

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

راهنمای طراحی لרزه‌ای سامانه برق‌رسانی

نشریه شماره ۶۰۲

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

nezamfanni.ir



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

شماره: ۱۰۰/۶۵۴۵۲	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۹۱/۰۸/۱۰	
موضوع: راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه برق‌رسانی	
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 ۶۰۲ امور نظام فنی، با عنوان «راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه برق‌رسانی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. 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.  بهروز 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

web: nezamfanni.ir/

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 برق 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 آیین نامه 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 مهندسین 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 نماید.

تهیه و کنترل راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه برق‌رسانی (نشریه شماره ۶۰۲)

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
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	نعمه رفیعی
کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله	مهدی شادابفر
کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه	رسول خوشروان آذر
کارشناس مهندسی عمران - آب و فاضلاب	فریده عاشوری
کارشناس مهندسی عمران	حمید قربان‌بیگی
کارشناس مهندسی عمران - ساختمانهای آبی	نگار وکیلی فر

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 یاسو اوگاوا
مرکز تحقیقات برق مرکزی ژاپن	دکتر کیزو اوتومو
دانشگاه کوبه	دکتر یاسوکو کواتا
شرکت مهندسی مشاور نفتی چیدای ژاپن (chas)	مهندس ماسامی اوشیما
شرکت مهندسی مشاور نفتی چیدای ژاپن (chas)	مهندس فوميو آندو

اعضای کارگروه‌های فنی - تخصصی بازخوانی و بررسی متن نهایی:

عباس قلندرزاده (بارگذاری)	دکترای عمران - ژئوتکنیک لرزه‌ای
رضا کرمی محمدی (گاز)	دکترای 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)	کارشناس ارشد مهندسی عمران - زلزله
هادی بهادری (آب و فاضلاب)	دکترای عمران - خاک و پی
سعید تاریوردیلوی اصل (آب و فاضلاب)	دکترای عمران - سازه
بهنام وخشوری (آب و فاضلاب)	کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه:

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

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول - کلیات
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- مراجع.....
۴	۱-۳-۱- مراجع اصلی این راهنما.....
۵	۱-۳-۲- مخفف آیین نامه ها.....
	فصل دوم- مبانی
۹	۱-۲- زلزله طراحی.....
۹	۱-۲-۱- سطوح خطر زلزله و دوره بازگشت آنها.....
۱۰	۱-۲-۲- طیف های طراحی لرزه ای.....
۱۱	۱-۲-۳- توزیع شدت لرزه ای در طبقات.....
۱۲	۱-۲-۴- شدت لرزه ای قائم طرح.....
۱۲	۱-۲-۲- روند کنترل ایمنی لرزه ای (روش های طراحی).....
۱۲	۱-۲-۳- عملکردهای مورد انتظار در این راهنما.....
	فصل سوم- بارگذاری لرزه ای
۱۷	۱-۳- انواع بار.....
۱۷	۱-۳-۲- محاسبه وزن ها.....
۱۷	۱-۳-۳- ترکیب بارها.....
۱۷	۱-۳-۴- انواع تجهیزات از نظر محل استقرار.....
۱۸	۱-۳-۵- روش های اعمال بارهای لرزه ای.....
۱۸	۱-۳-۶- آثار زلزله بر تجهیزات سامانه برق.....
۱۸	۱-۳-۷- روش های محاسبه بارهای لرزه ای وارد بر تجهیزات.....
۱۹	۱-۷-۱- ضریب اهمیت.....
۲۱	۱-۷-۲- نسبت شتاب مبنای طرح.....
۲۱	۱-۷-۳- ضریب بزرگنمایی لایه های خاک.....

۲۱	۳-۷-۴- محاسبه ضریب زلزله.....
۲۱	۳-۷-۴-۱- ضریب زلزله افقی طراحی.....
۲۲	۳-۷-۴-۲- نیروی زلزله افقی طراحی.....
۲۲	۳-۷-۵- روش شبه استاتیکی اصلاح شده.....
۲۲	۳-۷-۵-۱- ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی.....
۲۲	۳-۷-۵-۲- ضریب زلزله قائم اصلاح شده.....
۲۳	۳-۷-۵-۳- نیروی زلزله اصلاح شده.....
۲۳	۳-۷-۶- روش دینامیکی.....
۲۳	۳-۷-۶-۱- روش طیف پاسخ.....
۲۴	۳-۷-۶-۲- روش تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی.....
۲۴	۳-۷-۶-۳- روش پاسخ تغییرمکان (برای سازه‌های مدفون).....
۲۴	۳-۸-۱- بارگذاری ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله بر تجهیزات.....
۲۴	۳-۸-۱- روانگرایی.....
۲۵	۳-۸-۲- زمین لغزه.....
۲۵	۳-۸-۳- گسلش.....
۲۵	۳-۹- طبقه بندی خاک.....
	فصل چهارم- روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی
۲۹	۴-۱- طراحی لرزه‌ای.....
۲۹	۴-۱-۱- کلیات.....
۲۹	۴-۲- اصول روش طراحی لرزه‌ای.....
۳۰	۴-۲-۱- نحوه طراحی به روش تنش مجاز.....
۳۰	۴-۲-۱-۱- محاسبه تنش.....
۳۰	۴-۲-۱-۲- تنش‌های مجاز در تحلیل لرزه‌ای.....
۳۰	۴-۲-۱-۳- بررسی تنش محاسباتی.....
۳۰	۴-۲-۲- نحوه تحلیل لرزه‌ای برای روش طراحی شکل‌پذیر.....
۳۰	۴-۲-۲-۱- طراحی لرزه‌ای.....
۳۰	۴-۲-۲-۲- تحلیل پاسخ لرزه‌ای.....
۳۳	۴-۲-۲-۳- ضریب شکل‌پذیری.....
۳۳	۴-۲-۲-۴- ضریب شکل‌پذیری مجاز.....
۳۳	۴-۲-۲-۵- برآورد ضریب شکل‌پذیری.....

۳۳	۳-۴- مشخصات مصالح در طراحی به روش تنش مجاز.....
	فصل پنجم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی تجهیزات نیروگاهی
۳۷	۱-۵- تجهیزات نیروگاهی.....
۳۷	۲-۵- سطح عملکرد.....
۳۷	۱-۲-۵- بویلر و ملحقات.....
۳۸	۲-۲-۵- توربین بخار و ملحقات.....
۳۹	۳-۲-۵- دودکش.....
۳۹	۴-۲-۵- واحد کنترل.....
۴۰	۳-۵- محاسبات طرح لرزه‌ای بویلر و ملحقات.....
۴۰	۱-۳-۵- روند بارگذاری.....
۴۰	۲-۳-۵- روند محاسبه.....
۴۰	۱-۲-۳-۵- بدنه اصلی بویلر.....
۴۲	۲-۲-۳-۵- قاب تکیه‌گاهی بویلر.....
۴۳	۳-۲-۳-۵- ملحقات اصلی بویلر.....
۴۳	۴-۲-۳-۵- مجاری دود، هوا و تجهیزات تصفیه گاز خروجی.....
۴۴	۳-۳-۵- کمیت‌های مجاز.....
۴۴	۴-۳-۵- معیار پذیرش.....
۴۵	۴-۵- محاسبات طرح لرزه‌ای توربین و ملحقات.....
۴۵	۱-۴-۵- روند بارگذاری.....
۴۵	۲-۴-۵- روند محاسبه.....
۴۵	۱-۲-۴-۵- بدنه اصلی توربین.....
۴۶	۲-۲-۴-۵- ژنراتور و ملحقات آن.....
۴۷	۳-۲-۴-۵- کندانسور.....
۴۷	۴-۲-۴-۵- مبدل‌های حرارتی.....
۴۷	۵-۲-۴-۵- ماشین دورانی اصلی.....
۴۹	۶-۲-۴-۵- جرثقیل.....
۵۲	۳-۴-۵- کمیت‌های مجاز.....
۵۳	۴-۴-۵- معیار پذیرش.....
۵۳	۵-۵- دودکش.....
۵۳	۱-۵-۵- روند.....

۵۳	۵-۵-۲- مراحل محاسبه.....
۵۵	۵-۵-۳- مقادیر مجاز.....
۵۵	۵-۵-۴- معیارهای پذیرش.....
۵۵	۵-۶- برج‌های خنک‌کن.....
۵۶	۵-۷- واحد کنترل.....
۵۶	۵-۷-۱- روند.....
۵۶	۵-۷-۱-۱- روش طراحی.....
۵۶	۵-۷-۲- نیروی طراحی لرزه‌ای.....
۵۷	۵-۷-۳-۱- روش محاسبه تنش پیچ مهره.....
۵۹	۵-۷-۲- شدت لرزه هر یک از تجهیزات.....
۶۱	۵-۷-۳- مقادیر مجاز.....
۶۱	۵-۷-۴- معیارهای پذیرش.....

فصل ششم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخازن سوخت نفتی

۶۵	۶-۱- سطح عملکرد مخازن سوخت نفتی.....
۶۵	۶-۲- طراحی لرزه‌ای.....
۶۵	۶-۲-۱- روند.....
۶۵	۶-۲-۲- روش‌های محاسبه.....
۶۵	۶-۲-۲-۱- ضرایب لرزه روش استاتیکی.....
۶۷	۶-۲-۲-۲- بار طراحی.....
۶۸	۶-۲-۲-۳- بررسی ارتفاع مجاز مربوط به تلاطم مایع.....
۶۹	۶-۲-۲-۴- بررسی واژگونی و لغزش.....
۷۲	۶-۲-۲-۵- مطالعه تنش ایجاد شده در زلزله.....
۸۰	۶-۲-۲-۶- محاسبه مقاومت جانبی نهایی.....
۸۱	۶-۳- طراحی لرزه‌ای تجهیزات ذخیره سوخت.....
۸۱	۶-۴- مقادیر مجاز.....
۸۲	۶-۵- معیارهای پذیرش.....

فصل هفتم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخازن سوخت گازی

۸۵	۷-۱- سطح عملکرد مخازن سوخت گازی.....
۸۵	۷-۲- طراحی لرزه‌ای.....
۸۵	۷-۲-۱- مراحل طراحی.....

۸۶	۲-۲-۷- روش‌های طراحی مخزن.....
۸۶	۱-۲-۲-۷- طراحی با روش تنش مجاز.....
۹۴	۲-۲-۲-۷- طراحی به روش شکل‌پذیر.....
۹۵	۳-۲-۷- کمیت‌های مجاز.....
۹۵	۴-۲-۷- معیار پذیرش.....
۹۵	۱-۴-۲-۷- روش تنش مجاز (سطح خطر-۱).....
۹۶	۲-۴-۲-۷- روش شکل‌پذیر (سطح خطر-۲).....
	فصل هشتم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی لوله‌کشی نیروگاهی
۹۹	۱-۸- سطح عملکرد سیستم‌های لوله‌کشی.....
۹۹	۲-۸- بارگذاری لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی.....
۹۹	۱-۲-۸- لوله‌کشی روزمینی.....
۱۰۰	۲-۲-۸- لوله‌کشی زیرزمینی.....
۱۰۰	۳-۸- محاسبات سیستم لوله‌کشی در بویلر و توربین بخار.....
۱۰۲	۴-۸- محاسبات سیستم لوله‌کشی مخازن سوخت.....
۱۰۷	۵-۸- محاسبات سیستم لوله‌کشی مخازن سوخت گاز طبیعی مایع.....
۱۰۷	۱-۵-۸- مراحل ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی.....
۱۰۷	۲-۵-۸- روش ارزیابی ساده شده (روش دهانه مجاز لوله).....
۱۰۸	۱-۲-۵-۸- معیار دهانه مجاز.....
۱۰۸	۲-۲-۵-۸- ظرفیت تغییر مکان.....
۱۰۸	۳-۵-۸- روش طراحی تنش مجاز.....
۱۰۹	۱-۳-۵-۸- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی.....
۱۰۹	۲-۳-۵-۸- تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی.....
۱۱۰	۳-۳-۵-۸- محاسبه تنش لوله‌کشی.....
۱۱۱	۴-۳-۵-۸- ارزیابی تنش لوله‌کشی.....
۱۱۱	۵-۳-۵-۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی.....
۱۱۳	۶-۳-۵-۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیرها.....
۱۱۶	۷-۳-۵-۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی.....
۱۱۸	۸-۳-۵-۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن.....
۱۱۹	۹-۳-۵-۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی.....
۱۲۰	۴-۵-۸- روش طراحی شکل‌پذیر.....

۱۲۰	۸-۵-۴-۱- ارزیابی طراحی لرزه‌ای نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ
۱۲۰	۸-۵-۴-۱-۱- سازه تکیه‌گاهی لوله
۱۲۰	۸-۵-۴-۱-۲- سیستم لوله‌کشی
۱۲۱	۸-۵-۴-۱-۳- مد خرابی
۱۲۲	۸-۵-۴-۱-۴- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی
۱۲۳	۸-۵-۴-۱-۵- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی
۱۲۳	۸-۵-۴-۱-۶- ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی
۱۲۳	۸-۵-۴-۱-۷- ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن
۱۲۳	۸-۵-۴-۱-۸- ارزیابی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله
۱۲۴	۸-۵-۴-۲- ارزیابی طراحی لرزه‌ای تحت اثر تغییر شکل‌های ماندگار زمین (مخاطرات ژئوتکنیکی)
۱۲۴	۸-۵-۴-۱-۲- طراحی سیستم لوله‌کشی
۱۲۴	۸-۵-۴-۲-۲- جابجایی پی ناشی از جابجایی زمین
۱۲۴	۸-۵-۴-۲-۳- روش تحلیل پاسخ
۱۲۴	۸-۵-۴-۲-۴- مد خرابی
۱۲۵	۸-۵-۴-۲-۵- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی
۱۲۵	۸-۵-۴-۲-۶- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی
۱۲۵	۸-۵-۴-۲-۷- ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی
۱۲۵	۸-۵-۴-۲-۸- ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن
۱۲۶	۸-۵-۴-۲-۹- ارزیابی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله
	فصل نهم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی تجهیزات پست‌های برق
۱۲۹	۹-۱- تجهیزات هدف
۱۲۹	۹-۲- مدهای آسیب
۱۳۰	۹-۳- روش طراحی لرزه‌ای مبنی بر عملکرد
۱۳۰	۹-۳-۱- طراحی لرزه‌ای تجهیزات پست
۱۳۰	۹-۳-۲- روش استاتیکی بارگذاری لرزه‌ای
۱۳۱	۹-۳-۳- روش تحلیل دینامیکی
۱۳۵	۹-۳-۴- طراحی لرزه‌ای تجهیزات بوشینگ
۱۳۶	۹-۳-۵- طراحی تجهیزات دیگر
۱۳۶	۹-۳-۶- مشخصه‌های پاسخ لرزه‌ای تجهیزات
۱۴۱	۹-۴- روند طراحی کابل‌ها

۱۴۱	۹-۴-۱- مدهای آسیب کابل های برق.....
۱۴۳	۹-۴-۲- روند طراحی کابل های مدفون.....
۱۴۳	۹-۴-۲-۱- تغییر شکل زمین.....
۱۴۴	۹-۴-۲-۲- اتصال به سازه ها.....
۱۴۶	۹-۵- خصوصیات مجاز مصالح.....

