بالا	۱
۰/۳۰	پهنه با خطر نسبی بالا	۲
۰/۲۵	پهنه با خطر نسبی متوسط	۳
۰/۲۰	پهنه با خطر نسبی کم	۴

جدول ۱۲-۲- ضریب اهمیت  $\beta_1$

درجه اهمیت	V1
ناحیه کوهستانی	۰/۹
ناحیه برون شهری	۱
ناحیه شهری	۱/۵

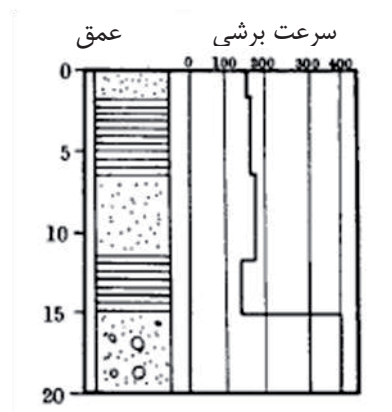
جدول ۱۲-۳- ضریب بزرگنمایی زمین  $\beta_3$ 

نوع ۴	نوع ۳	نوع ۲	نوع ۱	نوع پروفیل خاک
				ناحیه لرزه ای
۱/۳	۱/۱	۱/۰	۱/۰	۱
۱/۳	۱/۱	۱/۰	۱/۰	۲
۱/۱	۱/۱	۱/۰	۱/۰	۳
۱/۱	۱/۱	۱/۰	۱/۰	۴

پریود سطح زمین

جدول ۱۲-۴- سرعت موج برشی لایه‌های خاک

لایه	H (m)	$V_{s0}$ (m/s)	$C_2$	$V_s$ ( $=C_2 \cdot V_{s0}$ ) (m/s)	$V_s \cdot H$
1	2.0	133	$0.7 \times 0.6$	56	112
2	4.5	141	$0.7 \times 0.85$	84	378
3	5.0	150	$0.7 \times 0.6$	63	315
4	3.5	118	$0.7 \times 0.85$	70	245
$\Sigma$	15				1,050



شکل ۱۲-۳- پروفیل قسمت خاک

$$V_{Si}^{\text{test}} = C \cdot V_{Si}^{\text{test}}$$

که در آن C برابر ۰/۸۵ برای رس و ۰/۶ برای ماسه است.

$$V_{Si} = 62 \cdot N^{0.21}$$

$$V_{Si} = 122 \cdot N^{0.073}$$

و N مقدار آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) است.

• T پرپود مشخصه سطح زمین

مطابق جدول ۴-۱۲ شکل سرعت برشی سطح زمین مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{j=1}^4 V_{Sj} \cdot H_j}{H} = \frac{1050}{15} = 70 \text{ m/s}$$

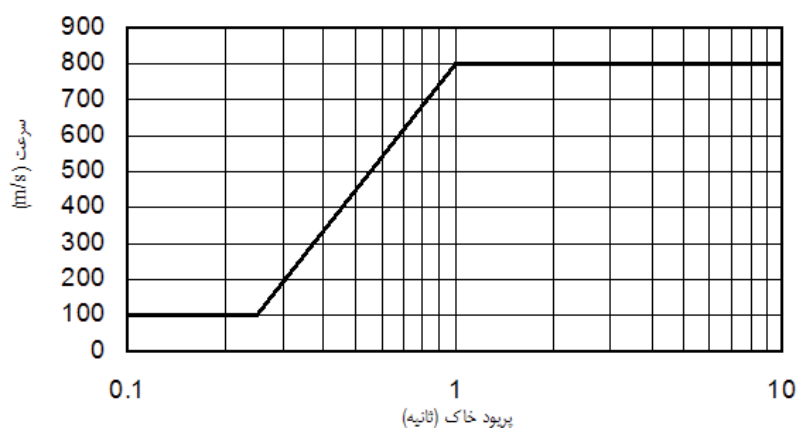
سپس پرپود مشخصه سطح زمین از رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$T_p = \frac{4H}{\bar{V}_s} = \frac{4 \times 15}{70} = 0.857 \text{ s}$$

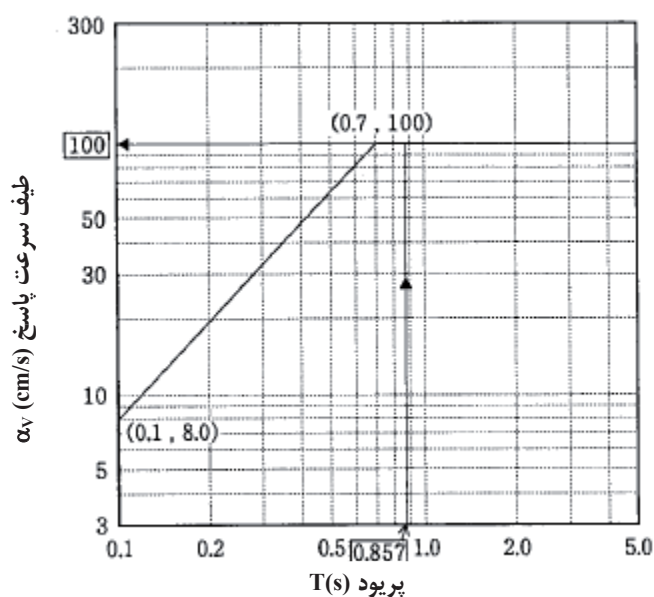
•  $L_A$  طول موج ظاهری زمین لرزه

سرعت انتشار موج از شکل ۱۲-۴- با توجه به پریود خاک استخراج گردیده و برابر  $720 \text{ m/s}$  می‌باشد. بنابراین:

$$L_A = V.T_p = 0.875 \times 720 = 630\text{m}$$



شکل ۱۲-۴- رابطه سرعت ظاهری انتشار موج و پریود طبیعی خاک



متری از سطح زمین  $U_h$  توسط رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} T S_v \cos\left(\frac{\pi Z}{2H}\right) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.875 \times 100 \times \cos\left(\frac{\pi \times 2.105}{2 \times 15}\right) = 17.3\text{cm}$$

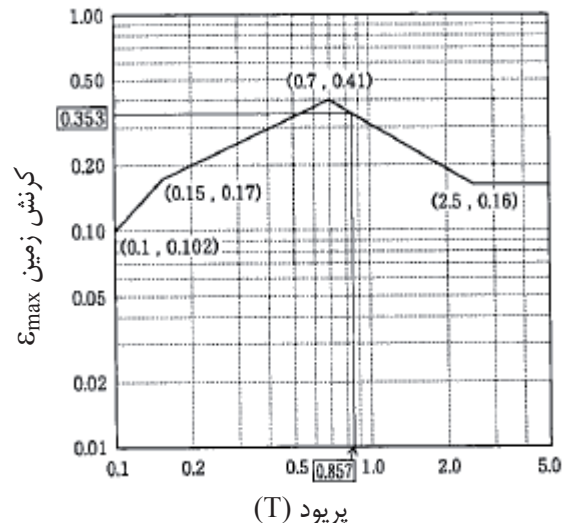
•  $\epsilon_G$  کرنش زمین در مرکز لوله در قسمت سنگ بستر صاف

کرنش زمین توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\epsilon_G = \frac{2\pi U_h}{L_A} = \frac{2 \times \pi \times 17.30}{63000} = 0.00173$$

در شکل زیر برای سطح زمین، کرنش زمین محاسبه شده است.

$$\varepsilon_{G0} = \frac{2\pi}{L_A} \cdot \frac{2}{\pi^2} S_V \cdot T_p$$



شکل ۱۲-۵- کرنش زمین در سطح

• ضریب تبدیل  $\alpha$

تنش برشی بحرانی  $\tau_{cr}$  و سختی فنری  $K_1$  در واحد طول، در امتداد محوری ارقام زیر می‌باشند:

$$\tau_{cr} = 1.5 \text{ N/cm}^2, k_1 = 6.0 \text{ N/cm}^3$$

سپس، ضریب تبدیل  $\alpha$  توسط رابطه

$$\alpha = q \cdot \alpha_0$$

محاسبه می‌گردد. که در این رابطه:

$$A = 194 \text{ cm}^2, E = 2.06 \times 10^7 \text{ N/cm}^2, K_1 = \pi D k_1 = \pi \times 61 \times 6 = 1149 \text{ N/cm}^2, \text{ and}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{K_1}{EA}} = \sqrt{\frac{1149}{2.06 \times 10^7 \times 194}} = 5.36 \times 10^{-4}$$

سپس؛

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 + \left( \frac{2\pi}{5.36 \times 10^{-4} \times 63000} \right)^2} = 0.966$$

و تنش برشی توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\tau_{\square} = \square_1 (1 - \alpha_0) \square_{\square} = 6(1 - 0.966) \times 17.36 = 3.54$$

با در نظر گرفتن  $\tau_{cr} = 1.5 \text{ N/cm}^2$ ، تنش برشی از تنش بحرانی تجاوز می‌نماید؛  $\tau_G > \tau_{cr}$ .  
چنانچه اثر لغزش در نظر گرفته شود:

$$\xi = \arctan\left(\frac{\tau_{cr}}{\tau_G}\right) = 0.4 \text{ rad}$$

$$q = 1 - \cos \xi + \Omega \left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) \sin \xi = 0.764$$

در نهایت، ضریب تبدیل تخمین زده می‌شود:

$$\alpha = q \cdot \alpha_0 = 0.764 \times 0.966 = 0.74$$

• کرنش لوله در خط لوله مستقیم

تنش تسلیم لوله از جنس X42 برابر است با:

$$\sigma_y = 2.89 \times 10^4 \text{ N/cm}$$

کرنش تسلیم نیز برابر با  $0.0014$  می‌باشد. هنگامی که کرنش لوله در محدوده خطی می‌باشد، مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_G = 0.00173$$

• کرنش مجاز لوله مستقیم

کرنش مجاز لوله مستقیم برابر با  $1\%$  می‌باشد که به این معنی است که کرنش لرزه‌ای  $\varepsilon_p$  در لوله کوچکتر از مقدار مجاز در مد کششی می‌باشد. همچنین کرنش لرزه‌ای کمتر از کرنش مجاز کمانش  $35t/D=0.006$  می‌باشد.  
کرنش مجاز در سطح خطر ۲ برای لوله مستقیم، خم و سه راهی  $3\%$  است.

## – قسمت ۲

در این قسمت قطر لوله (APL 5L X42 200A, D=200A, 216.3mm, t=8.2 mm) کوچکتر است از (D=600A, 610.0mm) قسمت ۱.

(۱) ضریب تبدیل  $\alpha$

مقادیر یکسانی برای پارامترهای مختلف جهت برآورد مقادیر طراحی، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_1}{EA}} = \sqrt{\frac{408}{2.06 \times 10^7 \times 53.6}} = 6.08 \times 10^{-4}$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{6.08 \times 10^{-4} \times 63000}\right)^2} = 0.974$$

همچنین ضریب تبدیل  $\alpha_0 = 0.974$  می‌باشد.

تنش  $\tau_G = k_1(1 - \alpha_0)U_h = 2.71$  کمتر از تنش برشی بحرانی می‌باشد، بنابراین، ضریب لغزش برابر است با:

$$\xi = \arctan\left(\frac{\tau_{cr}}{\tau_G}\right) = 0.5 \text{ rad}$$

$$q = 1 - \cos \xi + \Omega\left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) \sin \xi = 0.89$$

همچنین ضریب تبدیل برابر مقدار زیر برآورد می‌گردد:

$$\alpha = q.\alpha_0 = 0.89 \times 0.974 = 0.875$$

(۲) کرنش لوله مستقیم

همچنین کرنش لوله برابر است با:

$$\varepsilon_p = \alpha\varepsilon_G = 0.875 \times 0.00173 = 0.00151$$

(۳) کرنش مجاز خط لوله مستقیم

کرنش مجاز برای کشش و فشار جوانب برابر ۱٪ و ۱/۳۸٪ می‌باشد، به این ترتیب کرنش لرزه‌ای لوله مستقیم کوچکتر از مقادیر بحرانی می‌باشد.

کرنش مجاز در سطح خطر ۲ برای لوله مستقیم، خم و سه راهی ۳٪ است.

### – قسمت ۳

مشخصات طراحی لوله مستقیم API 5L X42 600A, D=610.0mm, t=10.3 mm داده شده است.

در این قسمت عمق سنگ بستر در حدود ۵۰ متر می‌باشد. مشخصات پروفیل خاک در ادامه ارائه شده است.

• زمین لرزه طرح

اگر گسل فعال قابل شناسایی نباشد، شدت لرزه‌ای برای ساختگاه برابر زیر برآورد می‌شود:

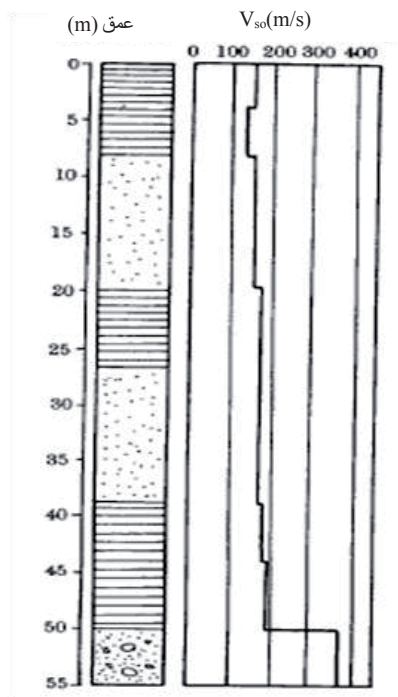
$$K_{oh} = v_1\beta_3K_0 = 1.5 \times 1.9 \times 0.35 = 0.9975 \approx 1.0$$



ضریب بزرگنمایی  $\beta_3$  ، بجای مقدار  $1/3$  مقدار  $1/9$  لحاظ می‌گردد. از آنجایی که آیین نامه لرزه‌ای ژاپن مقدار  $K_{oh} = 1.0$  را برای سطح خطر-۲ بکار می‌برد، این مقدار برای  $\beta_3$  اتخاذ گردیده است.

جدول ۱۲-۵- سرعت برشی لایه‌های خاک

لایه	H (m)	$V_{so}$ (m/s)	$C_{l2}$	$V_s (C_{l2} \cdot V_{so})$ (m/s)	$V_s \cdot H$
1	4	150	$0.7 \times 0.6$	63	252
2	4	133	$0.7 \times 0.6$	56	224
3	12	153	$0.7 \times 0.85$	91	1,092
4	7	167	$0.7 \times 0.6$	70	490
5	12	165	$0.7 \times 0.85$	98	1,176
6	5	167	$0.7 \times 0.6$	70	350
7	6	183	$0.7 \times 0.6$	77	462
$\Sigma$	50				4,046



شکل ۱۲-۶- پروفیل قسمت خاک

• T پریود مشخصه خاک براساس شکل ۱۲-۷ و جدول ۱۲-۶ سرعت برشی معادل خاک برابر رابطه زیر داده می‌شود:

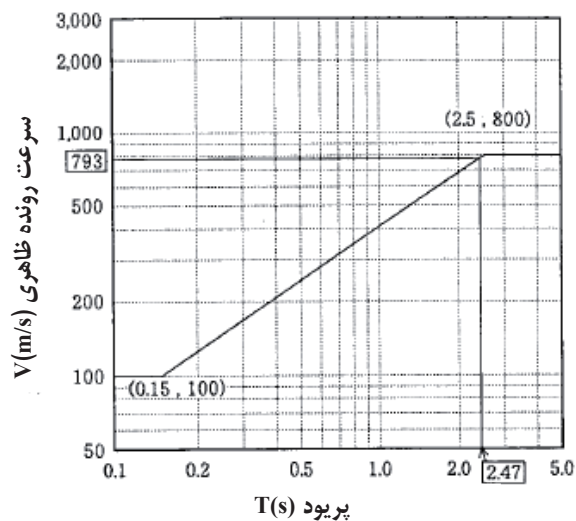
سپس پریود مشخصه خاک برآورد می‌شود:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{j=1}^4 V_{sj} \cdot H_j}{H} = \frac{4046}{50} = 81 \text{ m/s}$$

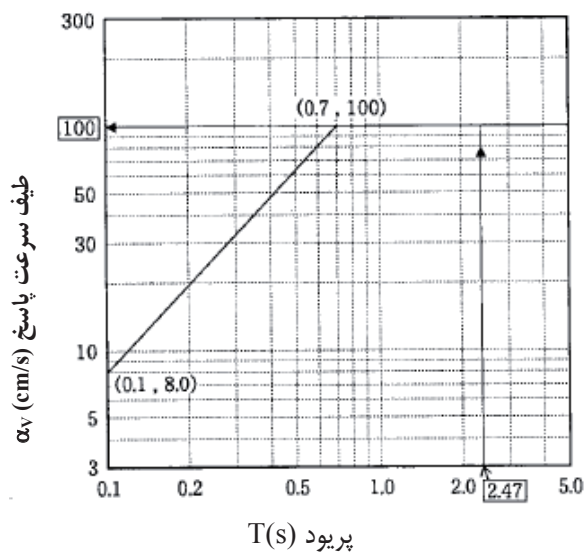
$$T_p = \frac{4H}{\bar{V}_s} = \frac{4 \times 50}{81} = 2.47 \text{ s}$$

- سرعت ظاهری موج از شکل ۷-۱۲ استخراج گردیده و برابر  $800 \text{ m/s}$  می‌باشد. بنابراین:

$$L_A = V.T_p = 793 \times 2.47 = 1959 \text{ m}$$



شکل ۷-۱۲- سرعت ظاهری موج



شکل ۸-۱۲- طیف سرعت پاسخ برای پریودهای مشخصه  $T(s)$

- $U_h$  تغییر مکان سطح زمین

سرعت طیفی طراحی  $S_v$  توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$S_v = \alpha_v . K_{oh} = 100 \times 1 = 100 \text{ cm/s}$$

با در اختیار داشتن  $S_v = 100 \text{ cm/s}$  برای پریود مشخصه  $T_p = 2.47 \text{ s}$  تغییر مکان در مرکز لوله در عمق  $2/1.05$  متری از سطح زمین  $U_h$  توسط رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} T_G \cdot S_v \cos\left(\frac{\pi Z}{2H}\right) = \frac{2}{\pi^2} \times 2.47 \times 100 \times \cos\left(\frac{\pi \times 2.105}{2 \times 50}\right) = 49.94 \text{ cm}$$

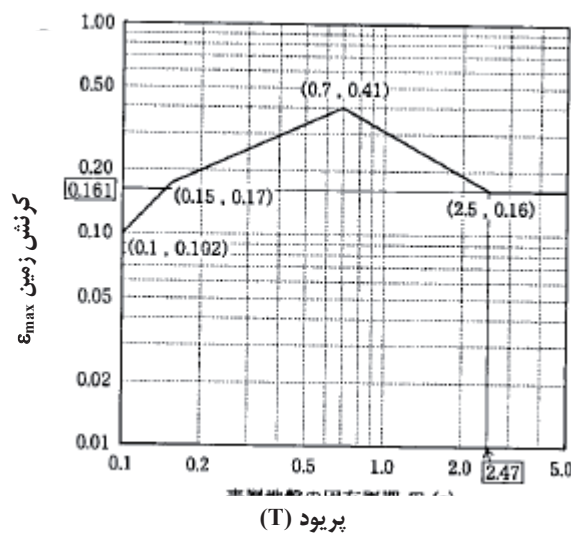
• کرنش زمین در مرکز لوله  $\varepsilon_{G1}$

کرنش زمین توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\varepsilon_G = \frac{2\pi U_h}{L_A} = \frac{2\pi \times 49.94}{1976} = 0.0016$$

در شکل زیر کرنش سطح زمین آورده شده است.

$$\varepsilon_{G0} = \frac{2\pi}{L_A} \cdot \frac{2}{\pi^2} S_v \cdot T_p$$



شکل ۱۲-۹- کرنش زمین در سطح زمین

• ضریب تبدیل  $\alpha$

تنش برشی بحرانی  $\tau_{cr}$  و سختی فنری  $K_1$  در امتداد محوری مقادیر زیر می‌باشند:

$$\tau_{cr} = 1.5 \text{ N/cm}^2, k_1 = 6.0 \text{ N/cm}^3$$

سپس، ضریب تبدیل  $\alpha$  توسط رابطه

$$\alpha = q \cdot \alpha_0$$

محاسبه می گردد. که در این رابطه:

$$A = 194 \text{ cm}^2, E = 2.06 \times 10^7 \text{ N/cm}^2, K_1 = \pi D k_1 = \pi \times 61 \times 6 = 1149 \text{ N/cm}^2, \text{ and}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{K_1}{EA}} = \sqrt{\frac{1149}{2.06 \times 10^7 \times 194}} = 5.36 \times 10^{-4}$$

سپس؛

$$\alpha_0 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 L_A}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{5.36 \times 10^{-4} \times 195900}\right)^2} = 0.996$$

و تنش برشی توسط رابطه زیر بدست می آید:

$$\tau_G = k_1(1 - \alpha_0)U_h = 6 \times (1 - 0.996) \times 49.94 = 1.198$$

با در نظر گرفتن  $\tau_{cr} = 1.5 \text{ N/cm}^2$ ، تنش برشی از تنش بحرانی تجاوز نمی نماید؛  $\tau_G < \tau_{cr}$ .

چون  $\tau_G < \tau_{cr}$  است و اثر لغزش در نظر گرفته نشده است،  $q = 1$  است.

در نهایت، ضریب تبدیل تخمین زده می شود:

$$\alpha = q \alpha_0 = 1 \times 0.996 = 0.996 \quad \varepsilon_p \quad \text{محاسبه کرنش خط لوله مستقیم}$$

تنش تسلیم لوله از جنس X42 برابر است با:

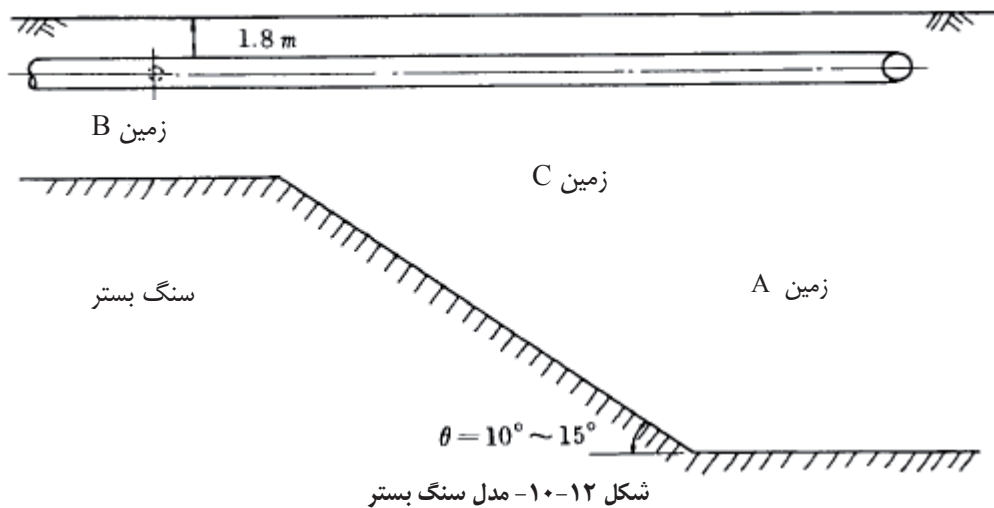
کرنش تسلیم نیز برابر با  $0.0014$  می باشد. زمانیکه لوله در محدوده خطی می باشد، کرنش از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\varepsilon_p = \alpha \cdot \varepsilon_G = 0.996 \times 0.0016 = 0.0016$$

## • کرنش مجاز لوله مستقیم

کرنش مجاز لوله مستقیم برابر با ۰.۱٪ می‌باشد که به این معنی است که کرنش لرزه‌ای  $\varepsilon_p$  کوچکتر از مقدار مجاز در مد کششی می‌باشد. همچنین کرنش لرزه‌ای کمتر از کرنش مجاز کمانش  $35t/D=0.006$  می‌باشد.

ب) ارزیابی لرزه‌ای لوله مستقیم واقع بر سنگ بستر شیب‌دار



خط لوله‌ای که از زمین ناهموار عبور کرده است باید بر اساس سه نقطه زیر ارزیابی گردد:

(۱) نقطه‌ای که عمق زمین حداکثر می‌باشد، (قسمت A)،

(۲) نقطه‌ای که عمق زمین حداقل می‌باشد، (قسمت B) و

(۳) نقطه بین حداکثر و حداقل عمق زمین. (قسمت C)

کرنش لوله بزرگترین کرنش از میان سه مورد بالا انتخاب می‌شود.

در این قسمت ارتفاع خاک،  $Z$ ، بین سطح زمین و رأس لوله صفر در نظر گرفته می‌شود.

**قسمت ۴- A (نقطه حداکثر عمق)**

در نقطه حداکثر عمق، روند مراحل (۱)، (۲) و (۳) همانند قسمت ۳ می‌باشد. در این قسمت مقدار پارامترهای

$$H = 150\text{m} \text{ و } v = 1.0S_v = 100\text{cm/s}, L = 1959\text{ms}, T = 2.47$$

$U_h$  تغییر مکان سطح زمین

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} T v S_v \cos\left(\frac{\pi Z}{2H}\right) = \frac{2}{\pi^2} \times 2.47 \times 1.0 \times 100 \times \cos\left(\frac{\pi \times 0}{2 \times 150}\right) = 50.05\text{cm}$$

(۳) کرنش زمین  $\varepsilon_{G1}$

$$\varepsilon_{G1} = \frac{2\pi U_h}{L_A} = \frac{2\pi \times 49.97}{1959} = 0.00161$$

(۴) کرنش زمین در روی بستر شیب دار

$$\varepsilon_{G3} = n \cdot 0.003 = v \cdot 0.003 = 1.0 \times 0.003 = 0.003$$

$\varepsilon_{G3}$ : اضافه کرنش زمین در ناحیه انتقال می‌باشد.

$$\varepsilon_{G3} = \sqrt{\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2} = \sqrt{0.0016^2 + 0.003^2} = 0.0034$$

(۵) ضریب تبدیل  $\alpha$

$$\tau_G = K_1(1 - \alpha_0) \cdot U_h = 6.0 \times (1 - 0.996) \times 50.05 = 1.201$$

اگر  $\tau_G < \tau_{cr} = 1.5$ ، ضریب لغزش  $q = 1.0$  می‌باشد و بنابراین  $\alpha = q \cdot \alpha_0 = 1.0 \times 0.996 = 0.996$

(۶) کرنش خط لوله مستقیم  $\varepsilon_p$

$$\varepsilon_p = \alpha \cdot \varepsilon_{G2} = 0.996 \times 0.00340 = 0.00339$$

اگر کرنش تسلیم مقدار  $0.0014$  در نظر گرفته شود، کرنش لوله فرض شده از کرنش تسلیم تجاوز می‌نماید. کرنش لوله هر مقداری را می‌تواند اختیار کند ولی نمی‌تواند از کرنش زمین تجاوز نماید. کرنش لوله باید کمتر از کرنش زمین باشد. که این مقدار برابر است با:

$$\varepsilon_p = \alpha \cdot \varepsilon_G > \varepsilon_y \Rightarrow \varepsilon_p = \varepsilon_G = 0.00340$$

با توجه به اینکه معیار ارتجاعی بودن لوله کرنش  $0.0014$  است و لوله این حد را رد کرده است بنابراین لوله در ناحیه غیرارتجاعی قرار می‌گیرد که از این رو باید با معیار غیر ارتجاعی که حداکثر آن کرنش زمین می‌باشد سنجیده شود و به لوله این مقدار کرنش اعمال می‌گردد.

### قسمت B-۴ (نقطه حداقل عمق)

در نقطه حداقل عمق، مراحل (۱)، (۲) و (۳) مشابه قسمت ۱ می‌باشد. در این قسمت مقدار پارامترهای  $v=1.0$ ،  $T=0.857s$ ،  $S_v=100\text{cm/s}$  و  $L=630\text{m}$  و  $H=15\text{m}$  بکار می‌رود.

(۱) تغییر مکان سطح زمین  $U_h$

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} T v S_v \cos\left(\frac{\pi z}{2H}\right) = \frac{2}{\pi^2} \times 0.857 \times 1.0 \times 100 \times \cos\left(\frac{\pi \times 0}{2 \times 15}\right) = 17.37\text{cm}$$

(۲) کرنش زمین در سطح زمین همگن  $\varepsilon_{G1}$

$$\varepsilon_{G1} = \frac{2\pi U_h}{L_A} = \frac{2 \times \pi \times 17.37}{63000} = 0.0017$$

(۳) کرنش زمین در بستر شیب‌دار  $\varepsilon_{G2}$

$$\varepsilon_{G2} = \sqrt{\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2} = \sqrt{0.0017^2 + 0.003^2} = 0.0034$$

(۴) ضریب تبدیل

$$\tau_G = k_1(1 - \alpha_0) \cdot U_h = 6.0 \times (1 - 0.966) \times 17.37 = 3.54$$

چون  $\tau_G > \tau_{cr} = 1.5$ ، ضریب لغزش باید کمتر از یک باشد.

$$\xi = \arctan\left(\frac{\tau_{cr}}{\tau_G}\right) = \arctan\left(\frac{1.5}{3.54}\right) = 0.4$$

$$q = 1 - \cos \xi + \Omega \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \xi\right) \cdot \sin \xi = 1 - \cos 0.4 + 1.5 \times \left(\frac{\pi}{2} - 0.4\right) \sin 0.4 = 0.764$$

$$\alpha = q \cdot \alpha_0 = 0.764 \times 0.996 = 0.76$$

سپس

(۵) کرنش خط لوله مستقیم

$$\alpha \cdot \varepsilon_G = 0.76 \times 0.0034 = 0.0026$$

کرنش تسلیم برابر  $0/0.026$  و بیشتر از کرنش تسلیم  $0/0.014$  می‌باشد، بنابراین مقدار کرنش زیر بر لوله اعمال می‌شود:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_G = 0.0034 = 0.0034$$

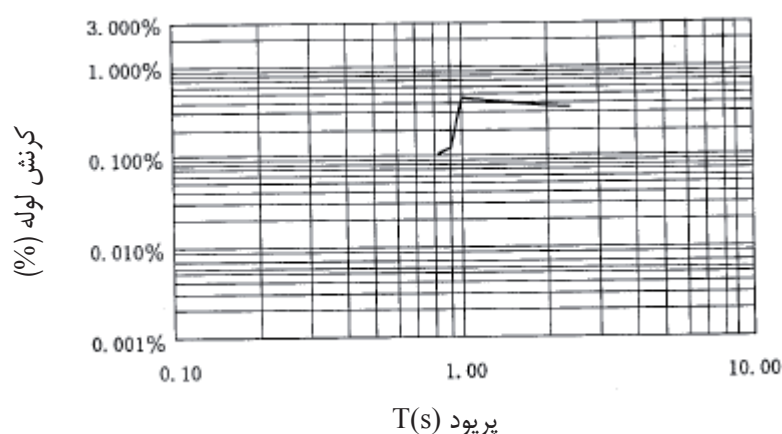


### قسمت C-ε (لایه گذر از حداقل عمق به حداکثر عمق)

$\epsilon_p$  کرنش لوله مستقیم از نقطه A تا B پریود مشخصه از  $T = 0.857$  s تا  $T = 2.74$  s متغیر می‌باشد. با تغییر دادن پریود خاک در گام‌های کوچک و مساوی از بازه A تا B کرنش زمین و لوله به صورت جدول زیر محاسبه می‌گردد.

جدول ۱۲-۶- کرنش لوله‌ها در بستر شیب‌دار زمین

T (s)	$\epsilon_{G1}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\epsilon_{G3}$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\epsilon_G$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\alpha$	$\alpha \cdot \epsilon_G$ ( $\times 10^{-6}$ )	$\epsilon_P$ ( $\times 10^{-6}$ )
0.857	3,530	3,000	4,640	0.227	1,050	1,050
0.90	3,400	3,000	4,540	0.254	1,160	1,160
1.00	3,150	3,000	4,350	0.325	1,420	4,350
1.10	2,940	3,000	4,210	0.408	1,720	4,210
1.20	2,750	3,000	4,070	0.494	2,020	4,070
1.30	2,590	3,000	3,970	0.590	2,350	3,970
1.40	2,460	3,000	3,880	0.686	2,670	3,880
1.50	2,330	3,000	3,800	0.780	2,970	3,800
1.60	2,230	3,000	3,740	0.882	3,300	3,740
1.70	2,130	3,000	3,680	0.976	3,600	3,680
1.80	2,040	3,000	3,630	0.989	3,600	3,630
1.90	1,960	3,000	3,590	0.991	3,560	3,590
2.00	1,890	3,000	3,550	0.993	3,530	3,550
2.10	1,820	3,000	3,510	0.994	3,490	3,510
2.20	1,760	3,000	3,480	0.995	3,470	3,480
2.30	1,700	3,000	3,450	0.995	3,440	3,450
2.40	1,650	3,000	3,430	0.996	3,420	3,430
2.47	1,610	3,000	3,410	0.996	3,400	3,400



شکل ۱۲-۱۱- نمایش پروفیل کرنش لوله بین فاصله A و B

• کرنش مجاز لوله کشی مستقیم

حداکثر مقدار کرنش لوله برابر  $0.00435$  می‌باشد که کمتر از مقدار کرنش مجاز،  $0.003$ ، می‌باشد.

بنابراین خط لوله برای بار لرزه‌ای ایمن بوده و کرنش شروع کمانش توسط رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$\epsilon_{cr} = 0.35 \frac{t}{D} = 35 \times \frac{1.03}{61.00 - 1.03} = 0.006$$

مقدار کرنش لوله برابر ۰/۰۰۴۳۵ می‌باشد، که از مقدار بحرانی کرنش کمانش، که برابر ۰/۰۰۶ می‌باشد، کمتر است.

• ارزیابی لرزه‌ای خم لوله‌ها

### – قسمت ۵

خم لوله که در شکل E-1-1 نشان داده شده در زمین با خاک A نصب شده است. بنابراین کرنش خاک همانند قسمت ۳ برآورد شده است.

ابعاد خم لوله برابر API 5L X42 600A D=610 mm, t=10.3 mm, Radius=914.4 mm می‌باشد.

همچنین برای پارامترهای انتشار موج مقادیر  $N/cm^2$ ,  $\tau_G = 1.199$ ,  $\alpha_0 = 0.996$ ,  $U_h = 49.94$  cm,  $L = 1976$  m داده شده است.

سختی عرضی خاک نسبت به محور لوله برای 600A،  $K_2 = 12$  N/cm<sup>3</sup> می‌باشد و  $\tau_{cr} = 1.5$  N/vm<sup>2</sup>

(۱) تغییر مکان نسبی بین لوله و خاک پیرامونی

با دراختیار داشتن  $\tau_{cr} = 1.5$ ,  $\tau_G = 1.199$ ,  $\tau_G < \tau_{cr}$  و  $q^* = 1$

$$\Delta = (1 - \alpha^*) U_h = (1 - 0.996) \times 49.97 = 0.20 \text{ cm}$$

$$\alpha^* = q^* \cdot \alpha_0 = 1 \times 0.996 = 0.996$$

(۲)  $\varepsilon_B$  کرنش لوله در قسمت خم

قبل از انجام محاسبات، باید مشخص گردد که لوله در محدوده الاستیک قرار دارد یا پلاستیک؛

$$\beta_B \cdot \Delta \leq 1.27 \varepsilon_y \Rightarrow \varepsilon_B = \beta_B \cdot \Delta$$

$$\beta_B \cdot \Delta > 1.27 \varepsilon_y \Rightarrow \varepsilon_B = c_B \cdot \beta_B \cdot \Delta$$

در روابط فوق  $c_B$  پارامتری اصلاح شده می‌باشد:

$$D < 600A \text{ for } C_B = 2$$

$$D \geq 600A \text{ for } C_B = 1$$

ضریب تبدیل  $\beta_B$  مطابق زیر محاسبه می‌گردد:

$$\beta_B = \frac{2i_B A \lambda^2 D_0 \left[ (5 + R_r \lambda) b_1 \right] + 4 \lambda^3 I_r \left[ 5(1 + b_2) - b_1 \right]}{10 A_r + 5 L_A I_r \lambda^3 (1 + b_2) + 10 A_r b_3}$$

$$b_1 = - \frac{1 + 2 R_r \lambda + (\pi - 2) n_b R_r^2 \lambda^2}{(1 + R_r \lambda) \left[ 2 + \pi n_b R_r \lambda + (4 - \pi) n_b R_r^2 \lambda^2 \right]}$$

$$b_2 = \frac{1 - 2 n_b R_r^2 \lambda^2 - (4 - \pi) n_b R_r^3 \lambda^3}{(1 + R_r \lambda) \left[ 2 + \pi n_b R_r \lambda + (4 - \pi) n_b R_r^2 \lambda^2 \right]}$$

$$b_3 = n_b R_r^3 \lambda^3 \left\{ \frac{\pi}{2} + \frac{\pi I_r}{2 n_b A_r R_r^2} + \left( 1 - \frac{I_r}{n_b A_r R_r^2} \right) b_1 + \left( \frac{2}{R_r \lambda} + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi I_r}{2 n_b A_r R_r^2} \right) b_2 \right\}$$

سپس ثابت فنری خاک  $K_2$  توسط روابط زیر داده می‌شود.

$$K_2 = D.k_2 = 61.0 \times 12.0 = 732 \text{ N/cm}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \{D^2 - (D - 2t)^2\} = \frac{\pi}{4} \{61^2 - (61 - 2 \times 1.03)^2\} = 194 \text{ CM}^2$$

$$I = \frac{\pi}{64} \{D^4 - (D - 2t)^4\} = \frac{\pi}{64} \{61^4 - (61 - 2 \times 1.03)^4\} = 87200 \text{ cm}^4$$

سپس،

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_2}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{732}{4 \times 2.06 \times 10^7 \times 87200}} = 0.00318$$

$$h = \frac{tR}{r^2} = \frac{1.03 \times 91.44}{29.99^2} = 0.1047$$

$$i_B = \max \left\{ \frac{1.95}{h^{2/3}}, 1.5 \right\} = \max \{8.78, 1.5\} = 8.78$$

$$n_b = \frac{1.65}{h} = 15.8$$

با بکار بردن مقادیر فوق،

$$b_1 = -0.137$$

$$b_2 = -0.088$$

$$b_3 = 0.270$$

سپس،

$$1.27\varepsilon_y = 1788 \times 10^{-6} \text{ و } \beta_B \cdot \Delta = 317 \times 10^{-6} \times 0.2 = 63 \times 10^{-6} \text{ بنابراین } \beta_B = 317 \times 10^{-6}$$

$$\text{و } \beta_B \cdot \Delta < 1.27\varepsilon_y \text{ می‌باشد، بنابراین کرنش خم مقدار } \varepsilon_B = \beta_B \cdot \Delta = 63 \times 10^{-6} \text{ می‌باشد.}$$

(۳) کرنش مجاز خم لوله

کرنش لرزه‌ای  $63 \times 10^{-6}$  می‌باشد، کرنش مجاز خم لوله ۳٪ می‌باشد. بر اساس این نتایج کرنش خم در شرایط لرزه‌ای داده شده ایمن می‌باشد.

## ۶ - قسمت

خم لوله که در شکل E-۱-۱ نشان داده شده در زمین با خاک B نصب شده است. بنابراین کرنش خاک همانند قسمت ۲ برآورد شده است. ابعاد خم لوله برابر  $\text{API 5L X42 200A } D=216.3 \text{ mm, } t=8.2 \text{ mm, } \text{Radius}=30.48 \text{ mm}$  می‌باشد.

همچنین برای پارامترهای انتشار موج مقادیر  $L = 630 \text{ m}$  ،  $\text{cm } U_h = 17.3$  ،  $\alpha_0 = 0.974$  ،  $\tau_G = 2.71$  و  $\xi = 0.5 \text{ rad}$  داده شده است.

سختی عرضی خاک نسبت به محور لوله برای 200A ،  $K_2 = 18 \text{ N/cm}^3$  می‌باشد و  $\tau_{cr} = 1.5 \text{ N/cm}^2$

(۱) تغییر مکان نسبی بین لوله و خاک پیرامونی

$\tau_G > \tau_{cr}$  سپس

$$q^* = \sin \xi \cdot \left(1 + \frac{\pi^2}{8} - \frac{\xi^2}{2}\right) - \xi \cdot \cos \xi = \sin(0.5) \times \left(1 + \frac{\pi^2}{8} - \frac{0.5^2}{2}\right) - 0.5 \times \cos(0.5) = 0.57$$

و

$$\alpha^* = q^* \cdot \alpha_0 = 0.57 \times 0.996 = 0.57$$

$$\Delta = (1 - \alpha^*) \cdot U_h = (1 - 0.57) \times 17.3 = 7.35$$

(۲)  $\varepsilon_B$  کرنش لوله در قسمت خم

$t = 0.82 \text{ cm}$  ،  $R = 30.48 \text{ cm}$  ،  $K_2 = k_2 \cdot D = 18 \times 21.63 = 389 \text{ N/cm}^2$  ،  $D = 21.63 \text{ cm}$  ،  $k_2 = 18 \text{ N/cm}^3$  ،  
 $I = 2906 \text{ cm}^4$  .  $E = 2.06 \times 10^7 \text{ cm}^2$   $r = (D - t) / 2 = 10.405 \text{ cm}$  ،

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_2}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{389}{4 \times 2.06 \times 10^7 \times 2906}} = 0.00635$$

$$h = \frac{tR}{r^2} = \frac{0.82 \times 30.48}{10.405^2} = 0.2309$$

$$i_B = \max \left\{ \frac{1.95}{h^{2/3}}, 1.5 \right\} = \max \{5.18, 1.5\} = 5.18$$

$$n_b = \frac{1.65}{h} = 7.15$$

بکار بردن مقادیر فوق:

$$b_1 = -0.216$$

$$b_2 = 0.0535$$

$$b_3 = 0.104$$

سپس؛

$$\beta_B = 784 \times 10^{-6}, \beta_B \cdot \Delta = 784 \times 10^{-6} \times 14.15 = 11093 \times 10^{-6}, 1.27 \varepsilon_y = 1788 \times 10^{-6}$$

زمانیکه  $\beta_B \cdot \Delta > 1.27 \varepsilon_y$  کرنش خم برابر مقدار زیر می‌باشد:

$$\varepsilon_B = C_B \cdot \beta_B \cdot \Delta = 2 \times 784 \times 10^{-6} \times 14.25 = 22344 \times 10^{-6}$$

(۳) کرنش مجاز خم لوله

زمانیکه کرنش لرزه‌ای  $۲۲۳۴۴ \times ۱۰^{-۶}$  باشد. کرنش مجاز خم لوله  $۳۰۰۰۰ \times ۱۰^{-۶}$  می‌باشد. بر اساس این نتایج کرنش خم در شرایط لرزه‌ای داده شده ایمن می‌باشد.

## طراحی لرزه ای اتصالات T

### - قسمت V

اتصال T که در شکل E-۱-۱ نشان داده شده در زمین B نصب شده است. بنابراین کرنش زمین همانند قسمت‌های ۱ و ۲ برآورد شده است.

ابعاد لوله API5LX42600A×200A برای لوله اصلی،  $mm D_2 = 610.0$ ،  $mm t_2 = 10.3$ ، برای انشعاب-دار،  $mm D_1 = 216.3$ ،  $mm t_1 = 8.2$  می‌باشد.

برای پارامترهای انتشار موج مقادیر  $\xi = 0.4$ ،  $rad$ ،  $U_h = 17.3$ ،  $N/cm^2$ ،  $\alpha_0 = 0.966$ ،  $\tau_G = 12.69$ ،  $L = 630$  m در نظر گرفته شده است.

سختی خاک عرضی نسبت به محور لوله برای  $200A$ ،  $k_2 = 18$ ،  $N/cm^3$  می‌باشد و برای لوله  $600A$ ،  $k_2 = 12$ ،  $N/cm^3$  و  $\tau_{cr} = 1.5$ ،  $N/cm^2$ .

(۱) تغییر مکان نسبی بین لوله و خاک پیرامونی (لوله مستقیم بزرگتر در نظر گرفته می‌شود)

زمانیکه  $\tau_G > \tau_{cr}$  مقدار q از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$q^* = \sin \xi \cdot \left( 1 + \frac{\pi^2}{8} - \frac{\xi^2}{2} \right) - \xi \cdot \cos \xi = \sin(0.4) \times \left( 1 + \frac{\pi^2}{8} - \frac{0.4^2}{2} \right) - 0.4 \times \cos(0.4) = 0.47$$

و

$$\alpha^* = q^* \cdot \alpha_0 = 0.47 \times 0.966 = 0.45 \alpha_0 = 0.966$$

جابجایی نسبی،  $\Delta$  توسط رابطه زیر داده می‌شود:

$$\Delta = (1 - \alpha^*) \cdot U_h = (1 - 0.45) \times 17.3 = 9.5 \text{ cm}$$

(۲)  $\epsilon_B$  کرنش لوله در قسمت خم

برای لوله اتصال T، کرنش خم توسط روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$\epsilon_T = \beta_T \Delta \quad \beta_T \Delta \leq 1.27 \epsilon_y$$

$$\epsilon_T = 2\beta_T \Delta \quad \beta_T \Delta > 1.27 \epsilon_y$$

که در روابط فوق ضریب تبدیل  $\beta_T$  برابر است با:

$$\beta_T = \frac{4\bar{\lambda}_1^{-2} D_1 A_2 (C-1)}{4A_2 + LI_1 \bar{\lambda}_1^{-3} C}$$

9

$$C = \frac{1 + 4 \left( \frac{\bar{\lambda}_1}{\bar{\lambda}_2} \right)^3 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)}{1 + 2 \left( \frac{\bar{\lambda}_1}{\bar{\lambda}_2} \right)^3 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)}$$

برای لوله اصلی،

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{4EI_2}} = \sqrt[4]{\frac{732}{4 \times 2.0610^7 \times 87200}} = 0.00318$$

برای خط انشعاب

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{4EI_1}} = \sqrt[4]{\frac{389}{4 \times 2.06 \times 10^7 \times 2906}} = 0.00635$$

سپس

$$C = \frac{1 + 4 \left( \frac{0.00635}{0.00318} \right)^3 \left( \frac{61.00}{21.63} \right)}{1 + 2 \left( \frac{0.00635}{0.00318} \right)^3 \left( \frac{61.00}{21.63} \right)} = 1.98$$

و ضریب تبدیل از رابطه زیر استخراج می‌گردد:

$$\beta_T = \frac{4\bar{\lambda}_1^{-2} D_1 A_2 (C-1)}{4A_2 + LI_1 \bar{\lambda}_1^{-3} C} = \frac{4 \times 0.00635^2 \times 21.63 \times 194 \times (1.98-1)}{4 \times 194 + 31100 \times 2906 \times 0.00635^3 \times 1.98} = 807 \times 10^{-6}$$

$$\beta_r \Delta = 807 \times 10^{-6} \times 14.89 = 12016 \times 10^{-6}$$

بنابراین کرنش  $\beta_r \Delta$  کمتر از کرنش بحرانی  $y_{cr} = 30000 \times 10^{-6}$  بوده و کرنش اتصال T از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\varepsilon_T = 2 \times 807 \times 10^{-6} \times 9.5 = 15333 \times 10^{-6}$$

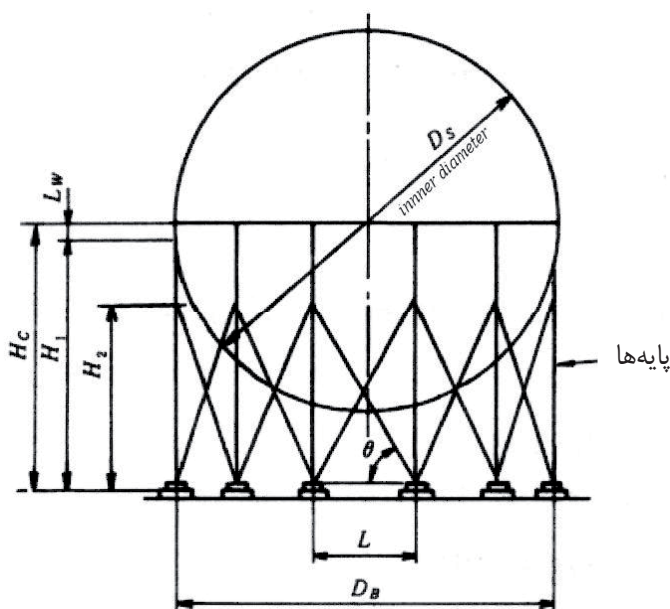
(۳) کرنش مجاز اتصال T

زمانیکه کرنش زمین  $15333 \times 10^{-6}$  می‌باشد، کرنش بحرانی اتصال T  $30000 \times 10^{-6}$  می‌باشد. بر اساس این نتایج اتصال در شرایط لرزه‌ای داده شده ایمن می‌باشد.

## ۱۲-۲- مثال طراحی مخزن کروی

طراحی مخازن کروی مجهز به مهاربند لوله‌ای فلزی، در حالت حد نهایی انجام می‌شود و با زلزله سطح خطر-۲ ارزیابی می‌گردند. نمونه‌ای از مخازن کروی در شکل زیر نشان داده شده است.

توضیح: در ابتدا با توجه به داده‌های ارائه شده، مشخص می‌شود که با استفاده از کدامیک از روش‌های تحلیل (مانند ضریب زلزله، ضریب زلزله اصلاح شده، وغیره) بارهای لرزه‌ای وارده بر مخزن تعیین می‌گردد و سپس با محاسبه شدت لرزه، روش طراحی یعنی شکل‌پذیر یا تنش مجاز تعیین می‌گردد. در این مثال روش شکل‌پذیر تعیین شده است. سپس مقادیر تنش در روش تنش مجاز یا مقادیر نسبت تنش تسلیم در روش شکل‌پذیر محاسبه شده و با مقادیر مجاز ارائه شده مقایسه می‌گردد که نباید از مقادیر مجاز بیشتر باشند.



شکل ۱۲-۱۲- نمونه‌ای از مخزن کروی

### ۱۲-۲-۱- ملاحظات کلی مخزن

- (۱) نام شرکت: شرکت A
- (۲) آدرس: شهر B در حوزه C
- (۳) نام تجهیز: تجهیز D
- (۴) نام سازه: TK-1-1
- (۵) دستورالعمل طراحی: راهنماهای ایمنی گاز فشار قوی ژاپن که در کمپانی مشخص شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- (۶) نوع: مخزن کروی
- (۷) طبقه بندی گاز فشار قوی: گاز اشتعال پذیر
- (۸) ظرفیت مخزن: ۱۶۲۰ تن



(۹) فاصله تا سرحد: ۵۰۰ متر

### ۱۲-۲-۲-سازه و شرایط طراحی

#### ۱۲-۲-۲-۱- مشخصات طراحی لرزه‌ای

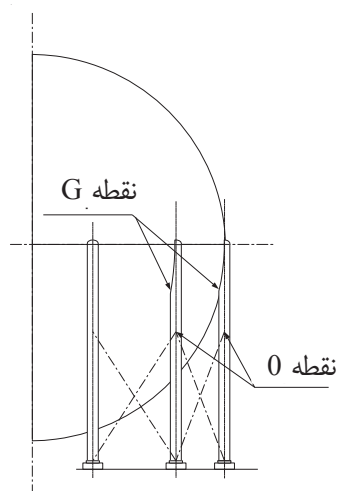
$\beta_0 = 1$	(۱) پارامتر سطح زلزله
$\beta_1 = 1.2$	(۲) ضریب اهمیت
$\beta_2 = 0.35$	(۳) ضریب منطقه ویژه منطقه A
$\beta_3 = 1.75$	(۴) شرایط خاک خاک نرم از نوع چهارم
	(۵) روش تحلیل پاسخ روش ضریب زلزله اصلاح شده

#### ۱۲-۲-۲-۲- شرایط طراحی لرزه‌ای

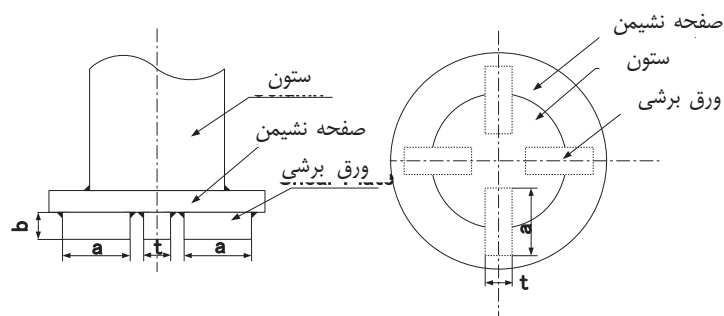
$40^\circ \text{C}$	(۱) دمای طراحی
$0.660 \text{ Mpa}$	(۲) فشار طراحی
$0.6$	(۳) وزن مخصوص مایع
$90\%$	(۴) سرعت پر شدن
$1 \text{ mm}$	(۵) خوردگی مجاز
$\eta = 100 \%$	(۶) کفایت جوش اتصال

#### ۱۲-۲-۳- مشخصات مخزن

$D_s = 17900 \text{ mm}$	(۱) شعاع داخلی مخزن کروی
$n = 12$ قطعه	(۲) تعداد ستونهای تکیه گاه
$D_B = 17900 \text{ mm}$	(۳) قطر مخزن از مرکز ستونهای تکیه‌گاهی
$H_C = 11150 \text{ mm}$	(۴) ارتفاع از ورق زیرستون تا مرکز مخزن
$H_1 = 9982 \text{ mm}$	(۵) طول مؤثر ستون تکیه‌گاهی
$H_2 = 8250 \text{ mm}$	(۶) ارتفاع از ورق زیرستون تا نقطه اتصال مهاربند به ستون



شکل ۱۲-۱۳- نقاط مورد ارزیابی



شکل ۱۲-۱۴- مخزن کروی با ستون فلزی مهاربندی شده

۱۲-۲-۲-۴- مشخصات مخزن

(۱) پوسته کروی

جنس مصالح

قطر داخلی

(۲) ستون تکیه‌گاه فوقانی

قطر خارجی

ضخامت ستون

جنس مصالح

تنش تسلیم یا معادل کرنش ۰.۰۲٪ (در دمای بهره‌برداری)

مدول ارتجاعی

SPV490Q

$D_s = 17900 \text{ mm}$

$D_{CU} = 610.20 \text{ mm}$

$t_{CU} = 13.00 \text{ mm}$

SPV490Q

$S_{yCU} = 490 \text{ N/mm}^2$

$E_{CU} = 201000 \text{ N/mm}^2$

$D_c = 609.60\text{mm}$	(۳) ستون تکیه گاه پایینی
$t_c = 12.70\text{mm}$	قطر خارجی
STK400	ضخامت ستون
$F_c = 235\text{N/mm}^2$	جنس مصالح
$E_c = 205000\text{N/mm}^2$	تنش تسلیم یا معادل کرنش $0.2\%$
	مدول ارتجاعی
$D_p = 406.40\text{mm}$	(۴) مهاربند/لوله فلزی
$t_p = 9.50\text{mm}$	قطر خارجی
STK400	ضخامت ستون
$F_c = 235\text{N/mm}^2$	جنس مصالح
$E_c = 205000\text{N/mm}^2$	مقاومت ارتجاعی یا $0.2\%$ مقاومت
	مدول ارتجاعی
$D_p = 1080\text{mm}$	(۵) ورق زیرستون/ورق فلزی
$t_p = 9.50\text{mm}$	قطر خارجی
$D_a = 42.00\text{mm}$	ضخامت ستون
$D_p = 909.60\text{mm}$	قطر سوراخ پیچ در پی
SM490	قطر دایره محاط بر مرکز پیچ‌ها
$F_c = 295\text{N/mm}^2$	جنس مصالح
	تنش تسلیم یا معادل $0.2\%$ مقاومت
$a = 465\text{mm}$	(۶) ورق برشی/در صورت بکاربردن آن
$b = 150\text{mm}$	عرض
$t = 56\text{mm}$	ارتفاع
SM490	ضخامت
$F_s = 295\text{N/mm}^2$	جنس مصالح
	تنش تسلیم یا معادل کرنش $0.2\%$

## (۷) پیچ پایه

M36	اندازه
$A_b = 787.7 \text{mm}^2$	سطح مقطع مؤثر یک بولت
$n_a = 4$	تعداد بولت‌ها در هر ستون
SS400	جنس مصالح
$F_a = 235 \text{N/m}$	تنش تسلیم یا معادل کرنش ۰/۲٪

## ۱۲-۲-۲-۵- وزن‌ها

$W_g = 15890000 \text{ N}$	(۱) مایع داخلی
$W_s = 1670000 \text{ N}$	(۲) پوسته
$W_a = 160000 \text{ N}$	(۳) متعلقات
$W_c = 530000 \text{ N}$	(۴) سازه تکیه‌گاهی
$W_f = 300000 \text{ N}$	(۵) پوشش‌های ضدحریق روی ستون‌ها
$W_v = 18550000 \text{ N}$	(۶) وزن کل

## ۱۲-۲-۳- تحلیل پاسخ

## ۱۲-۲-۳-۱- محاسبه وزن بهره‌برداری

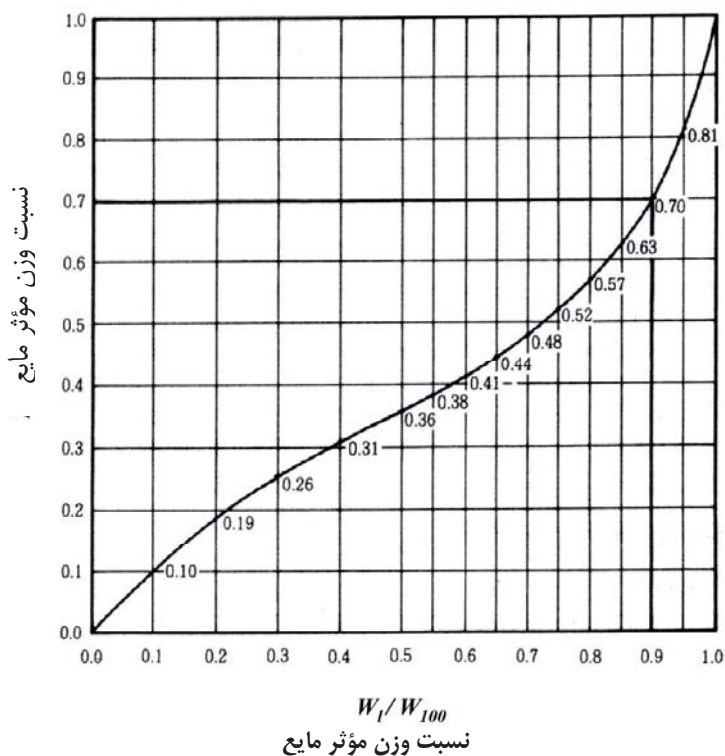
وزن مخزن در حالت بهره‌برداری  $W_H$  برابر است با:

$$W_H = W_0 + W_1 = 13368800 \text{ N}$$

در این رابطه:

$W_0 = W_s + W_a + 0.5(W_c + W_t) = 2245000 \text{ N}$	$W_0$ : وزن خود تجهیزات
$W_s = 1670000 \text{ N}$	$W_s$ : وزن پوسته
$W_a = 160000 \text{ N}$	$W_a$ : وزن ملحقات
$W_c = 530000 \text{ N}$	$W_c$ : وزن سازه تکیه
$W_f = 300000 \text{ N}$	$W_f$ : وزن جنس مصالح حفاظت از حریق
$W_1 = 11340000 \text{ N}$	$W_1$ : وزن مؤثر مایع
$W_g = 14580000 \text{ N}$	$W_g$ : وزن مایع داخلی
$f_1 = 0.70$	$f_1$ : نسبت وزن مؤثر

این مقدار توسط نمودار زیر برای سرعت پرشدن ۰/۹ برآورد می‌شود.



شکل ۱۲-۱۵

که در آن،

$$W_1 = \text{وزن مایع}$$

$$W_{100} = \text{وزن مایع زمانیکه مخزن لبریز است}$$

۱۲-۲-۳-۲- محاسبه سختی افقی مخزن

سختی افقی  $K$  توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}}$$

$$K = 4.7 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

که در آن:

$K_1$ : سختی خمشی سازه تکیه گاه، داده شده با:

$$K_1 = 5.0781 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

$$K_1 = \frac{3nEA_{CL}D_B^2}{8H_c^3}$$

$n$ : تعداد ستون تکیه‌گاه

$E$ : سختی ارتجاعی ستون تکیه‌گاه پایینی

$A_{cl}$ : سطح مقطع عرضی ستون تکیه‌گاه پایینی

$D_B$ : قطر از مرکز ستونهای تکیه‌گاه

$$n = 12$$

$$E = 205000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{cl} = 23815 \text{ mm}^2$$

$$D_B = 17900 \text{ mm}$$

$$H_c = 11150 \text{ mm}$$

$H_c$ : ارتفاع از صفحه نشیمن تا مرکز کروی

$K_2$ : سختی برشی سازه تکیه‌گاه داده شده با،

$$10^5 \text{ N/mm} \cdot 5.21449 \cdot K_2 = nK_c \left( \frac{2C_1}{C_2 + \frac{4LK_c}{EA}} + 1 \right)$$

$$L = 4533 \text{ mm}$$

$L$ : طول بین ستونهای پایه مجاور

$$K_c = \frac{3EI_c}{H_1^3}$$

$K_c = 659 \text{ N/mm}$ : سختی داده شده با رابطه:

$$I_c = 1.0611 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$I_c$ : سختی مقطع ستون پایینی

$H_1$ : ارتفاع مؤثر ستون تکیه‌گاه که برابر است با:

$$H_1 = H_c - L_w$$

$$H_1 = 9982 \text{ mm}$$

$$L_w = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{D_c D_s}{2}}$$

$$L_w = 1168 \text{ mm}$$

$$D_c = 610.20 \text{ mm}$$

$D_c$ : قطر خارجی ستون تکیه‌گاه بالایی

$$D_s = 17900 \text{ mm}$$

$D_s$ : قطر داخلی پوسته مخزن

$A$ : مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$A = 2.7811 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$A = \frac{1}{\frac{C_3}{A_B \cos^3 \theta} + \frac{C_4 \tan^3 \theta}{A_{cl}}}$$

$A_B$ : سطح مقطع مهاربند:  $(406.42 (409.4 - 2 \times 9.5) 2) \times 3.14 \times 0.25 = 11541.1 \text{ mm}^2$

$$\theta = 60.68 \text{ degree}$$

$\theta$ : زاویه مهار از زمین تا اتصال ستون بالایی

$$\lambda_c = 0.83$$

$$\lambda_c = H_2 / H_1$$

$$H_2 = 8250 \text{ mm}$$

$H_2$ : ارتفاع از ورق زیر ستون تا نقطه تماس به مهاربند.

$$C_1 = 0.92$$

$$C_1 = \frac{1}{4} \lambda_c^2 (3 - \lambda_c^2)^2$$

$$C_2 = \lambda_c^2 (1 - \lambda_c)^3 (3 + \lambda_c) \quad C_2 = 7.34 \times 10^{-3}$$

$C_3 = 0.50$ : داده شده در جدول

$C_4 = 0.0$ : داده شده در جدول

جدول ۱۲-۷- ضرایب مهار

	میله مهار کششی	مهار لوله‌ای
$C_3$	۰/۱	۰/۵
$C_4$	۰/۱	.

## ۱۲-۲-۳- محاسبه پریود مشخصه مخزن

پریود مشخصه T با رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$T = 0.34s \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{W_H}{gK}}$$

که در آن:

$$g = 9896.65 \text{ mm/s}^2 \quad \text{g: شتاب ثقلی}$$

$$W_H = 1.3368 \times 10^7 \text{ N} \quad W_H: \text{وزن بهره‌برداری}$$

$$K = 4.5 \times 10^5 \text{ N/mm} \quad K: \text{سختی افقی}$$

## ۱۲-۳-۴- شدت طراحی لرزه‌ای اصلاح شده

شدت طراحی لرزه‌ای اصلاح شده برای جهت‌های افقی و قائم توسط روابط زیر ارائه شده است:

$$K_H = 0.3\beta_0\beta_1\beta_2\beta_3 = 0.3 \times 1 \times 1.2 \times 0.35 \times 1.75 = 0.2205$$

$$K_{MH} = 0.6 \quad K_{MH} = K_H\beta_5$$

$$K_V = \frac{K_H}{2} = 0.11025$$

$$K_{MV} = K_V\beta_6 = 2 \times 0.11025 = 0.2205$$

که در آن:

$$\beta_0 = 1 \quad \beta_0: \text{پارامتر سطح زلزله}$$

$$\beta_1 = 1.2 \quad \beta_1: \text{ضریب اهمیت}$$

$$\beta_2 = 0.35 \quad \beta_2: \text{ضریب منطقه‌بندی لرزه‌ای}$$

$$\beta_3 = 1.75 \quad \beta_3: \text{ضریب تقویت سطح زمین}$$

$$\beta_{5n} = 2.3 \quad T = 0.34s \quad \beta_{5n}: \text{تقویت پاسخ اساسی بر اساس پریود مشخصه}$$

$$C_h = 1.18 \quad C_h: \text{ضریب پارامتر میرایی}$$

$$\beta_5 = 2.714 \quad \beta_5: \text{پارامتر تقویت در جهت افقی با } \beta_5 = C_h\beta_{50}$$

$$\beta_6 = 2 \quad \beta_6: \text{پارامتر تقویت در جهت قائم: برای سایر تجهیزات می‌باشد}$$

توضیح: بنا به جدول ۳-۴ فاز ۲ نسبت میرایی مخزن کروی با مهار جوش شده ۰/۰۳ می‌باشد. با توجه به نوع خاک که نوع چهارم می‌باشد از شکل ۳-۱ و با در دست داشتن میرایی و پریود ۰/۳۵ ضریب  $\beta_{50}$ : ۲/۳۰ به دست می‌آید از شکل ۳-۲ هم ضریب اصلاح  $C_h$ ، ۱/۱۸ به دست می‌آید.

## ۱۲-۳-۵- محاسبه نسبت تنش تسلیم (روش شکل پذیر)

در این قسمت شکست اعضای اتصال مخزن در سه مد اصلی زیر، مورد بررسی قرار می‌گیرد:

- تنش محوری و خمشی

- تنش برشی

- ترکیب سه تنش فوق

برای هر المان مد شکست متفاوت می‌باشد.

توضیح: پس از تعیین نسبت تنش تسلیم قطعات در هر مد خرابی، با استفاده از این نسبت‌ها، ضریب شکل‌پذیری هر مد و مقدار مجاز آن تعیین شده و با هم مقایسه می‌گردند. در انتهای مثال، مقادیر مجاز و به دست آمده در جدولی به طور کامل مقایسه شده‌اند.

### ۱۲-۲-۳-۵-۱- نسبت تنش تسلیم تحت اثر خرابی قسمت بالایی ستونهای

نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم یا کمناش ناشی از تنش فشاری یا خمش ستون تکیه‌گاهی بالایی. داده‌های مورد نیاز در این قسمت:

$D_m = 597 \text{ mm}$ : قطر متوسط ستون تکیه‌گاهی بالایی

$t = 13 \text{ mm}$ : ضخامت ستون تکیه‌گاهی بالایی

$W_v$ : مجموع وزن مخزن کروی و محتوای مایع:  $18550000$  وزن کل در نظر گرفته شده است.

$$A_{cu} = 24390 \text{ mm}^2$$

$A_{cu}$ : سطح مقطع موثر ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$Z_{cu} = \frac{I_x}{R} = \frac{\pi}{64} \frac{(610.2^4 - 584.2^4)}{305.1} = 3565547$$

$Z_{cu}$ : مدول مقطع ستون تکیه‌گاهی بالایی

$S_y$ : تنش تسلیم کششی ستون تکیه‌گاه بالایی

$$S_y = 490 \text{ N/mm}^2 \quad S_y = \min(S_{yd}, S_{yo})$$

$S_{rd}$ : تنش تسلیم یا تنش معادل کرنش  $0.2\%$  در دمای طراحی  $S_{yd} = 490 \text{ N/mm}^2$

$S_{yo}$ : تنش تسلیم یا تنش معادل کرنش  $0.2\%$  در دمای عادی  $S_{yd} = 490 \text{ N/mm}^2$

$S_f$ : پارامتری برای در نظر گرفتن مقاومت کمناش تصادفی در محاسبه ( $S_f = 1.5$ )

$$\sigma_{\square} = \frac{0.6 \sigma_{\square} \square}{\left(1 + 0.004 \frac{\sigma_{\square} \square}{\sigma_{\square}}\right) \sigma_{\square}} = 1.5 \frac{0.6 \times 201000 \times 13}{\left(1 + 0.004 \frac{201000}{490}\right) 597} = 1491$$



$S_c$ : تنش تسلیم فشاری ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$\square_c = \min(\square, \square_{\square}, \square')$$

$$S_c = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$F_v = K_{MV} W_v$$

$$F_v = 8151000 \text{ N} \quad \text{بار لرزه‌ای قائم طراحی}$$

$$F_H = K_{MH} W_H$$

$$F_H = 4090275 \text{ N} \quad \text{بار لرزه‌ای افقی طراحی}$$

$$S_H = 1.55 \times 10^6 \text{ N}$$

$$S_H = \frac{4\sqrt{C_1} EAK_c F_H}{(C_2 EA + 4LK_c)K}$$

ممانهای  $M_{G1}$ ,  $M_{G2}$ ,  $M_{O1}$ ,  $M_{O2}$  توسط روابط زیر محاسبه می‌گردند:

$$M_{G1} = 2.61 \times 10^8 \text{ N/mm}$$

$$M_{G1} = \frac{\lambda_c \{ (1 - \lambda_c^2) H_1 - (3 - \lambda_c^2) L_w \} S_H}{2}$$

$$M_{G2} = 1 \times 10^8 \text{ N/mm}$$

$$M_{G2} = \frac{K_c (H_1 - L_w) F_H}{K}$$

$$M_{O1} = 5.2 \times 10^8 \text{ N/mm}$$

$$M_{O1} = \frac{\lambda_c (1 - \lambda_c)^2 (2 + \lambda_c) H_1 S_H}{2}$$

$$M_{O2} = \frac{K_c \lambda_c H_1 F_H}{K}$$

$$M_{O2} = 9.4 \times 10^7 \text{ N/mm}$$

$\sigma_{cN}$ : تنش فشاری ستون تکیه‌گاهی بالایی تحت بارهای عادی

$$\sigma_{cN} = \frac{W_v}{nA_{CU}}$$

$$\sigma_{cN} = 63 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{cE}$ : تنش فشاری ستون تکیه‌گاهی بالایی تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{cE} = 18.54 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cE} = \frac{1}{nA_{CU}} \left\{ F_v + \frac{4L(H_c - H_2)F_H}{D_B^2} \right\}$$

$\sigma_{OE}$ : تنش خمشی در نقطه O از ستون تکیه‌گاه بالایی در اثر زلزله

$$\sigma_{OE} = 119.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{OE} = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CU}}$$

$\sigma_{GE}$ : تنش خمشی در نقطه G ستون تکیه‌گاهی بالایی در اثر زلزله

$$\sigma_{GE} = \frac{M_{G1} + M_{G2}}{Z_{CU}}$$

$$\sigma_{GE} = 101 \text{ N/mm}^2$$

$K_{yc}$ : نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم فشاری یا کماتش ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$K_{yc} = K_{MH} \frac{S_c - \sigma_{cN}}{\sigma_{cE}}$$

$$K_{yc} = 13.8$$

$K_{ybG}$ : نسبت تنش تسلیم برای تسلیم خمشی در نقطه G در ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$K_{ybG} = 2.9$$

$$K_{ybG} = K_{MH} \frac{S_y}{\sigma_{GE}}$$

$K_{ybO}$ : نسبت تنش تسلیم برای تسلیم خمشی در نقطه O در ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$K_{ybO} = 2.46$$

$$K_{ybO} = K_{MH} \frac{S_y}{\sigma_{OE}}$$

$K_{yG}$ : نسبت تنش تسلیم برای تنش مرکب ناشی از تنش فشاری و خمشی در نقطه G در ستون تکیه‌گاه بالایی

$$K_{yG} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cN}}{S_c}}{\frac{\sigma_{CE}}{S_c} - \frac{\sigma_{GE}}{S_y}} \quad K_{yG} = 3.1$$

$K_{yO}$ : نسبت تنش تسلیم برای تنش مرکب ناشی از تنش فشاری و خمشی در نقطه O در ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$K_{yO} = 2.54 \quad K_{yO} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cN}}{S_c}}{\frac{\sigma_{CE}}{S_c} - \frac{\sigma_{OE}}{S_y}}$$

نسبت تنش تسلیم حداقل مقادیر زیر محاسبه در نظر گرفته می‌شود

$$K_{yU} = 2.54 \quad K_{yU} = \min(K_{yc}, K_{ybG}, K_{ybO}, K_{yG}, K_{yO}) = \min(13.8, 2.9, 2.46, 3.1, 2.54)$$

• نسبت تنش تسلیم متناظر با تنش برشی ایجاد شده در ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$K_{ys} = K_{MH} \frac{S_y / \sqrt{3}}{\tau_E}$$

$\tau_E$ : تنش برشی ستون تکیه‌گاه بالایی ناشی از بار لرزه‌ای

$$\tau_E = \frac{2(\sqrt{C_1} K_S H + K_C F_H)}{A_{CU} K} = \frac{2(\sqrt{0.92} \times 4.7 \times 10^5 \times 1.55 \times 10^6 + 656 \times 8151000)}{24390 \times 4.7 \times 10^5} = 122.2 \text{ N/mm}^2$$

$$K_{ys} = 1.39$$

$$K_{ys} = K_{MH} \frac{S_y / \sqrt{3}}{\tau_E}$$

• نسبت تنش تسلیم متناظر با ترکیبات تنش در ستون تکیه‌گاهی بالایی

$$K_{yC} = \min(K_{ymG}, K_{ymO})$$

که در آن:

$K_{ymG}$ : نسبت تنش تسلیم برای ترکیب تنش‌ها در نقطه G

$$K_{ymG} = 1.55$$

$$K_{ymG} = K_{MH} \frac{-\sigma_{cN}(\sigma_{cE} + \sigma_{GE}) + \sqrt{\sigma_{cN}^2(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 - \{(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 + 3\tau_E^2\}(\sigma_{cN}^2 - S_y^2)}}{(\sigma_{cE} + \sigma_{GE})^2 + 3\tau_E^2}$$

$K_{ymO}$ : نسبت تنش تسلیم برای ترکیب تنش‌ها در نقطه O

$$K_{ymO} = 1.79$$

$$K_{ymO} = K_{MH} \frac{-\sigma_{cN}(\sigma_{cE} + \sigma_{OE}) + \sqrt{\sigma_{cN}^2(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 - \{(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 + 3\tau_E^2\}(\sigma_{cN}^2 - S_y^2)}}{(\sigma_{cE} + \sigma_{OE})^2 + 3\tau_E^2}$$

$K_{yC}$ : نسبت تنش تسلیم برای ترکیب بار ستون تکیه‌گاه بالایی

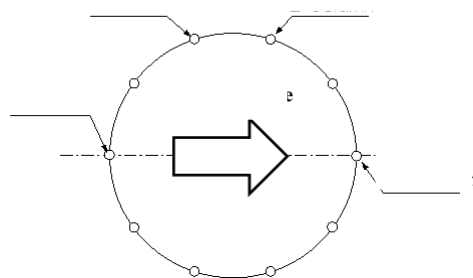
$$K_{yC} = \min(K_{ymG}, K_{ymO})$$

$$K_{yC} = 1.55$$

### ۱۲-۲-۳-۵-۲- نسبت تنش تسلیم در بخش پایینی ستونها

نسبت تنش تسلیم متناظر با کمانش یا تسلیم ناشی از تنش فشاری و خمشی در قسمت پایینی ستون

$$K_{yL} = \min(K_{ycA}, K_{ybA}, K_{yA}, K_{ycB}, K_{ybB}, K_{yB})$$



شکل ۱۲-۱۶- محل ستون‌ها

داده‌های مورد نیاز برای این قسمت:

$$F_c = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_c: \text{تنش تسلیم یا تنش معادل کرنش } 0.2\% \text{ قسمت پایینی ستون}$$

$$F'_c = 220 \text{ N/mm}^2 \quad F'_c: \text{تنش فشاری متناظر با شروع کمانش قسمت پایینی ستون با در نظر گرفتن ضریب لاغری}$$

$$D_c = 609.60 \text{ mm} \quad \text{قطر خارجی قسمت پایینی ستون}$$

$$t_c = 12.70 \text{ mm} \quad \text{ضخامت قسمت پایینی ستون}$$

$$A_{cL} = 23815.25 \text{ mm}^2 \quad \text{سطح مقطع قسمت پایینی ستون}$$

$$A_B = 11845.5 \text{ mm}^2$$

سطح مقطع مهاربند

 $Z_{CL}$ : مدول مقطع قسمت پایینی ستون

$$Z_{CL} = \frac{I_x}{R} = \frac{\frac{\pi}{64} (609.6^4 - 584.2^4)}{304.8} = 3479603 \text{ mm}^3$$

 $C_5$ : یک پارامتر

$$C_5 = 0.60$$

$$C_5 = C_4 + \frac{1 - C_4}{\frac{2A_B \sin^3 \theta}{A_{CL}} + 1}$$

 $\sigma_{cLN}$ : تنش فشاری قسمت پایینی ستون تحت بارهای عادی

$$\sigma_{cLN} = \frac{W_v}{nA_{CL}} C_5$$

$$\sigma_{cLN} = 28.52 \text{ N/mm}^2$$

 $\sigma_{cAE}$ : تنش فشاری ستون A تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{cAE} = 19.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{cAE} = \frac{1}{nA_{CL}} \left( F_v + \frac{4F_H H_c L}{D_B^2} \right) C_5 + \frac{0.67 C_4 S_H \tan \theta}{A_{CL}}$$

 $\sigma_{bAE}$ : تنش خمشی ستون A تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{bAE} = 123.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bAE} = \frac{|M_{O1} - M_{O2}|}{Z_{CL}}$$

 $\sigma_{cBE}$ : تنش فشاری ستون تکیه‌گاهی

$$\sigma_{cBE} = \frac{1}{nA_{CL}} \left( F_v + \frac{4F_H H_c}{D_B} \right) C_5 + \frac{0.67 C_4 S_H \tan \theta}{A_{CL}}$$

$$\sigma_{cBE} = 51.22 \text{ N/mm}^2$$

 $\sigma_{bBE}$ : تنش خمشی ستون تکیه‌گاهی B تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{bBE} = \frac{\left| 2C_4 M_{O1} \sin^2 \left( \frac{180^\circ}{n} \right) - M_{O2} \right|}{Z_{CL}}$$

$$\sigma_{bBE} = 27.1 \text{ N/mm}^2$$

 $K_{ycA}$   $K_{ycA}$ : نسبت تنش تسلیم ستون A در اثر کمانش یا تسلیم کششی

$$K_{ycA} = 5.9$$

$$K_{ycA} = K_{MH} \frac{F_c' - \sigma_{cLN}}{\sigma_{cAE}}$$

 $K_{ybA}$   $K_{ybA}$ : نسبت تنش تسلیم ستون A تحت اثر خم

$$K_{ybA} = K_{MH} \frac{F_c}{\sigma_{bAE}}$$

$$K_{ybA} = 1.14$$

 $K_{yA}$ : نسبت تنش تسلیم ستون A تحت اثر فشار و خم

$$K_{yA} = 0.85 \quad K_{yA} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cLN}}{F'_c}}{\frac{\sigma_{cAE}}{F'_c} + \frac{\sigma_{bAE}}{F'_c}}$$

$K_{ycB}$ : نسبت تنش تسلیم ستون B تحت اثر کماتش یا تسلیم کششی

$$K_{ycB} = 2.24 \quad K_{ycB} = K_{MH} \frac{F'_c - \sigma_{cLN}}{\sigma_{cBE}}$$

$K_{ybB}$ : نسبت تنش تسلیم ستون B تحت اثر خمشی

$$K_{ybB} = 5.2 \quad K_{ybB} = K_{MH} \frac{F'_c}{\sigma_{bBE}}$$

$K_{yB}$ : نسبت تنش تسلیم ستون B تحت اثر فشار و خمشی

$$K_{yB} = 1.5 \quad K_{yB} = K_{MH} \frac{1 - \frac{\sigma_{cLN}}{F'_c}}{\frac{\sigma_{cBE}}{F'_c} + \frac{\sigma_{bBE}}{F'_c}}$$

$$K_{yL} = 0.85 \quad K_{yL} = \min(K_{ycA}, K_{ybA}, K_{yA}, K_{ycB}, K_{ybB}, K_{yB})$$

### ۱۲-۲-۳-۵-۳-نسبت تنش تسلیم در مهاربندها

داده‌های مورد نیاز برای این قسمت:

$$F = 235 \text{ N/mm}^2$$

F: تنش تسلیم یا تنش معادل کرنش ۰.۲٪ مهاربند

$$F'_p = 208 \text{ N/mm}^2$$

$F'_p$ : تنش فشاری متناظر با شروع کماتش مهاربند با در نظر گرفتن ضریب لاغری

(۱) نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم کششی مهاربند

$$K_{yTP} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{cPN}}{\sigma_{tPE}}$$

$\sigma_{cPN}$ : تنش فشاری مهاربند تحت بار عادی

$$\sigma_{cPN} = \frac{1}{n} \frac{W_V \sin^2 \theta}{2A_B \sin^3 \theta + A_{CL}}$$

$$\sigma_{cPN} = 29.7 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{tPE}$ : تنش کششی مهاربند تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{tPE} = \frac{0.5S_H}{A_B \cos \theta} - \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4L(H_c - H_2)F_H}{D_B^2} \right) \frac{\sin^2 \theta}{2A_B \sin^3 \theta + A_{CL}} \quad \sigma_{tPE} = 103 \text{ N/mm}^2$$

$$K_{yTP} = K_{MH} \frac{F + \sigma_{cPN}}{\sigma_{tPE}} \quad K_{yTP} = 1.54$$

(۲) نسبت تنش تسلیم تحت اثر کماتش یا تسلیم فشاری، مهاربند

$$K_{ycP} = K_{MH} \frac{F'_p - \sigma_{cPN}}{\sigma_{cPE}}$$

$\sigma_{cPE}$ : تنش فشاری مهاربند تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{cPE} = \frac{0.5S_H}{A_B \cos\theta} + \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4L(H_c - H_2)F_H}{D_B^2} \right) \frac{\sin^2 \theta}{2A_B \sin^3 \theta + A_{CL}} \quad \sigma_{cPE} = 159 \text{ N/mm}^2$$

$$K_{ycP} = K_{MH} \frac{F'_p - \sigma_{cPN}}{\sigma_{cPE}}$$

$$K_{ycP} = 0.67$$

## ۱۲-۲-۳-۵-۴- نسبت تنش تسلیم تحت خرابی بولتهای پایه

داده‌های مربوط به این قسمت:

$$n_a = 4$$

$n_a$ : تعداد بولتها در هر ستون

$$A_b = 788 \text{ mm}^2$$

$A_b$ : سطح مقطع مؤثر پیچ پایه

$$F_a = 235 \text{ N/mm}^2$$

$F_a$ : تنش تسلیم یا تنش معادل کرنش ۰.۲٪ بولتهای پی

نسبت تنش تسلیم بولتهای پی تحت تسلیم کششی

نسبت تنش تسلیم در رابطه زیر داده شده است:

$$K_{yTB} = \min(K_{yTA'}, K_{yTB'})$$

$K_{yTB}$  و  $K_{yTB'}$ : نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم کششی پیچ مهار ستون  $A'$  و  $B'$

$$K_{yTA'} = K_{MH} \frac{F_a + \sigma_N}{\sigma_{tA'E}}$$

$$K_{yTB'} = K_{MH} \frac{F_a + \sigma_N}{\sigma_{tB'E}}$$

$\sigma_N$ : تنش فشاری پیچ پایه تحت بارهای عادی

$$\sigma_N = \frac{W_V}{n_a A_b}$$

$$\sigma_N = 491 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{tA'E}$ : تنش کششی پیچ پایه در ستون  $A'$  تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{tA'E} = 244.2 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{tA'E} = \frac{1}{n_a A_b} \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C L}{D_B^2} \right) + 0.4C_4 S_H \tan \theta \right\}$$

$\sigma_{tB'E}$ : تنش کششی بولتهای پایه در ستون  $B'$  تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{tB'E} = 645.32 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{tB'E} = \frac{1}{n_a A_b} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right)$$

$K_{yTA'}$ : نسبت تنش تسلیم بولتهای پی در ستون  $A'$  نشان داده شده در شکل ۴-۱-۵-۳-۲-۲ (۲) ..

$$K_{yTA'} = 1.784 \quad K_{yTA'} = K_{MH} \frac{F_a + \sigma_N}{\sigma_{tA'E}} = 0.6 \times \frac{235 + 491}{244.2} = 1.78$$

$K_{yTB}$ : نسبت تنش تسلیم بولتهای پی در ستون  $B'$

$$K_{ytB'} = K_{MH} \frac{F_a + \sigma_N}{\sigma_{tB'E}} = 0.6 \times \frac{235 + 491}{645.32} = 0.68 \quad K_{ytB'} = 0.68$$

$$K_{ytB} = \min(K_{ytA'}, K_{ytB'}) \quad K_{ytB} = 0.68$$

نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم برشی بولت‌های مهاری

کم‌ترین مقدار به‌دست آمده از رابطه‌های (۸۶-۷) و (۸۷-۷)،  $K_{ysB}$  نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم برشی پیچ مهار است.

$$K_{ysB} = \min(K_{ysA'}, K_{ysB'}) = 0.164$$

$$= 0.164 K_{ysA'} = K_{MH} \frac{F_a / \sqrt{3}}{\tau_{A'E}} \quad \text{رابطه ۱-۱۲}$$

$$= 2.27 K_{ysB'} = K_{MH} \frac{F_a / \sqrt{3}}{\tau_{B'E}} \quad \text{رابطه ۲-۱۲}$$

$K_{ysA'}$ : نسبت تنش تسلیم مربوط به تسلیم برشی پیچ مهار ستون  $A'$

$K_{ysB'}$ : نسبت تنش تسلیم مربوط به تسلیم برشی پیچ مهار ستون  $B'$

$\tau_{A'E}$ : تنش برشی ستون  $A'$  به‌دست آمده از رابطه (۸۸-۷)

$$\tau_{A'E} = \frac{Q_{A'}}{n_a A_b} = 495.5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{رابطه ۳-۱۲}$$

$Q_{A'}$ : نیروی برشی پیچ مهار تکیه‌گاه  $A'$  به‌دست آمده از رابطه (۸۹-۷) (N)

$$Q_{A'} = S_H + \frac{K_c F_H}{K} = 1561377 \text{ N} \quad \text{رابطه ۴-۱۲}$$

$\tau_{B'E}$ : تنش برشی ستون  $B'$  ناشی از بار زلزله به‌دست آمده از رابطه (۹۰-۷) ( $\text{N/mm}^2$ )

$$\tau_{B'E} = \frac{1}{n_a A_b} \left\{ 2C_3 S_H \sin^2\left(\frac{180^\circ}{n}\right) + \frac{K_c F_H}{K} \right\} = 131 \text{ N/mm}^2 \quad \text{رابطه ۵-۱۲}$$

نسبت تنش تسلیم متناظر با ترکیب تنش‌های کششی و برشی در بولت‌های مهاری

کم‌ترین مقدار به‌دست آمده از رابطه‌های (۹۱-۷) و (۹۲-۷)،  $K_{ym}$  نسبت تنش تسلیم مربوط به ترکیب تنش کششی و برشی

$$K_{ymB} = \min(K_{ymA'}, K_{ymB'}) = 0.49 \quad \text{است.}$$

$$K_{ymA'} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_N}{\sigma_{tA'E} + 1.6\tau_{A'E}} = 0.49 \quad \text{رابطه ۶-۱۲}$$

$$K_{ymB'} = K_{MH} \frac{1.4F + \sigma_N}{\sigma_{tB'E} + 1.6\tau_{B'E}} = 0.57 \quad \text{رابطه ۷-۱۲}$$

$K_{ymA'}$  و  $K_{ymB'}$ : نسبت تنش تسلیم مربوط به ترکیب تنش پیچ مهار تکیه‌گاه  $A'$

$K_{ymB'}$ : نسبت تنش تسلیم مربوط به ترکیب تنش پیچ مهار تکیه‌گاه  $B'$



## ۱۲-۲-۳-۴-۵- نسبت تنش تسلیم تحت اثر خرابی ورق‌های برشی

داده‌های مورد نیاز در این قسمت:

$$F_s = 295 \text{ N/mm}^2 \quad F_s: \text{تنش تسلیم یا تنش معادل کرنش } 0.2\% \text{ تنش مصالح ورق برشی}$$

$$a = 465 \text{ mm} \quad a: \text{طول ورق برشی}$$

$$b = 150 \text{ mm} \quad b: \text{ارتفاع ورق برشی}$$

$$t = 56 \text{ mm} \quad t: \text{ضخامت ورق برشی}$$

(۱) نسبت تنش تسلیم ورق برشی در اثر تسلیم خمشی

$$K_{ybs} = K_{MH} \frac{F_s}{\sigma_{bE}}$$

$$K = 4.7 \times 10^5 \text{ N/mm}$$

سختی افقی مخزن کروی

$K_c$ : سختی افقی ستون منفرد

$$K_c = \frac{3EI_c}{H_1^3}$$

$$K_c = 656 \text{ N/mm}$$

$$F_H = 8151000 \text{ N}$$

$F_H$ : نیروی لرزه‌ای افقی طراحی

$S_H$ : توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$S_H = \frac{4\sqrt{C_1} EAK_c F_H}{(C_2 EA + 4LK_c)K}$$

$$S_H = 1.55 \times 10^6 \text{ N}$$

$Q_A$ : نیروی برشی وارد شده بر بولت‌های پی ستون  $A'$

$$Q_{A'} = S_H + \frac{K_c F_H}{K}$$

$$Q_{A'} = 1561377 \text{ N}$$

$\sigma_{bE}$ : تنش خمشی ورق برشی تحت بار لرزه‌ای

$$\sigma_{bE} = 241 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{bE} = 3 \frac{Q_{A'}}{2ab} \cdot \frac{b^2}{t^2}$$

$$K_{ybs} = K_{MH} \frac{F_s}{\sigma_{bE}}$$

$$K_{ybs} = 0.73$$

(۲) نسبت تنش تسلیم ورق برشی تحت تسلیم برشی

$$K_{ysS} = K_{MH} \frac{F_s / \sqrt{3}}{\tau_E}$$

$$K_{ysS} = 3.4$$

که در آن:

$\tau_E$ : تنش برشی ورق برشی ناشی از بار لرزه‌ای

$$\tau_E = \frac{Q_{A'}}{2at}$$

$$\tau_E = 30 \text{ N/mm}^2$$

(۳) نسبت تنش تسلیم ورق برشی تحت اثر ترکیب خمشی و تسلیم برشی

$$K_{yMS} = K_{MH} \frac{F_S}{\sqrt{\sigma_{bE}^2 + 3\tau_E^2}}$$

$$K_{yMS} = 0.72$$

۱۲-۲-۳-۴-۶- نسبت تنش تسلیم تحت اثر خرابی ورق زیرستون

داده‌های مورد نیاز در این بخش:

$$F_b = 295 \text{ N/mm}^2 \quad \text{تنش تسلیم یا تنش معادل کرنش } 0.2\% \text{ مصالح ورق زیرستون}$$

$$D_b = 1080 \text{ mm}$$

$D_b$ : قطر ورق زیرستون

$$D_c = 609.60 \text{ mm}$$

$D_c$ : قطر خارجی ستون تکیه‌گاهی

$$t = 50 \text{ mm}$$

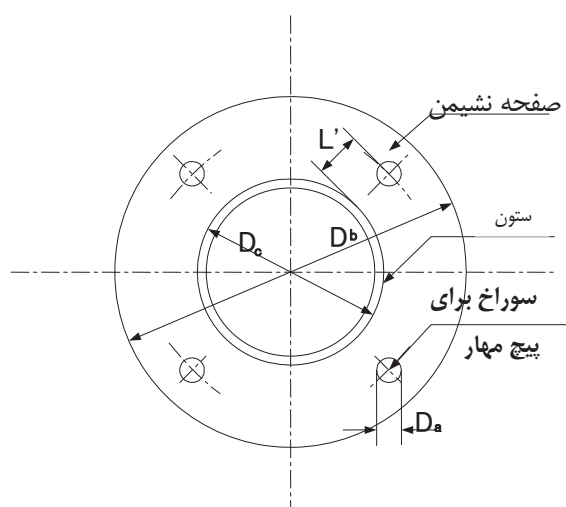
$t$ : ضخامت ورق زیرستون

$$D_a = 62 \text{ mm}$$

$D_a$ : قطر پیچ پایه

$$L' = 150 \text{ mm}$$

$L'$ : نشان داده شده در شکل ۱۲-۱۷.