فصل دهم- طراحی لرزه ای و کنترل ایمنی خطوط انتقال و توزیع

۱۴۹	۱۰-۱-۱- تجهیزات مورد نظر.....
۱۴۹	۱۰-۱-۲- بارگذاری و طراحی لرزه ای.....
۱۴۹	۱۰-۲-۱- دکل انتقال.....
۱۴۹	۱۰-۲-۲- پایه ها.....
۱۵۰	۱۰-۲-۳- ترانس هوایی.....
۱۵۰	۱۰-۳-۱- محاسبات طراحی لرزه ای.....
۱۵۰	۱۰-۳-۱-۱- دکل ها.....
۱۵۱	۱۰-۳-۱-۱-۱- محاسبه پیروید طبیعی دکل.....
۱۵۲	۱۰-۳-۱-۲- نیروی برشی و لنگر خمشی در ترازهای مختلف دکل.....
۱۵۳	۱۰-۳-۱-۳- ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضرایب برش و لنگر طبقه.....
۱۵۵	۱۰-۳-۱-۴- ضریب توزیع مربوط به ضرایب برش و لنگر طبقه دکل.....
۱۵۷	۱۰-۳-۱-۵- ضریب توزیع مربوط به ضرایب برش و لنگر بازو.....
۱۶۰	۱۰-۳-۱-۶- محاسبه تنش.....
۱۶۱	۱۰-۳-۱-۷- محاسبه بار طراحی پی دکل.....
۱۶۱	۱۰-۳-۲- پایه (تیر) برق در خط توزیع.....
۱۶۵	۱۰-۴- کمیت های مجاز.....
۱۶۶	۱۰-۵- معیار پذیرش.....
۱۶۶	۱۰-۶- محدوده کاربرد.....

فصل یازدهم- مثال ها

۱۶۹	۱۱-۱- مثال طراحی لرزه ای برای تاسیسات بوشینگ.....
۱۶۹	۱۱-۱-۱- مدل طراحی لرزه ای.....
۱۷۰	۱۱-۲- مشخصات اصلی بوشینگ.....
۱۷۰	۱۱-۲-۱- وزن و اینرسی دورانی.....
۱۷۰	۱۱-۱۱- جدول.....

۱۷۱	۱۱-۲-۲- ثوابت فنر و میرایی سیستم خاک- پی
۱۷۱	جدول ۱۱-۲
۱۷۱	۱۱-۲-۳- ورودی‌های لرزه‌ای
۱۷۱	۱۱-۳-۱- مدل دینامیکی
۱۷۱	۱۱-۴-۱- اندرکنش خاک- سازه

پیوست

۱۷۹	پیوست ۱
۱۷۹	۱-۱- تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار
۱۸۰	۱-۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاه
۱۸۰	۱-۲-۱- مصالح سازه تکیه‌گاهی
۱۸۲	۱-۲-۲- مصالح مستقیماً جوش شده سازه تکیه‌گاهی به مصالح قسمت فشاری
۱۸۳	۱-۳-۱- تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح پی
۱۸۳	۱-۳-۱-۱- تنش مجاز بتن در طراحی لرزه‌ای
۱۸۳	۱-۳-۲- تنش مجاز میلگرد برای طراحی لرزه‌ای
۱۸۴	۱-۴-۱- تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح لوله‌کشی
۱۸۴	۱-۴-۱-۱- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی
۱۸۴	۱-۴-۲- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای اتصال فلنج
۱۸۴	۱-۴-۳- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای شیر
۱۸۴	۱-۴-۴- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای اتصال انبساطی
۱۸۵	۱-۴-۵- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای افشانه متصل به برج‌ها و مخازن
۱۸۶	پیوست ۲
۱۸۶	۲-۱- مخزن داخلی
۱۸۶	۲-۱-۱- ورق‌های کناری مخزن داخلی
۱۸۶	۲-۱-۱-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به کمانش ورق کناری در اثر زلزله سطح خطر-۲
۱۸۸	۲-۱-۱-۲- ضریب شکل‌پذیری مجاز
۱۸۹	۲-۱-۲- مهار مخزن داخلی
۱۸۹	۲-۱-۲-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی
۱۹۰	۲-۱-۲-۲- ضریب شکل‌پذیری مجاز
۱۹۰	۲-۱-۳- افشانه مخزن داخلی
۱۹۱	۲-۲- مخزن خارجی

۱۹۱	۱-۲-۲- ضریب زلزله تسلیم.....
۱۹۱	۲-۲-۲- ضریب شکل‌پذیری مجاز.....
۱۹۵	پیوست ۳.....
۱۹۵	۱-۳- روند روش دهانه مجاز در طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی.....
۱۹۵	۱-۱-۳- روش محاسبه طول دهانه.....
۱۹۷	۲-۱-۳- روش محاسبه طول دهانه مجاز.....
۱۹۸	۳-۱-۳- روش محاسبه ظرفیت تغییرمکان لوله‌کشی.....
۱۹۹	۴-۱-۳- روش محاسبه تغییرمکان نسبی.....
۲۰۱	۲-۳- ساختار استاندارد طراحی لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی.....
۲۰۲	۳-۳- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاه لوله‌کشی.....
۲۰۴	۴-۳- مدل تحلیلی و نیروی لرزه‌ای اصلاح شده طراحی سیستم لوله‌کشی.....
۲۰۵	۵-۳- محاسبه تنش لوله‌کشی.....
۲۱۰	۶-۳- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی.....
۲۱۱	۷-۳- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی.....
۲۱۶	۸-۳- ارزیابی لرزه‌ای شیر.....
۲۱۸	۹-۳- روش ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی.....
۲۱۹	۱۰-۳- روش ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن.....
۲۲۱	۱۱-۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله.....
۲۲۷	۱۲-۳- فرآیند طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر.....
۲۲۸	۱۳-۳- ارزیابی خم لوله در تغییرشکل‌های بزرگ.....
۲۳۰	۱۴-۳- روندنمای ارزیابی نیروی اینرسی و تغییرمکان پاسخ.....
۲۳۰	۱-۱۴-۳- طریقه به دست آوردن تغییرمکان پاسخ نقطه تکیه‌گاهی لوله به روش شبه استاتیکی اصلاح شده.....
۲۳۲	۲-۱۴-۳- تحلیل خطی معادل، تحلیل تفصیلی و ضریب بزرگنمایی پاسخ.....
۲۳۵	۳-۱۴-۳- ارزیابی مدهای شکست لوله خمیده، لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم و جزئیات تغییر شکل موجی شکل لوله.....
۲۳۷	۴-۱۴-۳- جزئیات روند طراحی اتصال فلنج و فشار تماسی لازم و اثر.....
۲۳۸	۵-۱۴-۳- جزئیات روند ارزیابی اتصال انبساطی.....
۲۴۰	۶-۱۴-۳- جزئیات روند ارزیابی افشانه برج‌ها و مخازن.....
۲۴۲	۷-۱۴-۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله.....
۲۴۹	۱۵-۳- انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی و روند طراحی لرزه‌ای در اثر روانگرایی زمین.....
۲۵۵	۱۶-۳- تغییرمکان و تغییرمکان نسبی بین پی.....

۳-۱۷- ضریب انعطاف‌پذیری و روند طراحی لوله خمیده.....	۲۵۶
۳-۱۸- جزئیات زاویه مجاز لوله خمیده.....	۲۵۷
۳-۱۹- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنج در اثر حرکت زمین.....	۲۵۸
۳-۲۰- جزئیات روند ارزیابی اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین.....	۲۵۹
۳-۲۱- جزئیات روند ارزیابی افشانه مخازن و برج‌ها در اثر تغییر مکان زمین.....	۲۶۲
۳-۲۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله به جابجایی زمین.....	۲۶۳

علائم

فصل دوم

A_i	توزیع شدت لرزه‌ای افقی
K_H	شدت لرزه‌ای افقی
H	ارتفاع کل طبقات
X	ارتفاع طبقات فوقانی طبقه i
K_v	شدت لرزه‌ای قائم

فصل سوم

$A_H(T)$	شتاب پاسخ افقی در پریود طبیعی T (برحسب cm/s^2)
F_{MH}	نیروی زلزله افقی اصلاح شده (N)
F_{MV}	نیروی زلزله قائم اصلاح شده (N)
F_{SH}	نیروی زلزله افقی طراحی (N)
h	ارتفاع سازه (متر)
K_{MH}	ضریب زلزله افقی اصلاح شده
K_{MV}	ضریب زلزله قائم اصلاح شده
K_{SH}	ضریب زلزله افقی طراحی
K_v	شدت لرزه‌ای قائم
W_H	وزن سازه + بار مرده و زنده (N)
α_H	شتاب افقی در سطح زمین در تحلیل طیفی
α'_H	شتاب افقی حداکثر روی سطح زمین در تحلیل تاریخچه زمانی
α_{HT}	شتاب افقی حداکثر روی سنگ بستر
α_v	شتاب قائم در سطح زمین
β_0	پارامتر سطح زلزله
β_1	ضریب اهمیت
β_2	نسبت شتاب مبنای طرح
β_3	ضریب بزرگنمایی ساختگاه
β_4	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی
β_5	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی
β_6	ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم

فصل چهارم

شتاب پاسخ افقی طراحی مود i ام ارتعاش بر حسب (cm/s^2)	$A_H^{(i)}$
شتاب پاسخ قائم طراحی مود i ام ارتعاش بر حسب (cm/s^2)	$A_V^{(i)}$
مقدار مجاز خوردگی (mm)	C
ضریب مشخصه سازه‌ای	D_S
ضریب زلزله افقی در نقطه آغاز جاری شدن عضو آسیب دیده	K_y
تعداد معادل سیکل‌های مناسب از منحنی هیستریسیس	n
ظرفیت لرزه‌ای	Q_u
ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز	Q_{un}
اندازه پاسخ مود i ام	R_i
وزن بهره برداری سازه مورد نظر	W_0
ضریب شکل‌پذیری پاسخ عضو مربوط به مود خرابی	μ_p
ضریب شکل‌پذیری مجاز	μ_{pa}

فصل پنجم

سطح مقطع موثر پیچ مهاري (mm^2)	A_S
ضریب توزیع تنش در راستای ارتفاع	C_{si}
تنش برشی مجاز پیچ مهاري در زلزله (N/mm^2)	f_S
تنش کششی مجاز پیچ مهاري در زلزله (N/mm^2)	f_t
تنش مجاز پیچ مهاري در زلزله زمانیکه نیروی برشی و کششی در یک زمان وارد می‌شود. (N/mm^2)	f_{ts}
نیروی لرزه‌ای مربوط به قسمتی از سازه واقع بر بالای سطح زمین (N)	F
شتاب گرانش زمین	g
ارتفاع از تراز دودکش	h
ارتفاع از تراز پایه در هر بخش دودکش (m)	h_i
ارتفاع کل ساختمان بر حسب متر	H
ارتفاعی از تراز که تنش در آن محاسبه می‌شود. (m)	H_i
ارتفاع از تراز کف تا مرکز ثقل صفحه (mm)	H_0
ضریب زلزله بر حسب نوع تحلیل	K
ضریب زلزله قائم	K_{SV}
فاصله افقی مرکز ثقل صفحه و پیچ مهاري (mm)	$L_2 \quad L_1$

m_i	لنگر خمشی ناشی از بار معادل که نیروی برشی طراحی را خنثی کند. (kN.m)
M	لنگر خمشی (N.m)
M_i	لنگر خمشی دودکش در ارتفاع H_i (kN.m)
M_t	لنگر واژگونی صفحه (N.m)
n	تعداد پیچ‌های مهار یک وجه
N	تعداد کل پیچ‌های مهار
Q	نیروی برشی (N)
S_{uo}	مقاومت کششی در دمای محیط
S_u	مقاومت کششی در دمای بهره‌برداری مصالح
S_{yo}	مقاومت تسلیم در دمای محیط
S_y	مقاومت تسلیم در دمای بهره‌برداری
T	پریود طبیعی اولیه
T_a	نیروی ناشی از عمل مهاري مجاز لرزه‌ای پیچ مهاري (N)
T_0	نیروی ناشی از عمل مهاري وارد بر یک پیچ مهاري (N)
T_z (sec)	پریود طبیعی در راستای حرکت
W	وزن در یک وجه تیر جرثقیل هوایی یا وزن کل به جز پایه پل جرثقیل (t) ، وزن جرثقیل ، مجموع وزن مرده و زنده
	بخش روزمینی دودکش (N) ، نیروی ناشی از بارهای مرده (N)
Z	ضریب زلزله منطقه‌ای
Δa_i	تفاوت لنگر خمشی طراحی M_i و لنگر خمشی m_i ناشی از بار معادل (kN.m)
ΔM_i	لنگر خمشی اصلاحی (kN.m)
α	نسبت ارتفاع طبقاتی از ساختمان که از فولاد ساخته شده به ارتفاع کلی ساختمان
α_z	ضریب نرمی افقی تیر در راستای حرکت جرثقیل هوایی
β'_3	ضریب تصحیح مربوط به سازه تکیه‌گاهی
β'_4	ضریب تصحیح لغزش
η	ضریب تصحیح
σ	تنش کششی وارد بر یک پیچ مهاري در زلزله (N/mm^2)
τ	تنش برشی وارد بر یک پیچ مهار در زلزله (N/mm^2)

فصل ششم

A سطح مقطع (mm^2)

A_B	سطح مقطع پیچ مهار (mm ²)
c	ضخامت خوردگی سطح داخلی (mm)
D	قطر خارجی مخزن (mm)
D_B	مقاومت خمشی ورق حلقوی (N.mm)
D_I	قطر داخلی مخزن ذخیره واقع در محوطه (mm)
E	مدول ارتجاعی ، مدول الاستیسیته طولی (N/mm ²)
F_1'	نیروی مقاوم در اثر مولفه افقی (حرکت صلب مایع) (N)
F_2'	نیروی مقاوم در اثر تلاطم مایع (N)
h	ارتفاع مخزن
H	ارتفاع تراز حداکثر مایع (mm)
H_C	ارتفاع لبه فوقانی ورق کناری (mm)
H_S'	ارتفاع مرکز ثقل ورق کناری از کف ورق کناری (mm)
H_r'	ارتفاع مرکز ثقل ورق سقف از کف ورق کناری (mm)
H_0	محل اثر آب ثابت (mm)
H_{0B}	ارتفاع تبدیل شده برای محاسبه لنگر ناشی از مولفه افقی زلزله در ورق کف
H_1	محل اثر آب متلاطم (mm)
H_{1B}	ارتفاع تبدیل شده برای محاسبه لنگر ناشی از مولفه تلاطم در ورق کف
J	ضریب تصحیح مربوط به تأثیر اندرکنش پی، زمین و بدنه اصلی مخزن
K	شاخص تنش
K_B	مدول ضریب واکنش خاک (N/mm ³)
K_{M2}	ضریب زلزله افقی طرح مربوط به تلاطم مایع
K_1	ثابت فنر کل مخزن در برکنش
l	اضافه طول ورق حلقوی کف از بر خارجی ورق کناری (mm)
M_p	لنگر ایجاد شده در ورق کناری در اثر مولفه افقی زلزله (N.mm)
M_{PB}	لنگر ایجاد شده در ورق کف در اثر مولفه افقی زلزله (N.mm)
M_{PS}	لنگر ایجاد شده در ورق کناری در اثر تلاطم مایع (N.mm)
M_{PBS}	لنگر ایجاد شده در ورق کف در اثر تلاطم مایع (N.mm)
M_{RT1}	لنگرهای مقاوم در برابر واژگونی در اثر مؤلفه افقی ناشی از شتاب (N.mm)
M_q, M_v, M_m	ضریب تاثیر برای پارامترهای $\frac{P_1}{K_B} D_B, V_1, M_0$

لنگرهای مقاوم در برابر واژگونی در اثر مؤلفه تلاطم (N.mm)	M_{RT2}
لنگر واژگونی در اثر مولفه افقی (حرکت صلب مایع)	M_{T1}
لنگر واژگونی در اثر تلاطم مایع	M_{T2}
لنگر در کف ورق کناری (N.mm)	M'_p
لنگر ایجاد شده در ورق کناری در اثر تلاطم مایع (N.mm)	M'_{PS}
لنگر استاتیکی نامعین ایجاد شده در گوشه انتهای پایینی ورق (N.mm / mm)	M_0
بار قائم با در نظر گرفتن ضریب زلزله قائم (N)	N
تعداد پیچ‌های مهار	N_B
تنش کششی پیرامونی ورق کناری	P
فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در اثر مؤلفه افقی زمین‌لرزه افقی (MPa)	P_h
فشار هیدرولیکی دینامیکی که بر صفحه کناری به واسطه تلاطم اعمال می‌شود.	P_S
فشار هیدرواستاتیکی (MPa)	P_{ST}
فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در اثر مؤلفه قائم زمین‌لرزه قائم (MPa)	P_V
فشار هیدرودینامیکی در گوشه (MPa)	P_0
فشار هیدرودینامیکی در گوشه (MPa)	P_1
مقاومت بر کنش هر واحد عرض ورق کف مخزن است	q_y
ظرفیت باربری افقی لازم (N)	Q_{dw}
نیروی افقی کف در اثر مولفه افقی (حرکت صلب مایع)	Q_p
نیروی افقی کف در اثر تلاطم مایع	Q_{PS}
مقاومت جانبی نهایی (N)	Q_y
شعاع متوسط مخزن (mm)	R
تنش مجاز کششی	S
مقدار طیف سرعت (cm / s)	S_{VO}
تنش فشاری مجاز در زلزله (N / mm ²)	S''
ضخامت ورق (mm)	t
ضخامت واقعی ورق حلقوی (mm)	t_b
ضخامت ورق حلقوی (mm)	t_B
ضخامت ورق بخش پایینی در ورق کناری (به استثنای مقدار مجاز خوردگی) (mm)	t_L
ضخامت ورق کناری در محل وقوع کمانش (mm)	t_{sb}

ضخامت ورق کناری در ارتفاع یک سوم تراز حداکثر مایع از کف مخزن (بجز خوردگی مجاز) (mm)	$t_{(1/3)}$
پریود طبیعی مخزن (s)	T_b
پریود بدنه اصلی مخزن با در نظر گرفتن برکنش ورق زمینه و تغییر شکل ورق کناری	T_e
پریود طبیعی تالطم مایع (s)	T_s
پریود بدنه اصلی مخزن تنها با در نظر گرفتن برکنش ورق زمینه	T_1
نیروی قائم انتهایی پایینی ورق کناری ناشی از لنگر واژگونی در زلزله (N.mm)	V_1
وزن آب ثابت (N)	W_0
وزن آب متالطم (N)	W_1
وزن مایع ذخیره شده (N)	W_L
وزن بدنه مخزن بجز ورق کف و ورق حلقوی (N)	W_T
وزن ورق سقف و تجهیزات الحاقی (N)	W'_r
کل وزن بخش سقف نگهدارنده ورق کناری (N)	W'_R
وزن ورق کناری و تجهیزات الحاقی (N)	W'_S
ارتفاع از کف مخزن بر حسب mm	Z
تنش خمشی گوشه‌ی ورق حلقوی ناشی از زلزله	$\Delta\sigma_B$
محدوده تنش خمشی مولفه افقی	$\Delta\sigma_{BH}$
محدوده تنش خمشی مولفه قائم	$\Delta\sigma_{BV}$
محدوده تنش خمشی ورق حلقوی ایجاد شده در زلزله (N/mm^2)	$\Delta\sigma_B'$
عدد تاثیر توزیع فشار هیدرودینامیکی	α_m
گرادیان فشار	β
ضریب ناحیه لرزه‌ای	β_2
ضریب تشدید با در نظر گرفتن پریود طبیعی مخزن خارجی	β_3
تغییر مکان برکنش در مقاومت تسلیم (mm)	δ_y
حداکثر ارتفاع پاسخ تالطم (mm)	η
حداکثر تغییر مکان تراز مایع (mm)	η_{max}
ثابت فنر با توجه به برکنش هر واحد عرض	κ_I
ضریب جهت محاسبه پریود طبیعی تالطم مایع (s)	λ
ضریب اصطکاک کف مخزن با پی، در حدود ۰/۴	μ
ضریب پواسون	ν
ضریب طراحی پلاستیک برابر ۱/۵	ν_p

v_6	ضریب بزرگنمایی
ρ	وزن مخصوص سیال ذخیره شده (N/mm^3)
ρ_1	چگالی سیال ذخیره شده (N/mm^3)
σ_a	تنش کششی مجاز پیچ مهراری (N/mm^2)
σ_b	تنش محوری فشاری (N/mm^2)
σ_c	تنش کششی پیرامونی (N/mm^2)
σ_y	حداقل نقطه تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش 0.2% ورق حلقوی (N/mm^2)
σ_{yr}	مقاومت تسلیم واقعی ورق حلقوی (N/mm^2)
τ_a	تنش برشی مجاز پیچ مهراری

فصل هفتم

A_p	سطح مقطع مهار (mm^2)
C	مقدار مجاز خوردگی (mm)
D	قطر متوسط مخزن (mm)
F	بار وارد بر مهار در حالت بهره‌برداری عادی (N)
H	حداکثر ارتفاع تراز سیال در مخزن (mm)
P_b	فشار در ورق کف
$J_1(x)$	تابع بسل مرتبه اول نوع اول
M_b	لنگر خمشی ایجاد شده ($N.mm$)
M_i	لنگر خمشی وارد بر ورق کناری ناشی از بار زلزله در ارتفاع مورد بررسی $i=1,2$ ($N.mm$)
M_{iB}	لنگر واژگونی ایجاد شده در اثر زلزله در پایین ورق کناری ($i=1,2$)
M_{Z1}	لنگر واژگونی سیال در اثر بخش فوقانی ارتفاع مورد بررسی در زلزله پریود کوتاه ($N.mm$)
M_{Z2}	لنگر واژگونی سیال در اثر بخش فوقانی ارتفاع مورد بررسی در زلزله پریود بلند ($N.mm$)
M_O	لنگر واژگونی ایجاد شده در اثر شتاب ($N.mm$)
P_{bs}	فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کف
P_{HW}	توزیع فشار وارد بر دیواره کناری ناشی از شتاب افقی زلزله
P_{VW}	توزیع فشار وارده بر دیواره کناری و کف ناشی از شتاب قائم زلزله
P_W	فشار هیدرودینامیکی وارده بر ورق کناری
P_0	فشار داخلی مخزن ، فشار طراحی (فشار گاز) (MPa)
Q	بار وارد بر مهار (N)

R	شعاع متوسط مخزن (mm)
S(n)	ضریب تشدید با ورودی n موج سینوسی
t_{as}	ضخامت واقعی ورق کناری مخزن خارجی (mm)
T_n	تنش برشی مجاز پیچ مهراری (N/mm^2)
W_L	وزن کل سیال (N)
W_u	وزن مخزن از محل مورد بررسی تا قسمت فوقانی (N)
W_1	وزن مؤثر سیال ناشی از اثرات شتاب
W_2	وزن مؤثر سیال در اثر تغییر مکان
x	طول دلخواه در ورق کف
X_s	فاصله مرکز ثقل کل مخزن تا نقطه مورد بررسی در جهت قائم (mm)
X_1	وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال ناشی از اثرات شتاب
X_{1B}	وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال ناشی از اثرات شتاب
X_2	وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال در اثر تغییر مکان
X_{2B}	وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال ناشی از اثرات تغییر مکان
y	عمق دلخواه (cm)
Z_b	مدول مقطع یک پیچ مهراری (mm^3)
ϕ	زاویه محیطی (رادیان)
σ_c	تنش مجاز کمانش
σ_{cr}	تنش مجاز کمانش
σ_n	تنش کششی مجاز پیچ مهراری (N/mm^2)
γ	وزن واحد حجم سیال (N/mm^3)

فصل هشتم

A_p	سطح مقطع لوله (mm^2)
b_g	عرض موثر واشر (mm)
B_f	قطر داخلی فلنج
B_t	عرض چرخ (mm)
B_s	طول تراورس (mm)
B_1	$B_f + g_0$ در فلنج چندکاره و $B_f + g_1$ در فلنج شل
c	ضخامت خوردگی سطح داخلی (mm)
C_{bl}	طول موثر یک آکاردئون (mm)

ضریب اصلاح تنش خمشی محاسباتی ناشی از جابجایی آکاردئون	C_d
ضریب اصلاح تنش غشایی محاسباتی ناشی از جابجایی آکاردئون	C_f
ضریب اصلاح تنش خمشی محاسباتی ناشی از فشار	C_p
قطر داخلی لوله (mm)	d
قطر متوسط آکاردئون‌ها (mm)	d_p
قطر خارجی لوله کشی (mm)	D
قطر متوسط در وجه تماس واشر (mm)	D_e
قطر داخلی واشر (mm)	D_{gi}
قطر داخلی مقطع (mm)	D_i
قطر خارجی لوله (mm)	D_o
ضریب خیز مربوط به زمان	D_1
لگاریتم طبیعی (عدد نپر)	e
کل جابجایی هر چین آکاردئون	e_{ba}
مقدار آکاردئون‌های جابجایی چین‌ها (mm)	e_{be}
مدول یانگ لوله کشی (N/mm^2)	E
ضریب الاستیسیته طول در دمای عادی مصالح آکاردئون‌ها (N/mm^2)	E_p'
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
ضریب تعیین شده براساس مقدار g_1/g_0 و h_h/h_0	F_L
نیروی خروجی از بخش محرک (N)	F_m
نیروی ناشی از فشار داخلی (N)	F_p
نیروی کششی محوری ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی لرزه‌ای افقی و قائم وارد بر لوله کشی (N)	F_T
ضخامت مادگی لوله (mm)	g_0
ضخامت طوقه وجه پشتی فلنج (mm)	g_1
عمق مدفون لوله کشی (mm)	h
طول طوقه (mm)	h_h
فاصله بین سطح فوقانی لوله و سطح زمین (mm)	h_p
ارتفاع محل محاسبه تغییر مکان (m)	H
ارتفاع ساختمان بویلر (m)	H_B

ارتفاع ساختمان توربین (m)	H_r
ارتفاع نزدیکترین محل اتصال لوله کشی ساختمان بویلر به ساختمان بویلر (m)	H_0
ضریب تمرکز تنش	i_c
ضریب تشدید تنش درون صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال	i_i
ضریب ضربه ترن ، خودرو	i_t
ضریب تشدید تنش برون صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال	i_o
لنگر دوم سطح لوله کشی (mm^4)	I_p
لنگر دوم سطح دیواره لوله کشی (mm^4 / mm)	I_t
ثابت، $0/4$ برای خاک نوع I و II و $0/8$ برای سایر انواع خاک	K
ضریب تمرکز تنش برابر با ۱ برای لنگر خمشی	K_b
ضریب اصلاح شده جابجایی معادل آکاردئون دوتایی	K_{bl}
ضریب عکس‌العمل افقی (N / mm^2)	K_{HS}
ضریب تمرکز تنش برابر با ۱ برای نیروی غشایی	K_N
ضریب اصلاح آکاردئون با حلقه تقویتی	k_r
ضریب عکس‌العمل در راستای قائم (N / mm^3)	K_{SV}
ضریب است و مقدار آن برابر است با $(t_e + 1) / T + t_f^3 / d$	L
طول مجاز دهانه (m)	L_a
فاصله مرکز ثقل اعضا بین بخش‌های وزنی و محرک‌ها تا بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی (mm)	L_b
طول موثر بخش آکاردئونی (mm)	L_{lb}
طول دهانه لوله (m)	L_{ps}
ضریب واشر	m
لنگر خمشی ، لنگر وارد بر فلنج با در نظر گرفتن فشار معادل در اثر نیروی لرزه‌ای (N.mm)	M
لنگر ترکیبی ایجاد شده در اثر وزن لوله در امتداد مقطع و سایر بارهای بهره‌برداری (N.m)	M_A
لنگر ترکیبی ایجاد شده در اثر بارهای متغیر مانند نیروی عکس‌العمل جت شیر اطمینان در مقطع لوله، فشار، نوسان سرعت جریان و نیروی لرزه‌ای (N.m)	M_B
لنگر ترکیبی ایجاد شده در اثر تغییر مکان نسبی ناشی از زلزله و انبساط حرارتی بین اتصالات (N.m)	M_C
لنگر خمشی درون صفحه‌ای ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی لرزه‌ای افقی و قائم (N.mm)	M_i
لنگر خمشی در راستای i در واحد طول (N.mm / mm)	M_{ii}
لنگر پیچشی ناشی از نیروی لرزه‌ای افقی، قائم وارد و جابجایی تکیه‌گاه لوله کشی (N.mm)	M_t
لنگر خمشی برون صفحه‌ای ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی لرزه‌ای افقی و قائم (N.mm)	M_o