شکل ۱۲-۱۷ - صفحه زیرستون

(۱) نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم خمشی ورق زیرستون بر اثر نیروی فشاری اعمالی بر پی

$$K_{yBR} = K_{MH} \frac{F_b - \sigma_{RN}}{\sigma_{RE}}$$

$$K_{yBR} = 0.750$$

$\sigma_{RN}$ : تنش خمشی صفحه نشیمن تحت اثر بارهای عادی

$$\sigma_{RN} = 3 \frac{W_V (D_b - D_C)^2}{n \pi t^2 D_b^2} \quad \sigma_{RN} = 112 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{RE}$ : تنش خمشی ورق زیرستون تحت اثر بار لرزه‌ای

$$\sigma_{RE} = 3 \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) + 0.67 C_4 S_H \tan \theta \right\} \frac{(D_b - D_C)^2}{\pi t^2 D_b^2} \quad \sigma_{RE} = 147 \text{ N/mm}^2$$

(۲) نسبت تنش تسلیم متناظر با تسلیم خمشی ورق زیرستون در اثر برکنش بولت‌های متصل به ورق

$\sigma_{TN}$ : تنش خمشی تقلیل یافته ورق زیرستون تحت اثر بارهای عادی

$$\sigma_{TN} = 6 \cdot \frac{W_V L'}{n n_a (D_a + 2L') t^2} \quad \sigma_{TN} = 407 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{TE}$ : تنش خمشی ورق زیرستون تحت اثر بار لرزه‌ای

$$\sigma_{TE} = 6 \left\{ \frac{1}{n} \left( F_V + \frac{4F_H H_C}{D_B} \right) + 0.67 C_4 S_H \tan \theta \right\} \frac{L'}{n_a (D_a + 2L') t^2} \quad \sigma_{TE} = 535 \text{ N/mm}$$

$$K_{yBT} = K_{MH} \frac{F_b + \sigma_{TN}}{\sigma_{TE}} \quad K_{yBT} = 1.3$$

## ۱۲-۲-۳-۵- ارزیابی مخزن تحت اثر بار لرزه‌ای در سطح خطر-۲

ارزیابی مخزن کروی در هر مد خرابی توسط رابطه زیر انجام می‌شود.

$$\mu_p \leq \mu_{pa}$$

$\mu_{pa}$ : ضریب شکل پذیری مجاز برای هر مد خرابی

$\mu_p$ : ضریب شکل پذیری هر مد خرابی

$$\mu_p = \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\} \quad K_{MH} > K_y$$

$$\mu_p = 0 \quad K_{MH} \leq K_y$$

$K_y$ : نسبت تنش تسلیم هر مد خرابی

$C$ : پارامتر برای هر حالت خرابی

$$K_{MH} = 0.6$$

$K_{MH}$ : شدت لرزه افقی اصلاح شده طرح

خلاصه ارزیابی لرزه‌ای در جدول ۱۲-۸- نشان داده شده است.

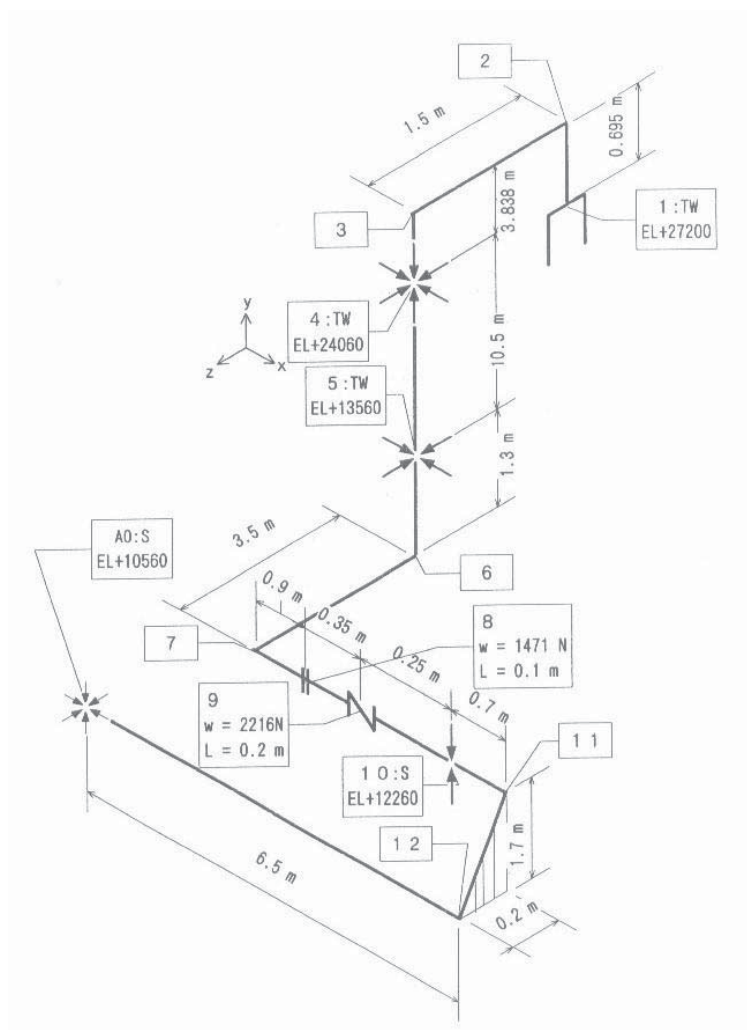
جدول ۱۲-۸- خلاصه ارزیابی لرزه‌ای مخزن کروی

حالت خرابی	$K_{MH}$	$C$	$K_y$	$\mu_p = \mu_p - \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH}}{K_y} \right)^2 - 1 \right\}$	$<$	$\mu_{pa}$	اظهار نظر
<b>ستون تکیه‌گاهی بالایی</b>							
کمانش، تسلیم فشاری یا تسلیم خمشی	۰/۶	۲	۲/۵۴	۰	$<$	۱	قابل قبول
تسلیم برشی	۰/۶	۲	۱/۳۹	۰	$<$	۱	ق-ق
تسلیم ناشی از ترکیب فشار و خمش	۰/۶	۲	۱/۵۵	۰	$<$	۱	ق-ق
<b>ستون تکیه‌گاهی پایینی</b>							
کمانش، تسلیم فشاری یا تسلیم خمشی	۰/۶	۲	۰/۸۵	۰	$<$	۱	ق-ق
<b>مهاریند</b>							
تسلیم کششی	۰/۶	۲	۱/۵۴	۰	$<$	۱	ق-ق
کمانش یا تسلیم فشاری	۰/۶	۲	۰/۶۷	۰	$<$	۰/۳۵	ق-ق
<b>بیج پایه</b>							
تسلیم کششی	۰/۶	۱	۰/۶۸	۰	$<$	۱/۸	ق-ق
تسلیم برشی	۰/۶	۲	۰/۱۶۴	۱/۵۵	$<$	۰/۳۵	غ-ق
<b>ورق برشی</b>							
تسلیم خمشی	۰/۶	۲	۰/۷۳	۰	$<$	۰/۳۵	ق-ق

تسلیم برشی	۰/۶	۲	۳/۴	۰	<	۰/۳۵	ق-ق
تسلیم ناشی از ترکیب فشار، برش و خمش	۰/۶	۲	۰/۷۲	۰	<	۰/۳۵	ق-ق
<b>ورق زیرستون</b>							
تسلیم خمشی ناشی از فشار اعمالی	۰/۶	۲	۰/۷۵	۰	<	۰/۳۵	ق-ق
تسلیم خمشی ورق در اثر برکنش بولتهای پایه	۰/۶	۲	۱/۳	۰	<	۰/۳۵	ق-ق

### ۱۲-۳- مثال طراحی لرزه ای لوله کشی

این خط لوله در نرم افزار CAESAR II مدل شده است. در این نرم افزار خطوط لوله توسط المان های ساده تیری مدل می شود و سپس شرایط بارگذاری اعمالی به سیستم را معین می کنند. با این ورودی ها، CAESAR خروجی را به صورت نتایجی از جابجایی ها، بارها، و تنش های موجود در سیستم ارائه می کند. علاوه بر این، این نرم افزار، نتایج مذکور را با حدود تعیین شده در استانداردهای موجود در طراحی سیستم های piping مقایسه می کند.



شکل ۱۲-۱۸- خطوط لوله مدل شده

فرم سیستم لوله‌کشی در (شکل ۱-۱)، شرایط طراحی را در جداول ۱۲-۹ و ۱۲-۱۰ و ۱۲-۱۱ نمایش داده می‌شود.

جدول ۱۲-۹- فرم لوله‌های با برجک چرخشی و شرایط طراحی

۴۵۰ A	سایز
۱ MP <sub>a</sub>	نیروی فشار کنترل
۴۰ °C	درجه حرارت کنترل
STPG ۳۷۰	جنس لوله
۴۵۷/۲ mm	قطر خارجی لوله
۹/۰ mm	ضخامت
۰	خوردگی، فاسدشدگی
-	ضخامت مصالح حفظ حرارت
۷/۸۵	چگالی مصالح لوله
۰	چگالی مایع
-	چگالی مصالح حفظ حرارت

جدول ۱۲-۱۰- تغییر مکان تکیه گاههای لوله‌ها در هنگام زلزله

جهت Z (mm)	جهت Y (mm)	جهت X (mm)	اتصال ساپورت ارتفاع (mm)	مفصل	سازه تکیه گاهی لوله
۱۲۰	۰	۱۲۰	۲۷۲۰۰	۱	TW
۱۰۰	-	۱۰۰	۲۴۰۶۰	۴	
۴۰	-	۴۰	۱۳۵۶۰	۵	
-	۰	-	۱۲۲۶۰	۱۰	S
۴	۰	۴	۱۰۵۶۰	A۰	

جدول ۱۲-۱۱- شرایط اندازه‌گیری در سازه‌های کمک لوله‌ها

ارتفاع کل	دوره ثابت	ساختمان کمکی	شماره
۲۷/۲ m	۰/۷۱ S	برجک	TW
۱۵ m	۰/۲۰ S	مخزن آویزان	S

## ۱۲-۳-۱- شرح محاسبات

- محاسبه شدت لرزه طراحی در سطح خاک

شدت لرزه طراحی افقی و قائم در سطح زمین از روابط زیر بدست می‌آید.

$$K_H = 0.3\beta_0\beta_1\beta_2\beta_3$$

$$K_V = K_H / 2$$

$$\beta_0 = 1 \quad \Rightarrow \quad K_H = 0.3 \times 1 \times 1.4 \times 0.35 \times 1.75 = 0.257$$

$$K_V = K_H / 2 = 0.257 / 2 = 0.129$$

- محاسبه شدت لرزه طراحی در تکیه‌گاه‌ها

توزیع شدت لرزه  $\mu$  بر اساس پیوست گاز بند ۳ به شرح زیر برای هر گره بدست می‌آید.

$$\text{گره ۱} \quad \mu = 1.5h_s / H_t = 1.5(27.2 / 27.2) = 1.5$$

$$\text{گره ۴} \quad \mu = 1.5h_s / H_t = 1.5(24.06 / 27.2) = 1.33$$

$$\mu = 1.5h_s / H_t = 1.5(13.56 / 27.2) = 0.75 \leq 1 \quad \Rightarrow \quad \mu = 1 \quad \text{گره ۵}$$

$$\text{گره ۱۰} \quad \mu = 1.5h_s / H_t = 1.5(12.26 / 15) = 1.23$$

$$\text{گره A0} \quad \mu = 1.5h_s / H_t = 1.5(10.56 / 15) = 1.06$$

- محاسبه ضریب تقویت پاسخ استاندارد و ضریب اصلاح میرایی

با استفاده از جدول ۳-۴ (نسبت میرایی برج‌ها، مخازن کروی و قاب‌ها) در راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران ابتدا نسبت میرایی را برای سازه‌های تکیه‌گاهی محاسبه می‌گردد. از این جدول نسبت میرایی برج

برابر با ۰/۰۳ و نسبت میرایی سازه قاب‌بندی شده برابر ۰/۰۵ بدست می‌آید. سپس با استفاده از اشکال ۱-۳ و ۲-۳ در راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران ضریب تقویت پاسخ استاندارد و ضریب اصلاح میرایی محاسبه می‌گردد.

برای برج ضریب اصلاح میرایی  $C_h$  برابر ۱/۱۸ و ضریب تقویت پاسخ استاندارد  $\beta_{5n}$  برابر با ۲/۶ بدست می‌آید. برای سازه قاب‌بندی شده ضریب اصلاح میرایی  $C_h$  برابر با ۱/۰۰ و ضریب تقویت پاسخ استاندارد  $\beta_{5n}$  برابر با ۱/۸۹۱ بدست می‌آید.

- محاسبه ضریب زلزله اصلاح شده در هر تکیه‌گاه لوله

ضریب زلزله اصلاح شده افقی و قائم در هر تکیه‌گاه لوله‌کشی از روابط زیر بدست می‌آید.

$$\mu K_{MH} = \text{ضریب زلزله اصلاح شده در تکیه‌گاه لوله}$$

$$K_{MH} = \beta_5 K_H$$

$$\beta_5 = \beta_{5n} \times C_h$$

$$K_{MV} = \beta_6 K_V$$

محاسبات مربوط به هر تکیه‌گاه لوله‌کشی در جدول ۱۲-۱۲ ارائه شده است. در این جدول پارامتر  $\beta_6$  ضریب تقویت پاسخ است که برای برج‌های با تکیه‌گاه دامنی برابر ۱/۵ و برای سایر تجهیزات برابر با ۲ است. برای این مثال این مقدار برابر با ۲ می‌باشد.

جدول ۱۲-۱۲- ضریب زلزله اصلاح شده افقی در هر تکیه‌گاه لوله‌کشی

شماره تکیه‌گاه	$K_H$	$C_h$	$\beta_{5n}$	$\beta_5$	$\beta_6$	$K_{MH}$	$\mu$	ضریب زلزله اصلاح شده در تکیه‌گاه	
								افقی	قائم
۱	۰/۲۵۷	۱/۱۸	۲/۶	۳/۰۶۸	۲/۰۰	۰/۷۸۸	۱/۵	۱/۱۸۲	۰/۲۵۷
۴	۰/۲۵۷	۱/۱۸	۲/۶	۳/۰۶۸	۲/۰۰	۰/۷۸۸	۱/۳۳	۱/۰۴۸	۰/۲۵۷
۵	۰/۲۵۷	۱/۱۸	۲/۶	۳/۰۶۸	۲/۰۰	۰/۷۸۸	۱/۰۰	۰/۷۸۸	۰/۲۵۷
۱۰	۰/۲۵۷	۱/۰۰	۱/۸۹۱	۱/۸۹۱	۲/۰۰	۰/۴۸۶	۱/۲۳	۰/۵۹۸	۰/۲۵۷
<b>A0</b>	۰/۲۵۷	۱/۰۰	۱/۸۹۱	۱/۸۹۱	۲/۰۰	۰/۴۸۶	۱/۰۶	۰/۵۱۵	۰/۲۵۷

- محاسبه نیروی زلزله اصلاح شده

نیروی زلزله اصلاح شده وارد سیستم لوله‌کشی در محل تکیه‌گاه‌های لوله از روابط زیر بدست می‌آید.

$$F_{MH} = \beta_8 \mu K_{MH} W_H$$

$$F_{MV} = \beta_9 K_{MV} W_V$$

ضریب  $\beta_8$  در این مثال برابر با ۲ است. وجود فلکه باعث می‌شود تا  $\beta_8$  در ضریب افزایش به خاطر فلکه ضرب شود. در این مثال فرض می‌شود فلکه دستی است. در نتیجه فرکانس آن نیاز به محاسبه ندارد و مقدار آن برابر با ۲۰ هرتز در نظر گرفته می‌شود. برای فرکانس‌های زیر ۴۰ هرتز ضریب افزایش پاسخ به خاطر فلکه برابر با ۱ بوده و در نتیجه  $\beta_8 \times 1 = \beta_8$ . در نتیجه مقدار  $\beta_8$  برابر با ۲ در نظر گرفته می‌شود. ضریب  $\beta_9$  برابر با ۲ در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۵- نتایج نیروی زلزله اصلاح شده برای هر تکیه‌گاه ارائه شده است.



جدول ۱۲-۱۳- نتایج نیروی اصلاح شده در تکیه‌گاه‌ها لوله‌کشی

شماره تکیه‌گاه	$\mu K_{MH}$	$F_{MH}$	$F_{MV}$
۱	۱/۱۸۲	$۲/۳۶۴ W_H$	$۰/۵۱۴ W_V$
۴	۱/۰۴۸	$۲/۰۹۶ W_H$	$۰/۵۱۴ W_V$
۵	۰/۷۸۸	$۱/۵۷۶ W_H$	$۰/۵۱۴ W_V$
۱۰	۰/۵۹۸	$۱/۱۹۶ W_H$	$۰/۵۱۴ W_V$
A0	۰/۵۱۵	$۱/۰۳۰ W_H$	$۰/۵۱۴ W_V$

بعد از بازکردن نرم افزار واحدها به SI تبدیل می گردد. صفحه ورود اطلاعات به اینگونه می باشد.

The screenshot shows the 'Piping Input' software window. The interface includes a menu bar (File, Edit, Model, Kaux, Plot, Help) and a toolbar with various icons. The main area is divided into several sections:

- Dimensions:** From: 10, To: 20, DX, DY, DZ, Offsets.
- Material Properties:** Material: (dropdown), Elastic Modulus (C), (H1), (H2), (H3), Poisson's Ratio, Pipe Density, Fluid Density, Refractory Density, Insulation Density.
- Allowable Stress:** Code: B31.3, SC: (dropdown), SH1-9, F1-9, Eff, Fac, Sy, PVar.
- Checkboxes:** Bend, Reducer, Rigid, SIFs & Tees, Expansion Joint, Structural, Restraints, Displacements, Hangers, Equipment, Nozzles, Forces/Moments, Thermal Bowing, Uniform Loads, Pitch & Roll, Wind / Wave.
- Other:** Diameter, Wt/Sch, Mill Tolerances, Corrosion, Insul Thk, Temp 1-3, Pressure 1-2, Hydro Press.

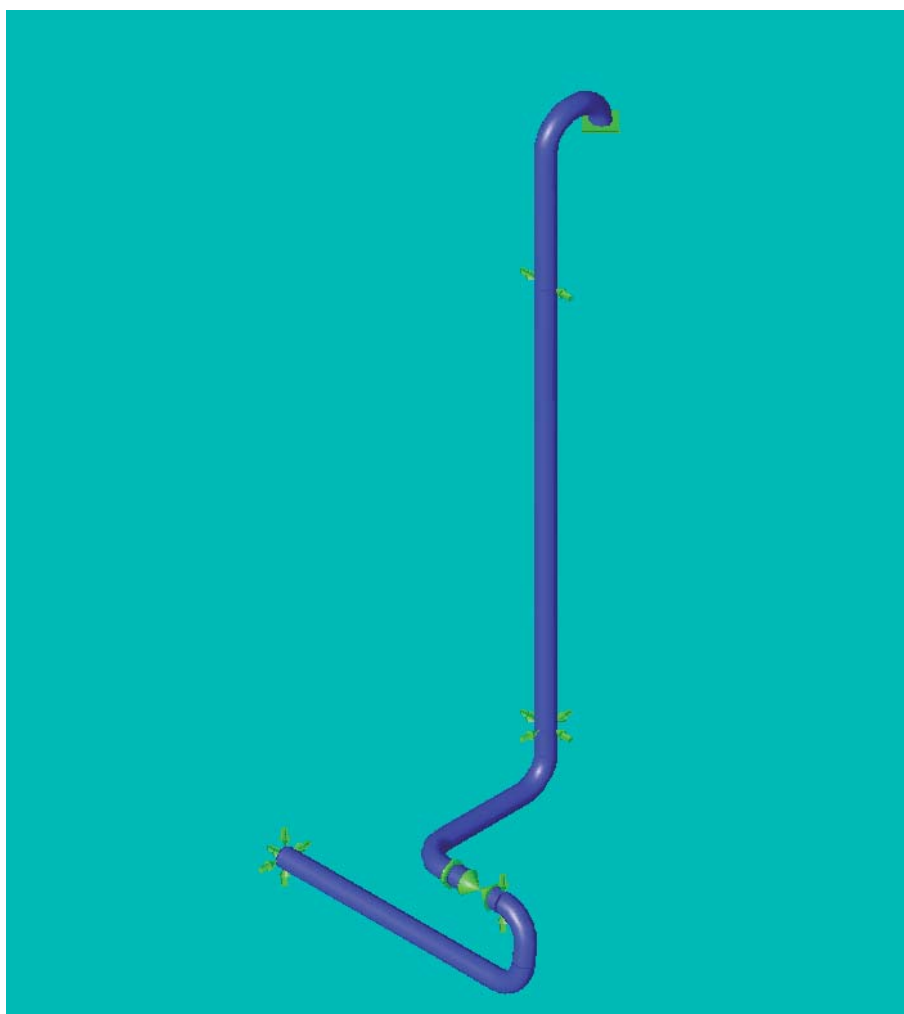
شکل ۱۲-۱۹- ورودی به نرم افزار

اطلاعات به صورت زیر وارد می گردد.









شکل ۱۲-۲۰- مدل سه بعدی لوله

نتایج خروجی نیز به صورت زیر می‌باشد.

جدول ۱۲-۱۴- نتایج تحلیل

$M_z$ (N.m)	$M_y$ (N.m)	$M_x$ (N.m)	نیروی محوری (N)	شماره گره	ترکیب بار
747.6	13.1	1009.9	5332	3	W+P
747.6	13.1	548.1	715	7	
331	418.5	341.8	2556	12	
674719.9	148691.6	937198.9	894693	3	D
67479.9	148691.6	323686.1	49512	7	
17999.2	980397.1	103152.4	5203	12	
440452.7	18829.9	306163.5	74417	3	F
731881.2	209171.9	265046.1	312076	7	
440452.7	18829.9	306163.5	74417	12	

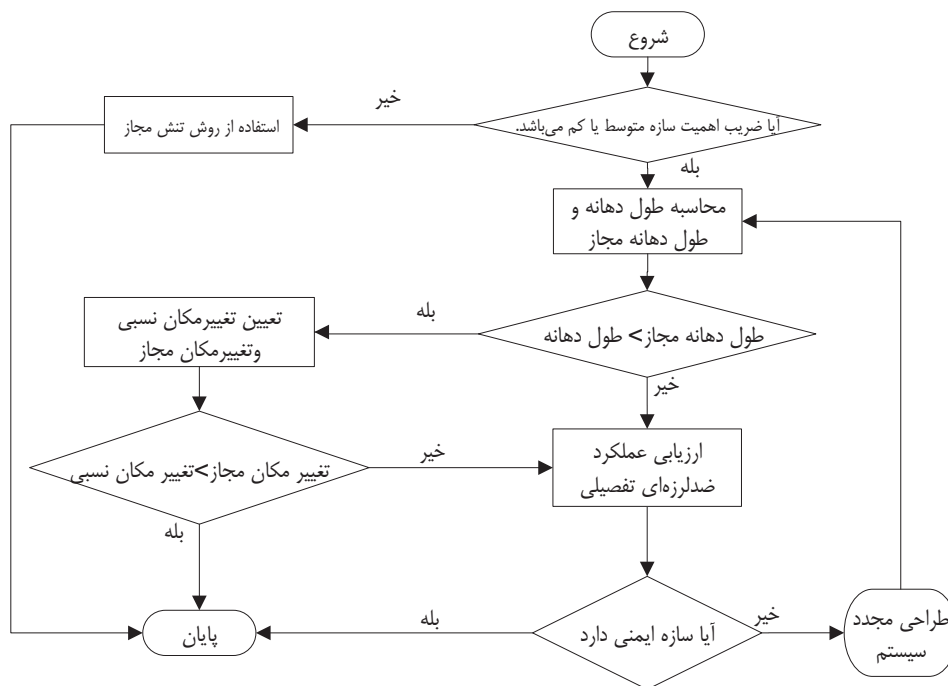
# پیوست





## ۱- روند روش دهانه مجاز در طراحی لرزه‌ای لوله کشی

هرگاه ضریب اهمیت سازه متوسط یا کم باشد از روش دهانه مجاز استفاده می‌شود و اگر ضریب اهمیت خیلی زیاد یا زیاد باشد باید از روش تنش مجاز استفاده شود.



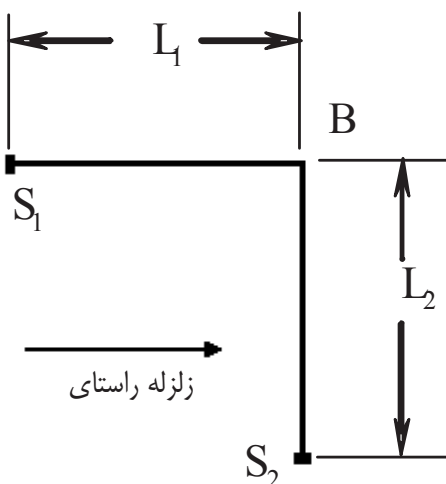
شکل ۱- روندنمای روش دهانه مجاز

### ۱-۱- روش محاسبه طول دهانه

طول دهانه لوله با قاعده کلی زیر محاسبه می‌شود:

- ۱- هر دهانه لوله در دو راستای افقی و یک راستای قائم زمین لرزه، ارزیابی می‌شود.
- ۲- جهت ارزیابی در یک راستا، طول دهانه لوله بین دو نقطه تکیه‌گاهی برابر با مجموع تصاویر لوله‌های بین آن دو نقطه تکیه‌گاهی در جهت عمود بر زلزله می‌باشد.
- ۳- در قسمت ۲ اگر راستای محور لوله در جهت اصلی زلزله باشد، محاسبات در جهت دیگر انجام نمی‌شود.





شکل ۲- دهانه لوله با نقطه تکیه‌گاهی در راستای محور لوله

در مثال شکل ۲،  $S_1, S_2$  نقاط تکیه‌گاهی هستند. چون محور لوله  $S_1 - B$  هم‌راستای جهت زلزله است، لازم نیست طول  $L_1$  در محاسبات طول دهانه لوله اضافه شود، بنابراین  $L_{ps} = L_2$ .

۴- درحالتی که قطر خارجی لوله در دهانه لوله متفاوت باشد، طول دهانه لوله  $L$  با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و تبدیل به بیشترین قطر دهانه لوله می‌شود.

$$L = \ell_p + \ell_1 \sqrt{\frac{d}{d_1}} \quad (1)$$

$L$ : طول دهانه لوله ( m )

$d$ : بیشترین قطر خارجی دهانه لوله ( mm )

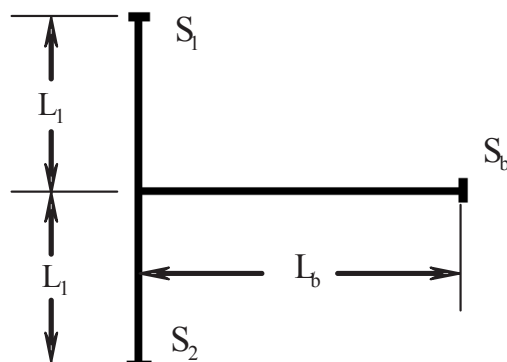
$d_1$ : قطر خارجی لوله ( mm )

$\ell_p$ : طول لوله‌ای که قطر خارجی آن  $d$  است. ( m )

$\ell_1$ : طول لوله‌ای که قطر خارجی آن  $d_1$  است. ( m )

۵- درحالتی که لوله بیشتر از یک انشعاب داشته باشد:

باید طول دهانه مجاز را بین هر دو تکیه‌گاه به‌دست آورد. برای شکل (۳)،  $(L_1 + L_2)$ ،  $(L_1 + L_b)$  و  $(L_2 + L_b)$  باید کمتر از طول دهانه مجاز باشد. در همین شکل درحالتی که قطر انشعاب از نصف قطر لوله اصلی کمتر باشد، طول لوله اصلی نیز باید کمتر از طول دهانه مجاز باشد.



شکل ۳- دهانه لوله‌ی دارای انشعاب

## ۱-۲- روش محاسبه طول دهانه مجاز

طول دهانه مجاز پایه در جدول (۱) نشان داده شده است. در حالتی که قطر خارجی در جدول موجود نباشد، می‌توان قطر خارجی را از درون‌یابی به‌دست آورد. اگر قطر خارجی کم‌تر از ۴۸/۶ میلی‌متر باشد، برابر با ۴۸/۶ و اگر بیشتر از ۶۰۹/۶ میلی‌متر باشد، برابر با ۶۰۹/۶ در نظر گرفته می‌شود. اگر قطر خارجی بزرگ‌تر از ۱۰۰۰ میلی‌متر باشد، این بند قابل اجرا نیست.

جدول ۱- طول دهانه مجاز لوله

وزن متمرکز استاندارد (گاز فشرده) $W_a$ (N)	وزن متمرکز استاندارد (گاز مایع) $W_a$ (N)	طول دهانه مجاز پایه $L_a$ (m) (گاز متراکم)	طول دهانه مجاز پایه $L_a$ (m) (گاز مایع)	قطر خارجی (mm)
۳۰۴	۴۰۷	۷	۶/۶	۴۸/۶
۴۴۵	۶۰۵	۷/۸	۷/۱	۶۰/۵
۸۳۹	۱۱۱۶	۸/۷	۷/۹	۷۶/۳
۱۱۲۶	۱۵۴۵	۹/۵	۸/۶	۸۹/۱
۱۴۱۴	۱۹۸۶	۱۰/۱	۹	۱۰۱/۶
۱۷۷۵	۲۵۳۲	۱۰/۷	۹/۵	۱۱۴/۳
۲۶۱۶	۳۸۰۲	۱۱/۷	۱۰/۲	۱۳۹/۸
۳۶۱۶	۵۳۵۷	۱۲/۷	۱۰/۸	۱۶۵/۲
۶۳۴۹	۹۶۲۹	۱۴/۸	۱۲/۲	۲۱۶/۳
۹۸۶۳	۱۵۲۰۸	۱۶/۴	۱۳/۲	۲۶۷/۴
۱۴۲۸۱	۲۲۳۶۱	۱۸	۱۴/۲	۳۱۸/۵
۱۸۱۱۰	۲۸۸۵۱	۱۹	۱۵	۳۵۵/۶
۲۵۳۳۹	۴۰۳۲۵	۲۰/۳	۱۶	۴۰۶/۴
۳۳۹۹۵	۵۳۶۱۲	۲۱/۵	۱۶/۸	۴۵۷/۲
۴۲۱۱۲	۶۷۶۳۳	۲۲/۷	۱۷/۶	۵۰۸
۵۱۱۴۱	۸۳۵۶۳	۲۳/۸	۱۸/۴	۵۵۸/۸
۶۴۲۴۳	۱۰۳۹۴۶	۲۴/۹	۱۹/۱	۶۰۹/۶

در حالتی که وزن گسترده مصالح عایق حرارتی یا وزن متمرکز شیر اضافه می‌شود، طول دهانه مجاز از ضرب طول دهانه مجاز پایه نشان داده شده در جداول ۱ و ۲ در ضریب اصلاح وزن گسترده  $\phi_d$  و ضریب اصلاح وزن متمرکز  $\phi_c$ ، محاسبه می‌شود.

۱- در حالتی که وزن گسترده مصالح عایق حرارتی اضافه می‌شود، ضریب اصلاح وزن گسترده  $\phi_d$  از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\phi_d = \left(1 + \frac{\Gamma}{\Gamma_p}\right)^{-0.25} \quad (2)$$

$\phi_d$ : ضریب اصلاح وزن گسترده، زمانی که  $\Gamma/\Gamma_p \leq 0.5$ ,  $\phi_d = 1.0$

$\Gamma_p$ : مجموع وزن طولی لوله و وزن محتویات در هر متر (N/m)

$\Gamma$ : وزن گسترده مصالح عایق حرارتی در یک متر از طول لوله (N/m)

۲- در حالتی که وزن متمرکز شیرها اضافه می‌شود، ضریب اصلاح وزن متمرکز  $\phi_c$  طبق جدول (۳) محاسبه می‌شود. نرخ اضافه وزن  $\gamma_w$  از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$\gamma_w = \frac{w_s}{W_a} \left(1 + \frac{\Gamma}{\Gamma_p}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad (3)$$

$\gamma_w$ : نرخ اضافه وزن

$w_s$ : وزن متمرکز دهانه (N)

$W_a$ : وزن متمرکز استاندارد (N) برای لوله‌کشی گاز مایع و متراکم نشان داده شده در جدول (۱).

جدول ۳- ضریب اصلاح وزن متمرکز

محدوده نرخ اضافه وزن	ضریب اصلاح وزن متمرکز $\phi_c$
$\gamma_w \leq 0.25$	$\phi_c = 1$
$0.25 < \gamma_w \leq 1$	$\phi_c = 1.13 - 0.53\gamma_w$
$1 < \gamma_w$	$\phi_c = 0.636 - 0.036\gamma_w$

### ۱-۳- روش محاسبه ظرفیت تغییر مکان لوله‌کشی

۱- ظرفیت تغییر مکان لوله‌کشی

ظرفیت تغییر مکان دهانه لوله‌کشی از رابطه (۴) محاسبه می‌شود. تغییر مکان نسبی تکیه‌گاهی باید از ظرفیت تغییر مکان مجاز ( $\Delta$ ) کوچک‌تر باشد.

$$\delta_a = L_{PS} \cdot f_p \quad (4)$$

$L_{PS}$ : طول دهانه مجاز (mm)

$\delta_a$ : ظرفیت تغییر مکان لوله کشی در جهت زلزله (mm)

$f_p$ : ظرفیت تغییر مکان طول لوله کشی در هر میلی متر، مقدار آن از رابطه (۵) به دست می آید.

$$f_p = C \cdot \varepsilon_y \cdot L_{PS} / d \quad (۵)$$

C: ثابت تغییر شکل مجاز دهانه لوله کشی و برابر با ۰/۶۷ می باشد.

d: بیشترین قطر خارجی دهانه لوله (mm)

$\varepsilon_y$ : کمترین مقدار کرنش تسلیم برای دمای طراحی و دمای عادی مصالح لوله کشی که از رابطه (۶) بدست می آید.

$$\varepsilon_y = \frac{S_y}{E} \quad (۶)$$

$S_y$ : مقاومت تسلیم یا ۰/۲٪ مقاومت در دمای طراحی مصالح ( $N/mm^2$ )

E: مدول یانگ در دمای طراحی مصالح ( $N/mm^2$ )

۲- ظرفیت تغییر مکان اتصال انبساطی

ظرفیت تغییر مکان دهانه لوله با اتصال انبساطی متناظر با کرنش مجاز قید شده در مشخصات اتصال انبساطی می باشد.

۳- برای شکل ۳ کنترل به شکل زیر می باشد:

۳-۱- حالتی که قطر خارجی انشعاب از نصف قطر لوله اصلی بیشتر است.

ظرفیت تغییر مکان طول تصویر  $L_j(1b) = (L_1 + L_b)$ ،  $L_j(12) = (L_1 + L_2)$ ،  $L_j(2b) = (L_2 + L_b)$  به ترتیب

به صورت  $\delta_a(12)$ ،  $\delta_a(1b)$  و  $\delta_a(2b)$  فرض شده و تغییر مکان نسبی نقطه تکیه گاهی  $S_1 - S_2$ ،  $S_1 - S_b$ ،  $S_2 - S_b$

به ترتیب به صورت  $\Delta(12)$ ،  $\Delta(1b)$  و  $\Delta(2b)$  فرض می شوند.

سپس ارزیابی ظرفیت تغییر مکان با تأیید روابط  $\Delta(12) \leq \delta_a(12)$ ،  $\Delta(1b) \leq \delta_a(1b)$  و  $\Delta(2b) \leq \delta_a(2b)$  انجام

می شود.

در این شکل، فرض می شود جهت زلزله عمود بر راستای کاغذ باشد و  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  نقاط تکیه گاهی هستند که

راستای عمود بر صفحه را مهار می کنند.

۳-۲- در حالتی که قطر خارجی انشعاب برابر یا کم تر از نصف قطر لوله اصلی است.

ارزیابی ظرفیت تغییر مکان با تأیید رابطه های زیر انجام می شود.

$$\frac{\Delta(1b) + \Delta(2b)}{2} + 20 \left( \frac{L_{12}}{L_{PS}} \right) \leq \delta_a(T_b) \quad \text{و} \quad \Delta(12) \leq \delta_a \quad (۷)$$

در این جا، فرض می کنیم  $\delta_a(T_b)$  ظرفیت تغییر مکان  $L_{PS}$ ،  $L_{PS}$  دهانه مجاز و همچنین  $L_{12}$  طول دهانه لوله

هستند.

## ۱-۴- روش محاسبه تغییر مکان نسبی

## ۱- تغییر مکان نسبی

برای ارزیابی ظرفیت تغییر مکان دهانه لوله، تغییر مکان در راستای زلزله برابر با تغییر مکان سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی فرض می‌شود که از روش زیر و براساس ارتفاع نقطه تکیه‌گاهی، به‌دست می‌آید.

تغییر مکان نسبی دهانه لوله‌کشی  $\Delta$  از رابطه (۸) به‌دست می‌آید.