تعداد لایه‌های آکاردئونی	n_b
تعداد چین‌های آکاردئون‌های یک قطعه	N_b
بار غشایی در راستای i به ازای واحد طول (N/mm)	N_i
عرض واشر (mm)	N_g
فشار طرح (MPa)	P
فشار معادل در زلزله (MPa)	P_e
کل فشار معادل (MPa)	P_{eq}
حداکثر فشار بهره‌برداری (MPa)	P_i
فشار سیال در لوله (MPa)	P_p
بار محور (چرخ) (N)	P_t
فشار دینامیکی افقی آب ناشی از زلزله (N/m)	P_{W1}
فشار دینامیکی قائم آب ناشی از زلزله (N/m)	P_{W2}
گام چین آکاردئون (mm)	q
شعاع متوسط لوله در محل خم (mm)	r_p
شعاع لوله کشی (mm)	R
برابر $1.25S_c + 0.25S_h$ فرض می‌شود.	S_A
حداکثر دامنه‌های محوری تنش (N/mm ²)	S_{am}
مقاومت کششی مجاز در دمای عادی مصالح (N/mm ²)	S_c
تنش ناشی از بار در لوله (N/mm ²)	S_E
مقاومت کششی مجاز در دمای طراحی مصالح (N/mm ²)	S_h
مقدار تنش ایجاد شده در اثر فشار داخلی، وزن لوله‌ها و سایر بارهای بهره‌برداری (N/mm ²)	S_L
ضخامت محاسباتی یک لایه آکاردئونی (mm)	t_b
ضخامت فلنج (mm)	t_f
ضخامت اسمی لوله (mm)	t_n
ضخامت موثر لوله دوخم. ضخامت مجاز خوردگی و صفحه تقویتی در نظر گرفته نمی‌شود. (mm)	t_s
ضخامت پوسته جدار نازک (mm)	t_w
ضریب تعیین شده براساس مقدار $K (= A/B_f)$	T
ضریب تعیین شده براساس مقدار $K (= A/B_f)$	U
ضریب تعیین شده براساس مقدار g_1/g_0 و h_h/h_0	V

V_L	ضریب تعیین شده براساس مقدار g_1 / g_0 و h_h / h_0
W	فشار زمین یا بار ترن یا خودرو (N/mm)
W_b	ارتفاع چین آکاردئون (mm)
W_H	وزن محرک (N)
W_S	فشار زمین (N/mm)
W_m	بار خودرو (N/mm)
W_V	وزن محتویات و وزن مرده لوله کشی وارد بر محلی که نیروی لرزه‌ای قائم اصلاح شده طراحی محاسبه می‌شود (N)
x	کل تغییرمکان‌های محوری (mm)
x_c	مقدار تغییرمکان وجه انقباضی در راستای محوری (mm)
Y	ضریب تعیین شده براساس مقدار $K(= A/B_f)$
y	مقدار تغییرمکان عمود بر محور (mm)
Z	مدول مقطع (mm^3)
Z_p	مدول مقطع لوله کشی (mm^3)
Z_t	مدول مقطع دیواره لوله
Δ	مقدار تغییرمکان نسبی (mm)
ΔB	تغییرمکان ساختمان بویلر (mm)
ΔT	تغییرمکان ساختمان توربین (mm)
α_1	ضریب اصلاح نشت مربوط به فشار داخلی معادل
β_5	تقویت پاسخ
β_6	تقویت پاسخ در جهت عمودی
β_8	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی
β_9	ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم سازه تکیه‌گاهی لوله کشی
δ_a	ظرفیت تغییرمکان دهانه لوله در راستای مورد طراحی (mm)
v	ضریب پواسون لوله کشی
θ	زاویه توزیع بار محور (درجه)
θ_A	مقدار تغییرمکان خمشی همه محورها (rad)
σ_a	باربری واشر (N/mm^2)
σ_{ci}	تنش پیرامونی ایجاد شده در اثر فشار داخلی در لوله کشی (N/mm^2)
σ_{CO}	تنش پیرامونی ایجاد شده در اثر فشار زمین یا بار ترن یا خودرو در لوله کشی (N/mm^2)
σ_E	محدوده تنش تناوبی تنش خمشی براساس نیروی لرزه‌ای افقی، قائم و جابجایی تکیه‌گاه لوله کشی (N/mm^2)

تنش محوری مادگی لوله	σ_H
تنش محوری ایجاد شده در اثر فشار داخلی لوله کشی (N/mm^2)	σ_{li}
تنش شعاعی فلنج	σ_R
تنش حلقوی فلنج	σ_T
تنش در راستای شعاعی	σ_x
تنش در راستای محوری	σ_ϕ
تنش راستای طولی ناشی از فشار، وزن و نیروی ناشی از زلزله (N/mm^2)	σ_ℓ
تنش محوری ایجاد شده در اثر بار ترن یا خودرو در لوله کشی (N/mm^2)	σ_{10}
تنش محیطی	τ
چگالی مرطوب زمین (N/mm^3)	γ_s
وزن مخصوص آب (N/m^3)	γ_w

فصل نهم

جابجایی گسل	d
فرکانس غالب زمین لرزه	f_e
تابع پروفیل در طول کابل	$f(x)$
فرکانس طبیعی زمین، پی و قاب اصلی ترانس	f_0
فرکانس طبیعی سیستم بوشینگ	f_1
طول موثر کابل	L
طول اولیه کابل	L_{ic}
مقاومت لغزشی در واحد طول	q
کرنش کابل	ε_{cable}
کرنش حداکثر	ε_D
کرنش کابل در محل عبور گسل	ε_F
کرنش زمین	ε_G
کرنش کابل در اثر زمین لغزه	ε_{LS}
کرنش تقریبی کابل با استفاده از جابجایی دو سازه	ε_{L1}

فصل دهم

ضریب توزیع مربوط به ضریب برشی طبقه بازو $(A_{AMi})A_{ASi}$

$(A_{Mi})A_{Si}$	ضریب توزیع مربوط به ضریب برش
$(C_{Mi})C_{Si}$	ضریب برش در تراز h_{bi} از پی دکل (ضریب لنگر در تراز h_{bi})
d	خیز کابل m
E	مدول الاستیسیته اعضای دکل (t/m^2)
g	شتاب گرانش (m/s^2)
h	ارتفاع نیروی وارد از سطح زمین (m)
h_{bj}	ارتفاع پانل j از پی دکل (m)
H	ارتفاع دکل (m)
H_b	فاصله پای دکل تا مرکز ثقل آن (m)
H_i	فاصله از ارتفاع h_{bi} تا مرکز ثقل قسمت بالای ارتفاع h_{bi} (m)
I_B	صلیبت خمشی دکل در محل اعمال لنگر (معادل با لنگر اینرسی دوم سطح مقطع) (m^4)
I_x	فاصله از نوک تا ته بازو (m)
M_{Ai}	لنگر خمشی بازو در تراز h_{bi} از پی دکل ($t-m$)
M_i	لنگر خمشی در تراز h_{bi} از پی دکل ($t-m$)
M_{oa}	لنگر مقاوم نهایی
M_{ot}	لنگر وارد در مرکز دورانی پایه
P	نیروی باد (kN)
P_c	بار باد در واحد طول (N/m)
Q_{Ai}	نیروی برشی بازو در تراز h_{bi} از پی دکل (t)
Q_i	نیروی برشی در تراز h_{bi} از پی دکل (t)
R_M	ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب لنگر طبقه
R_S	ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب برش طبقه
$(R_M)R_S$	ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب برش

S	طول دهانه (m)
t_o	عمق (فاصله) مرکز دوران در زیر سطح زمین (m)
T	نیروی کششی (KN)
T_0	پریود طبیعی (sec)
W	وزن کل دکل (t)
W_{Ai}	وزن بازو در ارتفاع h_{bi} از پای دکل
W_C	وزن مؤثر رشته سیم‌ها
W_i	وزن دکل از تراز h_{bi} تا قسمت فوقانی (t)
W_j	وزن پانل j (t)
W_L	وزن مؤثر کابل در یک متر (N / m)
W_s	وزن دکل (kN)
W_T	وزن دکل (t)

فصل ۱

کلیات

۱- کلیات

راهنمای حاضر بر اساس مدارک مشابه در کشورهای پیشرفته لرزه‌خیز 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 مسئله بومی سازی 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 برق ناشی از زلزله 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 برق 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 برق شامل نیروگاه (حرارتی)، پستها، خطوط انتقال و شبکه توزیع می‌باشد.

- ضوابط این راهنما مشمول نیروگاه‌های برق‌آبی و هسته‌ای نمی‌شود.

- تجهیزات مختلف نیروگاه‌های حرارتی همراه با تجهیزات پستها، دکل‌های انتقال نیرو و خطوط و تیرهای توزیع برق از اهم مولفه‌های سامانه‌های برق‌رسانی مورد طراحی لرزه‌ای در این راهنما هستند.

- برای طراحی لرزه‌ای ساختمانهای این سامانه از استاندارد ۲۸۰۰ و مقررات ملی ساختمان ایران استفاده می‌گردد.

- برای طراحی لرزه‌ای پی تجهیزات از مباحث مربوط در مقررات ملی ساختمان با استفاده از نتایج مستخرجه 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 تجهیزات نیروگاهی

فصل ششم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخازن سوخت نفتی

فصل هفتم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مخازن سوخت گازی

فصل هشتم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی لوله‌کشی نیروگاهی

فصل نهم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی پست‌های برق

فصل دهم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی خطوط انتقال و توزیع

فصل یازدهم: مثالها

پیوست‌ها

۱-۲-۲- نکاتی در کاربرد این راهنما

با توجه به اینکه این اولین روایت راهنمای مربوطه در کشور می‌باشد بطور 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 تأسیسات برقی هدف در این راهنما از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می‌توان استفاده نمود.
- ۳ - در موارد طراحی مولفه‌های بتنی تأسیسات برقی هدف در این راهنما بویژه در مورد مشخصات مصالح بتنی از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان می‌توان استفاده کرد.
- ۴ - مبحث دهم مقررات ملی مکمل این راهنما برای رفع کمبودهای مربوط به مولفه‌های فولادی تأسیسات برقی می‌باشد.
- ۵ - 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 آن مورد استفاده تدوین‌کنندگان قرار گیرد.

۱-۳-۱- مراجع

۱-۳-۱-۱- مراجع اصلی این راهنما

در تدوین این راهنما از استاندارد، آیین‌نامه، راهنما و دستورالعمل‌های مختلفی استفاده شده است. اهم این مدارک به شرح می‌باشد:

- ✓ استاندارد ۲۸۰۰ ایران: آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۰۰۵
- ✓ یوروکد ۸: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۴: سیلوها، مخازن و خطوط لوله، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۶
- ✓ ASCE7-05: حداقل بارهای طراحی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها
- ✓ BCJ1997 کمیته JEAC برای خط انتقال: آیین‌نامه خط انتقال هوایی، ۲۰۰۰ (ژاپن)

- ✓ کمیته JEAC برای خط توزیع: آیین نامه توزیع نیرو، ۱۹۹۹ (ژاپن)
- ✓ کمیته JEAC برای خط انتقال: آیین نامه انتقال زیرزمینی، ۲۰۰۰ (ژاپن)
- ✓ شرکت برق توکیو: راهنمای طراحی لرزه‌ای برج انتقال فشار قوی و پی آن، مارس ۱۹۸۴ (UHV)
- ✓ مجله فنی شرکت تلگراف و تلفن ژاپن: تکنولوژی طراحی سازه فضایی (۳-۱)، آگوست، سپتامبر و اکتبر ۲۰۰۷ (NTT)
- ✓ کمیته JEAC برای نیروگاه حرارتی: آیین نامه طراحی لرزه‌ای نیروگاه حرارتی، ۲۰۰۴ (در ژاپن) JEAC 3605-2004
- ✓ کمیته گاز ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای خط لوله گاز فشار قوی برای روانگرایی، JGA-207-01، ۲۰۰۱
- ✓ کمیته گاز ژاپن: مراحل پیشنهادی برای مخازن LNG بالای زمین، آگوست ۲۰۰۲
- ✓ انجمن ایمنی گاز فشار قوی ژاپن (KHK): آیین نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازی فشار قوی، ۲۰۰۶
- ✓ انجمن معماری ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای جرثقیل، می ۱۹۸۹
- ✓ مرکز ساختمان ژاپن (BCJ): راهنمای طراحی سازه‌ای و ساخت دودکش‌ها، ۱۹۸۲ (Stack-82)
- ✓ مرکز ساختمان ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای و ساخت تجهیزات ساختمانی، ۱۹۹۷
- ✓ کمیته راه ژاپن: مشخصات پل‌های بزرگراهی، بخش ۵ طراحی لرزه‌ای، ۲۰۰۲

۱-۳-۲- مخفف آیین نامه‌ها

مخفف	نام کامل
آبا	آیین نامه ملی ساختمان ایران - طراحی و ساخت ساختمان‌های بتنی
	مقررات ملی ساختمان ایران - مبحث ۱۰، طراحی و ساخت ساختمان‌های فولادی
AIJ1996	پیشنهادهای طراحی مخازن ذخیره و تکیه‌گاه‌های آنها، ژاپن، انجمن معماری ژاپن، ۱۹۹۶
ALA2005	راهنماهای لرزه‌ای خطوط لوله‌ی آب، ALA، ۲۰۰۵
ANGTS	متمم اطلاعات فنی کاربردی ایالت آلاسکا، شرکت انتقال گاز طبیعی شمال غرب آلاسکا، ۲۰۰۴
API 5L	API مشخصات L۵، مشخصات خط لوله، API ۲۰۰۴
API620	API استاندارد ۶۲۰، طراحی و ساخت مخازن ذخیره کم فشار جوش‌شده بزرگ، API ۲۰۰۵
API650	API استاندارد ۶۵۰، مخازن فلزی جوش‌شده 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	آیین نامه ASME برای لوله‌کشی تحت فشار، B۳۱، ASME، ۲۰۰۴، AWWAD100-96
AWWA96	AWWAD100-96
BCJ1997	مشخصات طراحی لرزه‌ای تجهیزات ساختمانی، مرکز ساختمان ژاپن، ۱۹۹۷
BS EN1998-1	یوروکد ۸: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۱، مقررات کلی، تحریکات لرزه‌ای و مقررات