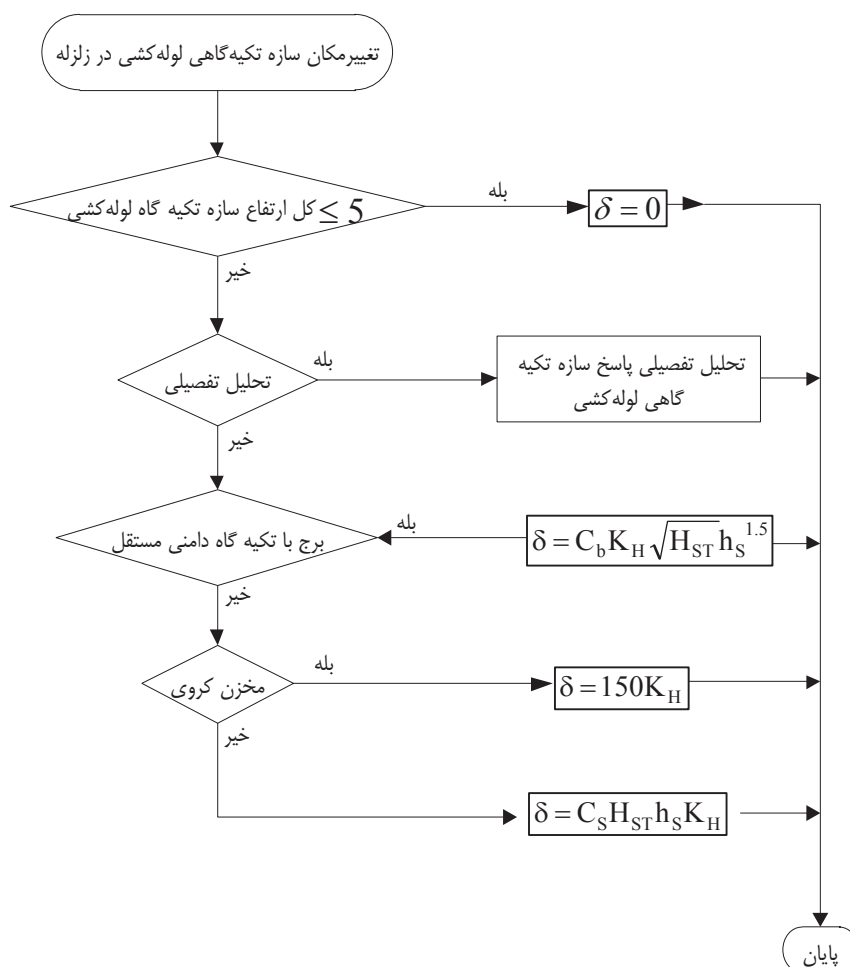
$$\Delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (۸)$$

$\Delta$ : تغییر مکان نسبی دهانه لوله‌کشی (mm)

$\delta_1$ : تغییر مکان نقطه اتکاء ۱ در زلزله (mm)

$\delta_2$ : تغییر مکان نقطه اتکاء ۲ در زلزله (mm)

۲- مراحل محاسبه تغییر مکان سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در زلزله  
مراحل محاسبه در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- مراحل محاسبه تغییر مکان سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در زلزله

همان‌طور که در ارزیابی تغییر مکان نشان داده شده است، اگر ارتفاع سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی برابر با ۵ متر یا کمتر باشد، می‌توان از ارزیابی تغییر مکان صرف‌نظر کرد.

۱- تغییر مکان نقطه اتکای لوله‌کشی برج با تکیه‌گاه دامنی مستقل در هر ارتفاعی در زلزله بر حسب میلی‌متر از رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$\delta = C_b K_H \sqrt{H_{st}} \cdot h_s^{1.5} \quad (9)$$

$K_H$ : شدت لرزه‌ای افقی در تراز زمین با در نظر گرفتن سطح اهمیت سیستم لوله‌کشی

$C_b$ : ۱

$H_{st}$ : ارتفاع کل سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی ( m )

$h_s$ : ارتفاع نقطه اتکاء لوله‌کشی ( m )

۲- تغییر مکان مخزن کروی در زلزله از رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود.

$$\delta = 150 K_H \quad (10)$$

$K_H$ : شدت لرزه‌ای افقی در تراز زمین با در نظر گرفتن سطح اهمیت سیستم لوله‌کشی

۳- تغییر مکان نقطه اتکای لوله‌کشی سایر سازه‌های تکیه‌گاهی در زلزله در هر ارتفاعی از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود.

$$\delta = C_s \cdot K_H H_{st} \cdot h_s \quad (11)$$

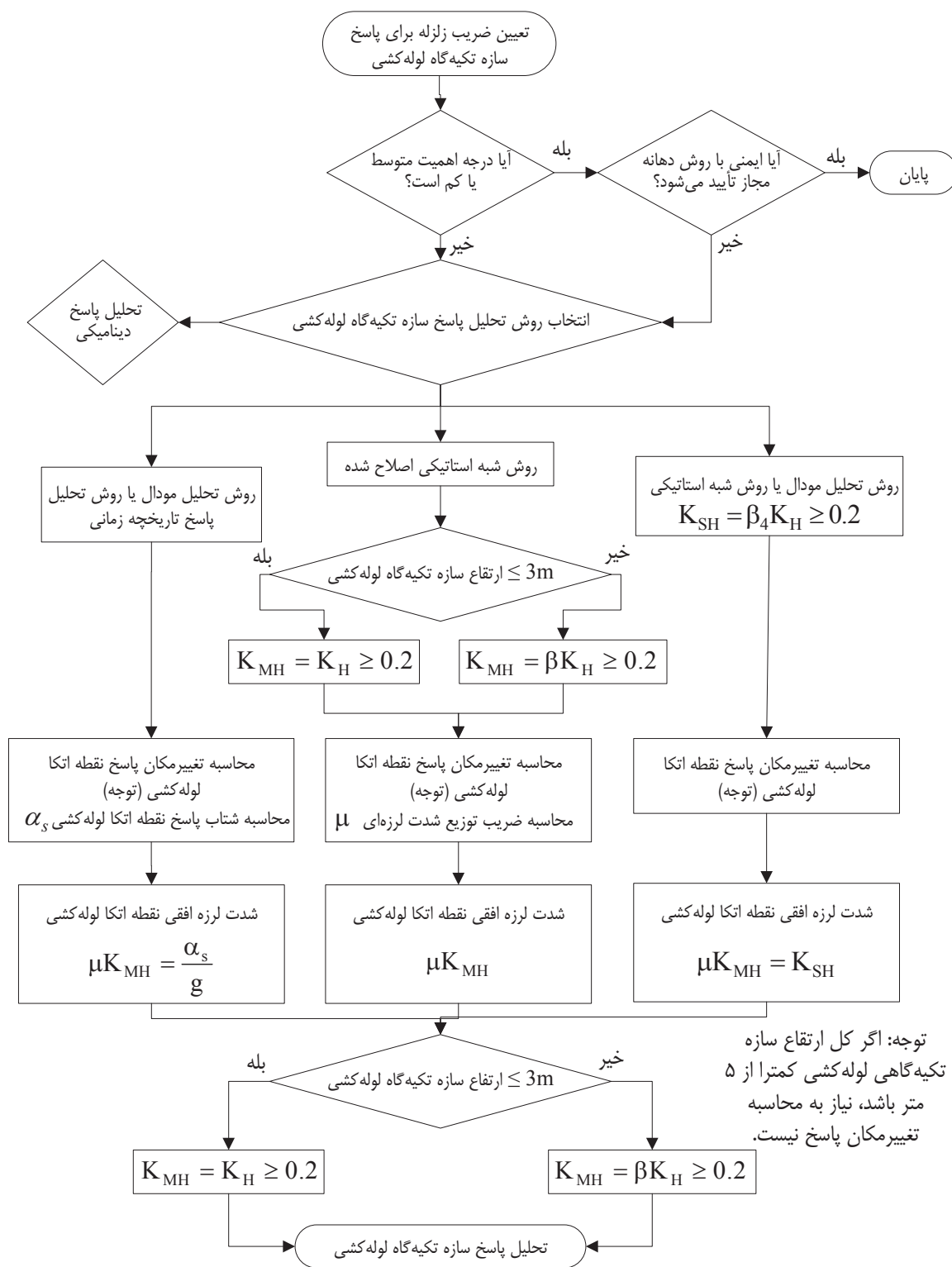
$K_H$ : شدت لرزه‌ای افقی در تراز زمین مربوط به اهمیت سیستم لوله‌کشی

$C_s$ : ۰/۷



### ۳- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاه لوله‌کشی

شکل ۶ نشان‌دهنده تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاه لوله‌کشی می‌باشد.



شکل ۶- مراحل طراحی پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی



## ۱- درجه اهمیت سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی

در تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، درجه اهمیت بر اساس درجه اهمیت لوله‌کشی مربوطه، شتاب و تغییر مکان پاسخ در نقطه اتکاء لوله‌کشی محاسبه می‌شود. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی بر اساس بیشترین درجه اهمیت از بین درجه اهمیت تجهیزات و لوله‌کشی مرتبط با سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی انجام می‌شود.

## ۲- ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی به روش شبه استاتیکی

ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی،  $\beta_4$  سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی طراحی شده به روش شبه استاتیکی، بر اساس ارتفاع  $H$  از تراز زمین در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- بزرگ‌نمایی پاسخ افقی  $\beta_4$ 

H(m)	$\beta_4$
$H(m) \leq 16$	2.0
$16 < H(m) < 35$	$1.04 + 0.06H$
$H(m) \geq 35$	3.14

## ۳- ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی به روش شبه اصلاح شده

ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، طراحی شده به روش شبه استاتیکی اصلاح شده از ضرب ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ استاندارد در ضریب اصلاح به دست می‌آید که ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ استاندارد، براساس پیروید طبیعی و نوع زمین در محل سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی و ضریب اصلاح براساس ضریب میرایی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی می‌باشد.<sup>۱</sup>

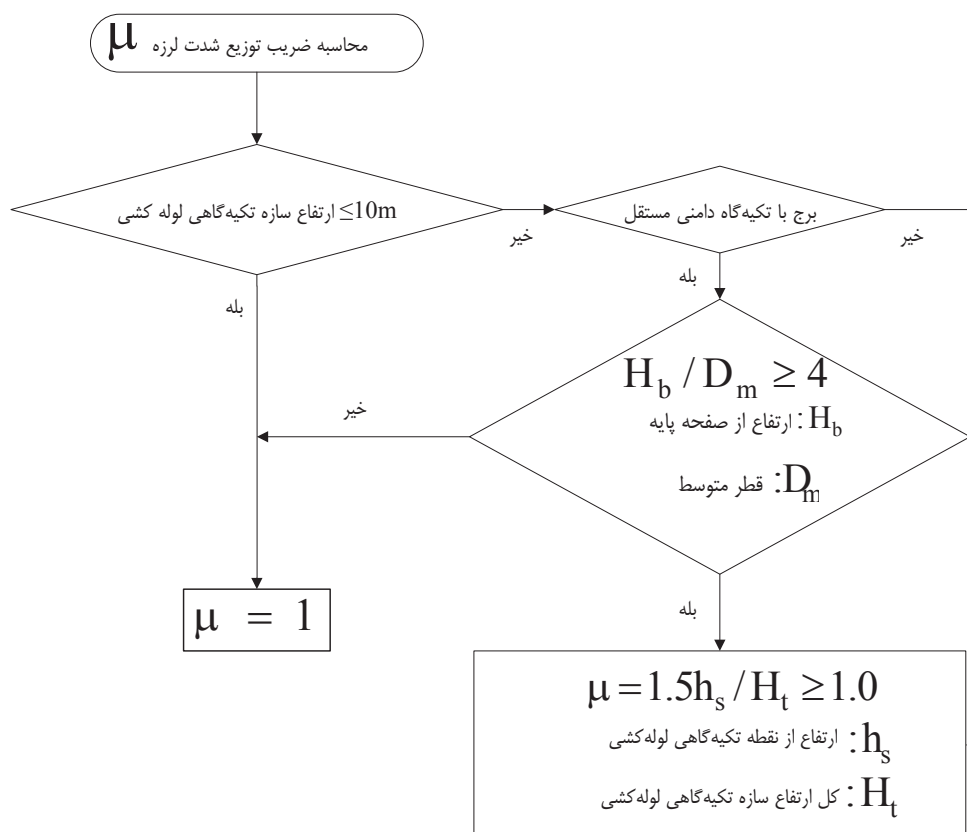
## ۴- ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ قائم

ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ قائم در برج با تکیه‌گاه دامنی مستقل، برابر  $1/5$  و در سایر سازه‌های تکیه‌گاهی لوله‌کشی برابر ۲ است.

## ۵- ضریب توزیع شدت لرزه‌ای

زمانی که تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی به روش شبه استاتیکی اصلاح شده انجام می‌شود، ضریب توزیع شدت لرزه‌ای  $\mu$  بر اساس نوع و ارتفاع سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، محاسبه می‌شود.

<sup>۱</sup> این موارد در راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی آورده شده است.



برای اتکاء لوله‌کشی در پوسته مخزن کروی، چون کل پوسته جابه‌جا می‌شود:

$$h_s : \text{ارتفاع مرکز پوسته (mm)}$$

$$H_t : \text{ارتفاع تاج بالایی پوسته کروی (mm)}$$

$$\mu < 1.0 \text{ پس } \mu = 1.0$$

شکل ۷- توزیع شدت لرزه‌ای، در حالتی که سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی به روش ضریب زلزله اصلاح شده تحلیل می‌شود

#### ۴- مدل تحلیلی و نیروی لرزه‌ای اصلاح شده طراحی سیستم لوله‌کشی

برای تحلیل پاسخ شتاب و تغییر مکان، مدل تحلیلی سیستم لوله‌کشی بر اساس قواعد کلی زیر تهیه می‌شود.

۱- مدل تحلیلی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی بر اساس مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای برج‌ها و مخازن و سازه قابی، تهیه می‌شود.

۲- در مدل تحلیلی لوله‌کشی، لوله مستقیم به صورت المان تیر و لوله منحنی به صورت المان تیر منحنی در نظر گرفته می‌شوند.

۳- در کل، مدل‌سازی تحلیلی لوله‌کشی بین نقاط گیردار انجام می‌شود. هرچند اگر از نقطه نظر مکانیکی بررسی گردد، تنها به این نقاط محدود نمی‌شود.

۴- صلبیت المان تیری لوله‌کشی با کم کردن مقدار مجاز خوردگی از ابعاد اسمی، محاسبه می‌شود.

۵- برای محاسبه وزن، مقدار مجاز خوردگی در نظر گرفته می‌شود.

۶- برای محاسبه تنش لوله‌کشی، مقدار مجاز خوردگی در نظر گرفته می‌شود.

## ۵- محاسبه تنش لوله‌کشی

۱- ترکیب بار

برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای، ترکیبات بار لوله‌کشی در جدول (۵) استفاده می‌شود.

جدول ۵- ترکیب بار در طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی

نیروی زلزله		وزن محرک	فشار سیال	نوع تنش
تغییر مکان نسبی	نیروی اینرسی			
	○	○	○	تنش طولی $\sigma_l$
○ سازه تکیه‌گاهی	○			تنش تناوبی $\sigma_E$

۲- ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش

برای محاسبه تنش طولی لوله‌کشی و تنش تناوبی، ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش از جدول (۶) به‌دست می‌آید. هرچند، اگر اطلاعات کافی موجود باشد، به این مقادیر محدود نخواهد بود.

۳- ترکیب تنش‌های ناشی از زلزله در راستاهای مختلف

در ارزیابی تنش محاسباتی، نامساعدترین راستای زلزله به‌کار برده می‌شود. اگر تعیین نامساعدترین راستای زلزله مشکل باشد، دو راستای افقی به صورت مستقل از هم اعمال می‌شوند. برای ترکیب راستای افقی و قائم زلزله، تنش دو راستای افقی و راستای قائم محاسبه شده و سپس از مجموع قدر مطلق ممان و نیروی محوری بدست می‌آید.

۴- تغییر مکان نسبی

در حالتی که نقاط اتکاء لوله‌کشی بر روی تکیه‌گاه‌های مختلفی قرار دارند، مقدار تغییر مکان نسبی بین نقاط اتکاء مختلف باید برای ارتعاش در راستاهای مختلف محاسبه شوند.

۵- نیروی خارجی برای ارزیابی فلنج و افشانه تجهیزات

در ارزیابی فلنج و افشانه تجهیزات، مجموع قدر مطلق نیروی محوری و لنگر مؤلفه‌های توضیح داده شده در بالا، نیروی خارجی در نظر گرفته می‌شود.

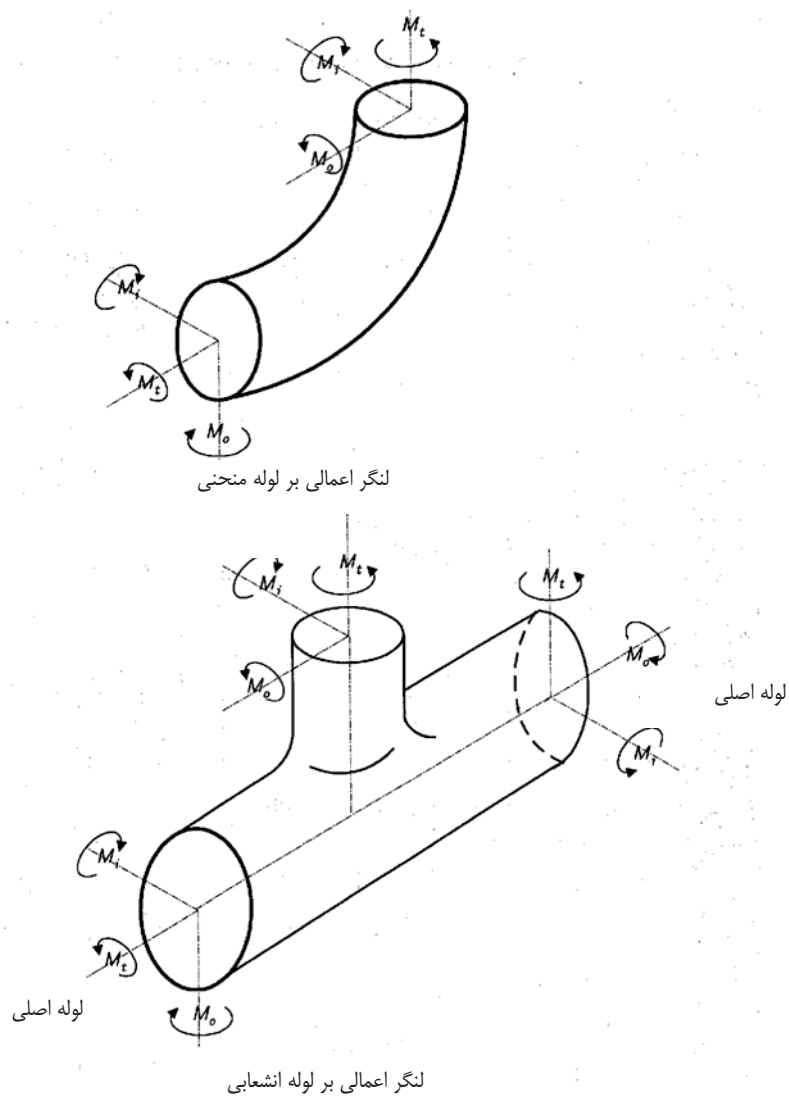
۶- خصوصیات محاسبه تنش

برای محاسبه تنش، مدول الاستیسیته طولی در دمای بهره‌برداری استفاده می‌شود. مقدار مدول الاستیسیته در بند ۳-۴ از متن داده شده است. نسبت پواسون  $0/3$  مناسب می‌باشد.

۷- توزیع شدت لرزه‌ای در ارتفاع لوله‌کشی

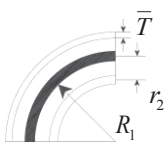
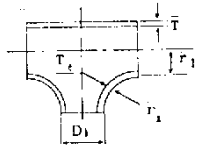
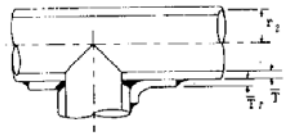
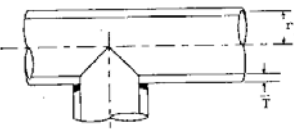
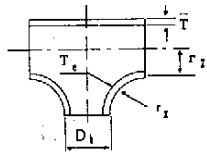
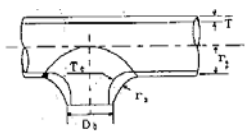
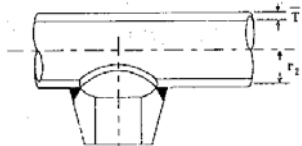
در صورت تغییر شدت لرزه‌ای افقی اصلاح شده طراحی در نقاط اتکاء لوله‌کشی در ارتفاع، استفاده از توزیع خطی، مناسب می‌باشد.

تقریباً متوسط شدت لرزه‌ای اصلاح شده افقی طراحی دو نقطه اتکاء در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که توزیع آن متمایل به یک طرف باشد، توزیع شدت لرزه‌ای نیاز به دقت بیشتری دارد.



شکل ۸- تعریف لنگر

جدول ۶- ضریب انعطاف پذیری و ضریب تشدید تنش

طرح ساده	مقدار مشخصه انعطاف پذیری $h$	ضریب تشدید تنش (۲) (۳)		ضریب انعطاف پذیری $k$	نوع اتصال
		درون صفحه‌ای $i_i$	برون صفحه‌ای $i_o$		
	$\frac{\bar{T}R_1}{r_2^2}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{0.75}{h^{2/3}}$	$\frac{1.65}{h}$	زانویی جوش شده یا خم لوله (۲) (۴) (۵) (۶) (۷)
	$3.1 \frac{\bar{T}}{r_2}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	1	۹ و ASME B16 لوله T شکل جوش شده $r_x \geq 1/8D_b$ $T_e \geq 1.5\bar{T}$ (۲)(۴) (۶)(۱۱)(۱۳)
	$\frac{(\bar{T} + 1/2\bar{T}_r)^{2.5}}{\bar{T}^{1.5}r_2}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	1	لوله T شکل مسلح شده با ورق یا زین (۲)(۴) (۸)(۱۲)(۱۳)
	$\frac{\bar{T}}{r_2}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	1	لوله T شکل مسلح نشده (۲)(۴) (۱۲)(۱۳)
	$\left(1 + \frac{r_x}{r_2}\right) \frac{\bar{T}}{r_2}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	1	لوله T شکل جوش شده خروجی $r_x \geq 0.05D_b$ $T_e < 1.5\bar{T}$ (۲)(۴) (۱۳)
	$3.1 \frac{\bar{T}}{r_2}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	1	اتصال انشعابی جوش شده $r_x \geq 1/8D_b$ $T_e \geq 1.5T$ (۲)(۴) (۱۱)(۱۳)
	$3.3 \frac{\bar{T}}{r_2}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	1	اتصال انشعابی جوش شده (نوع یکپارچه مسلح) (۲)(۴) (۹)(۱۲)

مقادیر داخل پرانتز اشاره به نکته‌های زیر دارد.

جدول ۷- ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش

ضریب تشدید تنش $i$	ضریب انعطاف‌پذیری $k$	نوع اتصال
۱/۰	۱	اتصال لوله از نوع جوشکاری لب به لب، کاهنده یا فلنج انتهایی لوله با جوشکاری لب به لب
۱/۲	۱	فلنج لوله با جوش دو طرفه
نکته ۱۴	۱	اتصال با جوش گوشه یا لوله با فلنج انتهایی با جوشکاری لوبیایی
۱/۶	۱	فلنج با اتصال روی هم (با JPI-7S-15 و ASMEB16.9 stub end)
۲/۳	۱	اتصال پیچی یا لوله با فلنج پیچی
۲/۵	۵	لوله مستقیم موج‌دار یا خم موج‌دار، نکته ۱۰

نکته:

۱- زمانی که داده‌های مناسبی وجود ندارد، از جداول ۶ و ۷ استفاده می‌شود. این جدول برای  $D/T \geq 100$  معتبر است.  
 ۲- ضریب انعطاف‌پذیری،  $k$  ذکر شده در این جداول برای زانویی به کار می‌رود. ضریب انعطاف‌پذیری  $k$  و ضریب تشدید تنش  $i$ ، برابر با ۱ یا بیشتر و در مورد پیچ یک در نظر گرفته می‌شوند. هر دو ضریب در خم لوله برای طول مؤثر انحناء (به صورت خط پرنرنگ تر در شکل نشان داده شده است) و در لوله  $T$  شکل در محل تقاطع اعمال می‌شوند.

۳- بصورت محافظه کارانه می‌توان برای هر دو ضریب  $i_1$  و  $i_0$  از رابطه  $\frac{0.9}{h^{2/3}}$  استفاده نمود.

۴- مقدار مشخصه انحناء  $h$  از رابطه ذکر شده محاسبه می‌شود و مقدار  $k$  و  $i$  را می‌توان مستقیماً به دست آورد. که در آن:

$\bar{T}$ : برای زانویی، ضخامت اسمی اتصال لوله و برای لوله  $T$  شکل، ضخامت اسمی لوله نصب شده (mm)

$T_e$ : ضخامت بخش گوشه لوله  $T$  شکل (mm)

$\bar{T}_r$ : ضخامت صفحه یا زین (mm)

$T_2$ : متوسط شعاع لوله نصب شده (mm)

$R_1$ : شعاع انحناء زانویی جوش شده یا خم لوله (mm)

$R_x$ : شعاع انحناء روی سطح خارج از محدوده انشعاب در وجهی که شامل محور لوله مادر و لوله بیرون آمده است.

(mm)

$D_b$ : قطر خارجی لوله بیرون آمده (mm)

۵- وقتی فلنج در قسمتی از لوله یا دو انتهای آن نصب می‌شود، مقدار مشخصه انحناء  $h$  محاسبه شده، مقدار ضریب  $C_1$  مستقیماً به دست می‌آید (با استفاده از شکل ۹) و مقادیر  $h$  و  $i$  جدول بر اساس این ضریب، اصلاح می‌شوند.

۶- ضخامت اتصال لوله با جوشکاری لب به لب، به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از ضخامت لوله نصب شده می‌باشد. اگر اثر این ضخامت در نظر گرفته نشود، ممکن است خطای زیادی ایجاد شود.

۷- فشار، اثر زیادی بر مقدار  $k$  و  $i$  زانویی و خم لوله با قطر بزرگ و دیواره نازک دارد. اصلاح مقادیر جدول با استفاده از روابط زیر انجام می‌شود. در این دو رابطه  $E$  مدول الاستیسیته طولی است. (MPa)

$$\square \text{ تقسیم بر } 1 + 6 \left( \frac{P}{E} \right) \left( \frac{r_2}{T} \right)^{7/3} \left( \frac{R_1}{r_2} \right)^{1/3} \text{ می شود.}$$

$$\square \text{ تقسیم بر } 1 + 3.25 \left( \frac{P}{E} \right) \left( \frac{r_2}{T} \right)^{5/2} \left( \frac{R_1}{r_2} \right)^{2/3} \text{ می شود.}$$

۸- برای  $\bar{T}_r > 1.5\bar{T}$  مقدار  $h$  به صورت مقابل می شود  $h = 4\bar{T}/r_2$

۹- فشاری معادل با فشاری که به لوله مستقیم وارد می شود به این اتصال وارد می گردد.

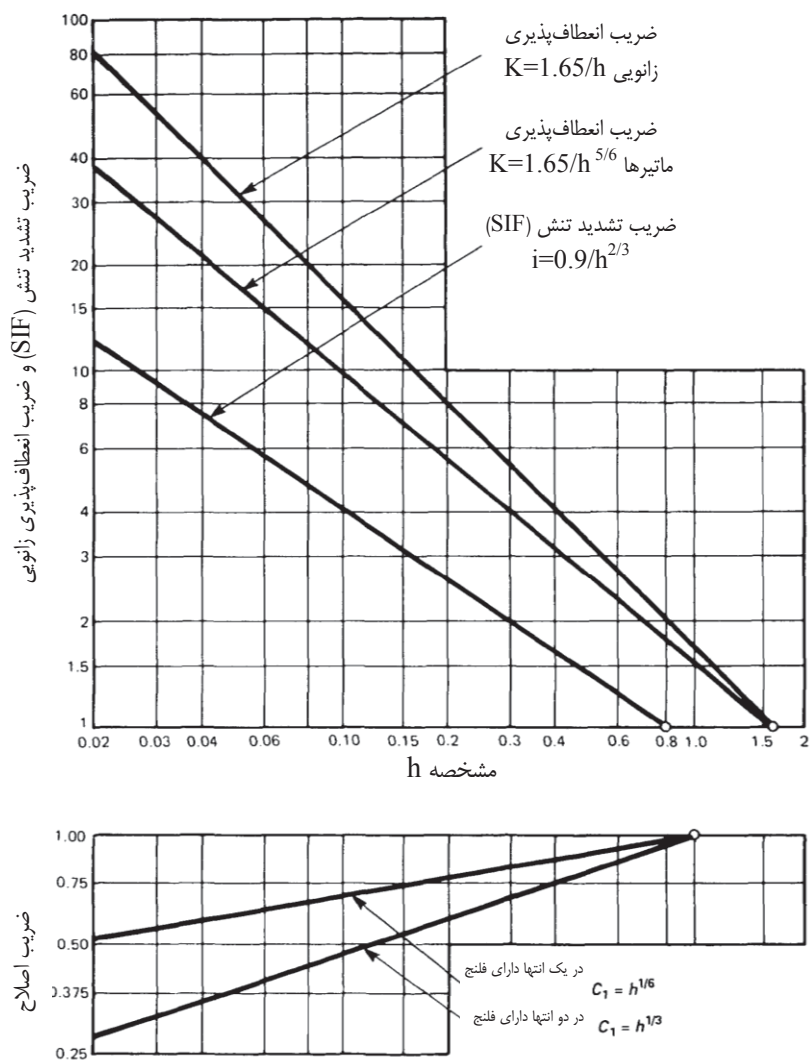
۱۰- هر دو ضریب برای خم استفاده می شوند. ضریب انعطاف پذیری پیچ برابر  $0/9$  فرض می شود.

۱۱- مقدار مشخصه خم  $h$  در حالتی که داده‌های کافی وجود ندارد و خم در محدوده مناسب قطر و ضخامت قرار ندارد، برابر با  $\bar{T}/r_2$  می باشد.

۱۲- برای اتصال انشعابی با قطرهای مختلف که نسبت قطر بیرونی لوله انشعابی به لوله اصلی در محدوده  $0.5 < d/D < 1.0$  است، ضریب تشدید تنش SIF برون صفحه‌ای که از شکل ۹ قابل استخراج است، ممکن است مناسب نباشد. این نشان می دهد که جوشکاری صیقلی، مقدار SIF را کاهش می دهد. بنابراین SIF مناسب باید انتخاب شود.

۱۳- در ضریب تشدید تنش اتصال انشعابی فرض بر این است که حداقل قطر بدنه مساوی دو برابر قطر لوله اصلی باشد. لازم است ملاحظات خاصی برای لوله باریک ورودی در نظر گرفته شود.

۱۴- حداکثر تا  $2/1$  یا کم تر از  $2.1\bar{T}/C_x$ ، در نظر گرفته می شود ولی باید  $1/3$  یا بیشتر باشد.  $C_x$  در این جا نشان دهنده پایه جوش گوشه می باشد. برای طول پایه مقدار کوتاه تری فرض می شود.



شکل ۹- ضریب انعطاف پذیری و ضریب تشدید تنش (SIF)



## ۶- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی

مقدار تنش مجاز طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی بر اساس نوع تنش در جدول (۸) آورده شده است.

جدول ۸- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	نوع تنش
S	تنش طولی
$2S_y$	محدوده تنش تناوبی

S: تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار می‌باشد ( $N/mm^2$ )

$S_y$ : مقاومت تسلیم یا مقاومت معادل تسلیم با استفاده از کرنش 0.2% مصالح

جدول ۹- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای بر اساس نوع مصالح

نوع مصالح	S
(الف) مصالح با آلیاژ آلومینیوم و مصالح فولادی با ۹٪ نیکل برای دماهای پایین کم‌تر از دمای اتاق	$S = \min \{0.6S_u, 0.9S_y\}$
(ب) مصالح فولادی ضد زنگ استنیتی و مصالح فولادی با آلیاژ بالای نیکل، استفاده شده در دمایی بالاتر از دمای اتاق	$S = \min \{0.6S_{u0}, 0.6S_u, 0.9S_{y0}, S_y\}$
(ج) مصالحی به غیر از بند (الف) و (ب)	$S = \min \{0.6S_{u0}, 0.6S_u, 0.9S_{y0}, S_y\}$

$S_u$  و  $S_{u0}$ : مقاومت کششی در دمای طراحی و عادی مصالح که مقدار آن چهار برابر تنش کششی مجاز است.

$S_y$  و  $S_{y0}$ : مقاومت تسلیم یا مقاومت معادل تسلیم با استفاده از کرنش 0.2% مصالح

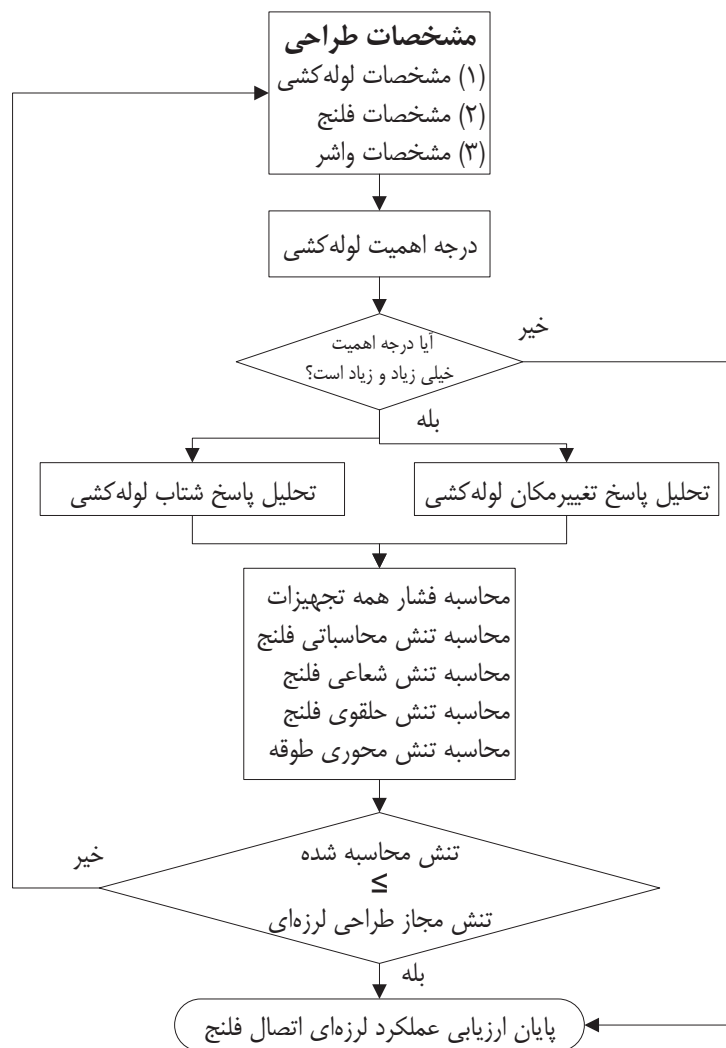
## ۷- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی

۱- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی در شکل ۱۰ نشان داده می‌شود.

۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای براساس نوع تنش با استفاده از جدول (۱۰) تعیین می‌شود.



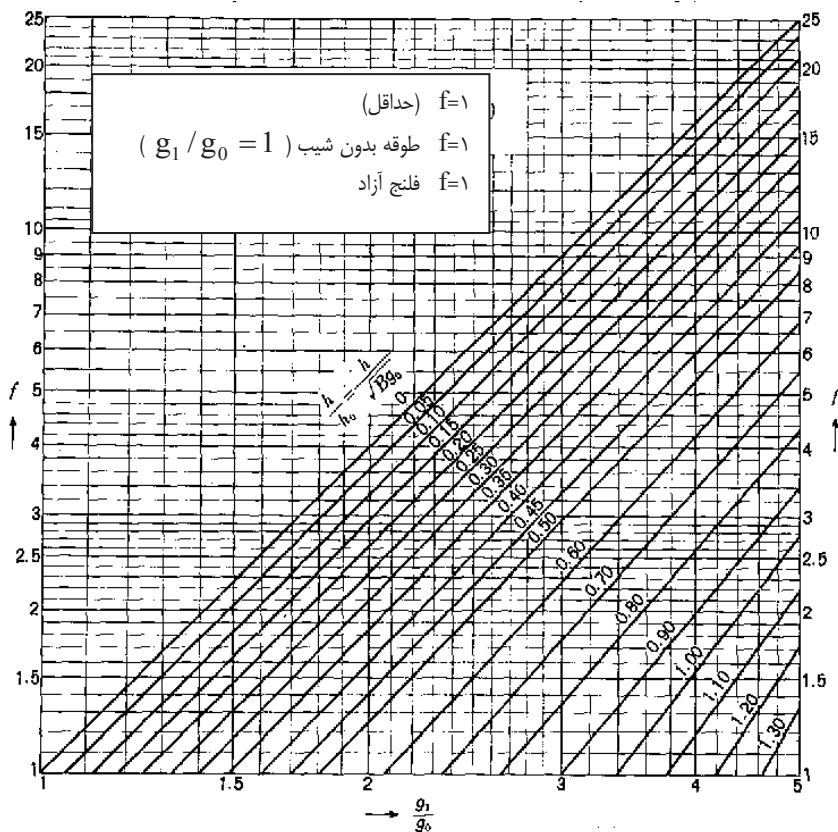
شکل ۱۰- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی

جدول ۱۰- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای اتصال فلنجی

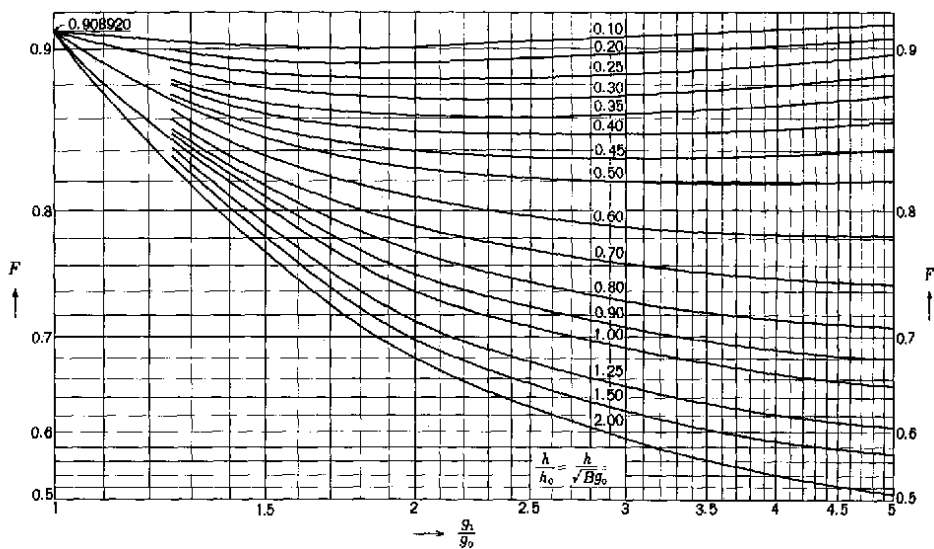
تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	نوع تنش
S	تنش شعاعی فلنج
S	تنش حلقوی فلنج
2S <sub>y</sub>	تنش محوری طوقه

S و S<sub>y</sub> در بخش ۳-۴ توضیح داده شده‌اند.

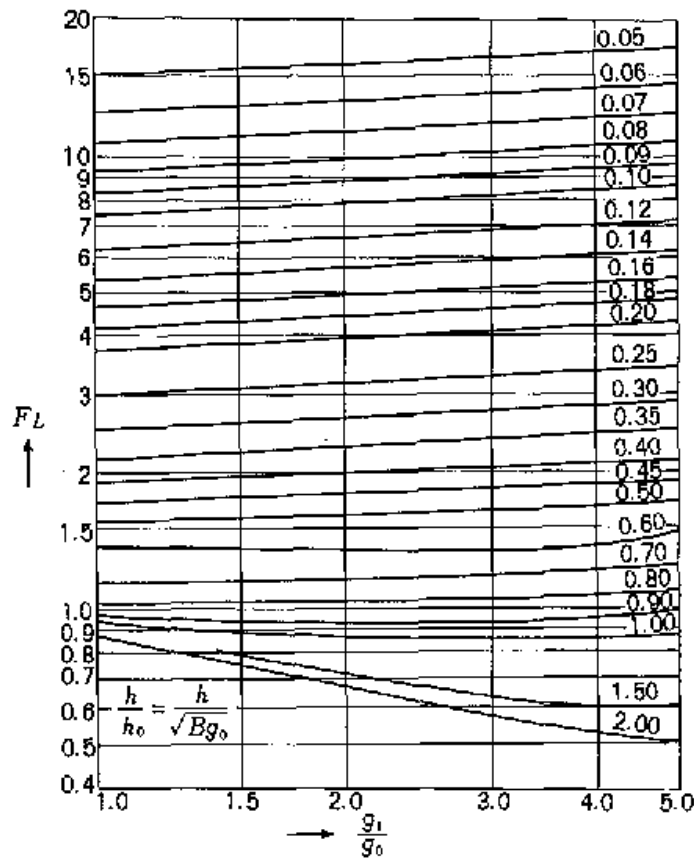
۳- پارامترهای محاسبه تنش



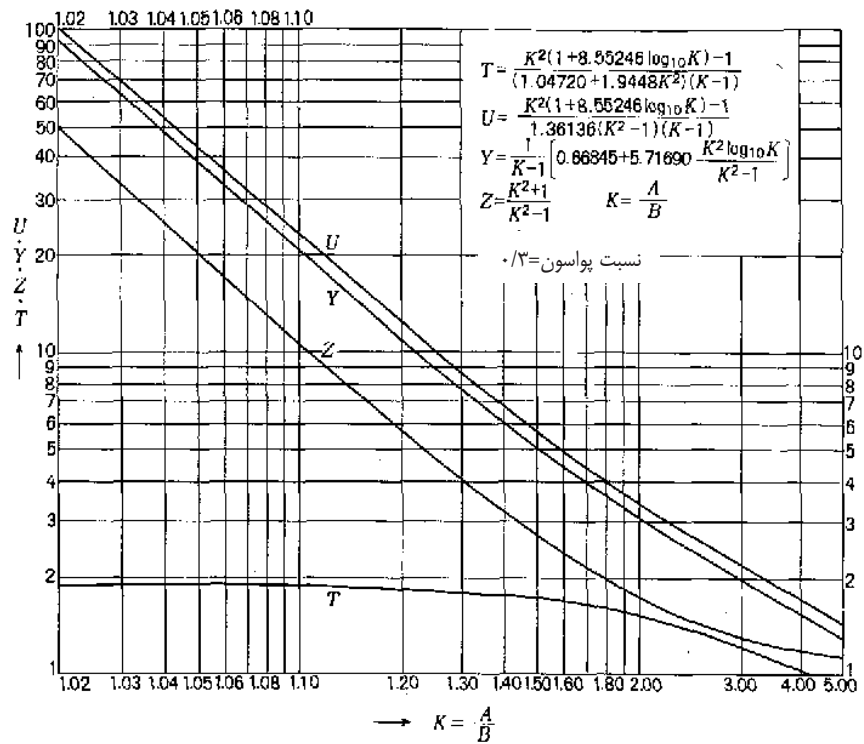
شکل ۱۱- مقدار پارامتر  $f$



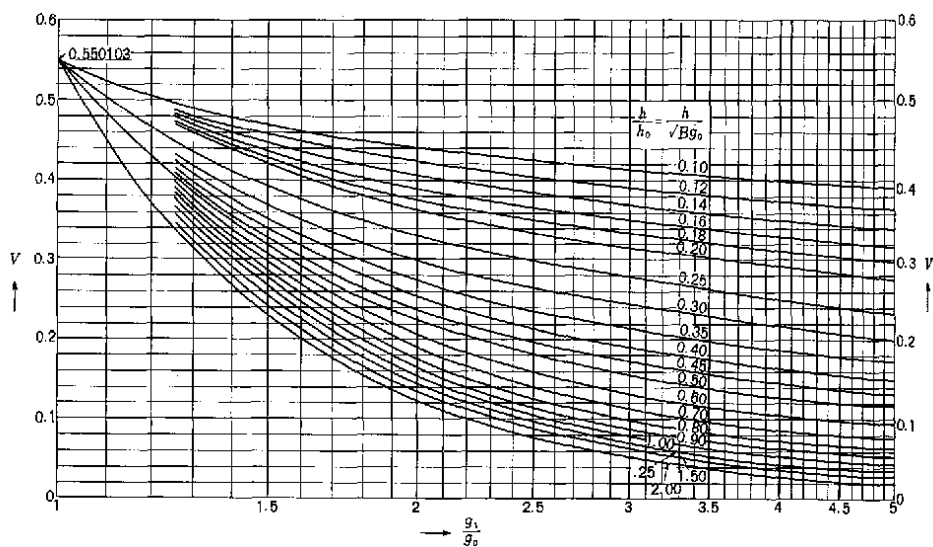
شکل ۱۲- مقدار پارامتر  $F$



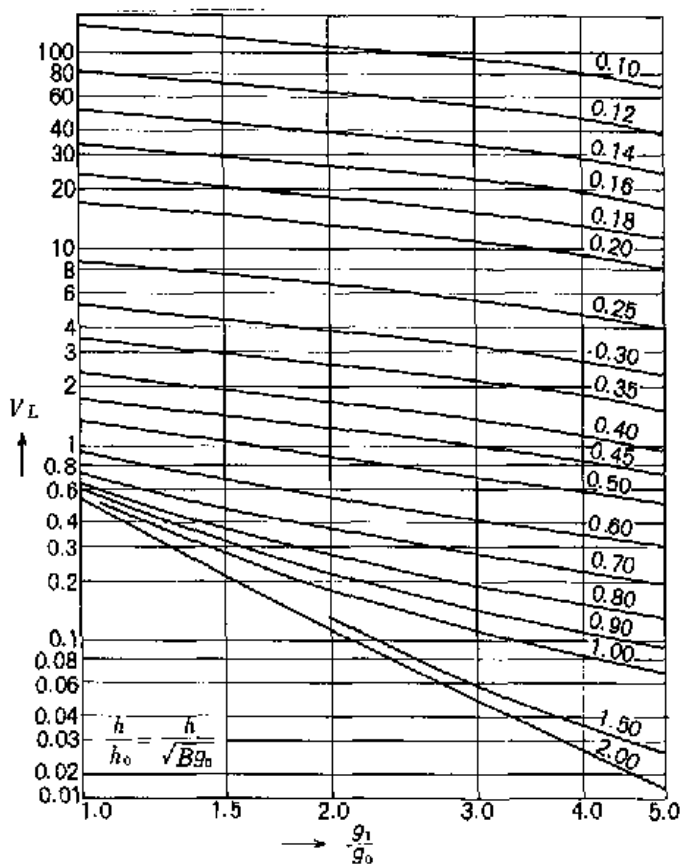
شکل ۱۳- مقدار پارامتر  $F_L$



شکل ۱۴- مقدار پارامتر  $T$  و  $Z, Y, U$



شکل ۱۵- مقدار پارامتر  $V$



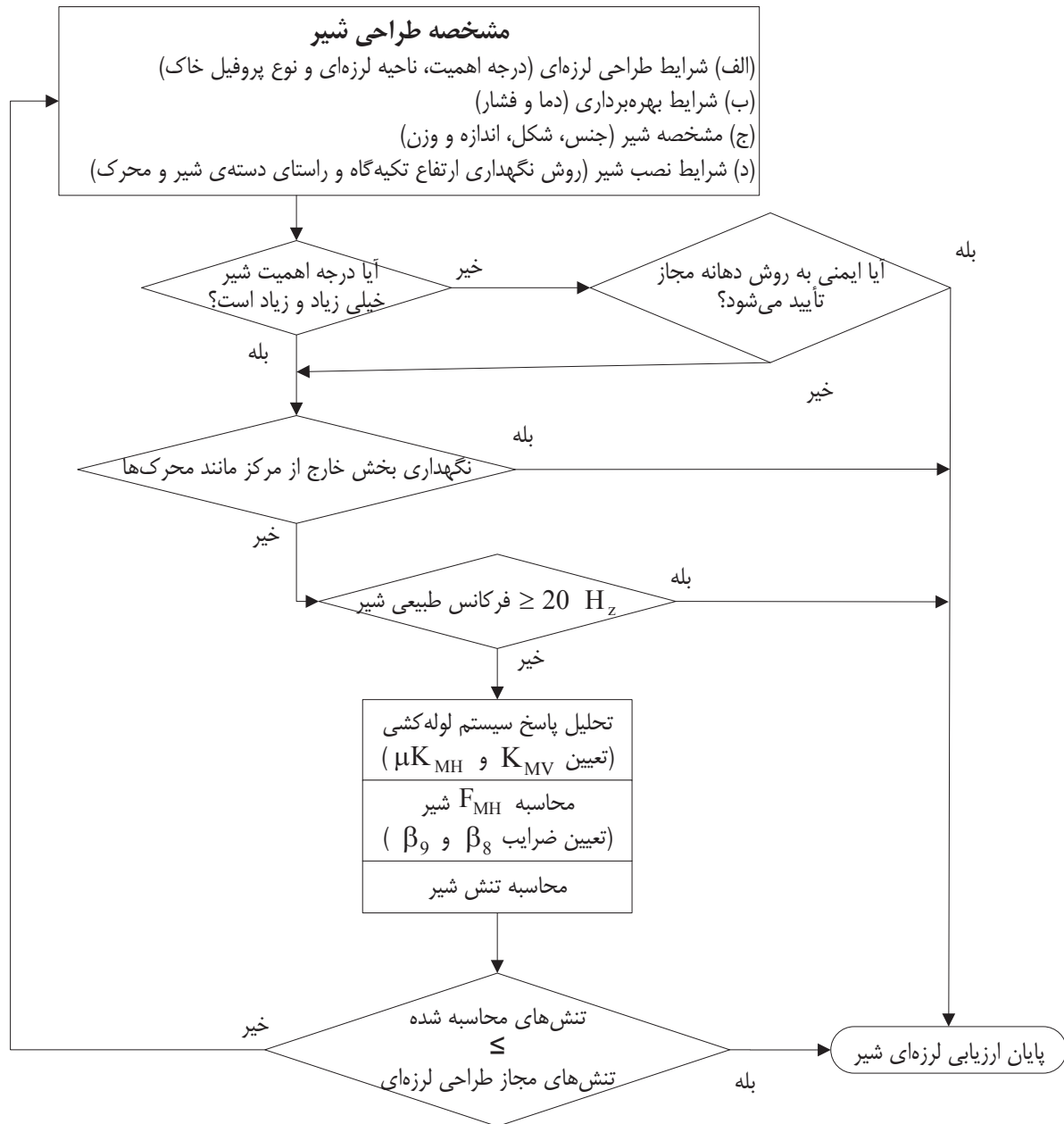
شکل ۱۶- مقدار پارامتر  $V_L$

## ۸- ارزیابی لرزه‌ای شیر

یک شیر معمولی مانند شیر دستی در اثر شتاب زلزله دچار تشدید نمی‌شود، چون فرکانس طبیعی آنها بسیار بالاست. در زلزله‌های با فرکانس طبیعی، نیروی اینرسی بزرگی در محرک با وزن زیاد و مرکز ثقل نسبتاً دور از شیر لوله‌کشی، ایجاد می‌گردد. سپس، عملکرد لرزه‌ای با محاسبه تنش در ضعیف‌ترین بخش بین بدنه اصلی شیر و قسمت‌های وزنی در خارج از مرکز لوله‌کشی، برای نیروی اینرسی ناشی از زمین‌لرزه مانند شیری که فرکانس طبیعی آن کمتر از ۲۰ هرتز است، ارزیابی می‌شود. در صورتی که مقاومت، تأمین شده باشد، عملکرد قطع شیر نیز ایمن خواهد بود.

۱- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

شکل (۱۷) مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیر

۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای در جدول (۱۱) بر اساس نوع شیر بیان شده است.

جدول ۱۱- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای شیر

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	نوع شیر
0.5S	شیر قطع در هنگام زلزله
S	سایر شیرها

در این جا S مقداری است که در قسمت ۴-۳ داده شده است.

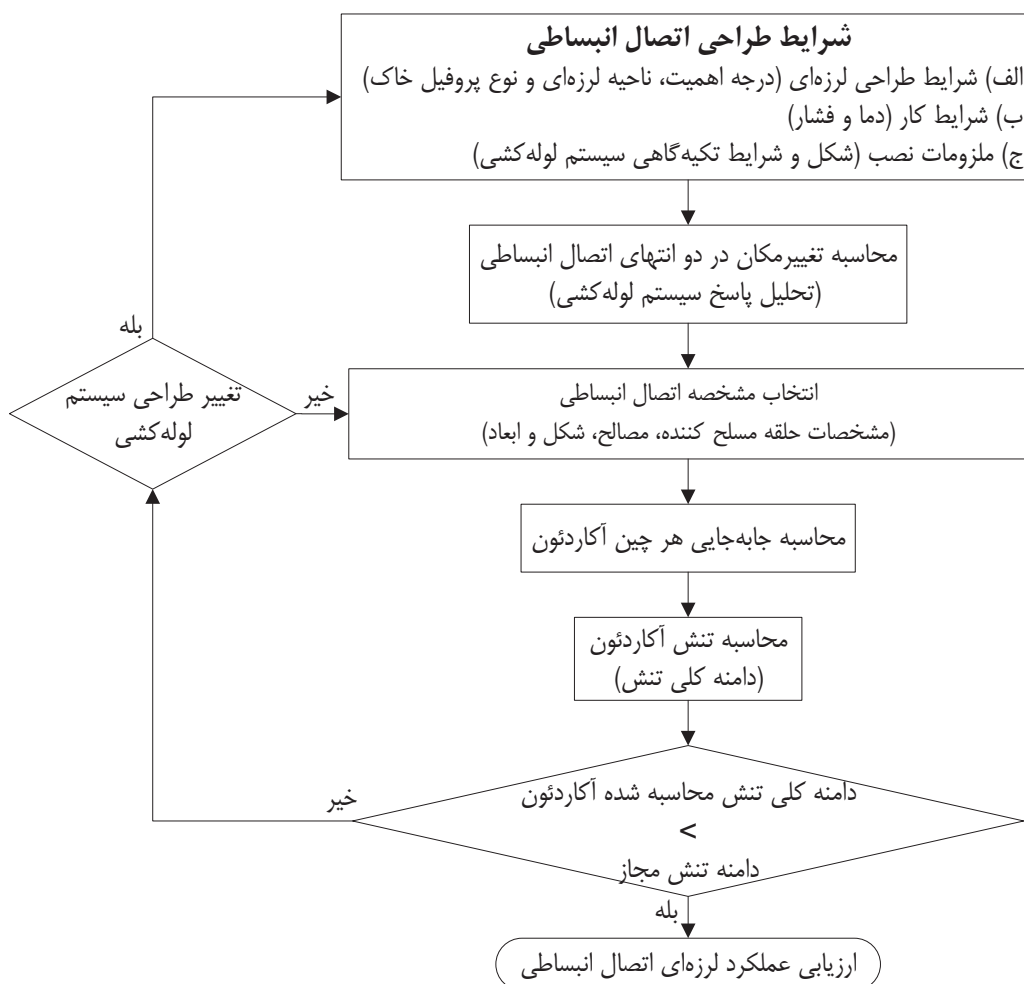
## ۹- روش ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی

در حالتی که اتصال انبساطی برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی استفاده می‌شود، باید توجه داشت که نوع مناسبی از اتصال، در موقعیت مناسب نصب شده و تکیه‌گاه در وضعیت مناسبی باشد.

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی به این صورت انجام می‌شود که دامنه حداکثر تنش محوری باید کم‌تر از دامنه کل تنش مجاز متناظر با ۵۰۰ بار تعداد تناوب‌های طراحی باشد.

### ۱- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

شکل ۱۸ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی



## ۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای برای تنش محوری ایجاد شده در آکاردئون اتصال انبساطی برابر مقدار زیر است، چون مقدار آن دو برابر دامنه تنش مجاز متناظر با ۵۰۰ بار تناوب می‌باشد.

۳- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای برای تنش محوری ایجاد شده در چین اتصال انبساطی از جنس فولاد سخت، فولاد آلیاژ پایین، فولاد ضد زنگ فریت و فولاد با قابلیت کششی بالا، برابر مقادیر زیر است:

الف)  $S_a = 2 \times 724 = 1448 \text{MPa}$  اگر کم‌ترین مقاومت کششی برابر  $551.6 \text{MPa}$  یا کم‌تر باشد.

ب)  $S_a = 2 \times 689 = 1378 \text{MPa}$  اگر کم‌ترین مقاومت کششی بین  $792.9 - 896.3 \text{MPa}$  باشد.

ج) اگر کم‌ترین مقاومت کششی بین  $551.6 - 792.9 \text{MPa}$  باشد، با استفاده از روش درون‌یابی از مقادیر بند الف) و ب) محاسبه می‌شود.

۴- برای تنش محوری آکاردئون اتصال انبساطی ساخته شده از فولاد ضد زنگ، آلیاژ نیکل (آلیاژ Ni-Cr-fe و آلیاژ Ni-Fe) و آلیاژ نیکل مس، تنش مجاز طراحی لرزه‌ای برابر  $S_a = 2 \times 1020 = 2040 \text{MPa}$  می‌باشد.

## ۱۰- روش ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

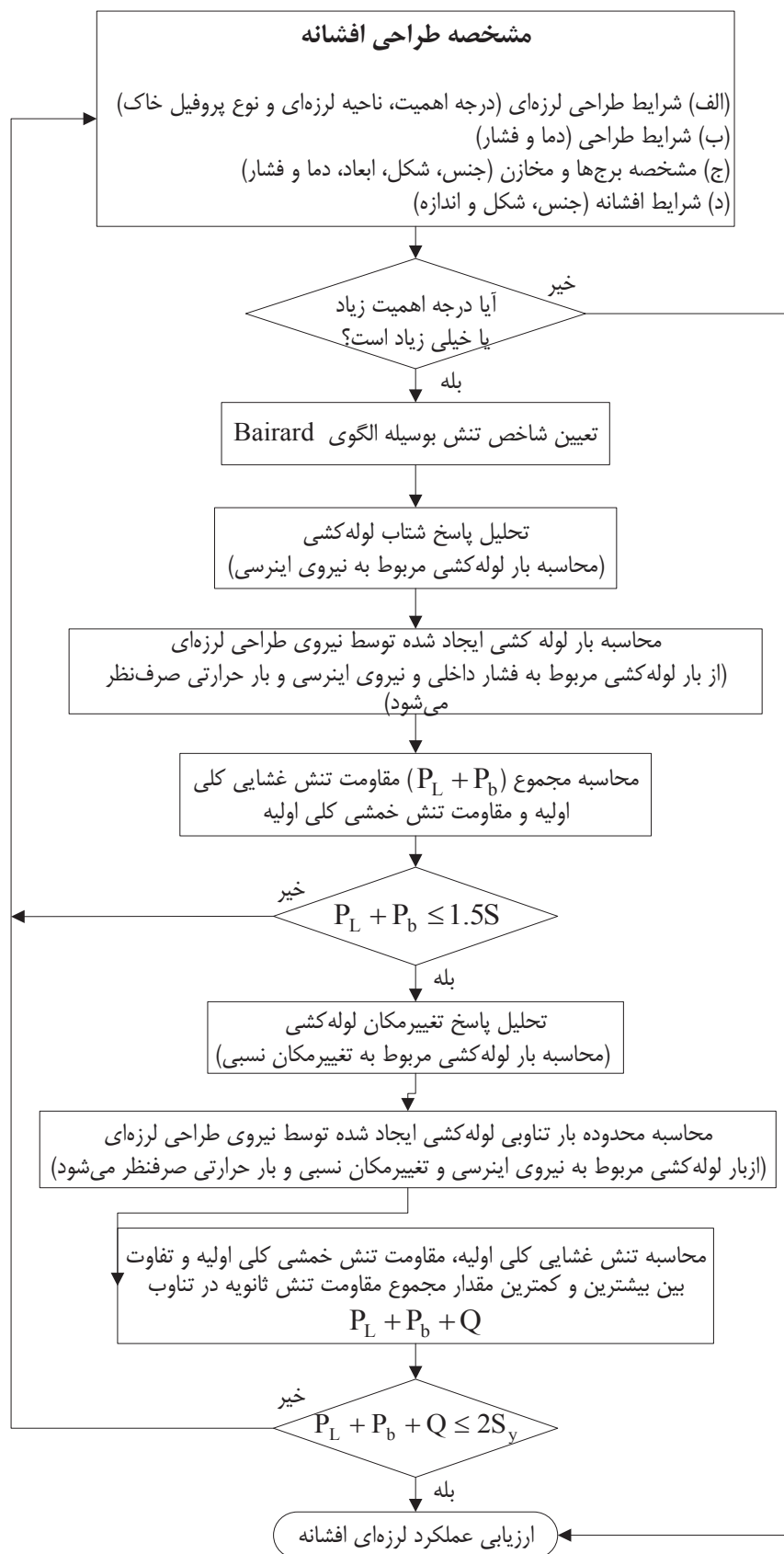
## ۱- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه

۱-۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن به این صورت انجام می‌شود که تنش اولیه محلی و اختلاف بین مقدار حداکثر مجموع تنش اولیه و تنش ثانویه در یک سیکل باید به ترتیب کم‌تر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای باشد.

۱-۲- شدت تنش افشانه برج‌ها و مخازن متصل به سیستم لوله‌کشی با درجه اهمیت بالا بر اساس نیروی لرزه‌ای افقی طراحی لوله‌کشی، نیروی لرزه‌ای قائم طراحی و بار مربوط به جابه‌جایی نقطه اتکاء لوله، محاسبه می‌شود.

۱-۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن نشان داده شده در شکل ۱۹ با یک تکنیک ساده بر اساس روش Bairard انجام می‌شود. تحلیل تفصیلی به روش اجزای محدود، دارای مراحل مشابهی می‌باشد.

۱-۴- مطالعه مقاومت محفظه تحت فشار با یک تکنیک ساده (روش Bairard) بر اساس تئوری پوسته نازک یا تحلیل تفصیلی مانند روش اجزای محدود (FEM) نشان داده شده در جدول (۱۲)، انجام می‌شود.



شکل ۱۹- مراحل ارزیابی عملکرد لوزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

## جدول ۱۲- روش محاسبه افشانه برج‌ها و مخازن

افشانه	استاندارد و تکنیک تحلیلی
محفظه فشار	(۱) - WRC107-1979 (انجمن تحقیقات جوش) / "تنش‌های محلی در پوسته‌های استوانه‌ای و کروی ناشی از بارگذاری خارجی" (بر اساس تئوری پوسته جدار نازک روش Bairard)
	(۲) - WRC297-1987 / "تنش‌های محلی در پوسته‌های استوانه‌ای ناشی از بارگذاری خارجی بر افشانه‌ها" (تکنیکی ساده بر اساس تحلیل روش اجزای محدود FEM)
	(۳) - تحلیل به روش FEM

## ۲- شدت تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای

شدت تنش مجاز طراحی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن بر اساس نوع تنش در جدول (۱۳) ارائه شده است.

## جدول ۱۳- شدت تنش مجاز طراحی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

نوع شدت تنش	شدت تنش مجاز طراحی لرزه‌ای
شدت تنش اولیه غشایی کلی	S
شدت تنش غشایی اولیه محلی و شدت تنش خمشی اولیه	1.5S
شدت تنش اولیه غشایی محلی، شدت تنش اولیه خمشی و تفاوت بین مقدار حداقل و حداکثر مجموع مقاومت تنش ثانویه در یک سیکل	2S <sub>y</sub>

در این جا، S و S<sub>y</sub> مقادیر نشان داده شده در بخش ۳-۴ هستند.

## ۱۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

## ۱- عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

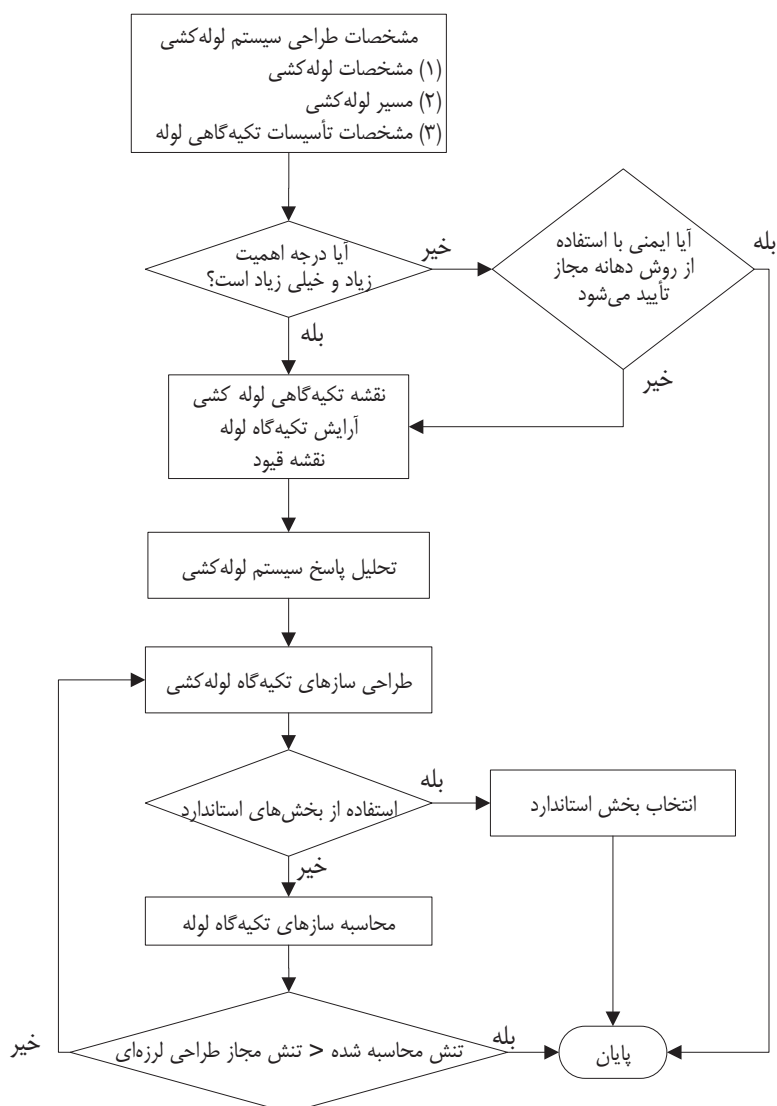
مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله که سیستم لوله‌کشی را نگه می‌دارد در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

۱-۱- کارکرد تکیه‌گاه لوله (کارکرد تکیه‌گاه) ثابت نگه‌داشتن لوله‌کشی است. همه اثرات زلزله از طریق تکیه‌گاه بر لوله‌کشی وارد شده و زمین‌لرزه به نقاط اتکاء لوله وارد می‌شود. اثرات زلزله بر لوله‌کشی را می‌توان با آرایش مناسب تکیه‌گاه کاهش داد.

## ۱-۲- نقشه تکیه‌گاه لوله‌کشی

نقشه تکیه‌گاه لوله‌کشی برای تعیین مشخصات طراحی مسیر اتصال لوله‌کشی به برج‌ها و مخازن آماده می‌شود.

در نقشه تکیه‌گاه لوله‌کشی، لوله‌کشی و قیود تکیه‌گاه مشخص می‌شود و اجازه تغییر مکان و تغییر مکان حرارتی آزاد سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در اثر زلزله و نیروهای خارجی، وزن مرده و بار باد، تعیین می‌شود.



شکل ۲۰- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

### ۳-۱- تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی

در صورت تأیید ارزیابی‌های عملکرد لرزه‌ای اجزایی از قبیل لوله‌کشی، اتصالات فلنجی و شیرها، بعد از انجام تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی بر اساس نقشه تکیه‌گاه لوله‌کشی، شرایط بارگذاری تکیه‌گاه لوله از تحلیل پاسخ بر اساس شرایط طراحی تکیه‌گاه لوله مربوطه، به‌دست می‌آید.

### ۴-۱- نقشه سازه‌ای تکیه‌گاه

تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی بر اساس نقشه تکیه‌گاه مربوطه و شکل و ابعاد تکیه‌گاه لوله انجام می‌شود.

### ۵-۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله به این صورت انجام می‌شود که تنش محاسباتی فرض شده در قسمت (۴) باید کم‌تر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای باشد.

### ۶-۱- ارزیابی ساده شده

اگر درجه اهمیت لوله‌کشی پایین بوده و طراحی به روش دهانه مجاز انجام شده باشد، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای را می‌توان حذف کرد.

#### ۱-۷- تکیه‌گاه استاندارد

اگر تکیه‌گاه لوله‌ای مورد استفاده قرار گیرد که ضد زلزله بودن آن قبلاً تأیید شده باشد و شرایط بارگذاری تکیه‌گاه لوله کمتر از محدوده بار تکیه‌گاه لوله استاندارد باشد، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای طبق بند (۴) در بالا قابل چشم‌پوشی است.

#### ۲- عملکرد و نوع تکیه‌گاه

تکیه‌گاه لوله در مهار تغییر مکان لوله‌کشی در نقطه اتکاء لوله یا نقطه گیردار تعریف شده در جدول (۱۴)، سهیم می‌باشد.

جدول ۱۴- عملکرد و تعاریف تفصیلی تکیه‌گاه لوله

تعاریف تفصیلی	طبقه‌بندی کوچک‌تر		طبقه‌بندی	
	عملکرد	نام	عملکرد	نام
به نقطه تکیه‌گاهی گیردار تبدیل می‌شود. نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در راستایی قرار می‌گیرد که تغییر مکان لوله‌کشی مهار شده است. نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در دو راستای عمود بر محور لوله‌کشی قرار می‌گیرد. ولی در صورتی که به لوله‌کشی 4B یا کمتر چسبانده و نصب شود، می‌توان سه راستا را در نظر گرفت. نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در راستای محور لوله قرار می‌گیرد. نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در سه راستا لوله قرار می‌گیرد.	تغییر مکان و دوران در سه راستا مهار می‌شود.	مهار	بار لوله‌کشی	مهار کننده‌ها
	تغییر مکان لوله‌کشی در راستای عمود بر محور مهار می‌شود.	هادی <sup>۱</sup>	در زلزله یا جابه‌جایی لوله‌کشی در اثر تغییر شکل	
	تغییر مکان در دو راستای عمود بر محور لوله‌کشی مهار می‌شود.	پیچ یا نوار U شکل	حرارتی مهار می‌گردد.	
	تغییر مکان در راستای محور لوله‌کشی مهار می‌شود.	متوقف‌کننده محوری		
	تغییر مکان در سه راستای لوله‌کشی مهار می‌شود.	متوقف‌کننده سه محوره		
نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در راستای مهار شده قرار می‌گیرد. به صورت یک نقطه تکیه‌گاه فنری عمل می‌کند. با این حال نقطه تکیه‌گاهی در روش دهانه مجاز در نظر گرفته می‌شود.	تغییر مکان کند مجاز می‌باشد، اما تغییر مکان سریع مهار می‌شود.	دستگاه جداساز سیال	جلوگیری از ارتعاش و تغییر مکان لوله‌کشی	ماشین ضد ارتعاش
	تغییر مکان کند مجاز می‌باشد، اما تغییر مکان سریع مهار می‌شود.	دستگاه جداساز از نوع کابل مکانیکی		
	تغییر مکان توسط فنر کاهش می‌یابد.	دستگاه جداساز فنری		
در صورتی که تغییر مکانی در فوق با ملاحظه به وزن، گرما و بار لرزه‌ای، وجود نداشته باشد، نقطه تکیه‌گاهی لوله در راستای قائم در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که تغییر مکانی در فوق با ملاحظه به وزن، گرما و بار لرزه‌ای، وجود نداشته باشد، نقطه تکیه‌گاهی لوله در راستای قائم در نظر گرفته می‌شود. به تکیه‌گاه فنری تبدیل می‌شود، با این حال نقطه تکیه‌گاهی در راستای قائم در روش دهانه مجاز در نظر گرفته می‌شود.	وزن مرده لوله‌کشی از وجه پایینی تحمل و تغییر مکان راستای پایینی مهار می‌شود.	نشیمن	وزن مرده سیستم لوله‌کشی تحمل می‌شود.	بند یا نشیمن <sup>۲</sup>
	وزن مرده لوله‌کشی از وجه بالایی تحمل و تغییر مکان راستای پایینی مهار می‌شود.	بند صلب		
	عکس‌العمل توسط فنرها تحمل می‌شود.	بند متغییر		
	وزن مرده لوله‌کشی از وجه بالایی نگهداشته می‌شود و تغییر مکان راستای پایینی مهار می‌شود.	بند ثابت		

<sup>۱</sup> Guide

<sup>۲</sup> Bold

در این تعریف، منظور از نقطه اتکای لوله، نقطه تکیه‌گاهی مربوط به پاسخ شتاب سیستم لوله‌کشی در زلزله می‌باشد. بارگذاری‌هایی مانند روان‌گرایی و بار ناشی از تغییر شکل حرارتی در نقاط تکیه‌گاهی مانند جداسازها، در بعضی حالات در نظر گرفته نمی‌شوند.

### ۳- آرایش تکیه‌گاه لوله

تکیه‌گاه لوله از بخش جوش شده، نشیمن متعلقات و سازه تکیه‌گاهی لوله تشکیل شده است.

۳-۱- بخش جوش شده: پاشنه، زین، مصالح عایق حرارتی جاگذاری فلزی، مفصل افقی و نشیمن و غیره، نصب شده یا مستقیماً جوش شده به لوله‌کشی.

۳-۲- نشیمن متعلقات: اتصالات فلزی مانند پیچ U شکل، گیره لوله و مقره، نصب شده برای نگهداری یا مهار لوله‌کشی به سازه قاب، قفسه لوله، ملحقات و تراورس (زیرسری) و غیره.

۳-۳- سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی: تیر یا سازه مستقل منفرد نصب شده بر سازه قابی، قفسه لوله، برج‌ها و مخازن و غیره. لوله‌کشی به سازه تکیه‌گاهی به وسیله نشیمن متعلقات و اجزای جوش شده، ثابت می‌شود.

### ۴- شرایط بارگذاری

محاسبات تکیه‌گاه براساس بار وارد شده از لوله‌کشی و با استفاده از جدول (۱۵) انجام می‌شود.

جدول ۱۵- شرایط بارگذاری لوله‌کشی

بخش غیرفشاری	بخش فشاری	نوع بار
○	○	وزن مرده لوله‌کشی
○		بار ناشی از تنش حرارتی در لوله‌کشی
○	○	نیروی اینرسی لوله‌کشی در زلزله
○	○	بار ناشی از تغییر مکان نسبی در سازه تکیه‌گاهی در زلزله

### ۵- تنش محاسبه شده

مطابق با نوع سازه، تنش تکیه‌گاه لوله می‌تواند بر اساس روش تحلیلی و استاندارد نشان داده شده در جدول (۱۶)، در بخش‌های ذکر شده در پایین محاسبه شود.

۵-۱- پایه

۵-۲- تیر

۵-۳- مهار

۵-۴- پیچ پی

۵-۵- بخش‌های مهم ویژه‌ی طراحی لرزه‌ای

۵-۶- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای تکیه‌گاه

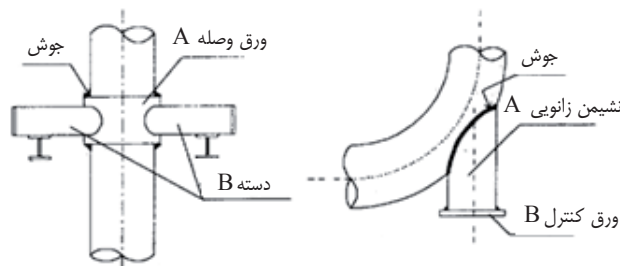
برحسب نوع مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی، تنش‌های مجاز طراحی لرزه‌ای مختلفی به‌کار برده می‌شوند.

کوچک‌ترین مقدار بین تنش مجاز طراحی لوزه‌ای مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی، به عنوان تنش مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی که مستقیماً به مصالح بخش فشاری جوش شده‌اند، استفاده می‌شود. مصالح سازه تکیه‌گاهی که جوش یا نصب شده‌اند، باید از بین مصالحی که در ستون سمت چپ جدول (۱۶) بر اساس نوع فلز مصالح بخش فشاری لیست شده‌اند، انتخاب شود.

جدول ۱۶- تنش‌های محاسبه شده تکیه‌گاه لوله

بخش	تکنیک تحلیلی و استاندارد	
مصالح مقاوم در برابر فشار	بخش‌های جوشی (دایره و چهارگوش)	WRC-107 (1979), ASME CASE-391, CASE-392-3, و تحلیل FEM غیره
	بخش‌های جوشی (مصالح صفحه‌ای)	ASME CASEN-318-5 و تحلیل FEM
	بخش‌های جوشی (زین)	تحلیل FEM
مصالح بخش غیرفشاری	بخش سازه‌ی بخش جوشی	استاندارد طراحی سازه فلزی
	بخش‌های جوشی (زین)	تحلیل FEM
	مصالح فلزی نصب	استاندارد طراحی سازه فلزی و تحلیل FEM
	سازه تکیه‌گاهی	استاندارد طراحی سازه فلزی و تحلیل FEM

مصالح بخش فشاری مصالحی هستند که در آنها تنش در اثر فشار داخلی اولیه ایجاد شده و مصالح بخش غیرفشاری مصالحی به غیر از بخش فشاری می‌باشند.



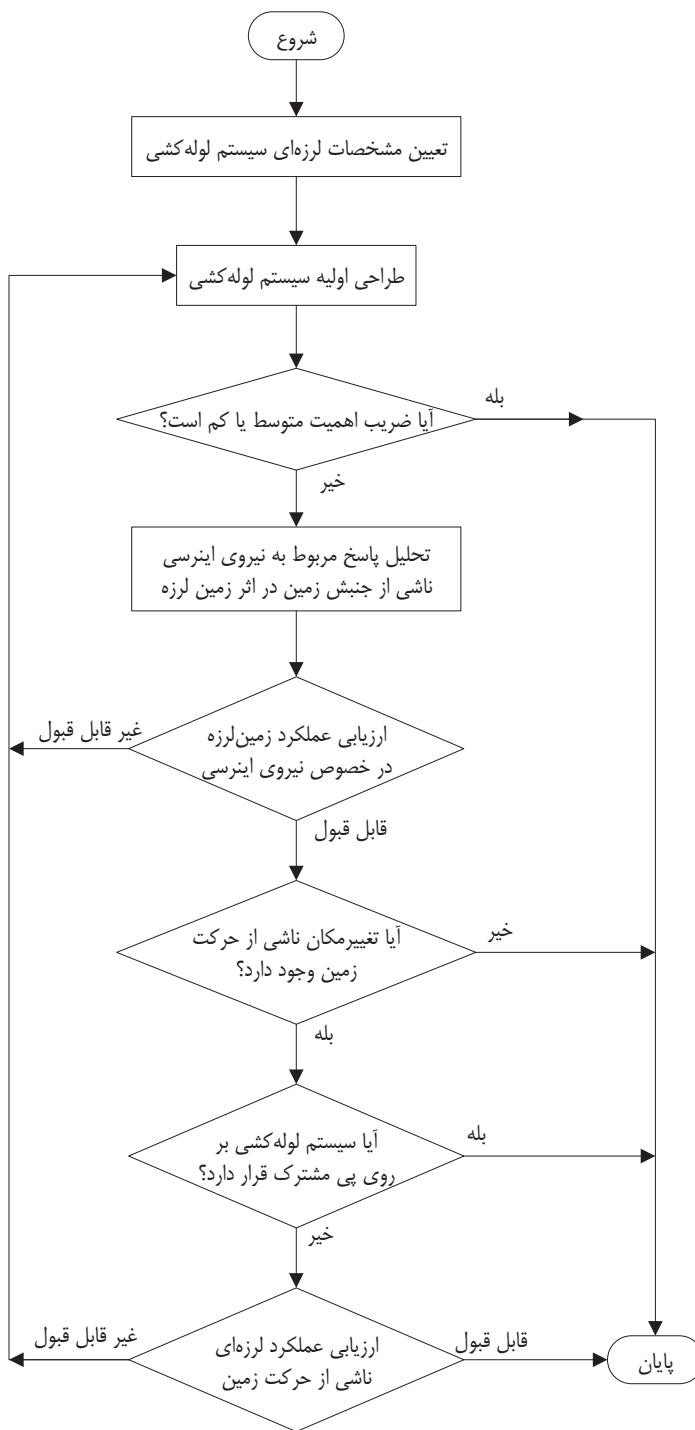
A: قسمتی که نیاز به مطالعه تنش مجاز برای طراحی لوزه‌ای مصالح بخش فشاری دارد، در حالی که مصالح سازه تکیه‌گاهی می‌باشد.  
B: قسمتی که برای آن تنها تنش مجاز طراحی لوزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاهی، اعمال می‌شود.

شکل ۲۱- مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی

- تنش مجاز طراحی لوزه‌ای مصالح بخش غیرفشاری تکیه‌گاه
  - تنش مجاز طراحی لوزه‌ای مصالح بخش غیرفشاری تکیه‌گاه در بند (۳-۴) نشان داده شده است.
  - تنش مجاز طراحی لوزه‌ای مصالح مقاوم در برابر فشار تکیه‌گاه
  - تنش مجاز طراحی لوزه‌ای مصالح بخش فشاری تکیه‌گاه در بند (۳-۴) با جزئیات توضیح داده شده است.
- ۶- صرف‌نظر کردن از ارزیابی عملکرد لوزه‌ای

اگر در بخش تکیه‌گاهی لوله و در شرایط بارگذاری یکسان، تنش ایجاد شده کم‌تر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای باشد، محاسبات مربوط به ارزیابی جداگانه عملکرد لرزه‌ای بخش‌های مختلف، قابل صرف‌نظر کردن می‌باشد.