مخفف	نام کامل
	ساختمان‌ها، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۴
BS EN1998-4	یوروکد۸: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۴: سیلوها، مخازن و خطوط لوله، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۶
BS EN1998-5	یوروکد۸: 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
IPS-X-XX	استانداردهای نفتی ایران
Iran2800	آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۰۰۵
Iran519	استاندارد ۵۱۹ ایران، بارگذاری ساختمان‌ها
JIS B8501	استاندارد B8501 صنعتی ژاپن، مخازن فولادی جوش‌شده برای ذخیره سوخت، ژاپن، ۲۰۰۱
JGA1982	شیوه‌های پیشنهادی طراحی مقاوم در برابر زلزله برای خطوط لوله‌ی گاز فشار قوی و متوسط، انجمن گاز ژاپن، ۱۹۸۲
JGA2000	شیوه‌های پیشنهادی برای طراحی مقاوم در برابر زلزله خطوط لوله‌ی گاز فشار قوی، انجمن گاز ژاپن، ۲۰۰۰
JGA2001	شیوه‌های پیشنهادی برای طراحی مقاوم در برابر زلزله خطوط لوله‌ی گاز فشار قوی در مناطق با پتانسیل روانگرایی، انجمن گاز ژاپن، ۱۹۸۲
JRA74	استاندارد فنی برای خط لوله نفت، انجمن راه ژاپن، ۱۹۷۴
JRA V	مشخصات طراحی پل‌های بزرگراهی، طراحی لرزه‌ای V-انجمن راه ژاپن، ۱۹۹۶
JSWA2006	مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات فاضلاب، شرکت فاضلاب ژاپن، ۲۰۰۶
JWWA1997	مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات آبرسانی، شرکت آب ژاپن، ۱۹۹۷
KHK	استاندارد فنی طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازی فشار بالا، انجمن ایمنی گاز فشار قوی ژاپن (KHK)، ۲۰۰۰
MCA22	MCA راهنمای ایمنی ۲۲
MIAC No.30	ضمیمه طراحی لرزه‌ای مقررات پدافند آتش‌سوزی، ابلاغیه شماره ۳ وزارت ارتباطات و امور داخلی، ۲۰۰۵
NZ1981	طراحی لرزه‌ای پالایشگاه پتروشیمی، وزارت انرژی، نیوزلند، ۱۹۸۱
NZ1986	طراحی لرزه‌ای مخازن ذخیره، وزارت انرژی، پیشنهادات گروه مطالعاتی انجمن ملی نیوزلند برای مهندسی زلزله، نیوزلند، ۱۹۸۶
WSP064	استاندارد طراحی پل لوله آب، WSP 064-2007، انجمن لوله فلزی آب
UBC97	آیین‌نامه ساختمان‌های یکنواخت، ایالات متحده آمریکا، ۱۹۹۷

فصل ۲

مبانی

۲- مبانی

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

۱- دو سطح لرزه‌ای 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 جابجایی 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 غیرارتجاعی رفتار مصالح برای سطح خطر-۲.

۴- استفاده از دو سطح عملکرد به‌صورت قابلیت استفاده بی وقفه و حداقل وقفه. از نظر رفتار مولفه‌های سازه‌ای در اولی رفتار در محدوده ارتجاعی و بدون آسیب می‌ماند، در حالیکه 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 زیر بطور خلاصه شرح داده شده است.

۲-۱- زلزله طراحی

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

دو سطح خطر زلزله که در ذیل آمده است باید برای طراحی لرزه‌ای تجهیزات سامانه برق‌رسانی در نظر گرفته شود: سطح خطر-۱: حداکثر زلزله بهره‌برداری (MOE که مخفف Maximum Operational Earthquake می‌باشد). (احتمال وقوع ۵۰٪ در ظرف ۵۰ سال عمر مفید مفروض) سطح خطر-۲: حداکثر زلزله طرح (MCE که مخفف Maximum Considerable Earthquake می‌باشد). (احتمال وقوع ۱۰٪ در ظرف ۵۰ سال عمر مفید مفروض)
--

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

می‌دهد. حداکثر زلزله طرح، زلزله‌ای است که احتمال وقوع کمتر و دوره بازگشت طولانی‌تری نسبت به زلزله MOE داشته باشد. رفتار مؤلفه‌های سامانه برق در سطح خطر ۲ در حالت حداقل وقفه 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.

دقت شود که واژه MCE در بعضی از زمینه‌ها نظیر سدسازی به معنی حداکثر زلزله قابل باور یا ممکنه (Maximum Credible Earthquake) نیز آمده است. این معنی با مفهوم به کار رفته در این راهنما که از فصل دوازدهم ASCE-7-05 برگرفته شده و به معنی حداکثر زلزله طراحی می‌باشد متفاوت است.

۲- برای تخمین تغییر شکل ماندگار زمین PGD (Permanent Ground Deformation) ناشی از جابجایی 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 بویژه با توجه به سوابق لرزه‌خیزی آن بدست می‌آیند.

۲-۱-۲- طیف‌های طراحی لرزه‌ای

۱- طیف‌های پاسخ طراحی لرزه‌ای برای تجهیزات برقی 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 تجهیزات برق‌رسانی 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- تحلیل طیفی

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

۲-۱- طیف پاسخ برای طراحی لرزه‌ای از روش‌های زیر بدست 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 براساس ثبت زلزله‌های نیرومند

روش‌های احتمالاتی کاربرد مهندسی بیشتری دارند. طیف‌های حاصل از این روش‌ها، بطور معمول مقادیر کمتری نسبت به مشابه خود از روش‌های تعینی دارند.

بطور کلی در تعیین طیف‌های طراحی، احتمال وقوع زلزله براساس حرکت‌های قوی زمین لحاظ گردیده است. طیف‌های تعینی اغلب برای طراحی محافظه‌کارانه و ایمن بکار می‌روند.

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

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

۱-۳- طیف طرح شتاب برای سازه‌های روزمینی بکار می‌رود. هر چند این طیف برای سیستم یک درجه آزادی تهیه شده است اما با بکارگیری روش تحلیل مودال می‌توان از آنها برای سیستم‌های چند درجه آزادی استفاده مناسبی به عمل آورد. در این راهنما، برای محاسبات متکی بر طیف شتاب، از طیف موجود در ویرایش معتبر استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می‌شود.

۲-۳- طیف‌های طرح سرعت برای سازه‌های زیرزمینی از قبیل خطوط لوله، تونل‌های پوشش‌دار و مخازن زیرزمینی که عملکرد آنها با رفتار لرزه‌ای خاک اطراف کنترل می‌شود، بکار می‌روند. بارگذاری لرزه‌ای چنین سازه‌هایی بر مبنای پاسخ تغییرمکان صورت می‌گیرد که در آن ابتدا تغییرشکل خاک در موقعیت سازه‌های مدفون با بکارگیری طیف پاسخ سرعت محاسبه و سپس برهم‌کنش بین زمین و سازه‌های مدفون با روش‌های استاتیکی تعیین می‌شود. طیف‌های طرح سرعت برای طراحی لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی به معنای حداکثر پاسخ لایه سطحی زمین با مدلی مشخص و تحت ورودی اعمالی شتاب زمین در کف آن، می‌باشد.

۳-۳- طیف‌های طرح شتاب و سرعت باید برای طراحی لرزه‌ای تجهیزات برق سازگار باشند. در این راهنما برای اولین ویرایش و بطور 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.

۳-۱-۲- 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

۲-۱-۴- شدت لرزه‌ای قائم طرح

ورودی‌های لرزه‌ای جهت قائم باید برای تجهیزاتی که رفتار آن‌ها به مؤلفه قائم زلزله حساس است مانند مبدل‌های حرارتی قائم، تجهیزات حفاظت و کنترل، جرثقیل، مخازن سوخت نفتی و گازی، لوله کشی نیروگاه، پوشینگ و تابلوهای متصل بر دیوار و دکل‌ها و پایه‌ها در نظر گرفته شود. شدت لرزه‌ای قائم طرح K_V توسط رابطه (۲-۲) بدست می‌آید:

$$K_V = K_H / 2 \quad (2-2)$$

در اینجا K_H شدت لرزه‌ای طراحی در جهت افقی می‌باشد.

در این راهنما حسب مورد برای هر یک از مولفه‌ها که در فصول ۵ به بعد ارائه شده، مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله 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)

در این راهنما طراحی لرزه‌ای با روش‌های زیر انجام می‌گردد:

- ۱- روش طراحی تنش مجاز باید برای سطح خطر-۱ انتخاب 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 که برای سطح خطر-۲، نسبت شکل‌پذیری موجود سازه را با نسبت شکل‌پذیری مجاز مقایسه می‌نماید.
- توجه:
- برای تجهیزاتی که در جدول ۳-۳ دارای اهمیت خیلی زیاد و یا زیاد هستند حسب قضاوت مهندسی طراح و برای کنترل روش‌های ارائه شده در فوق از روش‌های دینامیکی مناسب استفاده می‌گردد.

- ۱- برای زلزله بهره‌برداری، تنش‌های ایجاد شده در اعضای سازه با تنش مجاز در محدوده الاستیک مقایسه می‌گردد. بطور کلی روش طراحی تنش مجاز باید برای مواردی بکار رود که از سطح خطر-۱ استفاده می‌شود.
- ۲- اساس روش طراحی شکل‌پذیر این است که برای لرزه‌ای قویتر با شتاب (و سرعت) زیاد، به سازه اجازه جذب انرژی بیشتری (بعد از نقطه تسلیم مصالح) داده شده تا مولفه‌های آن بتوانند کرنش زیادتری را جذب نمایند. ضریب شکل‌پذیری مورد محاسبه با روابط این راهنما با ضریب شکل‌پذیری مجاز مربوطه کنترل می‌گردد.

۲-۳- عملکردهای مورد انتظار در این راهنما

دو حالت حدی برای عملکرد مولفه‌های سامانه برق در مقابل سطح خطرهای لرزه‌ای داده شده در این راهنما در نظر گرفته شده است:

- قابلیت استفاده بی‌وقفه (تا قبل از تسلیم مصالح)

برای زلزله بهره‌برداری در سطح خطر-۱، مولفه‌های طراحی شده نباید دچار هیچ آسیب موثری بر عملکرد سامانه برق رسانی شده و عملکرد آنها بدون وقفه ادامه یابد.

- آستانه فرو ریزش (بعد از تسلیم مصالح)

برای زلزله طرح در سطح خطر-۲، مولفه‌های طراحی شده ممکن است دچار آسیب فیزیکی موثر بر عملکرد ولی بدون اثر بر زندگی افراد، محیط زیست و پایداری سامانه برق رسانی شود. آسیب وارده باید هر چه زودتر قابل رفع بوده و عملکرد مختل شده به حالت اولیه باز گردد.

فصل ۳

بارگذاری لوزه‌ای

۳-۱- انواع بار

بارهای محاسباتی در تجهیزات سامانه‌های برق‌رسانی می‌تواند از انواع زیر باشد:

- بار مرده ناشی از وزن تجهیز و ملحقات آن
- وزن ناشی از مواد داخلی بعضی تجهیزات
- فشار داخلی محتوی بعضی تجهیزات
- فشارهای هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک ناشی از آب
- فشارهای ناشی از خاک برای تجهیزات مدفون
- بار ناشی از حرارت
- بارهای جانبی و قائم ناشی از زلزله
- بار باد

در مورد انواع بار با توجه به نوع تجهیزات سامانه برق، ملاحظات زیر لازم می‌باشد:

- ✓ بار باد بر روی سازه‌های مدفون اثری ندارد.
- ✓ برخلاف ساختمانها سازه‌های تأسیسات برق دارای بار زنده انسانی نیستند.
- ✓ تجهیزاتی نظیر بویلر، مخازن سوخت، خطوط لوله و لوله‌کشی بین تجهیزات بطور عمده تحت اثر فشارمواد و فراورده‌های داخل خود هستند.
- ✓ بویلر، 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 تا ۱۰ داده شده است. در صورت عدم ارائه ترکیب بارگذاری، ضرایب بارها یک منظور گردیده است.

۳-۴- انواع تجهیزات از نظر محل استقرار

تجهیزات سامانه‌های برق‌رسانی بطور کلی بصورت زیر استقرار می‌یابند:

- تجهیزات هوایی
- تجهیزات روی زمین

- تجهیزات زیرزمینی و مدفون

۳-۵- روش‌های اعمال بارهای لرزه‌ای

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

- ۱- نیروی اینرسی ناشی از جرم تجهیزات که حرکت آنها در خاک مقید نشده باشد. این نیرو بطور عمده در سازه‌های هوایی و روزمینی ایجاد و محاسبه می‌گردد.
- ۲- نیروی ناشی از تغییر مکان خاک بستر که بر روی سازه‌های زیرزمینی و بویژه 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 طوریست که جرمشان و مواد داخل آنها می‌توانند در اثر تکان زمین ایجاد نیروی اینرسی نماید، هردو 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 برق

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

- ۱- اثر دینامیکی زلزله ناشی از ارتعاشات زمین (انتشار امواج لرزه‌ای در خاک) که حاصل آن سه پاسخ زیر می‌باشد:
 - شتاب
 - سرعت
 - جابجایی
- ۲- اثر استاتیکی یا همان مخاطرات ژئوتکنیکی که تغییرشکلهای ماندگار در زمین ایجاد می‌کنند شامل:
 - روانگرایی (و گسترش جانبی)
 - زمین لغزه
 - گسلش

۳-۷- روش‌های محاسبه بارهای لرزه‌ای وارد بر تجهیزات

(۱) برای محاسبه بار وارد بر تجهیزات هوایی و روزمینی سامانه برق باید نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب زلزله بر جرم تجهیز محاسبه گردد. برای این منظور اغلب از «روش شبه استاتیکی» استفاده می‌گردد. روش شبه استاتیکی برای بدست آوردن تغییر مکان و تنش در یک سازه با صلبیت زیاد و با اعمال بار زلزله بصورت یک بار استاتیکی معادل، استفاده می‌شود. بار استاتیکی معادل بصورت حاصل ضرب ضریب زلزله در جرم سازه به دست می‌آید. بعلاوه در صورت

لرزم می‌توان با توجه به شکل، مشخصات ارتعاشی، اهمیت تأسیسات و مود خرابی سازه، از روش‌های زیر نیز استفاده کرد:

- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

در روش شبه استاتیکی اصلاح شده، با توجه به پریود طبیعی و میرایی سازه، نیروی اینرسی ناشی از زلزله از ضرب ضریب زلزله اصلاح شده در جرم سازه محاسبه می‌شود. برای مواردی که پریود تجهیز بلند و یا دارای پیچیدگی سازه‌ای باشد (عدم حاکمیت مود اول ارتعاش سازه) از "روش شبه استاتیکی اصلاح شده" استفاده می‌شود.