## ۱۲- روند طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر



شکل ۲۲- روندنمای طراحی لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر



### ۱۳- ارزیابی خم لوله در تغییر شکل‌های بزرگ

با توجه به انعطاف‌پذیری خوب لوله‌های فولادی و ظرفیت تغییر شکل زیاد آنها، حتی اگر تغییر شکل در این لوله‌ها از حدود تنش تسلیم تجاوز کند، با این حال لوله به سرعت به نقطه شکست نمی‌رسد. زمانی که لوله‌ها تحت تغییر شکل‌های زیادی ناشی از زمین‌لرزه و غیره قرار می‌گیرند، دانستن نحوه تغییر شکل آنها بعد از نقطه تسلیم و محدوده نقطه شکست، ضروری می‌باشد. در سیستم لوله‌کشی از نظر مشخصات سازه‌ای، لوله‌های خمیده انعطاف‌پذیری زیادی به سیستم سازه‌ای می‌دهند. بنابراین برای ارزیابی مقاومت لرزه‌ای سیستم‌های لوله‌کشی که متشکل از لوله‌ها و تکیه‌گاه‌های آنها می‌باشند، درک صحیح عملکرد تغییر شکل‌های بزرگ لوله‌های خمیده به عنوان مؤلفه‌های اصلی این سیستم، ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. اگر خم لوله تحت لنگر خمشی  $M$  قرار بگیرد، تغییر زاویه  $\theta$  (از این پس زاویه خمش گفته می‌شود) بر اساس تئوری تیر طبق رابطه (۱۲)، به دست می‌آید. در این رابطه اثر بیضوی شده (اعوجاج) در نظر گرفته شده است.

$$\theta_B = k_e 90 \frac{R_1}{EI} M \quad (12)$$

$K_e$ : ضریب انعطاف‌پذیری در تغییر شکل‌های الاستیک ( $K_e = 1.65/h_d$ )

$h_d$ : مقدار مشخصه تغییر شکل خمشی ( $h_d = \bar{T}R_1/r_2^2$ )

$\bar{T}$ : ضخامت لوله (mm)

$E$ : مدول ارتجاعی طولی ( $N/mm^2$ )

$r_2$ : شعاع متوسط لوله (mm)

$R_1$ : شعاع خم لوله (mm)

$I$ : ممان اینرسی مقطع ( $mm^4$ )

$\theta_B$ : زاویه خمش (درجه)

رابطه (۱۲) با لحاظ نمودن تغییر شکل خمیری، در فهم عملکرد تغییر شکل‌های بزرگ لوله خمیده به طور کمی، کمک شایانی می‌نماید. این رابطه به شکل رابطه (۱۳) می‌شود.

$$\theta_B = k_p 90 \frac{R_1}{EI} M \quad (13)$$

در این جا، مقدار  $K_p$ ، ضریب انعطاف‌پذیری در تغییر شکل خمیری می‌باشد. مقدار تقریبی ضریب انعطاف‌پذیری در حالت خمش درون صفحه‌ای، انبساط درون صفحه‌ای و خمش بیرون صفحه‌ای، با استفاده از نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی لوله با خم ۹۰ درجه به روش المان محدود، متناظراً در ادامه نشان داده شده است. رابطه تقریبی حالت خمش درون صفحه‌ای:

$$k_p = \left[ (1.25h_d + 0.33)\theta_B (90/\alpha_p) - 0.48h_d + 0.4 \right] \frac{S_o}{S_y} k_e \geq k_e \quad (14)$$

رابطه تقریبی حالت انبساط درون صفحه‌ای:

$$k_p = \left[ (1.28h_d + 0.03)\theta_B (90/\alpha_p) - 0.66h_d + 0.75 \right] \frac{S_0}{S_y} k_e \geq k_e \quad (15)$$

رابطه تقریبی حالت خمش برون صفحه‌ای:

$$k_p = \left[ (1.1h_d + 0.24)\theta_B (90/\alpha_p) + 0.15h_d + 0.19 \right] \frac{S_0}{S_y} k_e \geq k_e \quad (16)$$

رابطه تقریبی میانگین خمش و انبساط درون صفحه‌ای و خمش برون صفحه‌ای:

$$k_p = \left[ 0.37 + (h_d + 0.25)\theta_B (90/\alpha_p) \right] \frac{S_0}{S_y} k_e \geq k_e \quad (17)$$

$\alpha_p$ : زاویه خم لوله (درجه)

$S_y$ : مقاومت تسلیم یا مقاومت معادل تسلیم با استفاده از کرنش 0.2% مصالح ( $N/mm^2$ )

$S_0$ :  $215 N/mm^2$

با توجه به بیشترین کرنش خمیری معادل در لوله خمیده، رابطه تقریبی مقادیر مشخصه مختلف لوله با خم ۹۰ درجه، با استفاده از مطالعه پارامتریک مشخصه تغییر شکل‌های بزرگ خمش درون صفحه‌ای (خمش و انبساط) و خمش برون صفحه‌ای به روش المان محدود به دست می‌آید.

$$\theta_B = 29.1 \frac{(\varepsilon_{eq}^p)^{0.829}}{h_d^{0.456}} \quad (18)$$

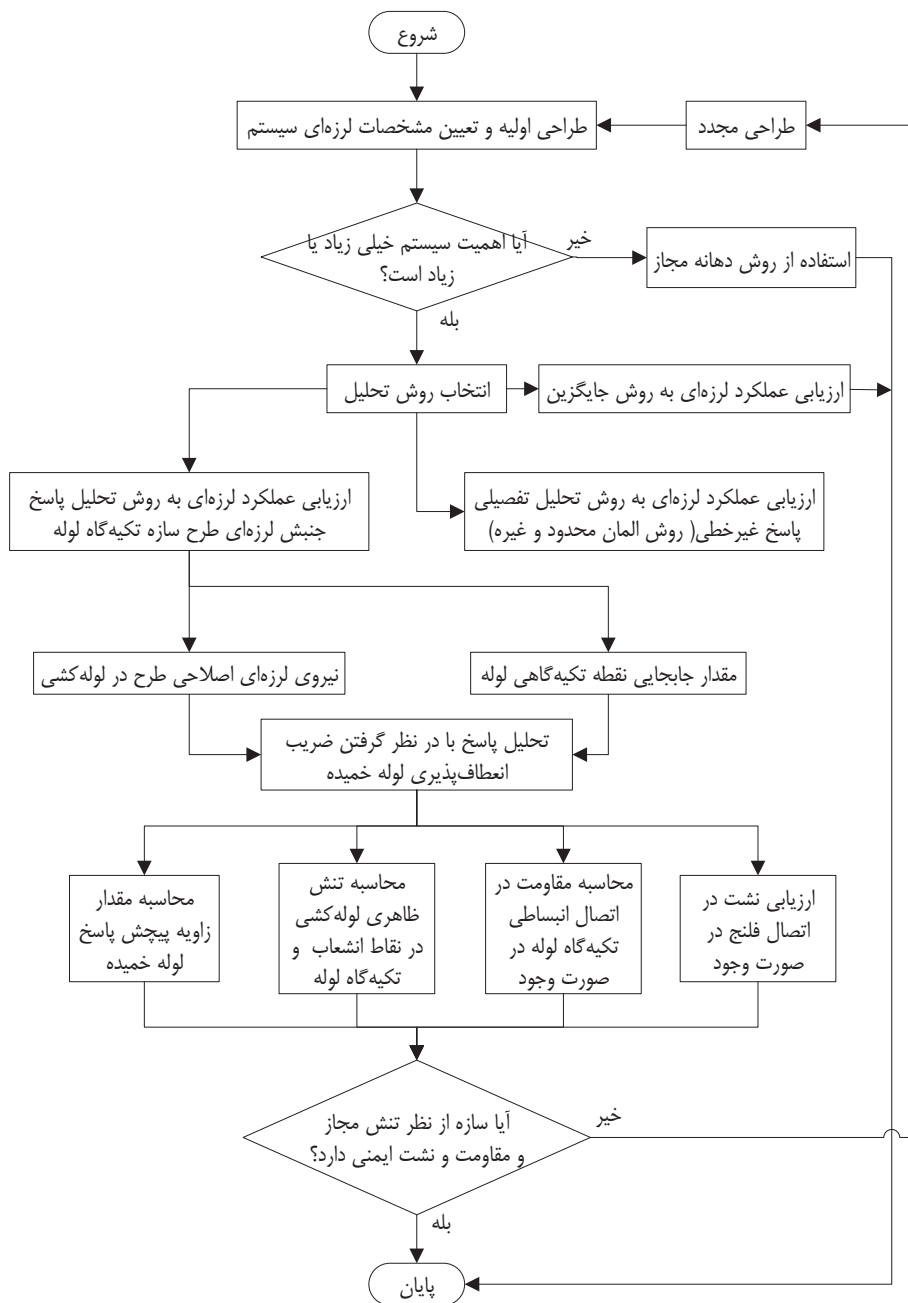
کرنش خمیری  $\varepsilon_{eq}^p$  کرنش خمیری معادل می‌باشد و از رابطه (۱۹) به دست می‌آید:

$$\varepsilon_{eq}^p = \sqrt{\frac{2}{3} \left[ (\varepsilon_x^p)^2 + (\varepsilon_y^p)^2 + (\varepsilon_z^p)^2 + 2(\varepsilon_{zx}^p)^2 + 2(\varepsilon_{xy}^p)^2 \right]} \quad (19)$$

$\varepsilon_{eq}^p$ : کرنش خمیری معادل

$\varepsilon_x^p, \varepsilon_y^p, \varepsilon_{xy}^p, \varepsilon_{zx}^p, \varepsilon_{yz}^p$  و  $\varepsilon_z^p$ : مؤلفه‌های کرنش خمیری

### ۱۴- روندنمای ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ



شکل ۲۳- روندنمای ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ

## ۱-۱۴- طریقه به دست آوردن تغییر مکان پاسخ نقطه تکیه‌گاهی لوله به روش شبه استاتیکی اصلاح شده

۱- تغییر مکان پاسخ نقطه تکیه‌گاهی لوله مخازن و برج‌ها

در بند ۳ روش محاسبه شدت لرزه‌ای طرح لوله‌کشی در نقاط تکیه‌گاهی لوله به روش شبه استاتیکی اصلاح شده، ذکر شده است. تغییر مکان پاسخ نقطه تکیه‌گاهی لوله مخازن و برج‌ها در سازه‌های تکیه‌گاهی لوله به صورت رابطه (۲۰) محاسبه می‌گردد:

$$\delta_x = \begin{cases} \left( \mu_p + 1 \right) \frac{K_y}{K_{MH}} \delta_{xMH} & \mu_p < 0 \\ \delta_{xMH} & \mu_p = 0 \end{cases} \quad (20)$$

$\delta_x$ : مقدار تغییر مکان افقی پاسخ نقطه تکیه‌گاهی لوله در زمین لرزه (mm)

$\mu_p$ : ضریب شکل‌پذیری سازه تکیه‌گاهی لوله (برج‌ها و مخازن) به مقدار متناظر با مد شکستی که  $\mu_p$  دارای بیشترین مقدار خود می‌باشد. (ر.ک به رابطه ۴-۱ فصل ۴)

$K_{MH}$ : ضریب لرزه افقی اصلاحی طرح، مربوط به سازه تکیه‌گاهی لوله (مخازن و برج‌ها)

$\delta_{xMH}$ : مقدار تغییر مکان افقی پاسخ (mm) در نقطه تکیه‌گاهی لوله در سازه برج‌ها و مخازن مربوط به شبه استاتیکی اصلاح شده طراحی  $K_{MH}$ ، می‌باشد. تغییر مکان پاسخ با استفاده از یکی از سه روش شبه استاتیکی اصلاح شده، تحلیل مودال یا تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی، با جایگزینی سازه تکیه‌گاهی لوله (مخازن و برج‌ها) با یک مدل سیستم ارتعاشی مناسب محاسبه می‌شود.

۲- تغییر مکان نقطه تکیه‌گاهی لوله در سازه‌های قاب‌دار

چگونگی محاسبه تغییر مکان پاسخ در نقطه تکیه‌گاهی لوله در سازه‌های قاب‌دار به روش شبه استاتیکی اصلاح شده با مثالی از یک سازه قابی چهار طبقه با فرض مدل تغییر شکل برشی، نشان داده شده است. تغییر مکان پاسخ و تغییر مکان طبقات میانی مربوط به طبقه  $i$  از رابطه (۲۱) محاسبه می‌گردد. مقدار  $\square$  بین ۱ تا ۴ می‌باشد.

$$\Delta Y_i = s_i \Delta X_i \quad Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i \quad (21)$$

$Y_i$ : تغییر مکان پاسخ در طبقه  $i$ ،  $Y_0 = 0$  (mm)

$\Delta Y_i$ : تغییر مکان نسبی طبقه در طبقه  $i$ ،  $\Delta Y_i = Y_i - Y_{i-1}$  (mm)

$s_i$ : نسبت تغییر مکان در طبقه  $i$  که از رابطه (۲۲) محاسبه می‌گردد، ولی مقدار آن برابر با یک یا بیشتر می‌باشد.

$$s_i = 1 + \mu_{pi} = 1 + \frac{1}{4C} \left\{ \left( \frac{K_{MH(i-1)}}{K_{MH(i)}} \right)^2 - 1 \right\} \quad (22)$$

$K_{MH(i)}$ : مقدار آن از رابطه (۲۳) محاسبه می‌گردد:

$$K_{MH0} = K_{MH} \text{ ولی } K_{MH1} = \min(K_{MH(i-1)}, K_{yi}) \quad (۲۳)$$

$K_{yi}$ : ضریب لرزه تسلیم در طبقه  $i$ ام که مقدار آن از رابطه (۲۴) به دست می‌آید:

$$K_{yi} = \frac{Q_1}{\mu W_i + \dots + \mu_4 W_4} \quad (۲۴)$$

$K_{MH}$ : ضریب لرزه افقی اصلاحی طرح سازه تکیه‌گاهی لوله (قاب) که از رابطه (۲۵) محاسبه می‌گردد.

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (۲۵)$$

$\beta_5$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی

$K_H$ : ضریب لرزه افقی مربوط به نیروی لرزه‌ای طراحی در سطح زمین

$\Delta X_i$ : تغییر مکان نسبی طبقه  $i$ ام بر حسب  $(\square\square)$  که مقدار آن از رابطه (۲۶) به دست می‌آید:

$$\Delta X_i = K_{MH_i} \frac{\mu_1 W_i + \dots + \mu_4 W_4}{k_i} \quad (۲۶)$$

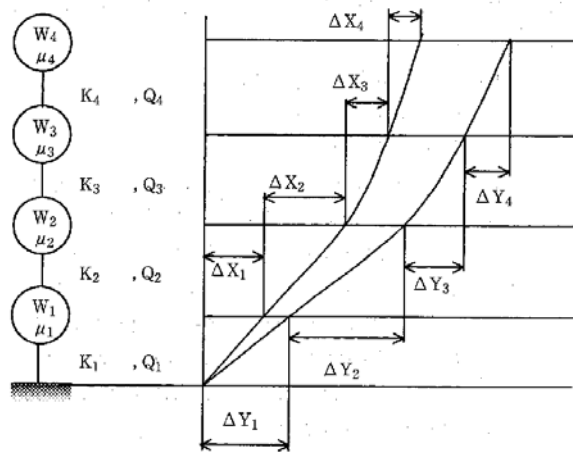
$W_i$ : بار کف در طبقه  $i$ ام (kN)

$k_i$ : فنریت طبقه میانی  $i$ ام (kN/mm)

$Q_1$ : مقاومت تسلیم (kN)

$\mu_i$ : ضریب توزیع شدت لرزه‌ای در طبقه  $i$ ام (ر.ک. به رابطه ۱۰-۱۶ فصل ۱۰)

$\mu_{pi}$ : ضریب شکل‌پذیری در طبقه  $i$ ام (از رابطه ۲۰ قابل محاسبه است).



شکل ۲۴- تغییر مکان نسبی طبقه  $i$ ام

## ۱۴-۲- تحلیل خطی معادل، تحلیل تفصیلی و ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ

### ۱- تحلیل خطی معادل

#### ۱-۱- رئوس مطالب

ارزیابی با استفاده از مدل خطی معادل، به منظور راحتی در طراحی، برای طراحی سیستم لوله‌کشی در حالت خمیری منطقی به نظر می‌رسد. روش خطی معادل در تحلیل لوله خمیده، با استفاده از ضریب انعطاف‌پذیری ( $k_p$ ) در ناحیه خمیری به کار می‌رود. ضریب ( $k_p$ ) با تصحیح ضریب انعطاف‌پذیری ( $k_e$ ) در ناحیه ارتجاعی با استفاده از مقدار مشخصه انعطاف‌پذیری و تغییر مکان زاویه‌ای، به دست می‌آید.

بر اساس نتایج تحلیلی، اگرچه ضرایب انعطاف‌پذیری خمش درون صفحه‌ای، انبساط درون صفحه‌ای و خمش برون صفحه‌ای دارای مقادیر مختلف می‌باشند، ولی به رغم آن، ضرایب تصحیح یکسانی برای آنها به کار می‌رود. این ضرایب تصحیح با در نظر گرفتن عدم ایجاد مشکل در دقت مسأله، به علت کوچک بودن زاویه پیچشی در موارد کم‌تر از ضریب شکل‌پذیری نهایی مجاز و به علت تکرار تغییر شکل مثبت و منفی، یکسان در نظر گرفته می‌شوند.

#### ۱-۲- ضریب انعطاف‌پذیری لوله خمیده

در لوله‌های با خم ۹۰ درجه، میانگین ضریب انعطاف‌پذیری با در نظر گرفتن تغییر شکل‌های زاویه‌ای کوچک و تغییر جهت مکرر مثبت و منفی تغییر شکل، تعیین می‌شود. ضریب انعطاف‌پذیری،  $k_p$  با مراجعه به رابطه (۱۵) برای خمش درون صفحه‌ای، انبساط درون صفحه‌ای و خمش برون صفحه‌ای به دست می‌آید (در این رابطه باید به جای  $\theta_B$  از  $\theta_D$  استفاده شود). به هر حال، با فرض پیچش،  $k_p = 1.0$  می‌باشد. علاوه بر آن، در لوله‌های با خم ۴۵ یا ۶۰ درجه و غیره، برای سادگی کار زاویه تغییر مکان مجاز با درون‌یابی به دست می‌آید.

#### ۱-۳- روند روش تحلیل خطی معادل

روش تحلیل خطی معادل بر اساس روند زیر به کار برده می‌شود.

الف) رفتار قسمت لوله خمیده به صورت ضریب شکل‌پذیر معادل آن فرض و سپس کل سیستم تحلیل می‌گردد. در

این حالت، ضریب انعطاف‌پذیری برای زاویه خمش ناشی از برآیند ترکیب بارها، در نظر گرفته می‌شود.

ب) همگرایی محاسبات تا زمانی که ضریب انعطاف‌پذیری به دست آمده از نتایج محاسبات، بر حسب زاویه خم، با

مقدار فرض شده، مطابقت داشته باشد، انجام می‌شود. در این محاسبات معیار همگرایی، ضریب شکل‌پذیری

می‌باشد و محاسبه زمانی همگرا محسوب می‌شود که خطای آن در حدود ۵٪ باشد. مقدار تغییر مکان زاویه‌ای

خم به صورت میانگین مجموع مربعات تغییر مکان نسبی کنج، در سه جهت بین محل انشعاب دو نقطه خم و

لوله مستقیم، به دست می‌آید.

ج) محاسبات با کوچک‌تر بودن تغییر مکان زاویه‌ای خم به دست آمده از نتیجه تحلیلی کل سیستم، از تغییر مکان

زاویه‌ای مجاز تأیید می‌شود.

د) ارزیابی محاسبه در سایر قسمت‌ها، به جز قسمت خم، به وسیله تنش انجام می‌شود. چرا که نباید در محدوده

خمیری قرار گیرد.

## ۴-۱- شرایط روش تحلیل خطی معادل

- فرضیات زیر در مورد روش تحلیل خطی معادل در نظر گرفته می‌شود:
- (الف) تغییر مکان غیرخطی و مشخصه بار اصطکاکی تکیه‌گاه‌ها و شکاف (لقی) و غیره در نظر گرفته نمی‌شود.
- (ب) نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ در یک راستا اعمال می‌شوند.
- (ج) با توجه به ترکیب بار بهره‌برداری و بار لرزه‌ای، بدترین جهت در ترکیب باید در نظر گرفته شود.
- (د) در جدول (۱۷) ترکیب بارها نشان داده شده است.

جدول ۱۷- ترکیب بار بهره‌برداری و بار لرزه‌ای

بار لرزه‌ای		وزن بهره‌برداری	فشار سیال	نوع تنش
تغییر مکان نسبی	نیروی اینرسی			
	○	○	○	تنش طولی $\sigma_1$
○ (سازه تکیه‌گاه)	○			محدوده تنش تناوبی $\sigma_E$

## ۲- تحلیل تفصیلی

در تحلیل تفصیلی به روش اجزای محدود و غیره، شیوه‌ای به نام روش هایبریدی (مربک) وجود دارد که در آن لوله خمیده، لوله T شکل و مشابه آنها با استفاده از المان پوسته‌ای یا المان فضایی و لوله مستقیم به صورت المان تیر مدل می‌شود. در لوله خمیده و غیره که رفتار غیرخطی با استفاده از مسطح سازی مقطع نشان داده شده است، تحلیل را با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و هندسه (تغییر شکل‌های بزرگ) انجام می‌دهند. به هر حال، از مقدار مناسب به دست آمده از آزمایش کشش مصالح، باید برای مقاومت تسلیم و نرخ سخت‌شدگی سرد غیرخطی مصالح، استفاده گردد.

برای تحلیل المان غیرخطی لوله خمیده (زانویی) می‌توان از تحلیل الاستوپلاستیک لوله با استفاده از مدل تیر به روش المان محدود، استفاده کرد. گرچه بایستی ارتعاش هر دو سیستم تکیه‌گاه و لوله‌کشی تحلیل گردد، ولی برای راحتی کار، شتاب و تغییر مکان به دست آمده از تحلیل پاسخ در نقطه تکیه‌گاهی را می‌توان به صورت یک نیروی لرزه‌ای به لوله‌کشی اعمال کرد.

کرنش خمیری معادل از رابطه (۲۷) به دست می‌آید:

$$\varepsilon_{eq}^p = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\varepsilon_x^p)^2 + (\varepsilon_y^p)^2 + (\varepsilon_z^p)^2 + 2(\varepsilon_{yz}^p)^2 + 2(\varepsilon_{zx}^p)^2 + 2(\varepsilon_{xy}^p)^2} \quad (27)$$

$\varepsilon_x^p, \varepsilon_y^p, \varepsilon_z^p, \varepsilon_{yz}^p, \varepsilon_{zx}^p, \varepsilon_{xy}^p$ : مؤلفه‌های کرنش خمیری

## ۳- ضریب پاسخ بزرگ‌نمایی

در زلزله‌های با شدت بالا، اثر اتلاف انرژی در رفتار الاستوپلاستیک لوله‌های خمیده، قابل پیش‌بینی می‌باشد. علاوه بر آن اثر کاهش پاسخ غیرخطی اصطکاک یا درز تکیه‌گاه و غیره نیز بالا می‌باشد. اثر کاهشی پاسخ تغییر مکان در اثر میرایی افزایشی در لغزش ناشی از زلزله‌های سطح خطر بالا به علت وجود درزی در حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر، در محل تکیه‌گاه لوله، در راستای عمود بر تکیه‌گاه تجهیزات سیستم لوله‌کشی گاز فشار قوی، قابل پیش‌بینی می‌باشد. این اثر

مخصوصاً در مواردی قابل توجه می‌باشد که سازه تکیه‌گاه پاسخ زیادی به علت انعطاف‌پذیری از خود نشان بدهد و دارای انعطاف‌پذیری زیادی در اثر شکل لوله‌کشی و نوع تکیه‌گاه باشد.

در ارزیابی سیستم لوله‌کشی به روش نسبت میرایی معادل که از طیف پاسخ سیستم اصطکاکی در آن استفاده می‌شود، به علت اثر میرایی اصطکاکی، کاهش در پاسخ مشاهده می‌شود.

بر طبق یک محاسبه آزمایشی به‌عنوان مثال: ضریب پاسخ بزرگ‌نمایی در سیستم اصطکاکی با یک درجه آزادی (ضریب میرایی ۲٪) با ضریب میرایی معادل اصطکاکی، بر اساس نوع زمین با استفاده از مقدار حاصل از تقسیم نیروی اصطکاکی بر شتاب ورودی، در حدود ۱/۵ می‌باشد.

در تحلیل پاسخ لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی، ضریب پاسخ بزرگ‌نمایی با استفاده از مدل تیر خطی معادل به صورت زیر به دست می‌آید:

۱- اگرچه ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی در سازه تکیه‌گاه لوله برابر با ۲ فرض می‌شود، ولی برای تکیه‌گاه‌های لوله که دارای سطح لغزنده و غیره می‌باشند و اثر اتلاف انرژی در آنها وجود دارد، برابر با ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود.

۲- در تمامی موارد ضریب پاسخ بزرگ‌نمایی در راستای قائم برابر با ۲ می‌باشد.

۳- ضریب پاسخ بزرگ‌نمایی با تعویض انرژی جذب شده در اثر رفتار غیرخطی با یک ثابت میرایی معادل مناسب، به دست می‌آید.

### ۱۴-۳- ارزیابی مدهای شکست لوله خمیده، لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم و جزئیات تغییر شکل موجی شکل لوله

#### ۱- ارزیابی مدهای شکست لوله خمیده

لوله خمیده با استفاده از تغییر شکل زاویه‌ای مجاز ارزیابی می‌گردد. تغییر مکان زاویه‌ای مجاز تحت شرایطی که در آن کرنش خمیری مجاز خم ۲٪ می‌باشد، به دست می‌آید. این کرنش به‌واسطه مطالعه پارامتریک مشخصه تغییر شکل‌های بزرگ خم در دو حالت خمش درون‌صفحه‌ای (خمش و انبساط) و خمش برون‌صفحه‌ای با مقایسه مقدار مشخصه لوله‌های خمیده مختلف با استفاده از روش المان محدود محاسبه می‌گردد.

$$\theta_{al,2} = 29.1 \frac{\varepsilon_{paL,2}^{0.829}}{h_d^{0.456}} \quad (28)$$

در این‌جا،  $\varepsilon_{paL,2}$ ، کرنش خمیری معادل و  $\theta_{al,2}$  مقدار تغییر مکان زاویه‌ای مجاز می‌باشد. این رابطه برای لوله با خم ۹۰ درجه می‌باشد و برای لوله‌های با خم ۳۰ و ۴۵ درجه مقدار تغییر مکان زاویه‌ای مجاز از درون‌یابی محاسبه می‌گردد.

در نتیجه با توجه به تغییر شکل خمیری نهایی مجاز مربوط به پاسخ شتاب، مقدار زاویه پیش لوله خمیده با توجه به حداکثر کرنش خمیری معادل نصف دامنه، برابر با ۲٪ می‌باشد، به طوری که در نصف دامنه ۲٪،  $\varepsilon_{paL,2} = 0.02$  در کرنش خمیری معادل می‌باشد. در نتیجه زاویه پیش به صورت رابطه (۲۹) محاسبه می‌گردد.



$$\theta_a = \frac{1.14}{h_d^{0.46}} \quad (29)$$

$\theta_a$ : زاویه مجاز لوله خمیده (بر حسب درجه)

جدول (۱۸)، رابطه بین مقادیر مشخصه تغییر شکل خمشی و زاویه مجاز زانویی شعاع بلند ۹۰ درجه را نشان می‌دهد. در این جا کرنش خمیری مجاز ۲٪ فرض شده است.

۲- ارزیابی مدهای شکست لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم

از آن جایی که در تحلیل پاسخ، لوله انشعابی و لوله مستقیم به صورت یک المان تیر خطی مدل می‌شوند و علاوه بر آن وجود پدیده‌هایی ناپایدار کننده از قبیل کمانش ناشی از کرنش زیاد، نامطلوب می‌باشد، بنابراین برای ایمنی از روش ارزیابی یکسانی به عنوان روش جایگزین استفاده می‌شود.

۳- تغییر شکل موجی شکل

تغییر شکل موجی شکل، تغییر شکل غیر ارتجاعی متناوب پیش‌رونده می‌باشد. در اغلب حالات کرنش غیر ارتجاعی به ازای هر دوره تغییر می‌کند. تغییر شکل موجی شکل ثابت، وقتی به وجود می‌آید که کرنش غیر ارتجاعی خالص ناشی از بار معلوم متناوب، در سیکل بعدی ثابت باشد.

احتمال افزایش در تغییر شکل غیر ارتجاعی پیش‌رونده در دستگاه و لوله کشی وجود دارد. این افزایش به علت اضافه شدن تغییرات مکرر تنش ثانویه مکانیکی، تنش ثانویه حرارتی یا هر دوی آنها، به محلی که اولین تنش ناشی از فشار داخلی و وزن مرده و غیره از حدی خاصی بیشتر است، می‌باشد.

برای مثال، در لوله خمیده افزایش در مقدار تغییر شکل غیر ارتجاعی پیش‌رونده با هم‌پوشانی تنش اولیه با فشار داخلی و یک تنش ثانویه متناوب مکانیکی به وجود می‌آید. به طوری که تنش کششی جداره لوله به علت فشار داخلی و بار متناوب بیش از اندازه اعمالی به واسطه بار لرزه‌ای، در پیرامون لوله به وجود می‌آید. بنابراین برای جلوگیری از تغییر شکل خمیری بیش از اندازه یا تغییر شکل پیش‌رونده، ضروری است که تنش اولیه و ثانویه در آن واحد، در محدوده مقدار مجاز باقی بمانند.

در حالت روش خطی معادل در لوله خمیده همان طور که در بخش (۱) توضیح داده شده است، معیار پذیرش، مقدار تغییر مکان مجاز می‌باشد که با فرض تغییر شکل خمیری نهایی مجاز برابر با ۲٪ در نصف دامنه در کرنش خمیری معادل به دست می‌آید.

جدول ۱۸- زاویه مجاز در زانویی شعاع بلند ۹۰ درجه

زاویه مجاز (درجه)	مقدار مشخصه تغییر شکل خمشی	ضخامت جداره (mm)	قطر خارجی (mm)	قطر اسمی	
				(B)	(A)
1.69	0.420	3.7	48.6	1-1/2	40
1.79	0.371	3.9	60.5	2	50
1.75	0.392	5.2	76.3	2-1/2	65
1.82	0.360	5.5	89.1	3	80
1.89	0.331	5.7	101.6	3-1/2	90
1.94	0.312	6.0	114.3	4	100
2.03	0.283	6.6	139.8	5	125
2.11	0.260	7.1	165.2	6	150
2.23	0.231	8.2	216.3	8	200
2.32	0.213	9.3	267.4	10	250
2.39	0.198	10.3	318.5	12	300
2.39	0.200	11.1	355.6	14	350
2.39	0.200	12.7	406.4	16	400
2.39	0.200	14.3	457.2	18	450
2.45	0.189	15.1	508.0	20	500
2.50	0.181	15.9	558.8	22	550
2.49	0.183	17.5	609.6	24	600
2.49	0.182	18.9	660.4	26	650

#### ۱۴-۴- جزئیات روند طراحی اتصال فلنج و فشار تماسی لازم و اشتر

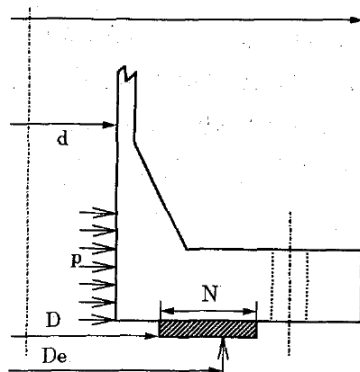
##### ۱- روند ارزیابی عملکرد زمین لرزه

روند ارزیابی عملکرد زمین لرزه در اتصال فلنج در شکل ۲۶ نشان داده شده است. عملکرد لرزه‌ای لازم در اتصال فلنج در واقع برابر با میزان عایق بودن اتصال در مقابل عبور گاز فشار قوی در اثر بار موجود در لوله کشی می‌باشد. نشت از و اشتر با استفاده از ضریب و اشتر ارزیابی می‌گردد. این ضریب با تبدیل نیروی کششی محوری  $F$  و لنگر خمشی  $M$  ناشی از بار لرزه‌ای به فشار معادل در صفحه و اشتر، به دست می‌آید.

۱-۱- نیروی محوری لوله کشی و لنگر خمشی در اتصال فلنج از تحلیل پاسخ شتاب و تغییر مکان لوله کشی محاسبه می‌گردد.

۱-۲- ارزیابی نشت بدین صورت انجام می‌شود که فشار لازم تماسی و اشتر باید کمتر از فشار تماسی و اشتر در اولین مرحله بستن پیچ باشد. فشار لازم تماسی و اشتر برابر با مجموع فشار وارده بر و اشتر ناشی از فشار داخلی لوله و فشار معادل با نیروی محوری و لنگر خمشی محاسبه شده در لوله کشی، می‌باشد.

۲- فشار تماسی لازم و اشتر در ارزیابی ساده نشت



شکل ۲۵- لبه صفحه نشیمن واشر

فشار داخلی معادل منتج از نیروی محوری □ و لنگر خمشی □، ناشی از بار لرزه‌ای در واشر فایو مسطح به صورت رابطه (۳۰) می‌باشد.

$$p_e = \frac{4F_g}{\pi D_e^2} + \frac{16M}{\pi D_e^3} \quad (30)$$

$F_g$ : نیروی محوری ناشی از بار لرزه‌ای (N)

$M$ : لنگر خمشی ناشی از بار لرزه‌ای (N.mm)

$D_e$ : قطر متوسط در وجه تماسی واشر (mm)  $D_e = D_{IG} + 2(N_g - b_g)$

$D_{IG}$ : قطر داخلی واشر (mm)

$N_g$ : عرض واشر (mm)

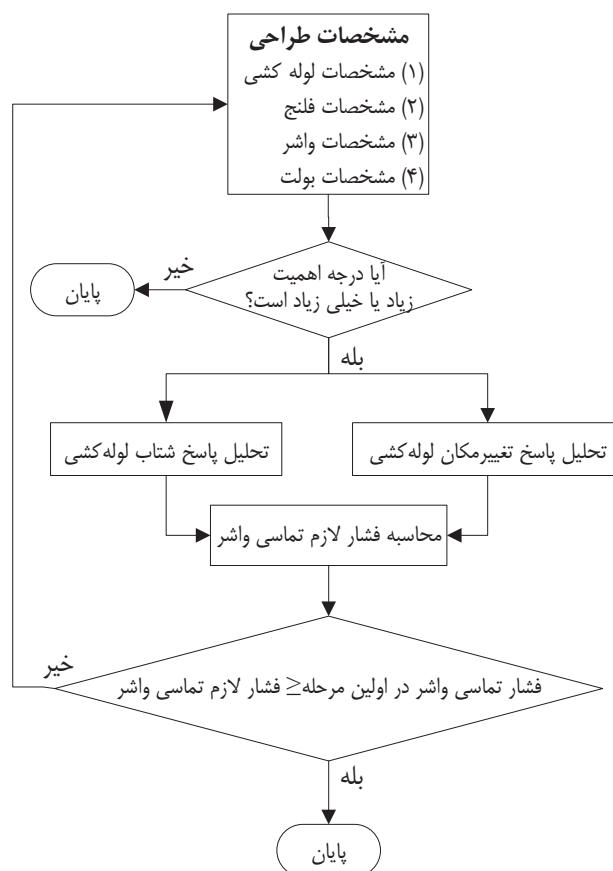
$b_g$ : عرض مؤثر واشر (mm)

بنابراین فشار تماسی لازم واشر  $P_{eq}$  به صورت رابطه (۳۱) می‌باشد.

$$p_{eq} = mp + \alpha p_e \leq \sigma_a \quad (31)$$

در این رابطه  $m$  ضریب واشر و  $\alpha$  ضریب تصحیح فشار نشت به علت بار ناشی از فشار داخلی معادل (0.75m) می‌باشد.

در محل اتصال فلنج با پیچ در لوله امکان اجرای درزبندی وجود ندارد. در این حالت، مقدار تنش تبدیل شده ناشی از بستن اولیه به ازای هر پیچ که به طور قراردادی قبلاً استفاده می‌شده، مشخص است. در نتیجه، فشار تماسی واشر ناشی از نیروی بستن اولیه پیچ به سادگی بر اساس تعداد پیچ‌ها و سطح مقطع کل پیچ‌ها و اندازه واشر با کوچک‌ترین قطر استاندارد، محاسبه می‌گردد.



شکل ۲۶- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنج

## ۱۴-۵- جزئیات روند ارزیابی اتصال انبساطی

### ۱- محاسبه مقدار کلی تنش محوری

مقدار کلی تنش محوری در اتصال انبساطی از روشی مشابه با روش تنش مجاز به دست می‌آید.

### ۲- ارزیابی

روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در اتصال انبساطی در شکل (۲۷) نشان داده شده است. در سیستم‌های لوله‌کشی که دارای اتصال انبساطی می‌باشند، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی به این صورت می‌باشد که تغییر مکان نسبی در هر دو انتهای اتصال باید کم‌تر از تغییر مکان مجاز در تعداد ۵۰ بار نوسان، در اتصال مربوطه باشد. به خصوص، مقدار کلی تنش محوری حداکثر به وجود آمده در قسمت آکاردئون اتصال انبساطی در اثر تغییر مکان نسبی سازه تکیه‌گاه در هر دو انتها، کم‌تر از مقدار کلی تنش مجاز متناظر با ۵۰ بار سیکل مجاز برای مصالح اتصال مربوطه می‌باشد.

در این حالت، امکان تخمین تغییر مکان نسبی محوری و تغییر مکان نسبی در راستای عمود بر محور به طور جداگانه وجود دارد.

ارزیابی به این صورت انجام می‌شود که مقدار کلی تنش محوری حداکثر در آکاردئون باید کم‌تر از دو برابر مقدار تنش مجاز متناظر با تعداد سیکل مجاز ۵۰ بار، به دست آمده از اشکال مؤسسه استاندارد ژاپن B8281 " تحلیل تنش و شکست محفظه تحت فشار " (۱۹۹۳) بر طبق مصالح آکاردئون، باشد.

الف- تنش مجاز،  $S_a$  در طراحی لرزه‌ای تنش محوری به وجود آمده در قسمت آکاردئون اتصال انبساطی از جنس فولاد سخت (کربن‌دار)، فولاد با آلیاژ پایین، فولاد ضد زنگ فریتی (آهن‌دار) و فولاد با مقاومت کششی بالا، برابر با مقادیر زیر می‌باشد:

- حالتی که حداقل مقاومت کششی  $551.6 \text{ MPa}$  یا کم‌تر باشد، برابر با  $S_a = 2 \times 1896 = 3792 \text{ MPa}$  است.

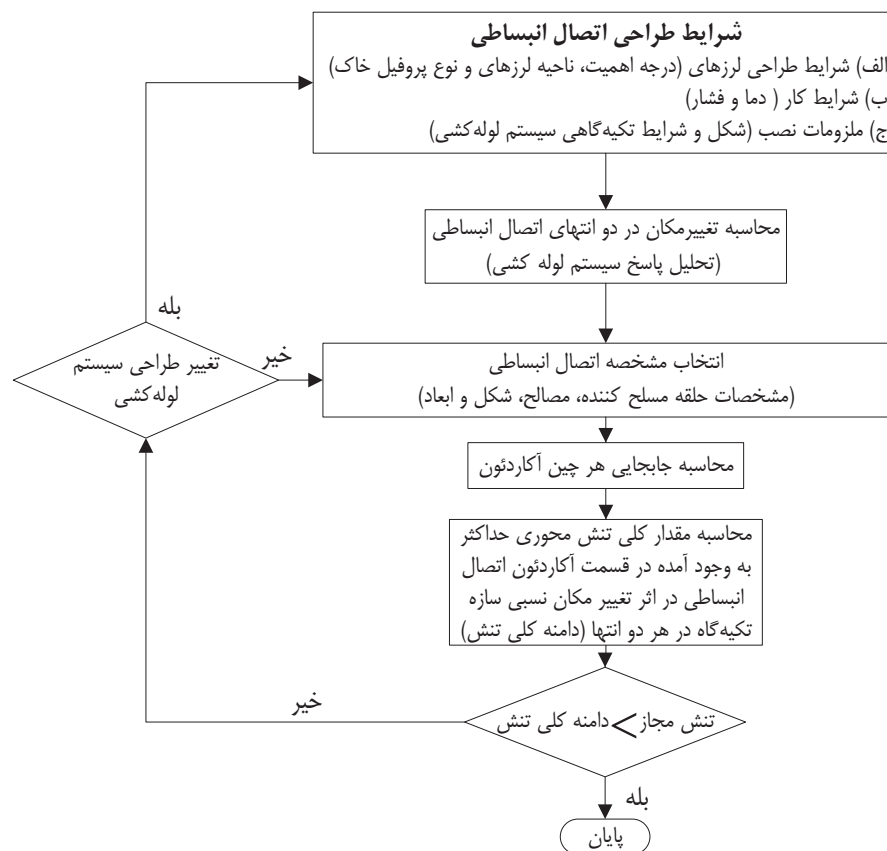
- حالتی که حداقل مقاومت کششی  $896.3 - 792.9 \text{ MPa}$  باشد، برابر با  $S_a = 2 \times 1586 = 3172 \text{ MPa}$  است.

- حالتی که حداقل مقاومت کششی  $792.9 - 551.6 \text{ MPa}$  باشد، به تناسب از مقادیر بند الف) و ب) به دست می‌آید.

ب- تنش مجاز مورد استفاده در طراحی لرزه‌ای تنش محوری به وجود آمده در آکاردئون اتصال انبساطی از جنس فولاد ضد زنگ آستنیتی، آلیاژ نیکل (آلیاژ Ni-Cr-Fe و Ni-Fe-Cr) و آلیاژ مس نیکل، برابر با  $S_a = 2 \times 2379 = 4758 \text{ MPa}$  می‌باشد.

۳- اتصالات انبساطی برای مقاصدی به غیر از حرکت زمین لرزه

در سیستم‌های لوله‌کشی که اتصالاتی انبساطی به غیر از اتصالات طراحی شده برای حرکت لرزه‌ای طرح، موجود می‌باشد، تکیه‌گاه لوله باید طوری طراحی شود که تغییر مکان متجاوز از حد تolerانس ناشی از حرکت لرزه‌ای طرح به اتصال انبساطی وارد نشود یا تکیه‌گاه اتصال انبساطی باید دارای مقاومت کافی برای حفظ کارکرد عضو مهارکننده تغییر مکان (مهار توسط قفسه پیچ، مهار توسط صفحه قفسه و حلقه تنظیمی و غیره) با تحمل عکس‌العمل اعمالی محاسبه شده از طریق تحلیل پاسخ سیستم لوله، در اثر حرکت زمین، باشد.

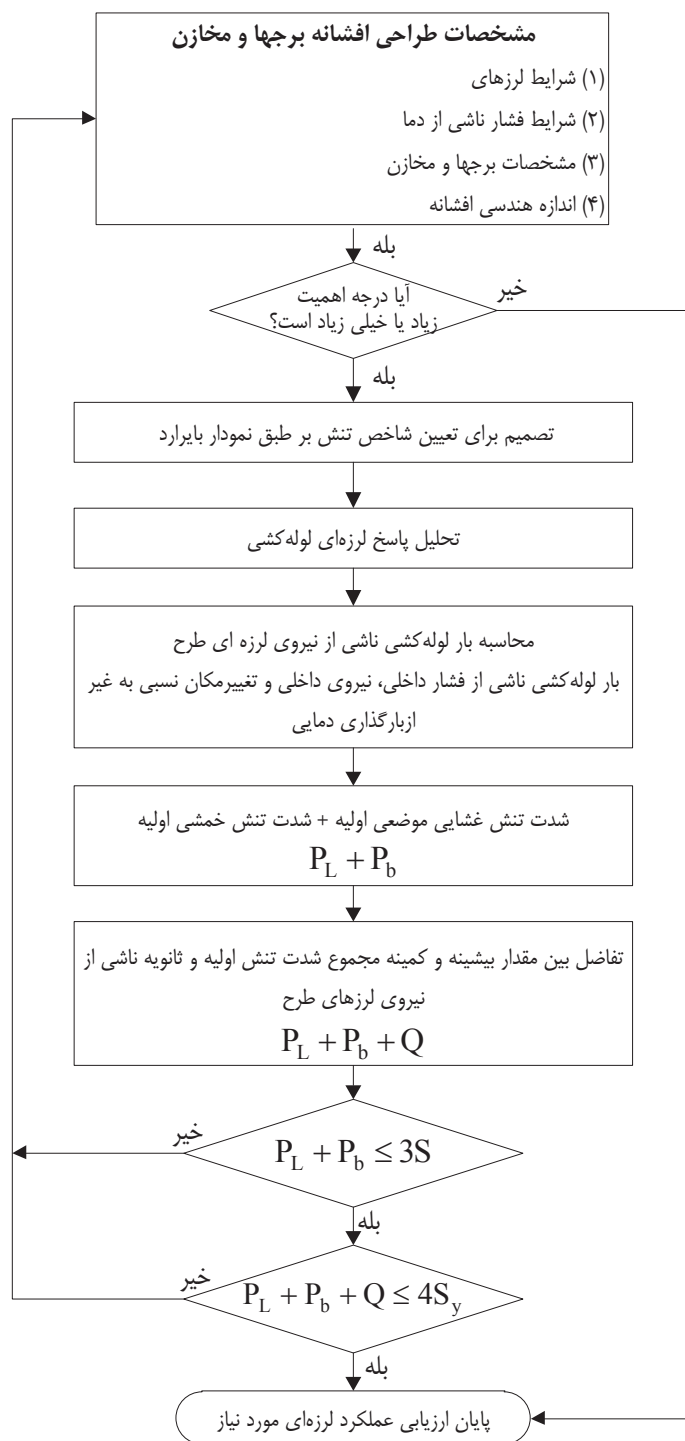


شکل ۲۷- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی

## ۱۴-۶- جزئیات روند ارزیابی افشانه برج‌ها و مخازن

در شکل ۲۸ روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم مربوط به افشانه برج‌ها و مخازن به روش ساده شده بر اساس روش بایرارد نشان داده شده است.

در مورد افشانه برج‌ها و مخازن در سیستم لوله‌کشی، شدت تنش بر اساس بار مربوط به نیروی لرزه‌ای افقی طرح، نیروی لرزه‌ای قائم طرح و تغییر مکان نقطه تکیه‌گاهی لوله، محاسبه می‌گردد.



شکل ۲۸- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در افشانه برجها و مخازن ناشی از نیروی اینرسی

جدول (۱۹) شدت تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای افشانه برجها و مخازن را نشان می‌دهد.

جدول ۱۹- شدت تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

شماره	نوع تنش	شدت تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای
۱	شدت تنش غشائی موضعی اولیه + تنش خمشی اولیه $(P_L + P_b)$	3S
۲	تفاضل بین مقدار حداکثر و حداقل مجموع شدت تنش اولیه و ثانویه ناشی از حرکت لرزه‌ای طرح در یک سیکل $(P_L + P_b + Q)$	$4S_y$

روش محاسباتی تنش افشانه برج‌ها و مخازن، روشی ساده شده (روش بایرارد، Bairard) بر اساس تئوری پوسته نازک در زمینه بررسی مقاومت محفظه تحت فشار یا تحلیل تفصیلی به روش المان محدود (FEM) و غیره، می‌باشد. روند تحلیل تفصیلی به روش المان محدود و غیره، نیز شبیه روند روش ساده شده می‌باشد.

#### ۱۴-۷- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله

۱- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله

در شکل (۲۹) روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله (سازه تکیه‌گاه لوله، نشیمن متعلقات و اجزای فلز جوش) نشان داده شده است.

۱-۱- کارکرد تکیه‌گاه لوله (کارکرد تکیه‌گاه) محدود کردن تغییر مکان لوله‌کشی و یا گیرداری آن می‌باشد. تمامی اثرات زمین‌لرزه بر لوله‌کشی بر روی تکیه‌گاه آن اعمال می‌شود. در زمین‌لرزه، حرکت زمین (شتاب و تغییر مکان) و تغییر مکان تکیه‌گاه لوله در اثر روان‌گرایی و تغییر مکان زمین (از این پس، شرایط ورودی لرزه‌ای گفته می‌شود) به تکیه‌گاه لوله به عنوان ورودی در نقطه تکیه‌گاهی آن، اعمال می‌شود. با تنظیم مناسب تکیه‌گاه لوله میزان اثرات حرکت زمین‌لرزه بر لوله‌کشی و سازه تکیه‌گاهی آنها (یا سیستم لوله‌کشی) کاهش می‌یابد.

۱-۲- شرایط بارگذاری تکیه‌گاه و مدل پاسخ تحلیلی سیستم لوله‌کشی

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای، مدل تحلیلی پاسخ لوله‌کشی برای هرکدام از شرایط ورودی بر اساس کارکرد تکیه‌گاه لوله تنظیم می‌شود.

علاوه بر کارکرد تکیه‌گاه لوله، کارکرد تکیه‌گاه لوله‌کشی (کارکرد محدود کردن تغییر شکل و تحمل بار ناشی از نیروی لرزه‌ای)، مهار کردن لوله‌کشی، کنترل ورودی لرزه‌ای لوله‌کشی و آزادسازی کارکرد تکیه‌گاه لوله در اثر حرکت زمین نیز ارائه شده است.

۱-۳- شرایط مجاز نیروی لرزه‌ای طراحی در تکیه‌گاه لوله

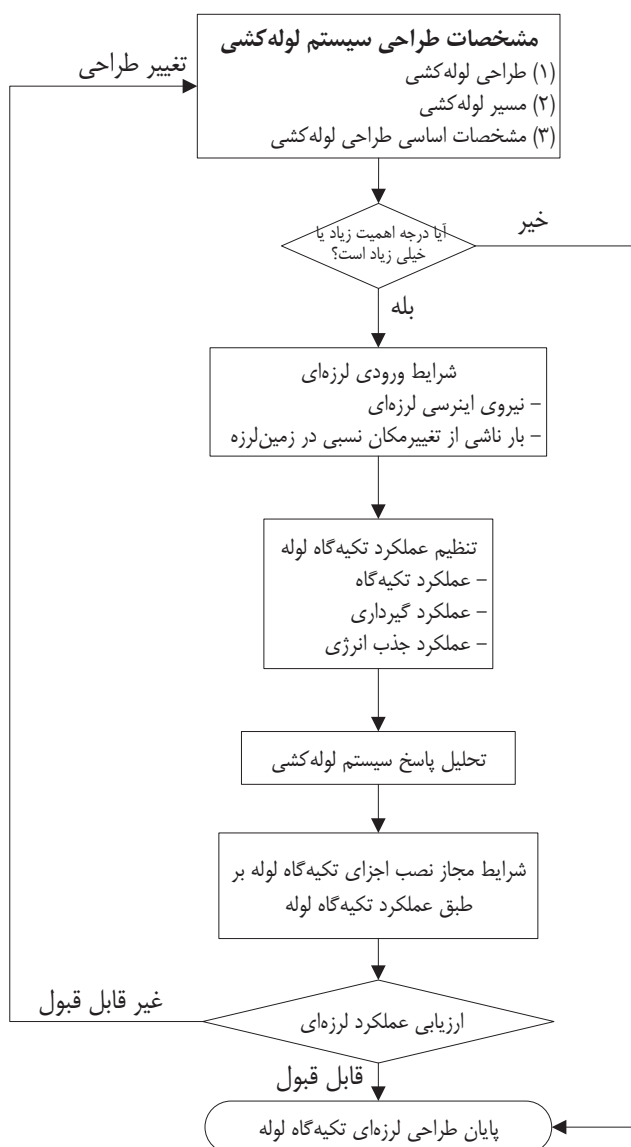
تحلیل پاسخ نیروی اینرسی سیستم لوله‌کشی به وسیله شتاب و تغییر مکان نقطه تکیه‌گاهی لوله در اثر حرکت زمین‌لرزه که در بند (۱۴) پیوست توضیح داده شده است، انجام می‌شود.



نیروی به وجود آمده در نقطه تکیه‌گاهی که از تحلیل پاسخ به دست می‌آید، با توجه به شرایط بارگذاری نیروی اینرسی تکیه‌گاه لوله می‌باشد. تحلیل پاسخ حرکت زمین در سیستم لوله‌کشی کاملاً مشابه با تغییر مکان نقطه تکیه‌گاهی لوله انجام می‌شود. تغییر مکان ایجاد شده در نقطه تکیه‌گاهی که از تحلیل پاسخ به دست می‌آید با توجه به شرایط بارگذاری حرکت زمین در تکیه‌گاه لوله، می‌باشد.

#### ۱-۴- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم

چنانچه ارزیابی عملکرد شرایط مجاز مطابق فوق قابل قبول نباشد، تغییر طراحی انجام و روند ذکر شده تا زمانی تکرار می‌شود که عملکرد لرزه‌ای مطابق با مشخصات تغییر یافته شود.



شکل ۲۹- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله

#### ۲- کارکرد تکیه‌گاه لوله و شرایط مجاز

در ادامه، کارکرد تکیه‌گاه لوله (سازه تکیه‌گاه لوله، نشیمن متعلقات و اجزای فلز جوش) برای حفظ عملکرد لرزه‌ای لوله‌کشی در مقابل نشت گاز فشار قوی، ارائه شده است. برقراری کارکرد مورد نظر در هنگام و بعد از زمین‌لرزه ضروری می‌باشد.

#### ۱-۲- کارکرد تکیه‌گاه

تحمل عکس‌العمل لوله‌کشی یا مهار تغییر مکان آن در زلزله در اثر شتاب پاسخ حرکت زمین یا تغییر مکان ناشی از روان‌گرایی زمین، در واقع کارکرد تکیه‌گاه به حساب می‌آید.

در مورد تکیه‌گاه یک لوله‌ای که دارای کارکرد مربوطه می‌باشد، اگرچه تغییرشکل خمیری مجاز می‌باشد، ولی بار تکیه‌گاه نباید بیشتر از حد بارهای منجر به شکست یا (بار انهدام) کمانش باشد. در این حالت در مورد نشیمن متعلقات که توانایی جذب تغییرشکل را پس از مرحله تغییر شکل خمیری مانند لولاها و مقره‌ها ندارد و دارای کارکرد مرکب بین اعضا می‌باشد، تنش ایجاد شده ناشی از بار لرزه‌ای بایستی کمتر از تنش تسلیم باشد.

#### ۲-۲- کارکرد گیرداری

مستقل بودن لوله‌کشی از لحاظ دینامیکی از هر دو طرف تکیه‌گاه لوله یا جلوگیری از اثرات زیان‌آور متقابل، در واقع یک کارکرد به حساب می‌آید. در تکیه‌گاهی که کارکرد مربوطه را دارا می‌باشد، می‌توان تفکیک مدل تحلیلی پاسخ لوله‌کشی را در نظر گرفت. در تکیه‌گاه گیردار لوله (از این پس تکیه‌گاه گیردار لوله یا مهار نامیده می‌شود) تنش تشکیل شده در تکیه‌گاه لوله در اثر عکس‌العمل یا لنگر ناشی از تغییر شکل و دوران در سه راستا، باید کمتر از تنش تسلیم باشد.

#### ۳-۲- کارکرد جذب انرژی

جذب انرژی زلزله از طریق نصب جداسازهای لرزه‌ای (و غیره) در تکیه‌گاه لوله و کنترل ورودی لرزه‌ای ناشی از حرکت زمین‌لرزه در لوله‌کشی یک کارکرد محسوب می‌شود. تکیه‌گاه لوله‌ای که دارای این کارکرد می‌باشد باید دارای شرایط زیر باشد.

(الف) تغییر مکان پاسخ بایستی کمتر از تغییر مکان مجاز باشد.

(ب) تغییر شکل خمیری جاذب انرژی باید کمتر از قابلیت تغییر شکل خمیری جاذب انرژی باشد.

با توجه به جذب انرژی زلزله در تکیه‌گاه لوله، تأیید عملکرد ضروری به نظر می‌رسد.

#### ۳- شرایط بارگذاری

روند ارزیابی بر اساس بارهای وارده بر لوله‌کشی به صورت جدول (۲۰) می‌باشد.

جدول ۲۰- شرایط بارگذاری لوله‌کشی

اجزای غیر فشاری	اجزای فشاری	نوع بار
○	○	بار ناشی از وزن لوله‌کشی (وزن و فشار)
○		بار ناشی از تنش حرارتی لوله‌کشی
○	○	نیروی اینرسی در اثر زلزله در لوله‌کشی
○	○	بار ناشی از تغییر مکان نسبی در سازه تکیه‌گاه در اثر زمین‌لرزه

## ۴- شرایط مجاز تکیه‌گاه لوله

شرایط مجاز تکیه‌گاه لوله با توجه به مشخصات بار و تغییر شکل آنها در نظر گرفته می‌شود. مشخصات بار و تغییر شکل در شکل ۳۰ نشان داده شده است. در این شکل قسمت هاشور خورده بیانگر اختلاف داده‌ها می‌باشد.

بار تسلیم، بار حدی و بار آزادسازی به صورت زیر می‌باشد.

- بار تسلیم

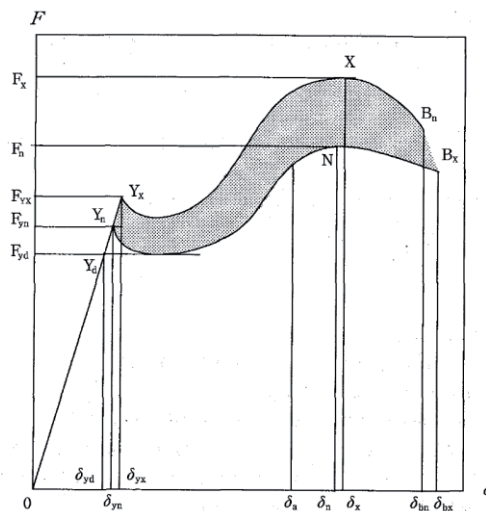
بار تسلیم برابر با مقدار بار تسلیم طراحی،  $F_{yd}$  یا کمتر از مقادیر نشان داده شده در شکل ۳۰ می‌باشد.

- بار حدی

بار حدی برابر با حداقل مقدار بار گسیختگی،  $F_n$  (حداقل باری که باعث انهدام می‌شود) یا کمتر از مقادیر نشان داده شده در شکل ۳۰ می‌باشد.

- بار آزادسازی

بار آزادسازی حداکثر مقدار بار گسیختگی،  $F_x$  (حداکثر باری که باعث انهدام می‌شود) یا کمتر از مقادیر نشان داده شده در شکل ۳۰ می‌باشد.



شکل ۳۰- نمودار بار و تغییر شکل سازه تکیه‌گاه لوله کشی

$F_{yx}$ : حداکثر بار تسلیم

$\delta_{yx}$ : حداکثر تغییر مکان تسلیم

$Y_x$ : حداکثر مقاومت تسلیم

$F_{yn}$ : حداقل بار تسلیم

$\delta_{yn}$ : حداقل تغییر مکان تسلیم

$Y_n$ : حداقل مقاومت تسلیم

$F_{yd}$ : بار تسلیم طراحی

$\delta_{yd}$ : تغییر مکان تسلیم طراحی

$Y_d$ : مقاومت تسلیم طراحی

$\delta_a$ : تغییر مکان مجاز

$F_x$ : حداکثر ظرفیت گسیختگی (حداکثر بار انهدام)

$X$ : محل حداکثر ظرفیت گسیختگی

$F_n$ : حداقل ظرفیت بار گسیختگی (حداقل بار انهدام)

$N_r$ : محل حداقل بار گسیختگی

$\delta_{bx}$ : حداکثر تغییر مکان گسیختگی

$B_x$ : محل حداکثر تغییر مکان گسیختگی

$\delta_{bn}$ : حداقل تغییر مکان گسیختگی

$B_n$ : محل حداقل تغییر مکان گسیختگی

۵- روش محاسبه شرایط مجاز سازه تکیه‌گاه لوله

۵-۱- بار تسلیم سازه تکیه‌گاه لوله

بار تسلیم مصالح به کار برده شده، در بند (۳-۴) مصالح توصیف شده است.

۵-۲- بار حدی سازه تکیه‌گاه لوله: لنگر حدی

لنگر حدی به صورت زیر می‌باشد:

الف) زمانی که لنگر در حول محور قوی مقطع H شکل و محور اصلی مقطع قوطی شکل، اثر می‌کند:

$$\text{اگر } \frac{N}{N_r} \leq \frac{A_w}{2A} \text{، آنگاه } M_{Pc} = M_p \quad (32)$$

$$\text{اگر } \frac{N}{N_r} > \frac{A_w}{2A} \text{، آنگاه } M_{Pc} = 1.14 \left( 1 - \frac{N}{N_y} \right) M_p \quad (33)$$

ب) زمانی که لنگر حول محور ضعیف مقطع H شکل اثر می‌کند:

$$\text{اگر } \frac{N}{N_r} \leq \frac{A_w}{A} \text{، آنگاه } M_{Pc} = M \quad (34)$$

$$\text{اگر } \frac{N}{N_r} > \frac{A_w}{A} \text{ آنگاه } M_{Pc} = 1.14 \left[ 1 - \left( \frac{N - N_{wY}}{N_Y - N_{wY}} \right)^2 \right] M_p \quad (35)$$

در این جا،  $N_{wY} = A_w \sigma_Y$

ج) لنگرهای خمیری ناشی از اثر توأم لنگر خمشی حول محور قوی  $M_x$ ، لنگر خمشی حول محور ضعیف  $M_y$  و

نیروی محوری در این جا،  $M_{PcX}$  و  $M_{PcY}$  متناظراً از بندهای الف و ب به دست می‌آیند.

$$\left(\frac{M_x}{M_{Pcx}}\right)^2 + \frac{M_y}{M_{Pey}} = 1 \quad (36)$$

(د) رابطه طراحی اعضا،

نیروی محوری فشاری  $N$  و لنگر خمشی حداکثر  $M_1$ ، باید در رابطه زیر صدق کنند.

$$\frac{N}{N_{er}} + \frac{C_M M_1}{\left(1 - \frac{N}{N_E}\right) M_{er}} \leq 1.0 \quad (37)$$

$$\frac{M_1}{M_{cr}} \leq 1.0 \quad (38)$$

$N$ : فشار محوری (N)

$N_E$ : مقاومت کمانشی اولر در وجه خمشی (N)

$N_{er}$ : حداقل مقدار مقاومت در برابر کمانش (N)

$M_{Pc}$ : لنگرهای خمشی خمیری ناشی از نیروی محوری فشاری (N.mm)

$M_1$ : قدر مطلق لنگر بزرگتری که در دو انتهای ستون اثر می‌کند. (N.mm)

$M_2$ : قدر مطلق لنگر کوچکتری که در هر دو انتهای ستون اثر می‌کند. زمانی که عضو تحت انحناء ساده قرار

بگیرد، لنگر مثبت و زمانی که تحت انحناء مضاعف قرار گیرد، لنگر منفی در نظر گرفته می‌شود. (N.mm)

$M_{cr}$ : مقاومت کمانش جانبی وقتی که نیروی محوری فشاری وجود ندارد (N.mm). زمانی که لنگر حول محور

ضعیف مقطع قوطی شکل، H شکل و لوله فولادی باشد،  $M_{cr} = M_p$  در نظر گرفته می‌شود.

$C_M$ : ضریب مربوط به توزیع لنگر خمشی وقتی که لنگر خمشی حول محور قوی اثر می‌کند.

$$C_M = 0.6 + 0.4 \frac{M_2}{M_1} \geq 0.4 \quad (39)$$

$$C_M = 1 - 0.5 \left(1 - \frac{M_2}{M_1}\right) \sqrt{\frac{N}{N_E}} \geq 0.25 \quad (40)$$

۶- روش محاسبه شرایط مجاز پیچ U شکل

۶-۱- بار تسلیم پیچ U شکل به صورت مقادیر زیر می‌باشد:

$$F_{L1z} = \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{by} \quad (41)$$

$$F_{L1y} = 2 \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{by} \quad (42)$$

۶-۲- مقدار بار حدی پیچ U شکل به صورت زیر می‌باشد:

$$F_{L2z} = 0.7 \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{bBu} \quad (43)$$

$$F_{L2y} = 1.4 \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{bBu} \quad (44)$$

$F_{L1z}$ : بار تسلیم در راستای عمود بر محور لوله پیچ U شکل (N)

$F_{L1y}$ : بار تسلیم در راستای عمود بر پیچ U شکل (N)

$F_{L2z}$ : بار حدی در راستای عمود بر محور لوله پیچ U شکل (N)

$F_{L2y}$ : بار حدی در راستای عمود بر پیچ U شکل (N)

$d_b$ : قطر پیچ U شکل (mm)

$\sigma_{bBu}$ : تنش گسیختگی پیچ U شکل ( $N/mm^2$ )

در جدول بعدی نمونه‌ای از بار محاسبه شده از بندهای فوق آورده شده است. در این محاسبات جنس مصالح پیچ U شکل از SS400 در نظر گرفته شده است.

جدول ۲۱- بار مجاز پیچ U شکل

بار حدی		بار تسلیم		db	قطر خارجی لوله	قطر اسمی لوله
FL2y	FL2z	FL1y	FL1z			
kN	kN	kN	kN	mm	mm	B
۴۴	۲۲	۳۸	۱۹	۱۰	۴۸/۶	۱-۱/۲
۴۴	۲۲	۳۸	۱۹	۱۰	۶۰/۵	۲
۴۴	۲۲	۳۸	۱۹	۱۰	۷۶/۳	۱-۱/۲
۶۳	۳۲	۵۵	۲۸	۱۲	۸۹/۱	۳
۶۳	۳۲	۵۵	۲۸	۱۲	۱۰۱/۶	۳-۱/۲
۶۳	۳۲	۵۵	۲۸	۱۲	۱۱۴/۳	۴
۱۱۳	۵۶	۹۹	۴۹	۱۶	۱۳۹/۸	۵
۱۱۳	۵۶	۹۹	۴۹	۱۶	۱۶۵/۲	۶
۱۱۳	۵۶	۹۹	۴۹	۱۶	۱۹۰/۷	۷
۱۷۶	۸۸	۱۴۸	۷۴	۲۰	۲۱۶/۳	۸
۱۷۶	۸۸	۱۴۸	۷۴	۲۰	۲۴۱/۸	۹
۱۷۶	۸۸	۱۴۸	۷۴	۲۰	۲۶۷/۴	۱۰
۲۵۳	۱۲۷	۲۱۳	۱۰۶	۲۴	۳۱۸/۵	۱۲
۲۵۳	۱۲۷	۲۱۳	۱۰۶	۲۴	۳۵۵/۶	۱۴
۲۵۳	۱۲۷	۲۱۳	۱۰۶	۲۴	۴۰۶/۴	۱۶

۲۵۳	۱۲۷	۲۱۳	۱۰۶	۲۴	۴۵۷/۲	۱۸
۲۵۳	۱۲۷	۲۱۳	۱۰۶	۲۴	۵۰۸/۰	۲۰
۲۵۳	۱۲۷	۲۱۳	۱۰۶	۲۴	۵۵۸/۸	۲۲
۲۵۳	۱۲۷	۲۱۳	۱۰۶	۲۴	۶۰۹/۶	۲۴

۷- روش محاسبه شرایط مجاز نشیمن سایر متعلقات

۷-۱- بار تسلیم

بار تسلیم مصالح در بند (۳-۴) مصالح، توضیح داده شده است.

۷-۲- بار حدی

بار حدی ۱/۵ برابر بار تسلیم در نظر گرفته می‌شود.

۸- روش محاسبه شرایط مجاز برای اتصالات با جوش

۸-۱- بار تسلیم

بار تسلیم مصالح استفاده شده در بند (۳-۴) مصالح توضیح داده شده است.

۸-۲- بار حدی

بار حدی ۱/۵ برابر با تسلیم می‌باشد.

## ۱۵- انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی و روند طراحی لوزه‌ای در اثر روان‌گرایی زمین

۱- تأمین انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی

تأمین انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی به روش بندهای (۱-۱) تا (۳-۱) یا روشی ترکیبی بستگی دارد.

۱-۱- روش حلقه لوله‌کشی

در این روش با قرار دادن حلقه لوله‌کشی بین نقاط تکیه‌گاهی لوله، تغییر مکان نسبی بین نقاط تکیه‌گاهی مربوطه

جذب می‌گردد. با تشکیل حلقه لوله‌کشی تغییر مکان نسبی در سه راستا مهار می‌گردد.

۱-۲- روش لوله انعطاف‌پذیر

در این روش با استفاده از لوله‌های انعطاف‌پذیر بین نقاط تکیه‌گاهی، تغییر مکان نسبی بین نقاط تکیه‌گاهی مربوطه

جذب می‌گردد.

۱-۳- روش تکیه‌گاه آزاد لوله

در این روش انعطاف‌پذیری زیادی در سیستم وجود دارد و تغییر مکان نسبی با استفاده از تکیه‌گاه‌هایی با کارکرد

آزادسازی تغییر مکان‌های ناشی از تغییر مکان زمین در پی، جذب می‌گردد.

با حرکت پی لوله‌کشی (نشست و تغییر مکان افقی زمین در اثر روان‌گرایی) تغییر مکان زیادی در سیستم لوله‌کشی

مشاهده می‌شود که ممکن است باعث آسیب‌دیدگی سایر سازه‌های پیرامونی از قبیل لوله‌های کوچک مجاور (لوله

متعلق به سیستم لوله‌کشی) در محل تقاطع این سازه‌ها با سیستم شود. بنابراین توجه به این امر ضروری به نظر می‌رسد.

۲- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به تغییر مکان پی در اثر تغییر مکان زمین روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به تغییر مکان پی در اثر تغییر مکان زمین در شکل (۳۱) نشان داده شده است.

۱-۲- این ارزیابی در حالت روانگرایی انجام شده است.

۲-۲- اگر پی لوله‌کشی به همراه اولین تکیه‌گاه لوله بعد از شیر اطمینان لرزه‌ای بر روی یک پی ساخته شود، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی مربوطه در اثر تغییر مکان ناشی از حرکت زمین در پی، قابل قبول می‌باشد.

۳-۲- در حالتی که سیستم لوله‌کشی را نتوان روی یک پی مشترک بنا کرد، تأیید انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی و عدم نشت گاز فشار قوی از لوله‌کشی در اثر تغییر مکان نسبی پی، با توجه به عملکرد پیشنهادی یا نتایج مطالعات ضروری می‌باشد.

۳- تحلیل پاسخ و محدوده ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در اثر حرکت زمین

۱-۳- سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک

معمولاً به منظور تأمین مقاومت لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با رده اهمیت بالا در اثر حرکت زمین، این سیستم بر روی پی مشترک ساخته و اولین نقطه تکیه‌گاهی بعد از شیر اطمینان لرزه‌ای به وسیله جوشکاری (و غیره) ثابت می‌شود. به عبارت دیگر تکیه‌گاه لوله مربوطه باید گیردار باشد. این امر به منظور جلوگیری از نشت ناشی از تغییر شکل تکیه‌گاه لوله و تأثیر تغییر شکل تکیه‌گاه ضعیف بر پی مشترک سیستم لوله‌کشی در اثر بار ناشی از حرکت زمین، می‌باشد.

در مثالی که در شکل (۳۳) نشان داده شده است، برای تأمین عملکرد لرزه‌ای قسمت هاشور خورده (الف) تأثیر ناشی از قسمت هاشور خورده (ب) در اثر حرکت زمین تحلیل می‌گردد و برای تکیه‌گاه گیردار لوله و پی قسمت (ج) که با هاشور نشان داده شده است، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای با توجه به کارکرد گیرداری آن قسمت، در اثر حرکت زمین انجام می‌شود. بهتر است که عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی در محدوده تحلیل شده در اثر حرکت زمین تأیید گردد.

۲-۳- لوله‌کشی بر روی پی‌های غیر مشترک

یک سیستم لوله‌کشی باید انعطاف‌پذیری کافی در مقابل حرکت زمین را داشته باشد. با توجه به ارزیابی انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی در مثال شکل (۳۴) که در آن ارزیابی قسمت هاشور خورده (الف) تحت تأثیر قسمت هاشور خورده (ب) در اثر حرکت زمین انجام شده و عملکرد لرزه‌ای قسمت هاشور خورده (ج) ارزیابی شده است، بهتر است که ارزیابی مشابه‌ای از سیستم لوله‌کشی در محدوده تحلیل شده، انجام شود. به هر حال تحلیل قسمت هاشور خورده در قسمت (ب) بستگی به مدل تحلیلی دارد که به خوبی حالت تغییر شکل لوله‌کشی، سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی و پی آن را در اثر حرکت زمین شبیه‌سازی کند.

۳-۳- تکیه‌گاه غیر گیردار بر روی پی مشترک



اگر سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک بنا شود ولی اولین نقطه تکیه‌گاهی لوله بعد از شیر اطمینان لرزه‌ای، به علت قرار نگرفتن بر روی پی مشترک، گیردار نباشد، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ناشی از حرکت زمین به صورت روند بند ۲) انجام می‌شود.

۴- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با تکیه‌گاه آزاد در اثر حرکت زمین

در سیستم لوله‌کشی که دارای تکیه‌گاه آزاد می‌باشد، لازم است که عملکرد لرزه‌ای سیستم هم نسبت به عکس‌العمل حداکثر تکیه‌گاه آزاد و هم نسبت به تأثیر تغییر مکان ناشی از حرکت زمین در پی، تأیید گردد.

۴-۱- در این مورد برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به جای تبعیت از محدوده نشان داده شده توسط خط‌چین در شکل (۳۳)، از روند نشان داده شده در شکل (۳۲) استفاده می‌شود.

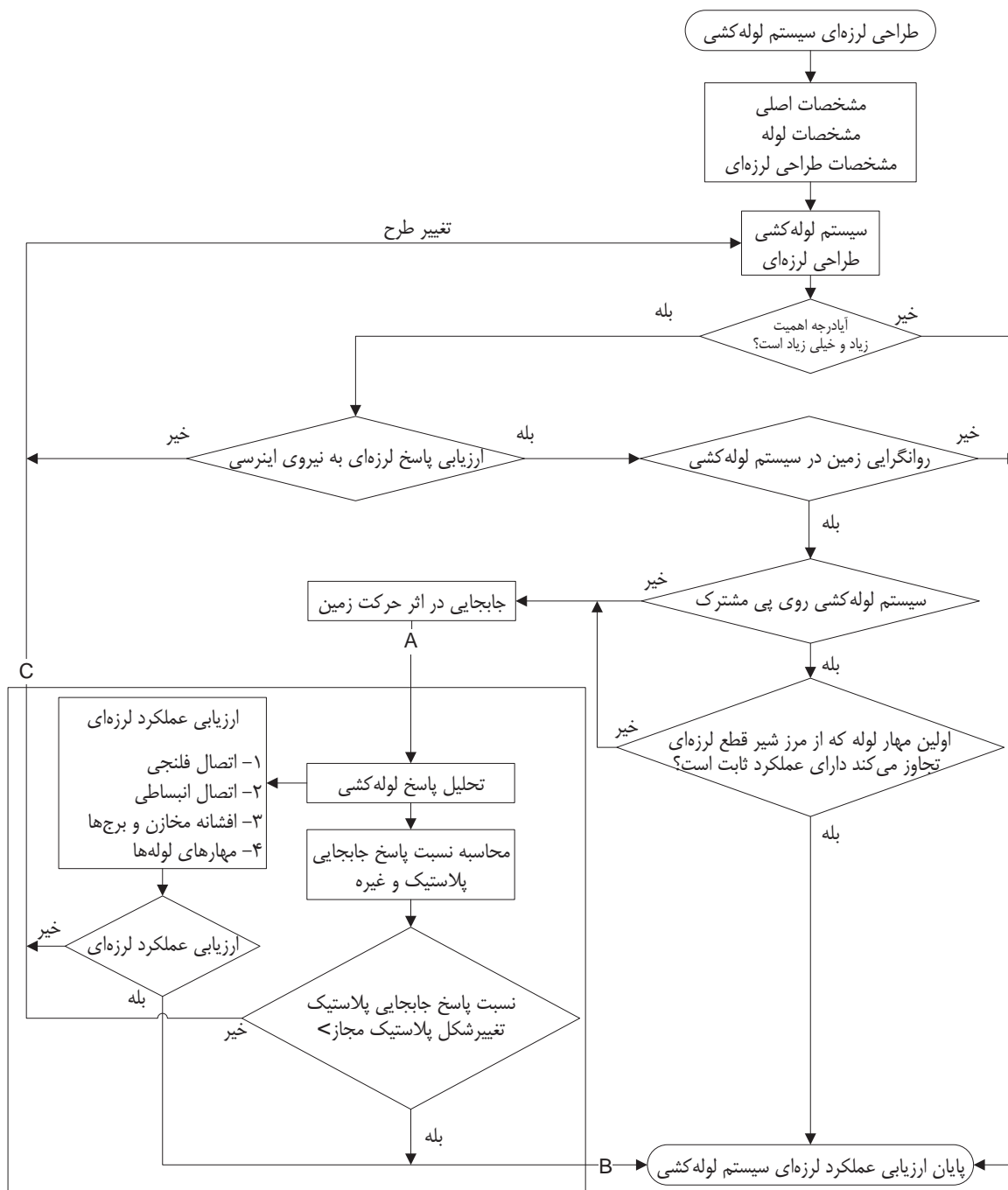
- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله نسبت به عکس‌العمل حداکثر

الف) عکس‌العمل حداکثر (که از این پس، عکس‌العمل آزادسازی گفته می‌شود) زمانی محاسبه می‌گردد که تکیه‌گاه آزاد شده باشد.

ب) مقدار تغییر مکان نسبی (تغییر مکان آزادسازی از این پس گفته می‌شود) با استفاده از تحلیل و با در نظر گرفتن مقاومت تکیه‌گاه آزاد در مقابل عکس‌العمل آزادسازی، به دست می‌آید.

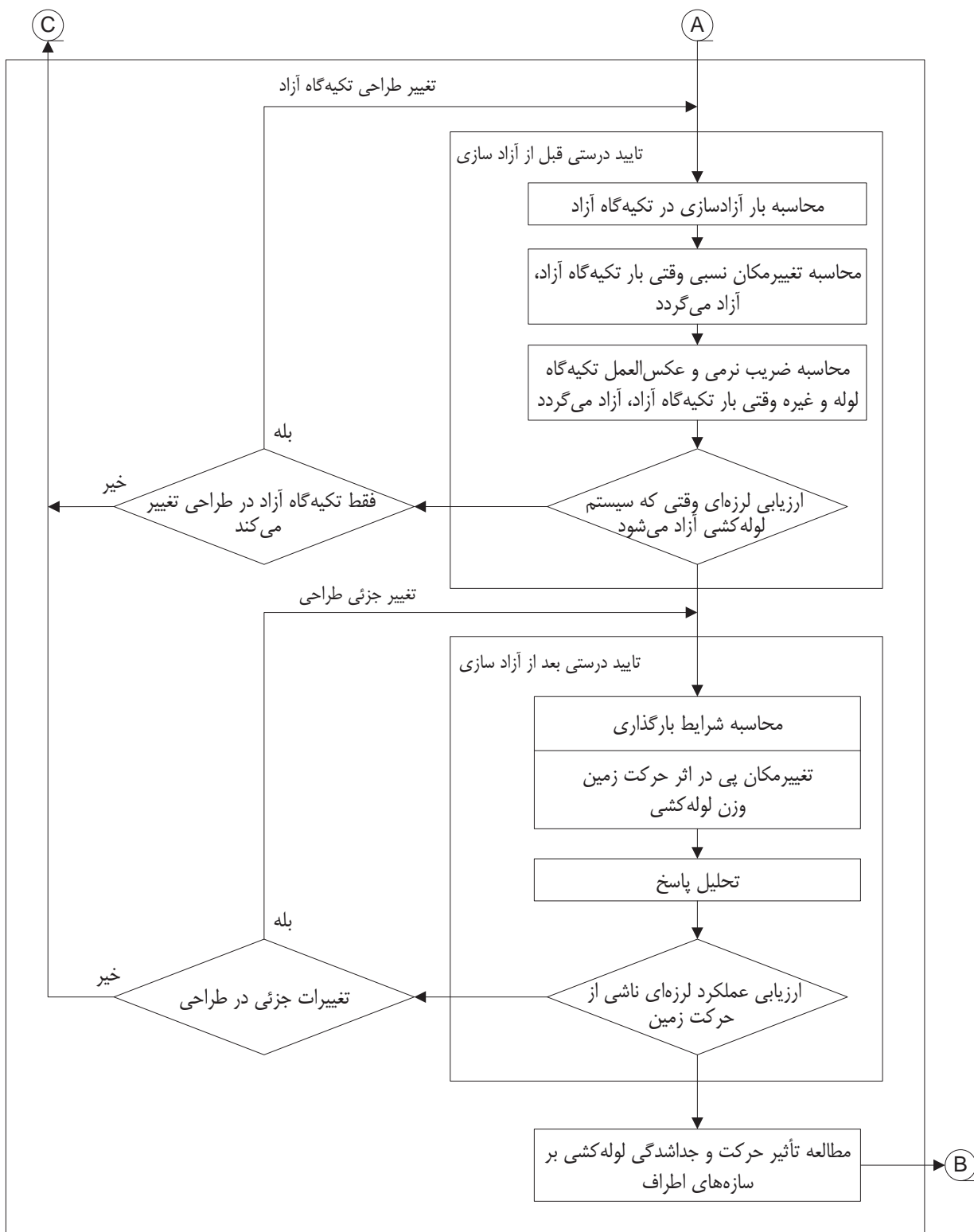
ج) ابتدا نیروی محوری، لنگر خمشی، نیروی برشی و عکس‌العمل تکیه‌گاهی ناشی از تغییر مکان آزاد شده محاسبه و سپس عملکرد لرزه‌ای سیستم ارزیابی می‌گردد.

در این مورد، روند ارزیابی نیروی اولیه را می‌توان به کار برد.



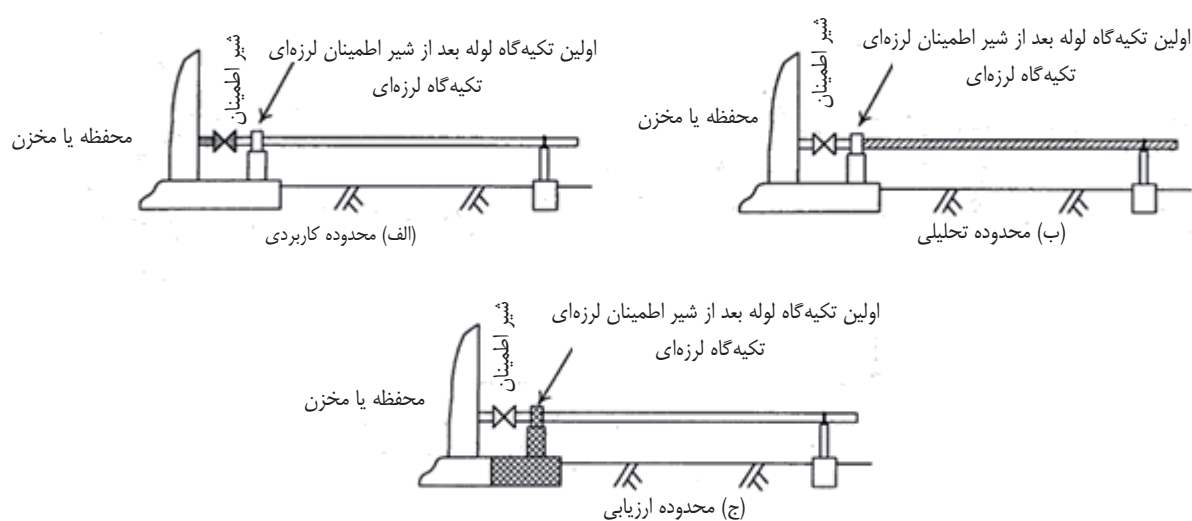
شکل ۳۱- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی برای حرکت زمین

د) روند طراحی در صورتی که عملکرد لرزه‌ای مورد نظر تأمین نگردد، باید تغییر کند. برگشت به گام اول ارزیابی عملکرد لرزه‌ای، زمانی که فقط نحوه طراحی تکیه‌گاه آزاد تغییر کند (کاهش عکس‌العمل حداکثر) ضروری نمی‌باشد. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای عکس‌العمل سیستم لوله‌کشی نسبت به نیروی اینرسی باید به طور جداگانه انجام شود.

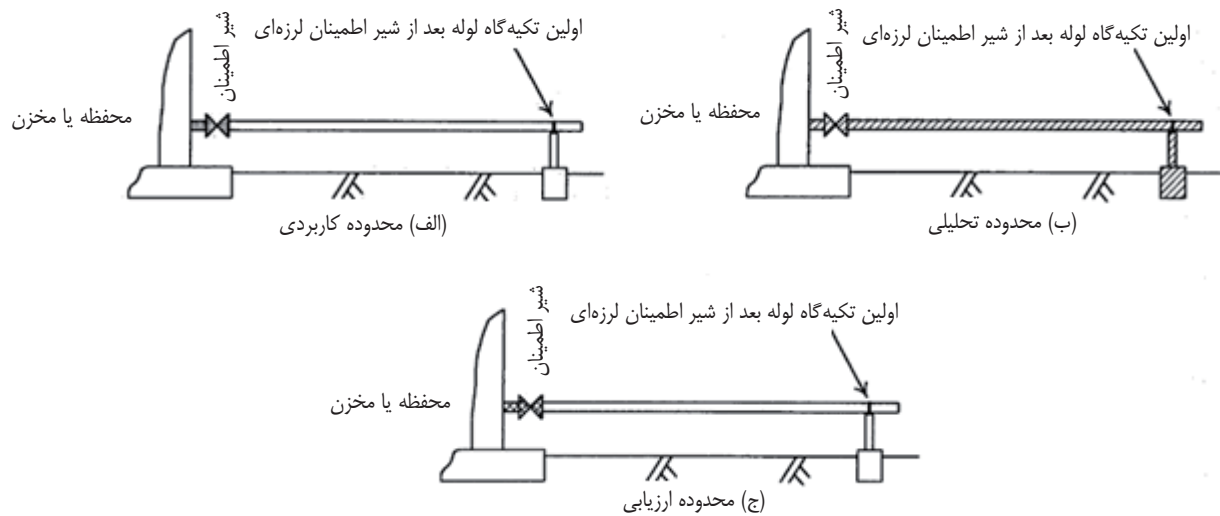


شکل ۳۲- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با تکیه‌گاه آزاد در اثر حرکت زمین

- ۴-۲- تأیید عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی در مقابل تغییر مکان ناشی از حرکت زمین
- الف) در تحلیل پاسخ تأثیر تغییر مکان پی در اثر حرکت زمین، به علت وقوع برکنش و جداسازی سیستم لوله‌کشی از تکیه‌گاه آزاد، با فرض از دست رفتن کارایی تکیه‌گاه، وزن لوله و بار ناشی از تغییر مکان نسبی در نقطه با هم ترکیب شده و تحلیل می‌گردند.
- ب) در ارزیابی عملکرد لوله‌کشی به حرکت زمین واقع بر روی پی مشترک، برکنش و جداسازی (و غیره) تکیه‌گاه گیردار کنترل گردد. بهتر است این کنترل در تکیه‌گاه آزاد لوله‌کشی نیز انجام گیرد.
- ج) اگر سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک بنا نشود، باید ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لوله‌کشی و سازه تکیه‌گاهی لوله انجام شود. در این حالت علاوه بر ارزیابی بار تغییر مکان ناشی از حرکت زمین، شرایط بارگذاری ناشی از وزن خود سیستم نیز باید ارزیابی گردد.
- د) اگر در موردی عملکرد لرزه‌ای برآورده نگردد، طراحی باید تغییر کند. اگر تغییر جزئی در طراحی داده شود، ارزیابی از مرحله اول دوباره آغاز می‌گردد.



شکل ۳۳- سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک



شکل ۳۴- سیستم لوله‌کشی بر روی پی غیر مشترک

## ۱۶- تغییر مکان و تغییر مکان نسبی بین پی

### ۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای پی در اثر حرکت زمین

در اثر روان‌گرایی زمین، نشست و تغییر مکان افقی پس از آن، در پی سازه تکیه‌گاه لوله‌کشی، تغییر مکان افقی، نشست و دوران (انحراف) به وجود می‌آید. اصولاً نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی بایستی در یک پی مشترک بنا شود ولی با توجه به این که پی لوله‌کشی به علت عدم امکان ساخت کل سیستم بر روی یک پی مشترک، جداگانه ساخته می‌شود، بنابراین ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لوله‌کشی در اثر حرکت زمین بایستی با توجه به تغییر مکان نسبی بین تکیه‌گاه لوله‌کشی و پی، انجام شود.

### ۲- تغییر مکان پی در اثر حرکت زمین

محاسبه تغییر مکان پی در اثر حرکت زمین به صورت زیر می‌باشد.

#### ۱-۲- نشست ناشی از روان‌گرایی زمین و گسترش جانبی

نشست در پی گسترده در اثر روان‌گرایی و گسترش جانبی زمین بر اساس روند ارائه شده در فاز دوم محاسبه می‌گردد. اگر ظرفیت باربری شمع‌ها به اندازه کافی باشد، نشست ناشی از روان‌گرایی و گسترش جانبی زمین در آنها رخ نمی‌دهد.

#### ۲-۲- نشست نامتقارن پی در اثر روان‌گرایی و گسترش جانبی زمین

نشست نامتقارن پی گسترده در اثر روان‌گرایی و گسترش جانبی زمین، بر اساس روند ارائه شده در فاز دوم محاسبه می‌گردد. اگر ظرفیت باربری شمع‌ها به اندازه کافی باشد، نشست نامتقارن ناشی از روان‌گرایی و گسترش جانبی زمین در آنها رخ نمی‌دهد.

#### ۳-۲- تغییر مکان جانبی در اثر گسترش جانبی زمین

تغییر مکان جانبی پی گسترده در اثر گسترش جانبی زمین، بر اساس روند ارائه شده در فاز دوم محاسبه می‌گردد. تغییر مکان جانبی شمع‌ها، ناشی از گسترش جانبی بر اساس تغییر مکان پاسخ در فاز دوم محاسبه می‌گردد.

۳- تغییر مکان نسبی پی در اثر حرکت زمین

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی در اثر حرکت زمین، با محاسبه تغییر مکان نسبی بین پی تکیه‌گاه‌های مختلف لوله‌کشی و تغییر مکان پی اصلی، انجام می‌شود.

در این حالت، ارتباط بین تغییر مکان نسبی افقی  $\Delta_{12}(x)$  و تغییر مکان نسبی قائم  $\Delta_{12}(y)$  بین پی تکیه‌گاه‌ها به صورت رابطه زیر می‌باشد:

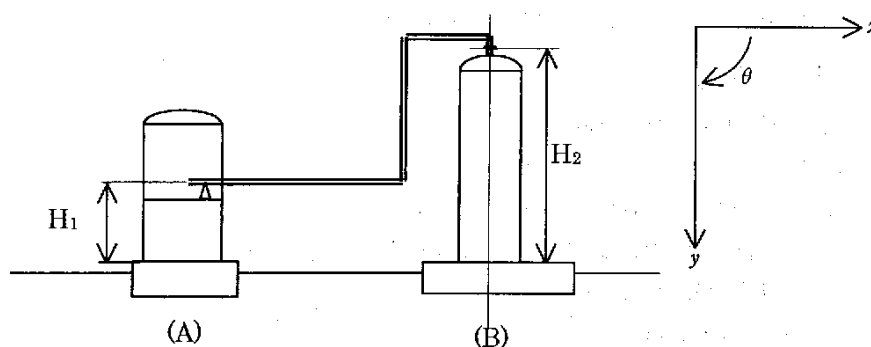
تغییر مکان نسبی افقی:

$$\Delta_{12}(x) = (x_2 + \theta_2 H_2) - (x_1 + \theta_1 H_1) \quad (45)$$

تغییر مکان نسبی قائم:

$$\Delta_{12}(y) = y_2 - y_1 \quad (46)$$

پارامترهای  $x_1, x_2, y_1, y_2, \theta_1, \theta_2, H_1, H_2$  از شکل و جدول زیر تعیین می‌گردند. زاویه با چرخش ساعت گرد مثبت در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳۵- سازه تکیه‌گاهی لوله

جدول ۲۲- تغییر مکان پی سازه تکیه‌گاهی لوله

(B)	(A)	سازه تکیه‌گاهی لوله
$\square x_2$	$\square x_1$	تغییر مکان افقی (mm)
$\square y_2$	$\square y_1$	نشست (mm)
$\square \theta_2$	$\square \theta_1$	زاویه دوران (rad)

## ۱۷- ضریب انعطاف‌پذیری و روند طراحی لوله خمیده

۱- ضریب انعطاف‌پذیری لوله خمیده

در تحلیل پاسخ شتاب با توجه به مثبت یا منفی بودن متناوب تغییر مکان و کوچک بودن زاویه پیچش، متوسط ضریب انعطاف‌پذیری خمش درون صفحه‌ای، خمش برون صفحه‌ای و انبساط درون صفحه‌ای تعیین می‌گردد. به هر حال با توجه این که تغییر مکان نسبی بزرگ می‌باشد و در تحلیل پاسخ حرکت زمین در یک راستا رخ می‌دهد، نمی‌توان از اختلاف مقادیر ضریب انعطاف‌پذیری مربوط به خمش درون صفحه‌ای، انبساط درون صفحه‌ای و خمش برون صفحه‌ای صرف‌نظر کرد.