- روش دینامیکی (طیفی یا تاریخچه زمانی)

علاوه بر دو روش فوق، برای کنترل روش‌های ساده استاتیکی و درک دقیق‌تر رفتار لرزه‌ای مولفه‌ها و اطمینان از طراحی صورت گرفته، از روش دینامیکی طیفی یا تاریخچه زمانی استفاده می‌شود.

در روش‌های فوق قابلیت اعتماد نتایج به مناسب بودن شتاب‌های ورودی و ضرایب انتخاب شده برای میرایی دارد.

(۲) برای محاسبه نیروی ناشی از جابجایی زمین بر سازه‌های مدفون نیز، "روش پاسخ تغییر مکان" بکار می‌رود. در این روش پس از محاسبه جابجایی 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.

- در این روش 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 زمین محاسبه نمود. جزئیات این روش در راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران آورده شده است.

۳-۷-۱- ضریب اهمیت

در تمامی روش‌های محاسبه نیروی زلزله، ضریب اهمیت سازه براساس اهمیت آن با (β_1) نشان داده شده و از جدول (۳-۱) تعیین می‌گردد.

جدول ۳-۱ ضریب اهمیت β_1

دسته اهمیت	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم
β_1	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸

نیاز به بهره‌برداری بی وقفه از مولفه مورد طراحی و ضرورت ایمنی آن بعد از زلزله نقش مهمی در بالا بردن ضریب اهمیت آن مولفه در سامانه برق دارد.

تعاریف رده‌های مختلف اهمیت در جدول (۳-۲) و نیز طبقه‌بندی اهمیتی تجهیزات مختلف در جدول (۳-۳) داده شده است.

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

جدول ۲-۳ تعریف رده‌های مختلف اهمیت

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

جدول ۳-۳ جدول طبقه‌بندی اهمیت تأسیسات مختلف

اهمیت	تجهیزات			
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم
تجهیزات نیروگاهی			×	
			×	
			×	
			×	
تجهیزات کنترل و حفاظت				
		×	×	
مخازن سوخت نفتی				
		×	×	×
مخازن سوخت گازی				
		×	×	×
تجهیزات لوزه‌ای لوله کشی نیروگاهی				
		×	×	
تجهیزات پست‌های برقی		×	×	
		×	×	
		×	×	
		×	×	
		×	×	
خطوط انتقال و توزیع				
		×	×	

در حالت کلی تعیین اهمیت تجهیزات فوق با توجه به دیدگاه‌ها و شرایط کارفرما نسبت به جدول فوق اولویت دارد.

۳-۷-۲- نسبت شتاب مبنای طرح

نسبت شتاب مبنای طرح β_2 با توجه به محل ساختگاه از جدول (۳-۴) تعیین می‌شود.

جدول ۳-۴ نسبت شتاب مبنای طرح (β_2)

پهنه لرزه‌خیزی	۱	۲	۳	۴
	خیلی شدید	شدید	متوسط	کم
β_2	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۲۰

۳-۷-۳- ضریب بزرگنمایی لایه‌های خاک

اندازه نیروی زلزله وارد بر سازه بستگی به بزرگنمایی لایه‌های خاک محل (از سنگ بستر تا سطح زمین) دارد. درجه بزرگنمایی برحسب لایه‌های خاک با ضریب بزرگنمایی β_3 معین می‌گردد. جدول (۳-۵) ضریب بزرگنمایی را برای انواع زمین (تیپ خاک) مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ارائه می‌دهد.

جدول ۳-۵ ضریب بزرگنمایی ساختگاه (β_3)

نوع خاک	نسبت شتاب مبنای طرح	I	II	III	IV
		۱/۵	۱/۵	۱/۷۵	۲/۲۵
کم		۱/۵	۱/۵	۱/۷۵	۲/۲۵
متوسط		۱/۵	۱/۵	۱/۷۵	۲/۲۵
شدید		۱/۵	۱/۵	۱/۷۵	۱/۷۵
بسیار شدید		۱/۵	۱/۵	۱/۷۵	۱/۷۵

نیروی زلزله طراحی که از روش شبه استاتیکی و شبه استاتیکی اصلاح شده بدست می‌آید به صورت زیر حساب می‌شود.

۳-۷-۴- محاسبه ضریب زلزله

۳-۷-۴-۱- ضریب زلزله افقی طراحی

ضریب زلزله افقی طراحی K_{SH} از رابطه (۳-۱) بدست می‌آید.

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (۳-۱)$$

K_{SH} : ضریب زلزله افقی طراحی است. در صورتی که K_{SH} از رابطه فوق کمتر از ۰/۲ بدست بیاید آن را برابر ۰/۲ در نظر می‌گیرند.

K_H : ضریب شدت زلزله افقی در سطح زمین (نحوه بدست آوردن این ضریب در رابطه (۳-۴) ارائه شده است).

β_4 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی. مقدار این ضریب بستگی به ارتفاع سازه از روی زمین دارد. برای ارتفاع کوچکتر مساوی ۱۶

متر برابر ۱ است. برای ارتفاع بالای ۱۶ متر برابر است با $0.0125h + 0.8$
 h : مقدار ارتفاع سازه (متر) و از سطح زمین محاسبه می‌شود.

۳-۷-۲- نیروی زلزله افقی طراحی

نیروی زلزله افقی طراحی (نیروی استاتیکی معادل در روش شبه استاتیکی) F_{SH} ، از رابطه (۳-۲) بدست می‌آید:

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \quad (۳-۲)$$

F_{SH} : نیروی زلزله افقی طراحی (N)

K_{SH} : ضریب زلزله افقی طراحی

W_H : وزن سازه+ بار مرده و زنده (N)

۳-۷-۵- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

در مورد سازه‌هایی که پیوند طبیعی آنها بلند است، استفاده از روش شبه استاتیکی اصلاح شده ارجح می‌باشد. بعد از محاسبه ضریب زلزله از روش شبه استاتیکی اصلاح شده، برای محاسبه نیروی زلزله افقی یا قائم، باید آن را در وزن سازه (تجهیز) مربوطه ضرب کنیم.

۳-۷-۵-۱- ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی

ضریب زلزله افقی اصلاح شده با استفاده از رابطه (۳-۳) بدست می‌آید:

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (۳-۳)$$

K_{MH} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده، طراحی است. در صورتی که K_{MH} از 0.2 کمتر شود مقدار آن برابر 0.2 اختیار می‌گردد.

K_H : ضریب شدت زلزله افقی در سطح زمین

$$K_H = 0.3 \cdot \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (۴-۳)$$

β_5 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی که در راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران آورده شده است.

β_0 : پارامتر سطح زلزله

برای سطح خطر-۱: 0.5

برای سطح خطر-۲: 1

β_1 ، β_2 و β_3 : در جداول ۳-۱، ۳-۴ و ۳-۵ داده شده است.

۳-۷-۵-۲- ضریب زلزله قائم اصلاح شده (K_{MV})

K_{MV} از رابطه (۵-۳) بدست می‌آید:

$$K_{MV} = \beta_6 K_V \quad (۵-۳)$$

برای تجهیزاتی که از نظر اهمیت، در رده متوسط و کم اهمیت قرار می‌گیرد، اعمال شتاب قائم لازم نیست.

۳-۷-۵- نیروی زلزله اصلاح شده

نیروی زلزله اصلاح شده از ضرب ضریب زلزله اصلاح شده در وزن سازه همانند رابطه‌های (۳-۶) و (۳-۷) بدست می‌آید.

$$F_{MH} = K_{MH} \times W_H \quad (۳-۶)$$

$$F_{MV} = K_{MV} \times W_H \quad (۳-۷)$$

K_{MH} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده با استفاده از رابطه (۳-۳)

K_{MV} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده با استفاده از رابطه (۳-۵)

F_{MH} و F_{MV} : نیروی زلزله افقی و قائم اصلاح شده (N)

W_H : وزن سازه+ بار مرده و زنده (N)

۳-۷-۶- روش دینامیکی

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

۳-۷-۶-۱- روش طیف پاسخ

۱- شتاب پاسخ افقی برای هر مود $A_H(T)$ از رابطه (۳-۸) بدست می‌آید:

$$A_H(T) = \beta_5 \cdot \alpha_H \quad (۳-۸)$$

۲- $A_H(T)$: شتاب پاسخ افقی در پریود طبیعی T (برحسب cm/s^2)

β_5 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی (برای سهولت و با محافظه کاری، در پریودهای کمتر از ۰/۵ ثانیه، ۱/۵ و برای پریودهای بزرگتر از ۳/۰ ثانیه، ۷۵٪ در نظر گرفته می‌شود).

α_H : شتاب افقی در سطح زمین که از رابطه (۳-۹) بدست می‌آید:

$$\alpha_H = 350 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (۳-۹)$$

۳- شتاب پاسخ قائم برای هر مود $A_V(T)$ براساس رابطه (۳-۱۰) بدست می‌آید:

$$A_V(T) = \beta_6 \cdot \alpha_V \quad (۳-۱۰)$$

$A_V(T)$: شتاب پاسخ قائم در پریود طبیعی T (برحسب cm/s^2)

β_6 : ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم (برای برج با پایه دامن ۱/۵ و برای سایر سازه‌ها ۲ می‌باشد).

α_V : شتاب قائم در سطح زمین که از رابطه (۳-۱۱) بدست می‌آید:

$$\alpha_V = 175 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (۳-۱۱)$$

۳-۷-۶-۲- روش تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی

در تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی، باید موج های مناسبی را انتخاب کرد که حداکثر شتاب افقی آن براساس محل به یکی از روش های زیر بدست می آید:

۱- در صورت استفاده از امواج ورودی بر روی سنگ بستر

$$\alpha_{HT} = 350 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \quad (۱۲-۳)$$

α_{HT} : شتاب افقی حداکثر روی سنگ بستر

۲- در صورت استفاده از امواج ورودی بر روی سطح زمین

$$\alpha'_H = \alpha_H = 350 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (۱۳-۳)$$

α_H : شتاب افقی حداکثر روی سطح زمین در تحلیل طیفی

α'_H : شتاب افقی حداکثر روی سطح زمین در تحلیل تاریخچه زمانی

۳-۷-۶-۳- روش پاسخ تغییر مکان (برای سازه های مدفون)

این روش براساس 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 موثر به سازه تبدیل می گردد.

۳-۸-۱- بارگذاری ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله بر تجهیزات

علاوه بر تکنایهای 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)، زمین لغزه و گسلش.

۳-۸-۱- روانگرایی

گرچه در ایران پتانسیل روانگرایی زیاد نمی باشد لیکن در مناطق ساحلی دریاها و رودخانه ها و در قسمتهایی که بافت ماسه ریزدانه همراه با سطح آب زیرزمینی بالا باشد این مخاطره تجهیزات مختلف از جمله انواع مدفون آنها تهدید می نماید.

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

- مناطقی که نیاز به طراحی لرزه ای در مقابل روانگرایی دارند، باید بر اساس زمین شناسی و ژئومورفولوژی، وضعیت زمین و موقعیت نصب تأسیسات برقی انتخاب شوند.

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

- تغییر مکان افقی ناشی از گسترش جانبی زمین بر سطح شیب دار زمین

- تغییر مکان افقی ناشی از گسترش جانبی زمین پشت دیوار ساحلی

- نشست زمین

اثر روانگرایی در این راهنما بصورت جابجایی قائم و افقی محاسبه شده و مطابق با توزیع داده شده روی سازه مدفون اعمال می‌گردد.

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

۳-۸-۲- زمین لغزه

در مناطق کوهستانی که شیب زمین زیاد بوده و لایه های سست در آن قرار گرفته است احتمال رانش زمین وجود داشته و می‌تواند منجر به آسیب به تجهیزات مختلف برقی 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

۳-۸-۳- گسلش

عبور از مناطق با پتانسیل گسلش در سامانه برق‌رسانی امری اجتناب ناپذیر است. لذا بایستی حتی الامکان اثر ناشی از جابجایی گسله‌های 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 گمانه زنی و بازرسی ترانشه تأیید شود.
 - چنانچه تجهیزات برقی گسل فعالی را قطع نمایند، باید برای تحقق عملکرد لرزه‌ای، با در نظر گرفتن تغییر مکان ماندگار زمین ناشی از جابجایی گسل، طراحی شوند.
 - اگر اثر جابجایی گسل در سطح زمین نمایان شود، تأسیسات برقی باید برای جابجایی گسل، طراحی لرزه‌ای شوند.
- نحوه محاسبه و اعمال بارهای اعمال شده توسط مخاطرات ژئوتکنیکی ناشی از زلزله در این راهنما تحت عنوان بارگذاری لرزه‌ای شریانهای حیاتی ارائه شده است.

۳-۹- طبقه بندی خاک

برای استفاده ساده تر از روابط استاندارد ۲۸۰۰ از همان طبقه بندی خاک در این استاندارد نیز استفاده شده است.

فصل ۴

روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل

ایمنی

۴-۱- طراحی لرزه‌ای

۴-۱-۱- کلیات

طراحی لرزه‌ای تجهیزات سامانه برق با توجه به شرایط ساختگاه و نیز مشخصات سازه‌ای آنها با استفاده از روش‌های ارائه شده در این راهنما صورت می‌گیرد.

هدف از طراحی لرزه‌ای مولفه‌های سامانه برق آن است که در اثر زلزله بهره‌برداری در سطح خطر-۱ رفتار مصالح از محدوده ارتجاعی خارج نشده و بهره‌برداری از سامانه بدون وقفه ادامه یابد، و در اثر زلزله طرح در سطح خطر-۲ علیرغم عبور رفتار مصالح از محدوده ارتجاعی، میزان شکل‌پذیری آنها طوری محدود گردد که در آنها گسیختگی بوجود نیامده و آسیب‌های محدود احتمالی نیز بسرعت قابل رفع (از طریق تعمیرات اضطراری) باشد.

آسیب در تجهیزات را می‌توان به سه حالت زیر در نظر گرفت:

- آسیب فیزیکی که عضو ممکن است دچار تغییرشکل زیاد گردیده ولی ترکی که در آن عملکرد را تحت تاثیر قرار دهد بوجود نیاید (آسیب).
- آسیب عملکردی که در اثر ترک یا جدایی روی داده و منجر به نشت مواد، اتصال کوتاه یا سایر موارد مشابه گردد و عملکرد را مختل سازد (خرابی).
- آسیب سیستمی که در اثر زیاد بودن آسیب یا آسیب‌های عملکردی، ادامه کار سامانه ناایمن بوده و باید متوقف گردد (ناپایداری).

۴-۲- اصول روش طراحی لرزه‌ای

مولفه‌های سامانه برق بسته به سطح خطر، به یکی از روش‌های تنش مجاز (رفتار ارتجاعی) یا شکل‌پذیر (رفتار خمیری) 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 شکل‌پذیر انجام می‌گردد.

- در مواردی که از سطح خطر-۲ استفاده می‌شود، روش شکل‌پذیر برای طراحی استفاده می‌گردد.
- در روش تنش مجاز، تنش‌ها نباید در اعضا از مقادیر مجاز، تجاوز کند. در غیر این صورت تغییر شکل‌های بازگشت‌ناپذیر بعد از زلزله در اعضاء باقی می‌ماند.
- 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.

۴-۲-۱- نحوه طراحی به روش تنش مجاز

۴-۲-۱-۱- محاسبه تنش

تنش نهایی با ترکیب تنش‌های ناشی از بارهای مختلف بدست می‌آید.

۴-۲-۱-۲- تنش‌های مجاز در تحلیل لرزه‌ای

تنش‌های مجاز مصالح بر حسب نوع تجهیز و محل آن تعریف می‌گردد.

۴-۲-۱-۳- بررسی تنش محاسباتی

از نظر تحلیلی یک سازه وقتی قابل قبول است که همه تنش‌های محاسباتی کمتر از مقادیر تنش‌های مجاز باشد.

۴-۲-۲- نحوه تحلیل لرزه‌ای برای روش طراحی شکل‌پذیر

۴-۲-۲-۱- طراحی لرزه‌ای

روش تحلیل لرزه‌ای شکل‌پذیر برای تحلیل لرزه‌ای سازه در سطح خطر ۲- زلزله استفاده می‌شود.

۴-۲-۲-۲- تحلیل پاسخ لرزه‌ای

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

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

۱- روش طراحی تغییر شکل پلاستیک نهایی

در سازه‌هایی که مُد اول ارتعاش در آنها حاکم است. نسبت تغییر شکل پلاستیک را می‌توان با اعمال قانون انرژی ثابت برای مود خرابی احتمالی بدست آورد.

۱-۲- ضریب زلزله طراحی اصلاح شده

ضریب زلزله طراحی اصلاح شده با توجه به فصل سوم محاسبه می‌شود.

۲-۲- ضریب شکل‌پذیری پاسخ پلاستیک

ضریب شکل‌پذیری پاسخ پلاستیک μ_p بخش آسیب دیده سازه را می‌توان با استفاده از رابطه (۴-۱) بدست آورد.

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

μ_p : ضریب شکل‌پذیری پاسخ عضو مربوط به مود خرابی، در صورتی که $K_y \geq K_{MH}$ باشد آنگاه $\mu_p = 0$ می‌باشد.

K_{MH} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی مربوط به سازه مورد نظر

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

C: ضریبی است که بصورت زیر به رفتار هیسترسیس در جذب انرژی و نیل به مد خرابی مورد نظر بستگی دارد:

$C = 2n$ در صورتی است که مشخصات پسماند از نوع الاستوپلاستیک کامل باشد.

$C = 1n$ در صورتی است که مشخصات پسماند از نوع لغزشی باشد.

n تعداد معادل سیکل‌های مناسب از منحنی هیسترسیس مربوطه می‌باشد. در صورتی که نتوان تعداد سیکل‌ها را با استفاده از معادلات تفصیلی تعیین کرد، مقدار آن بصورت محافظه کارانه، یک در نظر گرفته می‌شود. در این شرایط ضریب زلزله قائم باید در بدترین حالت اعمال گردد.

۳-۱- برآورد تغییر شکل‌های پلاستیک

در روش طراحی شکل پذیر در نهایت رابطه (۲-۴) باید ارضاء شود:

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

μ_p : ضریب شکل پذیری عضو در معرض خرابی

μ_{pa} : ضریب شکل پذیری مجاز

۲- روش طراحی مقاومت تسلیم (برای سازه‌های قابی)

برای قاب‌ها، طراحی لرزه‌ای خمیری با استفاده از روش طراحی مقاومت تسلیم، انجام می‌گردد.

۱-۲- ضریب زلزله اصلاح شده طراحی

همان‌گونه که در روش شبه استاتیکی اصلاح شده در فصل سوم گفته شد بدست می‌آید.

۲-۲- ضریب مشخصه سازه‌ای

ضریب مشخصه سازه‌ای D_s از رابطه (۳-۴) یا از مقادیری که در آئین‌نامه‌های دیگر آمده است، بدست می‌آید. D_s در محدوده بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ متغیر است.

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

D_s : ضریب مشخصه سازه‌ای (تقریباً معادل عکس ضریب رفتار R سازه‌ها در استاندارد ۲۸۰۰)

۳-۲- ظرفیت لرزه‌ای

ظرفیت لرزه‌ای Q_u با استفاده از رابطه (۴-۴) بدست می‌آید:

$$Q_u = K_y W_0 \quad (4-4)$$

K_y : ضریب زلزله افقی تسلیم در نقطه شروع جاری شدن عضو در معرض خرابی.

در این حالت، ضریب زلزله قائم باید در بدترین حالت اعمال گردد.

W_0 : وزن بهره برداری سازه مورد نظر

۴-۲- ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز از رابطه (۵-۴) بدست می‌آید:

$$Q_{un} = D_s K_{MH} W_0 \quad (5-4)$$

Q_{un} : ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

D_s : ضریب مشخصه سازه‌ای که در (ب) بدست آمد.

K_{MH} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده

W_0 : وزن عملیاتی سازه

۲-۵- برآورد ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز Q_{un} نباید از ظرفیت لرزه‌ای Q_u تجاوز کند.

۳- تحلیل پاسخ مودال خطی

برای اعضای غیر خطی که از ظرفیت جاری شدن تجاوز می‌کنند، تحلیل پاسخ خطی معادل با کاهش سختی از سختی الاستیک (بسته به درجه غیرخطی بودن و ضریب میرایی معادل)، انجام می‌گردد.

تحلیل پاسخ مودال خطی با استفاده از تحلیل پاسخ شتاب براساس گام‌های ۳-۱ تا ۳-۶ زیر انجام می‌شود:

۳-۱- طیف شتاب قائم و افقی طراحی براساس رابطه‌های (۴-۶) و (۴-۷) محاسبه می‌گردد:

$$A_H^{(i)} = 350\beta_1\beta_2\beta_5 \quad (۴-۶)$$

$$A_V^{(i)} = 175\beta_1\beta_2\beta_6 \quad (۴-۷)$$

$A_H^{(i)}$: شتاب پاسخ افقی طراحی مود i ام ارتعاش برحسب (cm/s^2)

$A_V^{(i)}$: شتاب پاسخ قائم طراحی مود i ام ارتعاش بر حسب (cm/s^2)

β_1 : ضریب اهمیت با استفاده از جدول (۳-۱)

β_2 : نسبت شتاب مبنای طرح با استفاده از جدول (۳-۴)

β_5 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی (برای سهولت و با محافظه کاری، برای پیوندهای کمتر از ۳/۱. ثانیه، ۵/۱ و برای پیوندهای بزرگتر از ۳/۱. ثانیه، ۷۵/۱. در نظر گرفته می‌شود).

β_6 : ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم (برای برج با پایه دامنی ۵/۱ و برای سایر سازه‌ها ۲ می‌باشد).

۳-۲- سختی عضو باید براساس درجه غیر خطی بودن سازه کاهش یابد.

۳-۳- ضریب میرایی معادل مربوط به انرژی کرنشی خمیری از تحلیل غیر خطی سازه بدست می‌آید.

۳-۴- مقادیر پاسخ R مانند نیروی برشی، لنگر، شتاب و تغییر مکان‌های لازم برای طراحی برای هر مود ارتعاشی، از روش جذر مجموع مربعات بدست می‌آید.

$$R = \sqrt{\sum_i R_i^2} \quad (۴-۸)$$

که در آن R_i اندازه پاسخ مود i ام است.

۳-۵- جابجایی پاسخ را باید از اندازه پاسخ عضو بدست آورد.

۳-۶- اطمینان حاصل کنید که ضریب شکل پذیری که از (ه) بدست می‌آید، از ضریب شکل پذیری مجاز تجاوز نکند.

۴- تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی غیر خطی

تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی بصورت زیر انجام میشود.

۴-۱- مشخصات بار- تغییر مکان سازه باید براساس مدل هیستریک غیر خطی بوده و نتایج مربوط به هر زمان مورد نظر مستقیماً از تحلیل تاریخچه زمانی بدست می‌آید.

۴-۲- وارد کردن موج زلزله با حداکثر شتاب در نقطه مورد نظر

۳-۴- ضریب شکل پذیری از تغییر مکان عضو بدست می‌آید.

۴-۴- ضریب شکل پذیری بدست آمده نباید از ضریب شکل پذیری مجاز بیشتر باشد.

۵- روش پاسخ تغییر مکان

این روش با طی کردن گام‌های ۱-۵ تا ۴-۵ که در زیر توضیح داده شده است، انجام می‌گردد.

۱-۵- تغییر مکان نقاط با تغییر مکان معین، همان تغییر مکان پاسخ در تکیه‌گاه‌ها یا تغییر مکان پی ناشی از حرکت زمین، می‌باشد.

۲-۵- تغییر مکان عضو از تحلیل استاتیکی مدل با استفاده از رابطه غیر خطی بار- تغییر مکان بدست می‌آید.

۳-۵- ضریب شکل پذیری با استفاده از نتایج تغییر شکل عضو بدست می‌آید.

۴-۵- ضریب شکل پذیری، نباید از مقدار مجاز نسبت تغییر شکل پلاستیک تجاوز کند.

۴-۲-۲-۳- ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری، از تغییر شکل پلاستیک تحلیل لرزه ای مود خرابی تجهیز مورد نظر، بدست می‌آید.

۴-۲-۲-۴- ضریب شکل پذیری مجاز

ضریب شکل پذیری مجاز عضو، براساس مشخصات رفتار الاستو- پلاستیک مانند خستگی و کمانش در بارگذاری متناوب، حسب مود خرابی لرزه ای اعضای مورد نظر، تعیین می‌شود.

۴-۲-۲-۵- برآورد ضریب شکل پذیری

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

۴-۳- مشخصات مصالح در طراحی به روش تنش مجاز

۱- ساختمان بتنی

۱-۱- حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز برای بتن عبارتست از:

- برای نگهدارنده‌های لوله (قفسه لوله) پیش‌ساخته: $f_c \geq 25 \text{ N/mm}^2$ (3500 p.s.i)

- برای سازه‌ها، شالوده‌ها، کف‌سازی‌ها و دیگر کارهای ساختمان سازه‌ای: $f_c \geq 21.1 \text{ N/mm}^2$ (3000 p.s.i)

- برای اجزایی که باید در مقابل آتش مقاوم باشد و نیز مجاری: $f_c \geq 18 \text{ N/mm}^2$ (2500 p.s.i)

- برای بتن مگر: $f_c \geq 8.0 \text{ N/mm}^2$ (1100 p.s.i)

- در مورد بتن‌هایی که در آنها از سیمان ضد سولفات استفاده می‌شود عیار سیمان نباید از 310 kg/m^3 کمتر باشد. در مورد سیمان‌های دیگر عیار سیمان نباید از 310 kg/m^3 کمتر باشد.

۱-۲- فولاد تقویتی

الف) آرماتورهای آجدار

آرماتور آجدار باید از گرید ۶۰ (با حداقل مقاومت جاری $f_y = 414 \text{ N/mm}^2$) مطابق با آیین‌نامه ASTM615 و یا مصالح معادل مشابه آن باشد.

ب) آرماتورهای صاف

آرماتورهای صاف باید از گرید ۴۰ (با حداقل مقاومت جاری شدن $f_y = 276 \text{ N/mm}^2$) مطابق با آیین‌نامه ASTM615 و یا مصالح معادل مشابه آن باشد.

ج) مش‌های فولادی جوش شده

مش‌های فولادی جوش شده باید از گرید ۷۰ (با حداقل مقاومت جاری شدن 485 N/mm^2) مطابق با استاندارد ASTM A496 و A497 و یا مصالح مشابه آن باشد.

۳-۱- میل مهارها، ورق‌ها و دیگر مصالح فولادی مورد استفاده در بتن

مصالح لازم برای مهارها، ورق‌ها و دیگر مصالح فولادی برای جایگذاری در بتن باید از نوع ASTM A36 قابل جوشکاری مطابق با استاندارد ASTM یا مصالح مشابه آن باشد.

۴-۱- تنش‌های مجاز

تنش‌های مجاز برای بتن و فولاد باید مطابق با مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه بتن ایران (آبا) انتخاب گردد.

۵-۱- تغییر شکل‌ها و خیزهای مجاز

خیزهای مجاز اعضای بتن باید مطابق با استاندارد مبحث نهم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه بتن ایران (آبا) باشد.

۲- ساختمان فولادی

۱-۲- مصالح

- مصالح باید مطابق با ASTM A36 یا استاندارد با آن باشد.

۲-۲- پیچ‌ها

- پیچ‌های مورد استفاده در اتصالات باید مطابق ASTM A325 یا استاندارد مشابه آن باشد.

- پیچ‌های مورد استفاده در اتصالات ثانویه باید مطابق ASTM A307 Grade A یا استاندارد مشابه آن باشد.

- مهره‌های معمولی و مقاومت بالا باید مطابق ASTM A563 یا استاندارد مشابه باشد.

- واشرها باید مطابق با استاندارد ASTM F436 یا استاندارد مشابه آن باشد.