اگرچه بر اساس حالت تغییر شکل لوله خمیده، ضریب انعطاف‌پذیری از روابط (۴۷) تا (۴۹) به دست می‌آید، ولی برای سادگی طراحی، صرف نظر از حالت تغییر شکل، می‌توان برای حاشیه ایمنی، ضریب انعطاف‌پذیری برای خمش درون صفحه‌ای را از رابطه (۴۷) به دست آورد.

$$k_p = [(1.28h + 0.03)\theta_D (90/\alpha) - 0.66h + 0.75] \frac{S_0}{S_y} k_e \geq k_e \quad (47)$$

$\alpha$ : زاویه لوله خمیده (واحد درجه)

$\theta_D$ : تغییر زاویه لوله خمیده (واحد درجه)

$k_e$ : ضریب انعطاف‌پذیری در تغییر شکل ارتجاعی

۲- روند تحلیل

۱-۲- برای تحلیل تغییر مکان پی در اثر روان‌گرایی، تغییر مکان نسبی در راستای افقی و قائم را باید توأم در نظر گرفت.

۲-۲- ضریب انعطاف‌پذیری لوله خمیده با توجه به زاویه کنج و ترکیب تغییر مکان‌های نسبی دو راستای افقی و قائم به دست می‌آید.

۳-۲- ترکیب بار ناشی از تغییر مکان پی در اثر حرکت زمین با یک بار عادی در نظر گرفته نمی‌شود. تأیید عملکرد لرزه‌ای سیستم با در نظر گرفتن وزن لوله‌کشی، (و غیره) در حالتی که بر تکیه‌گاه لوله وزن زیادی تحمیل نمی‌گردد یا پی در اثر پدیده جوشش با تغییر مکانی در راستای قائم به بالا رانده می‌شود، مانند سیستم لوله‌کشی با تکیه‌گاه آزاد، ضروری می‌باشد.

## ۱۸- جزئیات زاویه مجاز لوله خمیده

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در اثر حرکت زمین، زاویه مجاز لوله خمیده برابر با مقدار زاویه پیچش متناظر با کرنش خمیری معادل ۵٪ می‌باشد. زاویه کنج  $\theta_{al2}$ ، متناظر با کرنش خمیری معادل  $\varepsilon_{pal2}$  لوله خمیده از رابطه (۴۸) به دست می‌آید.

$$\theta_{al.2} = 29.1 \frac{\varepsilon_{paL2}^{0.829}}{h^{0.456}} \quad (48)$$

که در این جا،  $\varepsilon_{paL2}$  کرنش خمیری معادل و  $\theta_{al.2}$  زاویه کنج می باشد. این رابطه برای خم لوله ۹۰ درجه می باشد. برای لوله های با خم ۳۰ یا ۴۵ درجه مقدار تغییر مکان زاویه ای با استفاده از درون یابی اندازه زاویه کنج به دست می آید. در زانویی ۹۰ درجه با در نظر گرفتن ضریب شکل پذیری مجاز متناظر با کرنش خمیری معادل ۵٪، زاویه مجاز معادل با  $\varepsilon_{paL2} 0.05$  به صورت رابطه (۴۹) به دست می آید.

$$\theta_a = \frac{2.43}{h^{0.46}} \quad (49)$$

در جدول ( ۲۳ ) ارتباط بین زاویه مجاز (لوله خمیده با زاویه قائمه) و مقدار مشخصه تغییر شکل خمشی در زانویی بازو بلند ۹۰ درجه با ضخامت اسمی فهرست ۴۰، ارائه شده است.

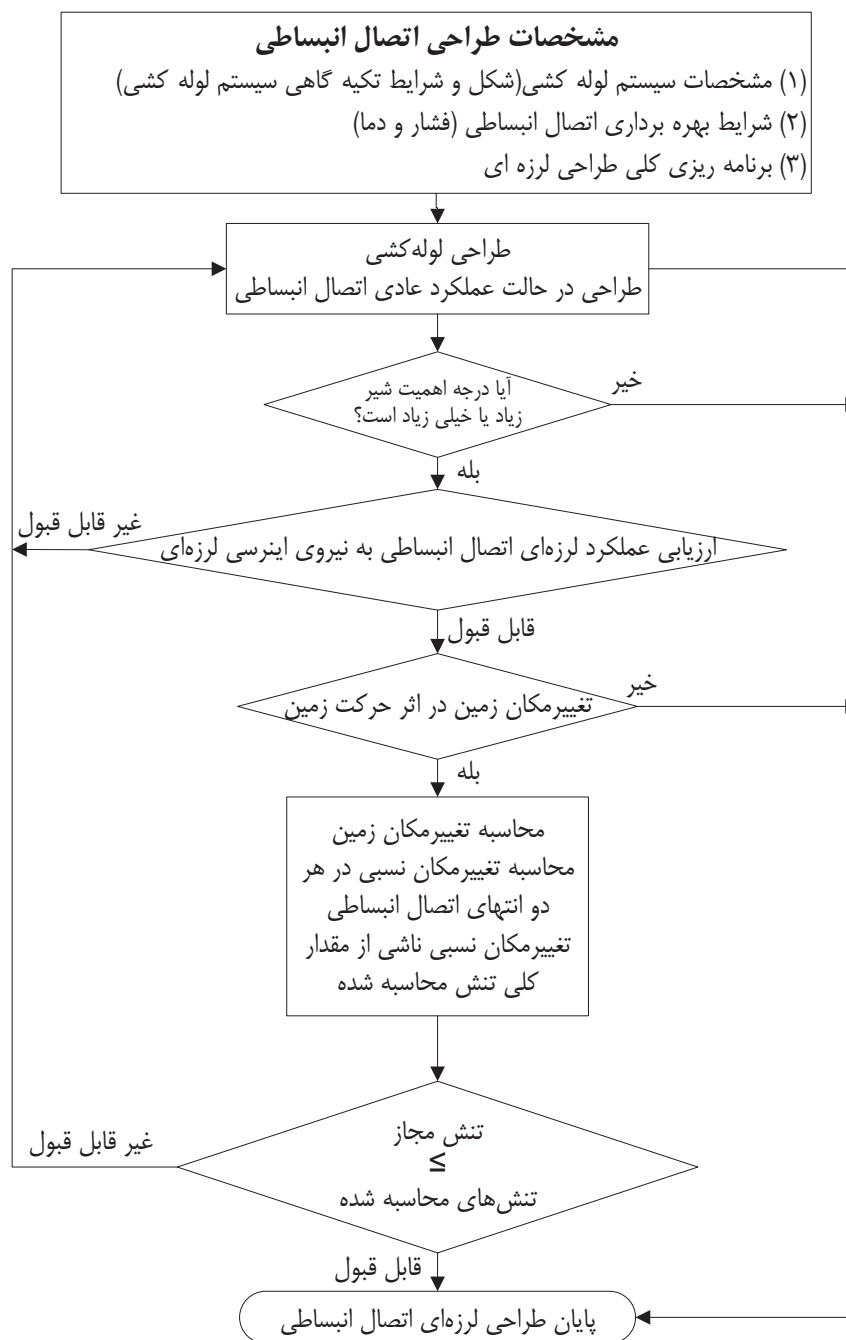
جدول ۲۳- زاویه مجاز زانویی بازو بلند ۹۰ درجه (ضخامت اسمی فهرست ۴۰)

زاویه مجاز (درجه)	مقدار مشخصه تغییر شکل خمشی	ضخامت جداره (mm)	قطر خارجی (mm)	قطر اسمی (A)
۳/۶۲	۰/۴۲۰	۳/۷	۴۸/۶	۴۰
۳/۸۳	۰/۳۷۱	۳/۹	۶۰/۵	۵۰
۳/۷۴	۰/۳۹۲	۵/۲	۷۶/۳	۶۵
۳/۸۹	۰/۳۶۰	۵/۵	۸۹/۱	۸۰
۴/۰۴	۰/۳۳۱	۵/۷	۱۰۱/۶	۹۰
۴/۱۵	۰/۳۱۲	۶/۰	۱۱۴/۳	۱۰۰
۴/۳۴	۰/۲۸۳	۶/۶	۱۳۹/۸	۱۲۳
۴/۵۲	۰/۲۶۰	۷/۱	۱۶۵/۲	۱۵۰
۴/۷۷	۰/۲۳۱	۸/۲	۲۱۶/۳	۲۰۰
۴/۹۵	۰/۲۱۳	۹/۳	۲۶۷/۴	۲۵۰
۵/۱۱	۰/۱۹۸	۱۰/۳	۳۱۸/۵	۳۰۰
۵/۱۰	۰/۲۰۰	۱۱/۱	۳۵۵/۶	۳۵۰
۵/۱۰	۰/۲۰۰	۱۲/۷	۴۰۶/۴	۴۰۰
۵/۱۰	۰/۲۰۰	۱۴/۳	۴۵۷/۲	۴۵۰
۵/۲۲	۰/۱۸۹	۱۵/۱	۵۰۸/۰	۵۰۰
۵/۳۴	۰/۱۸۱	۱۵/۹	۵۵۸/۸	۵۵۰
۵/۳۱	۰/۱۸۳	۱۷/۵	۶۰۹/۶	۶۰۰
۵/۳۲	۰/۱۸۲	۱۸/۹	۶۶۰/۴	۶۵۰



## ۱۹- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنج در اثر حرکت زمین

مطلب مهمی که در مقاومت لرزه‌ای اتصال فلنج باید در نظر داشت این است که از نشت در محل اتصال لوله‌ها در اثر بارهای وارده باید جلوگیری گردد. در این حالت ارزیابی نشت با در نظر گرفتن نیروی محوری کششی و لنگر خمشی تشکیل شده در اثر تغییر مکان نسبی بین تکیه‌گاه لوله و پی لوله‌کشی در اثر حرکت زمین، در محل اتصال فلنج، انجام می‌شود. با توجه به ارزیابی نشت، از روشی مشابه تحلیل پاسخ شتاب در بند (۵-۳-۶) استفاده می‌گردد. شکل (۳۶) روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در اتصال فلنج را نشان می‌دهد.



شکل ۳۶- روند ارزیابی عملکرد لرزه ای اتصال فلنج

## ۲۰- جزئیات روند ارزیابی اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین

تغییر مکان نسبی در هر دو انتهای اتصال انبساطی باید کم تر از تغییر مکان نسبی مجاز ناشی از ده بار نوسان در اتصال انبساطی باشد. در این حالت می توان نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ را به طور جداگانه ارزیابی کرد.

علاوه بر این، در راستایی که تغییر مکان نسبی رخ نمی‌دهد، ضروری است که اتصال دارای مقاومت کافی در مقابل عکس‌العمل پاسخ محاسبه شده، باشد.

۱- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین

روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین بر طبق بندهای ۱-۱ تا ۱-۱ همان‌طور که در شکل ۳۷ نشان داده شده است، می‌باشد.

۱-۱- پس از تأیید عملکرد لرزه‌ای اتصال به نیروی اینرسی لرزه‌ای، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در رده با اهمیت بالا، در اثر تغییر مکان زمین، انجام می‌شود.

۲-۱- عملکرد پی به تغییر مکان ناشی از حرکت زمین، ارزیابی می‌گردد.

۳-۱- تغییر مکان پی محاسبه می‌گردد.

۴-۱- تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی با در نظر گرفتن توأم تغییر مکان افقی و قائم پی و تغییر مکان نسبی محاسبه شده در دو انتهای اتصال انبساطی، انجام می‌شود.

۵-۱- مقدار کلی تنش ایجاد شده در قسمت آکاردئون در اثر تغییر مکان نسبی بین دو انتهای اتصال انبساطی محاسبه می‌گردد.

۶-۱- کم‌تر بودن مقدار کلی تنش محاسبه شده از مقدار تنش مجاز باید تأیید شود.

۲- روش محاسبه مقدار کلی تنش در اتصال انبساطی

روش محاسبه به صورت روش محاسبه در بخش ۵-۳-۸ می‌باشد.

۳- روش محاسبه مقدار تنش مجاز در اتصال انبساطی

مقدار تنش محوری حداکثر ایجاد شده در قسمت آکاردئون باید کم‌تر از دو برابر مقدار تنش مجاز متناظر با ده بار تکرار باشد.

۳-۱- تنش مجاز  $S_a$  برای طراحی لرزه‌ای تنش محوری به‌وجود آمده در قسمت آکاردئون اتصال انبساطی از جنس فولاد سخت (کربن‌دار)، فولاد با آلیاژ پایین، فولاد ضد زنگ فریتی (آهن‌دار) و فولاد با مقاومت کششی بالا، برابر با مقادیر زیر می‌باشد.

الف) حالتی که حداقل مقاومت کششی  $551.6\text{MPa}$  یا کم‌تر باشد برابر با  $S_a = 2 \times 3999 = 7998\text{MPa}$  می‌باشد.

ب) حالتی که حداقل مقاومت کششی بین  $792.9 - 896.3\text{MPa}$  باشد برابر با  $S_a = 2 \times 2896 = 5792\text{MPa}$  می‌باشد.

ج) حالتی که حداقل مقاومت کششی از  $551.6 - 792.9\text{MPa}$  باشد به تناسب از مقادیر بند الف) و ب) به دست می‌آید.

۳-۲- تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای تنش محوری به‌وجود آمده در آکاردئون اتصال انبساطی از جنس فولاد ضدزنگ استنتیتی، آلیاژ نیکل (آلیاژ Ni-Cr-Fe و Ni-Fe-Cr) و آلیاژ مس نیکل، برابر با  $S_a = 2 \times 4882 = 9746\text{MPa}$  می‌باشد.

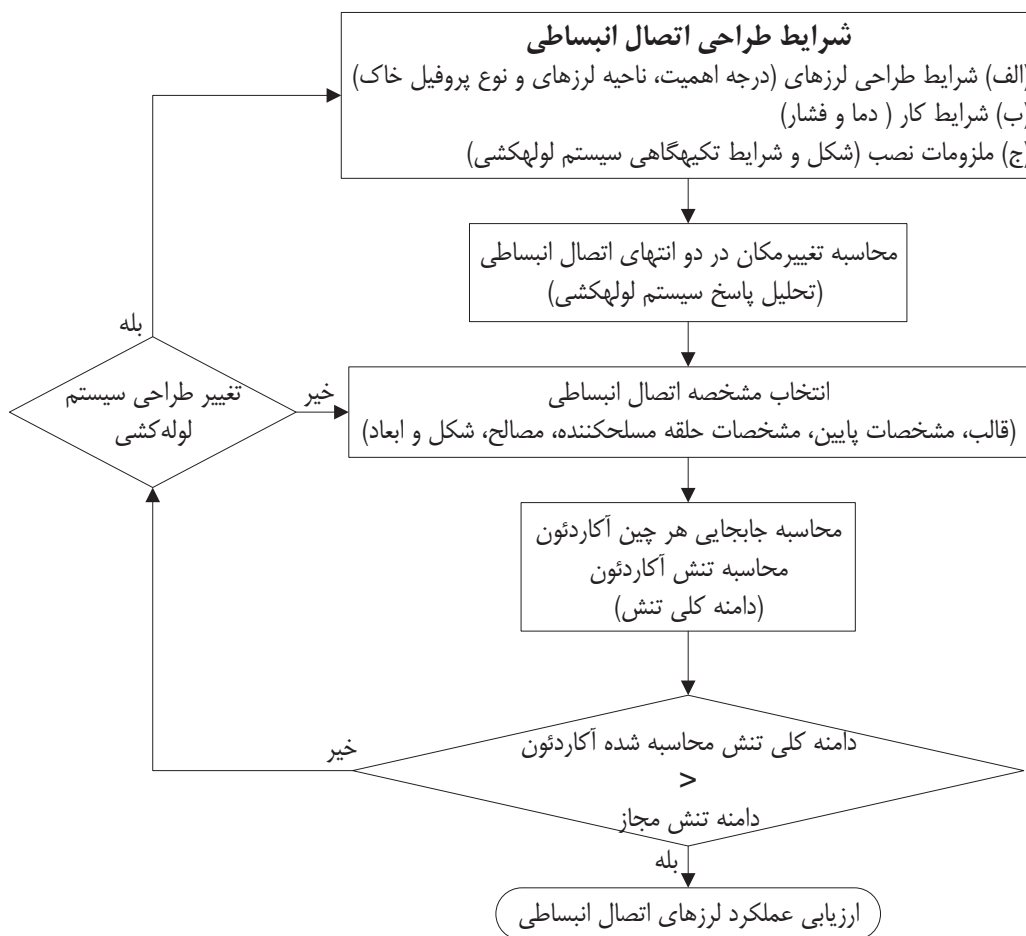
۴- برآورد عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین به این صورت می‌باشد که مقدار کلی تنش محاسبه شده در اتصال از بند ۲ باید کمتر از مقدار تنش مجاز محاسبه شده از بند ۳ باشد. در این حالت خسارات تجمعی وارده بر اتصال در اثر بارهای وارده در زلزله‌های گذشته، در نظر گرفته نمی‌شود.

علاوه بر آن، در چستی که تغییر مکان نسبی جذب نمی‌گردد، عضو مهارکننده تغییر مکان در اتصال انبساطی، باید دارای مقاومت کافی (مهار توسط قفسه پیچ، مهار توسط صفحه قفسه و حلقه تنظیمی و غیره) برای حفظ کارکرد مربوطه باشد. این کارکرد شامل تحمل عکس‌العمل محاسبه شده از تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی ناشی از حرکت زمین می‌باشد. @

۵- طراحی اتصال انبساطی برای مقاصدی به غیر از تغییر مکان زمین

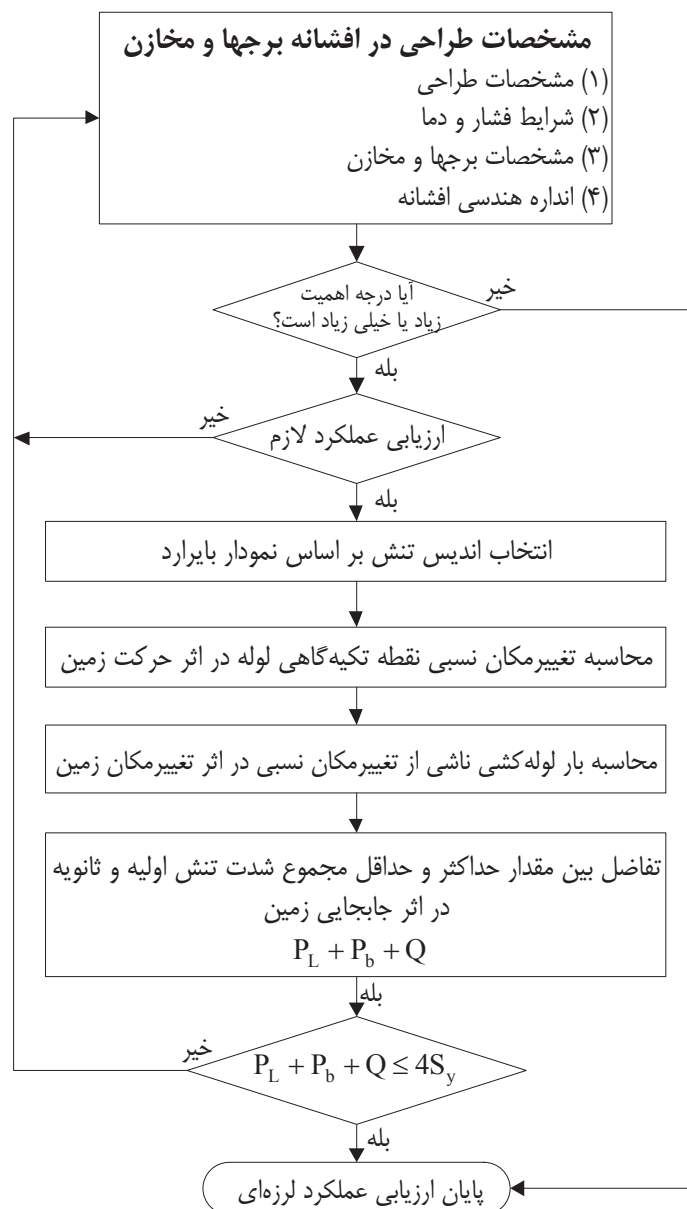
برای طراحی اتصال انبساطی برای مقاصدی به غیر از تغییر مکان زمین، تکیه‌گاه لوله باید طوری طراحی شود که تغییر مکان متجاوز از حد ترانس ناشی از حرکت لرزه‌ای به اتصال انبساطی وارد نشود یا تکیه‌گاه دارای مقاومت کافی برای حفظ کارکرد عضو مهارکننده تغییر مکان اتصال باشد. این کارکرد شامل تحمل عکس‌العمل محاسبه شده از تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی ناشی از تغییر مکان زمین، می‌باشد.



شکل ۳۷- روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر تغییر مکان زمین

## ۲۱- جزئیات روند ارزیابی افشانه مخازن و برج‌ها در اثر تغییر مکان زمین

- ۱- در طراحی لوزه‌ای، ارزیابی تغییر مکان نقطه تکیه‌گاهی لوله در افشانه برج‌ها و مخازن در اثر تغییر مکان زمین به این صورت می‌باشد که مجموع شدت تنش اولیه و ثانویه ایجاد شده در اثر تغییر مکان مربوطه، باید برابر یا کمتر از شدت تنش مجاز  $4S_y$  باشد. در این حالت امکان ارزیابی با برآورد نیروی اینرسی مربوطه به صورت جداگانه امکان‌پذیر می‌باشد.
- ۲- ارزیابی افشانه برج‌ها و مخازن به وسیله روشی ساده شده (روش بایرارد (Bairard) بر اساس تئوری پوسته نازک یا تحلیل تفصیلی المان محدود (FEM) (و غیره) و نیز بر طبق بخش ۵-۳-۹ در باب تحلیل پاسخ شتاب، انجام می‌شود.
- ۳- در شکل ۳۸ روندنمای ارزیابی تغییر مکان نسبی نقطه تکیه‌گاهی لوله در ارزیابی عملکرد لوزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن در اثر تغییر مکان زمین به روشی ساده شده بر اساس روش بایرارد، نشان داده شده است. همچنین در تحلیل‌های تفصیلی (و غیره) بر اساس روش المان محدود (و غیره)، ارزیابی با روشی مشابه انجام می‌شود.



شکل ۳۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برجها و مخازن در اثر جابه‌جایی زمین

## ۲۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله به جابه‌جایی زمین

۱- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله به جابه‌جایی زمین

روند ارزیابی تکیه‌گاه لوله ناشی از جابه‌جایی زمین به صورت زیر می‌باشد و در شکل ۳۹ نشان داده شده است.

۱-۱- پس از تأیید قابل قبول بودن ارزیابی سیستم به نیروی اینرسی لرزه‌ای، ارزیابی سیستم لوله‌کشی به جابه‌جایی زمین انجام می‌شود.

۲-۱- با تعیین امکان وقوع روان‌گرایی یا تغییر مکان زمین (حرکت زمین)، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی واقع بر پی، به جابه‌جایی زمین، انجام می‌شود.

۱-۳- اگر سیستم لوله‌کشی به همراه تجهیزات طراحی لرزه‌ای بر روی یک پی مشترک بنا شده باشند، لازم است که کارکرد گیرداری تکیه‌گاه لوله تجهیزات در نزدیک‌ترین فاصله بعد از شیر اطمینان لرزه‌ای، در اثر تغییر مکان مربوط به جابه‌جایی زمین (حرکت زمین)، تأیید شود.

۱-۴- اگر سیستم لوله‌کشی به همراه تجهیزات طراحی لرزه‌ای بر روی یک پی مشترک بنا نشده باشند، لازم است که تکیه‌گاه لوله و متعلقات آن دارای عملکرد لرزه‌ای مناسب در برابر تغییر مکان نسبی زمین بر اساس موقعیت نقطه تکیه‌گاهی، باشد.

۱-۵- همانند ارزیابی نیروی اینرسی، عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله با تنظیم شرایط مجاز بر طبق کارکرد تکیه‌گاه لوله ارزیابی می‌گردد.

#### ۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه گیردار لوله

در مواردی که تأثیر جابه‌جایی زمین قابل پیش‌بینی باشد، معمولاً سیستم لوله‌کشی بایستی بر روی یک پی مشترک (یکپارچه) بنا می‌شود. در این حالت، اولین تکیه‌گاه لوله بعد از شیر اطمینان لرزه‌ای، در محدوده لوله‌کشی در روی یک پی مشترک بنا می‌شود و تکیه‌گاه خارج از محدوده سیستم، گیردار می‌باشد.

به عبارت دیگر، در اثر جابه‌جایی زمین در لوله‌کشی غیر واقع بر پی مشترک تغییر شکل زیادی رخ می‌دهد؛ در این حالت لازم است که عدم نشت لوله‌کشی واقع بر پی مشترک در اثر تغییر شکل ایجاد شده ناشی از تغییر شکل تکیه‌گاه لوله غیر واقع بر پی مشترک، تأیید گردد. به همین علت، با در نظر گرفتن لزوم کم بودن تغییر شکل تکیه‌گاه گیردار لوله در اثر تغییر مکان زمین و تحمل عکس‌العمل در سه راستا و لنگر خمشی حول سه محور توسط لوله‌کشی، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه گیردار لوله به این صورت می‌باشد که تنش ایجاد شده ناشی از عکس‌العمل و لنگر ناشی از جابه‌جایی زمین در لوله‌کشی، باید کمتر از بار تسلیم باشد.

در این حالت، اصولاً عکس‌العمل لوله‌کشی در اثر تغییر مکان زمین (و غیره) با استفاده از تحلیل پاسخ به دست می‌آید ولی ممکن است با مقاومت تسلیم لنگر پلاستیک کامل لوله‌کشی، جایگزین گردد.

#### ۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه تقویتی لوله

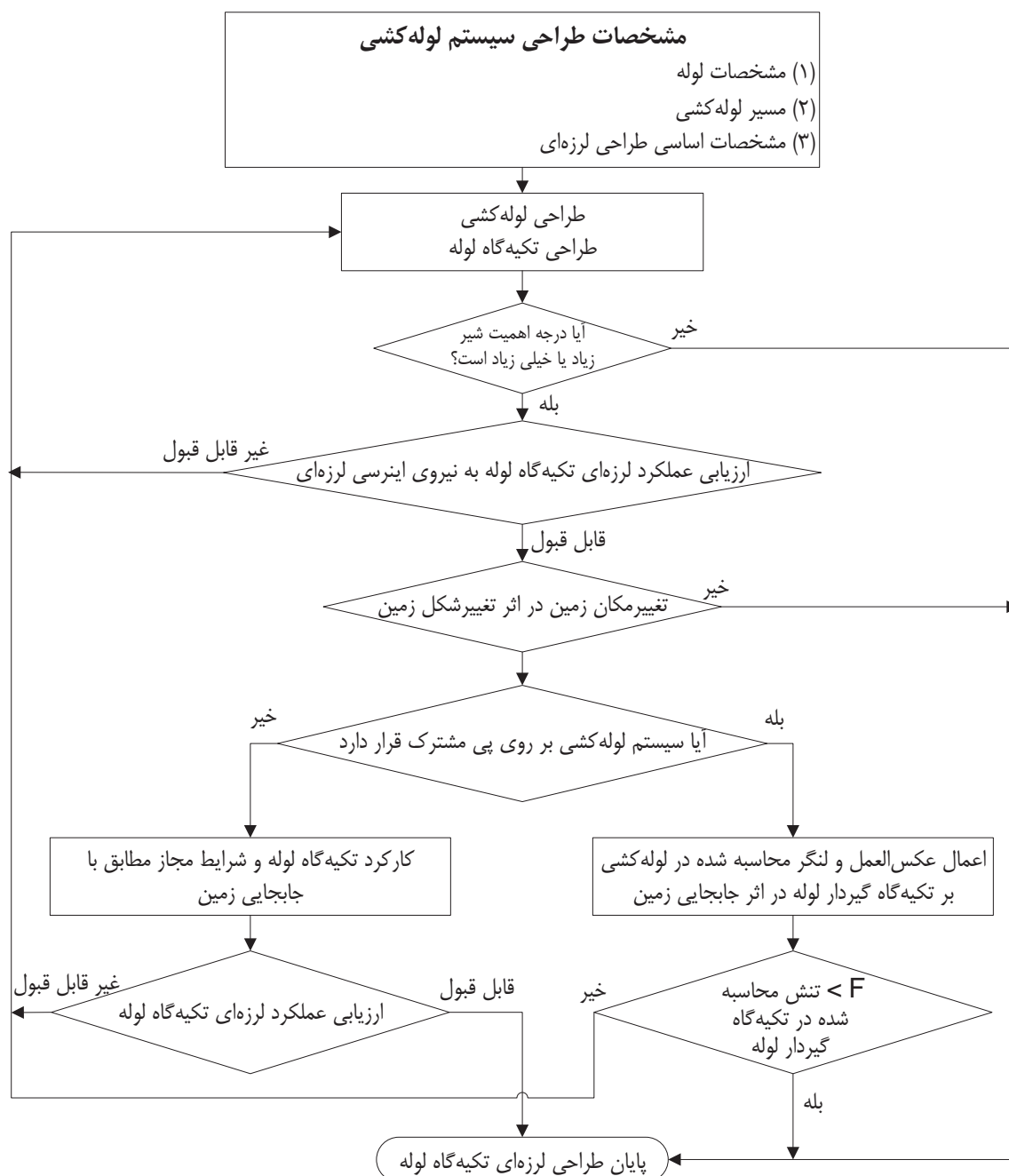
ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه تقویتی لوله نسبت به روان‌گرایی ناشی از تغییر مکان زمین به منظور عدم ایجاد گسیختگی، بدین صورت است که تغییر شکل خمیری ایجاد شده ناشی از عکس‌العمل لوله‌کشی در تکیه‌گاه، باید کمتر از تغییر شکل خمیری مجاز باشد.

#### ۴- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه آزاد

از تکیه‌گاه آزاد برای جلوگیری از نشت در لوله‌کشی با کاهش اثرات بارگذاری از طریق جدا کردن نشیمن متعلقات پیچ U شکل و حذف مقاومت تکیه‌گاه در مقابل حرکت زمین، استفاده می‌شود، مشروط بر این که کارکرد تکیه‌گاه برای نیروی اینرسی ناشی از حرکت زمین حفظ شود.

به هر حال، این تکیه‌گاه باید به گونه‌ای باشد که مشخصات ظرفیت باربری آزاد تکیه‌گاه لوله (و غیره) را دارا باشد.

#### ۵- تنظیم شرایط مجاز



شکل ۳۹- روندنمای ارزیابی عملکرد لوله‌های تکیه‌گاه لوله در اثر تغییر مکان زمین



## ۲۳- ارزیابی مقاومت تسلیم ستونک

ایمنی ستونک به این صورت ارزیابی می‌شود که ظرفیت لنگر نهایی ستونک  $M_u$ ، طبق رابطه (۵۰)، باید بیش از حاصل ضرب لنگر پلاستیک کل مقطع ستون  $M_{pc}$  در ضریب ایمنی  $\alpha$  باشد، همچنین مقاومت برشی نهایی ستونک،  $Q_u$ ، طبق رابطه (۵۰)، باید بیشتر از نیروی برشی در نقطه تسلیم  $Q_{mu}$  باشد.

$$M_u \geq \alpha \times M_{pc} \quad (50)$$

$$Q_u \geq Q_{mu} \quad (51)$$

$M_u$ : ظرفیت لنگر نهایی ستونک (N.m)

$M_{pc}$ : لنگر پلاستیک کل مقطع ستون (N.m)

$\alpha$ : ضریب ایمنی (SS400, SN400:  $\alpha=1.3$ , SM490, SN490:  $\alpha=1.2$ )

$Q_u$ : مقاومت برشی نهایی ستونک (N)

$Q_{mu}$ : نیروی برشی در نقطه تسلیم هنگامی که مفصل پلاستیک در ستون ایجاد می‌شود. (N)

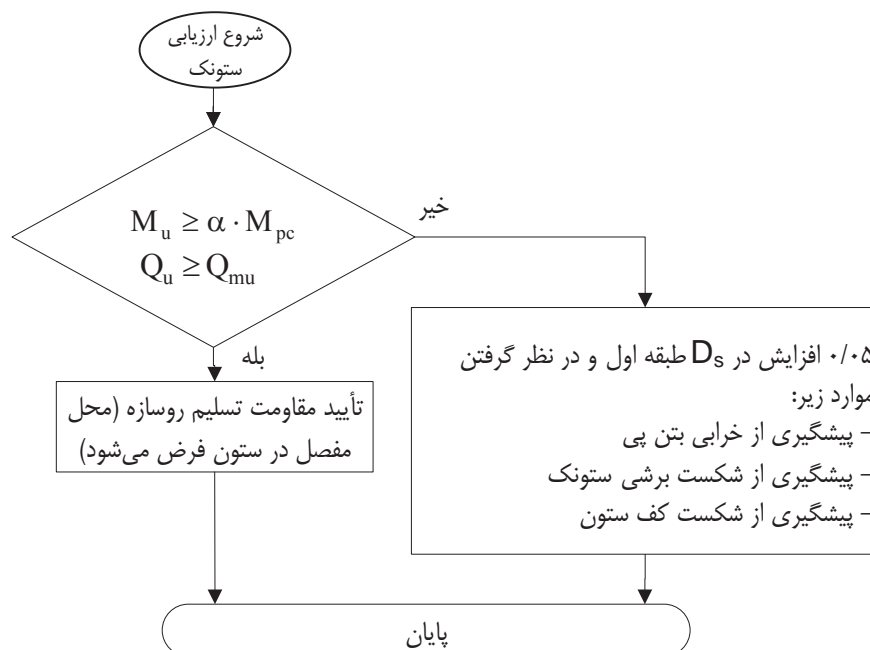
چنانچه روابط ۴۵ و ۴۶ به‌طور هم‌زمان برقرار گردند، مفصل پلاستیک در ستون ایجاد شده و ستونک دچار خرابی نمی‌گردد. مقدار  $D_s$  مورد استفاده در تعیین مقاومت تسلیم (رابطه ۱۰-۱۵)، توسط وزن طبقات بالایی ستونک تعیین می‌شود. در صورت عدم برقراری این روابط، در ستونک مفصل پلاستیک ایجاد شده و هنگام تعیین مقاومت تسلیم به  $D_s$  طبقه اول،  $0.05$  اضافه می‌شود. در این حالت برای برقراری عملکرد ستونک، لازم است موارد زیر در نظر گرفته شود:

(الف) پیشگیری از خرابی بتن پی

(ب) پیشگیری از شکست برشی ستونک

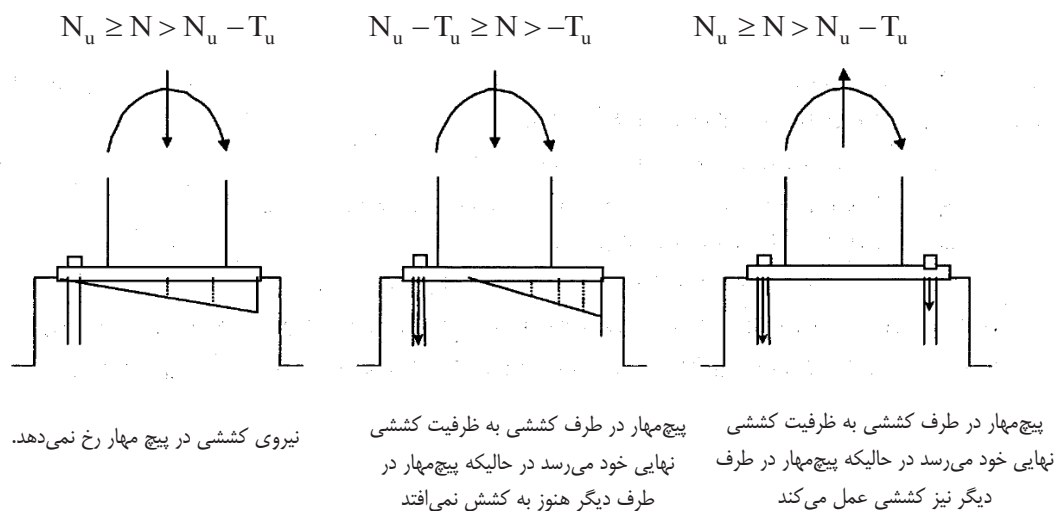
(ج) پیشگیری از خرابی کف ستون

شکل زیر مراحل ارزیابی ایمنی ستونک و سازه‌های فوقانی ستونک را نشان می‌دهد.



شکل ۴۰- مراحل ارزیابی ایمنی ستونک و روسازه

۱- محاسبه ظرفیت لنگر نهایی  $M_u$  و نیروی برشی نهایی  $Q_u$  ستونک برای سه حالت نشان داده شده در شکل ۴۱ در ادامه آمده است.



شکل ۴۱- تنش در نزدیکی ستونک

$N$ : کشش محوری ستون در نقطه تسلیم

$N_u$ : ظرفیت فشاری نهایی بتن پی

$T_u$ : ظرفیت کششی نهایی پیچ مهار

۱-۱- ظرفیت لنگر نهایی  $M_u$  ستونک

$$N_u \geq N > N_u - T_u \quad (\text{الف})$$

$$M_u = Ndt \left( \frac{N_u}{N} - 1 \right) \quad (\text{N.m}) \quad (52)$$

$N_u$ : ظرفیت فشاری نهایی بتن پی  $N_u = 0.85bDF_c$  (N)

□ کشش محوری ستون در نقطه تسلیم (N)

dt: فاصله مرکز سطح مقطع ستون تا مرکز جرم در وجه کششی پیچ مهار (mm)

$$N_u - T_u \geq N > -T_u \quad (\text{ب})$$

$$M_u = T_u dt + \frac{(N + T_u)D_{bpl}}{2} \left( 1 - \frac{N + T_u}{N_u} \right) \quad (\text{N.m}) \quad (53)$$

$D_{bpl}$ : طول کف ستون (mm)

$T_u$ : ظرفیت کششی نهایی پیچ مهار (N)  $T_u = n_t A_b F_{ab}$

b: عرض کف ستون (mm)

$F_c$ : مقاومت طراحی بتن ( $\text{mm}^2$ )

$A_b$ : سطح مقطع میل مهار ( $\text{mm}^2$ )

$F_{ab}$ : مقاومت پیچ مهار ( $\text{N/mm}^2$ )

$n_t$ : تعداد پیچ‌ها

$$-T_u \geq N > -2T_u \quad (\text{ج})$$

$$M_u = (N + 2T_u)dt \quad (\text{N.m}) \quad (54)$$

۱-۲- نیروی برشی نهایی ستونک  $Q_u$

نیروی برشی نهایی ستونک  $Q_u$  باید بزرگ‌ترین مقدار  $Q_{fu}$  مقاومت اصطکاکی و  $Q_{su}$  نیروی برشی نهایی پیچ مهار باشد.

$$Q_u = \max(Q_{fu}, Q_{su}) \quad (55)$$

$$N_u \geq N > N_u - T_u \quad (\text{الف})$$

$$Q_{fu} = 0.5N_y \quad (56)$$

$$Q_{su} = 2S_u \quad (57)$$

$S_u$ : مقاومت تسلیم برشی نهایی پیچ مهار

$$N_u - T_u \geq N > -T_u \quad (\text{ب})$$

$$Q_{fu} = 0.5(N + T_u), \quad Q_{fu} \leq 0.5(N_u - T_u) \quad (58)$$

$$Q_{su} = S_u \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{T}{T_u} \right)^2} \right\} \quad (59)$$

$$T = N_u - T_u - N, \quad T \leq T_u \quad (60)$$

$$-T_u \geq N > -2T_u \quad (\text{ج})$$

$$Q_{fu} = 0 \quad (61)$$

$$Q_{su} = S_u \sqrt{1 - \left( \frac{T}{T_u} \right)^2} \quad (62)$$

$$T = -T_u - N \quad \text{که در آن}$$

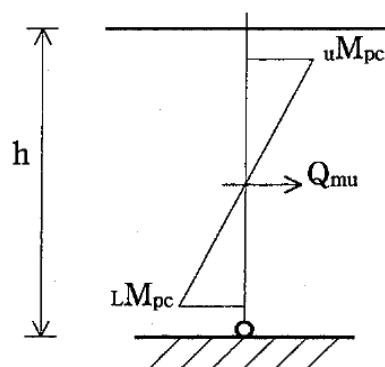
$$S_u = n_t A_b F_{ab} / \sqrt{3} \quad (N) \quad (63)$$

۲- لنگرهای پلاستیک کل ستون  $M_{pc}$

لنگرهای پلاستیک کل ستون با در نظر گرفتن نیروی محوری به دست می‌آیند.

۳- نیروی برشی ستون در مقاومت تسلیم  $Q_{mu}$

نیروی برشی ستون در نقطه تسلیم، از مقاومت تسلیم افقی اولین ستون قاب با در نظر گرفتن نیروی محوری به دست می‌آید.



$$Q_{mu} = \frac{u.M_{pc} + L.M_{pc}}{h}$$

شکل ۴۲- نیروی برشی ستون در نقطه تسلیم

جهت ایجاد ظرفیت تغییر شکل پلاستیک در ستونک، لازم است میل مهار دارای قابلیت تغییر طول کافی باشد. قابلیت تغییر طول، عملکردی است که در آن بخش رزوه شده تا زمانی که همه بخش‌های ساق تسلیم نشده‌اند، نمی‌شکند. بدین منظور نسبت تسلیم به مقاومت نهایی مصالح پیچ مهاری باید کوچک‌تر یا مساوی ۰/۷ باشد.

**Islamic Republic of Iran**  
**Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision**

# **Guideline for Seismic Design of Natural Gas systems**

**No. 601**

Office of Deputy for Strategic Supervision  
Department of Technical Affairs

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

**2012**



## این نشریه

با عنوان "راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه گازرسانی" با هدف تأمین ایمنی عمومی و پیشگیری از آسیب جدی به سامانه گازرسانی شهری تدوین شده است. در این راهنما کلیات و مبانی در فصل‌های اول و دوم، بارگذاری لرزه‌ای، روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی بار لرزه‌ای ناشی از انتشار امواج در فصل‌های سوم و چهارم، طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی اجزا مختلف سامانه گازرسانی در فصل‌های پنجم تا یازدهم و در نهایت مثال‌های کاربردی در فصل دوازدهم ارائه شده است که می‌تواند راهنمای مناسبی برای مشاوران و طراحان باشد.