فصل ۵

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

تجهیزات نیروگاهی

۵-۱- تجهیزات نیروگاهی

تجهیزات مورد نظر در این فصل بشرح زیر می‌باشد:

۱- بویلر و ملحقات

۲- توربین و ملحقات

۳- جرثقیل

۴- دودکش (و برج خنک کن)

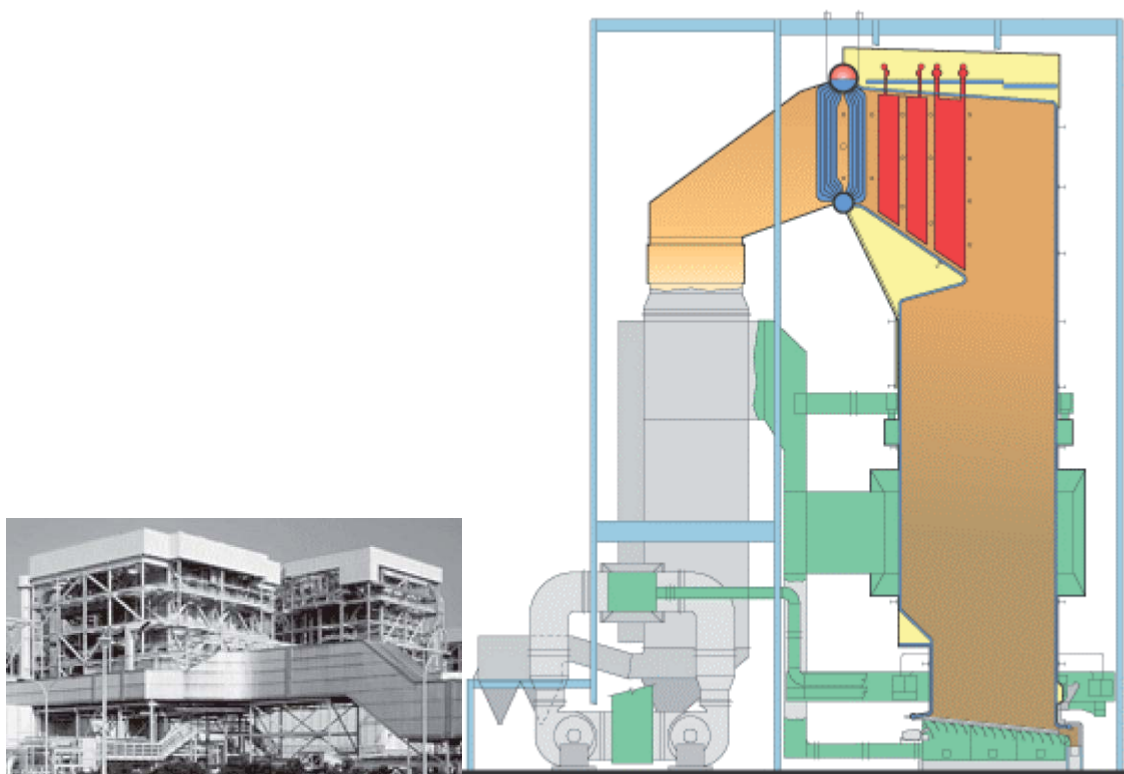
۵- واحد کنترل

مخازن سوخت نفت، گاز و سیستم لوله کشی نیروگاهی بترتیب در فصول ۶، ۷ و ۸ ارائه شده است.

۵-۲- سطح عملکرد

۵-۲-۱- بویلر و ملحقات

بویلر و ملحقات آن باید به گونه‌ای طراحی گردد تا در سطح خطر-۱، بهره‌برداری بی وقفه بوده و در سطح خطر-۲، با حداقل وقفه و بلافاصله قابل بهره‌برداری باشد.



شکل ۵-۱ بویلر و ملحقات آن

۵-۲-۲- توربین بخار و ملحقات

عملکرد مورد انتظار در سطح خطر-۱، عملکرد بدون وقفه توربین و ملحقات آن می‌باشد. در زلزله سطح خطر-۲، میزان آسیب در حدی قابل قبول است که پس از تعمیرات جزئی در مدت زمان کوتاهی توربین قابل بهره‌برداری باشد. در مورد ماشین دورانی رفتار لرزه‌ای باید به گونه‌ای باشد، که بطور ایمن متوقف گردد.



شکل ۵-۲ توربین بخار

۵-۲-۳- دودکش

عملکرد لازم دودکش در سطح خطر-۱، بهره برداری بدون وقفه است.
در سطح خطر-۲ نیز باید بلافاصله و با تعمیرات جزئی به بهره برداری برگردد.

۵-۲-۴- واحد کنترل

دستگاه کنترل و محافظت باید در هنگام زلزله دارای مقاومت کافی برای حفظ عملکرد بوده و بهره‌برداری مختل نگردد.
برای سطح خطر-۱ بهره برداری بدون وقفه و برای سطح خطر-۲ بهره برداری با وقفه حداقل مورد انتظار می‌باشد.

- با توجه به قواعد مربوط به طراحی لرزه‌ای، دستگاه‌های کنترل و محافظت، نه تنها نباید آسیب ببینند، بلکه بایستی عملکرد عادی در اثر وقوع هر نوع زمین‌لرزه در آنها حفظ گردد.
- علی‌الخصوص در تجهیزات کنترل و محافظت به منظور حفظ عملکرد، نگهداری تجهیزات یا تأمین ایمنی عمومی، طراحی لرزه‌ای باید انجام شود.
- از نظر تضمین برق‌رسانی، از آنجایی که توقف در کار دستگاه‌های کنترل و حفاظت مجاز نمی‌باشد، لذا تجهیزات بدنه اصلی در اثر خرابی تا حد امکان باید سالم بماند.

۳-۵- محاسبات طرح لرزه‌ای بویلر و ملحقات

۱-۳-۵- روند بارگذاری

بارگذاری لرزه‌ای بویلر و ملحقات آن باید بر اساس جدول (۱-۵) انجام شود.

جدول ۱-۵ روش بارگذاری لرزه‌ای

روش بارگذاری لرزه‌ای			ملحقات
روش تحلیل دینامیکی	روش شبه استاتیکی اصلاح شده	روش شبه استاتیکی	
		○	بدنه اصلی بویلر
○	○	○	قاب تکیه‌گاهی بویلر
		○	ملحقات اصلی بویلر
		○	مجرای دود/هوا و تجهیزات تصفیه گاز خروجی

روش مناسب طراحی لرزه‌ای با علامت ○ نشان داده شده است. در صورت تأمین ایمنی، از روش‌های دیگری به غیر از روش‌های ذکر شده فوق، می‌توان استفاده کرد.

- برای قاب تکیه‌گاهی بویلر با ارتفاع کمتر از ۳۰ متر از روش شبه استاتیکی استفاده می‌شود. برای قاب تکیه‌گاهی بویلر با ارتفاع بین ۳۰ متر تا ۶۰ متر از روش شبه استاتیکی اصلاح شده استفاده می‌شود و برای قاب تکیه‌گاهی بویلر با ارتفاع بیشتر از ۶۰ متر از روش دینامیکی استفاده می‌شود.

۲-۳-۵- روند محاسبه

۱-۲-۳-۵- بدنه اصلی بویلر

۱- بدنه اصلی بویلر به بویلر با تسمه مهارى از پایین، بویلر خودایستا و سایر بویلرها با رفتارهای تکیه‌گاهی مشابه، طبقه‌بندی می‌شود.

۲- در هر یک از انواع بدنه بویلر، نیروی لرزه‌ای باید به راحتی به سازه تکیه‌گاهی یا پی بویلر منتقل گردد.

۳- بار مرده بدنه اصلی بویلر شامل وزن دیواره کوره، تیوپ داخلی، مخزن با شمع بیرونی، لوله‌کشی، سیال داخل بدنه و سایر بارها می‌باشد.

۴- نیروی لرزه‌ای در این حالت باید با استفاده از رابطه (۱-۵) زیر محاسبه گردد.

$$F = K_{SH} \times W \quad (1-5)$$

F: نیروی لرزه‌ای مربوط به قسمتی از سازه واقع بر بالای سطح زمین (N)

W: نیروی ناشی از بارهای مرده (N)

K_{SH} : ضریب زلزله افقی طرح.

جهت محاسبه ضریب زلزله طرح، ضریب اهمیت متوسط را می‌توان برای بویلر در نظر گرفت.

در طراحی لرزه‌ای انواع بویلر به نکات زیر توجه شود:

- ۱- خرابی دیواره کوره در بدنه اصلی بویلر تا زمانی که مقاومت لازم در مجاورت نقاط تکیه‌گاهی تأمین گردد، رخ نمی‌دهد، زیرا کل سازه دارای صلبیت بالایی می‌باشد.
- ۱-۱- بویلر با تسمه، با استفاده از مهاربندی در راستای ارتفاع به قاب متصل می‌شود. از آنجایی که دیواره کوره با پشت بند مسلح شده است، می‌توان آن را به صورت یک تیر با صلبیت زیاد روی چند تکیه‌گاه در نظر گرفت. بنابراین فرکانس طبیعی آن نسبت به فرکانس قاب، نسبتاً بیشتر بوده و امکان وقوع پدیده رزونانس در آن کم خواهد بود.
- ۱-۲- بویلر خودایستا نیز کم ارتفاع، جعبه‌ای شکل و لذا با صلبیت نسبتاً زیاد می‌باشد. ایمنی بویلر با طراحی سازه تکیه‌گاهی در مقابل لغزش، تغییر مکان جانبی تأمین می‌گردد.
- ۲- در بویلر با تسمه، طراحی لرزه‌ای، بطور خاص شامل مقاومت لرزه‌ای مهاربندی و مقاومت اعضای محیطی می‌گردد.
- ۳- در طراحی سازه‌ای بویلر با تسمه، مسائل زیر باید در نظر گرفته شود:
- ۳-۱- از آنجایی که نیروی لرزه‌ای ناشی از جرم دیواره کوره از طریق پشت‌بند و مهاربند دیواره، به قاب منتقل می‌گردد، بنابراین جذب تغییر شکل انبساطی دیواره (انبساط حرارتی) در بهره‌برداری، باید در نظر گرفته شود.
- ۳-۲- نیروی لرزه‌ای افقی وارد بر تیوپ داخلی به دیواره کوره ثابت و به قاب منتقل می‌شود. از آنجایی که امکان برخورد لوله‌ها با دیواره کوره وجود دارد، به منظور پرهیز از ایجاد هر گونه شکست، وجوه تلاقی باید دارای شکلی صاف باشد.
- ۳-۳- در مورد سازه‌های با جرم زیاد، مانند محفظه بخار و محفظه آب، از مهاربندهایی استفاده می‌شود که تغییر شکل انبساطی حین بهره‌برداری را به راحتی جذب نموده و نیروی لرزه‌ای افقی را به قاب انتقال دهد.

۵-۳-۲- قاب تکیه‌گاهی بویلر

برای طراحی قاب تکیه‌گاهی بویلر توجه به نکات زیر توصیه می‌شود:

- بار مرده شامل وزن قاب و وزن بویلر می‌باشد.
 - بار زنده با احتساب تجهیزات الحاقی در محل تعیین می‌گردد.
- پریود طبیعی اولیه T بر حسب ثانیه برای طراحی قاب بصورت زیر تعیین می‌گردد:

$$T = 0.02H \quad H < 16 \quad (۲-۵)$$

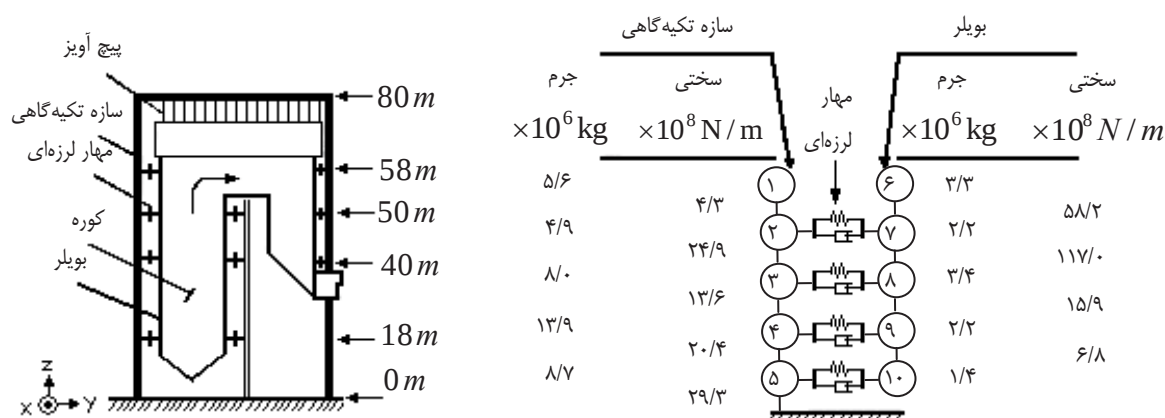
H : در این رابطه ارتفاع کل ساختمان بر حسب متر می‌باشد.

$$T = (0.02 + 0.01\alpha) \cdot H \quad H \geq 16 \quad (۳-۵)$$

α : نسبت ارتفاع طبقاتی از ساختمان که از فولاد ساخته شده به ارتفاع کلی ساختمان است.

در تحلیل دینامیکی از روش طیفی یا تاریخچه زمانی استفاده می‌شود. وزن مورد استفاده در تحلیل دینامیکی، وزن مؤثر سازه می‌باشد. که شامل وزن ناشی از بارهای مرده می‌باشد. وقتی که وزن مؤثر بدنه بویلر، لوله‌کشی و مجاری تعیین شد، وزن مؤثر مشخص می‌شود.

طراحی لرزه‌ای قاب تکیه‌گاهی بویلر مشابه طراحی ساختمان‌ها، انجام می‌شود. برای این کار، مشخصات پاسخ لرزه‌ای این سازه با استفاده از ویژگی‌های مدل جرم-فنر قاب تکیه‌گاهی بویلر که در آن جرم اضافی، بدنه اصلی بویلر می‌باشد، شبیه‌سازی می‌شود. به هر حال از آنجایی که در این روش شکل قاب تکیه‌گاهی بویلر که بدنه اصلی بویلر از داخل در آن آویزان است، در نظر گرفته نمی‌شود، بهتر است که در این حالت از روش تحلیل دینامیکی برای طراحی لرزه‌ای استفاده گردد. در شکل (۵-۱) نمونه‌ای از مدل‌سازی قاب بویلر نشان داده شده است.



شکل ۵-۳ مدل‌سازی قاب بویلر

۵-۳-۳-۳- ملحقات اصلی بویلر

- ۱- طراحی لرزه‌ای ملحقات اصلی بویلر باید با توجه به شکل سازه‌ای و شرایط ایستایی آن انجام شود.
- ۲- بار مرده محاسبه شده در حالت بهره‌برداری شامل وزن تجهیزات، وزن عایق حرارتی و وزن سیال داخلی می‌باشد.

۱- ملحقات بویلر بر اساس طبقه‌بندی سازه‌ای آنها به صورت زیر است:

۱-۱- پیش‌گرمکن هوا

۱-۲- دستگاه تهویه (دستگاه دمنده)

۱-۳- پمپ

۱-۴- کمپرسور هوا

۱-۵- مبدل حرارتی و برج‌ها و مخازن

- ۲- چون صلیبیت این ملحقات و مقاومت لرزه‌ای آنها زیاد است، لذا کافیسست مقاومت اتصال آنها به بدنه کنترل گردد. برای این منظور تنش‌های وارده به اتصال این ملحقات باید کمتر از تنش مجاز این ملحقات گردد.

۵-۳-۳-۴- مجاری دود، هوا و تجهیزات تصفیه گاز خروجی

طراحی مجاری دود، هوا و تجهیزات تصفیه گاز بر اساس نکات زیر انجام می‌شود:

۱- بار مرده شامل وزن مرده بدنه اصلی و وزن عایق حرارتی آن می‌باشد.

۲- نیروی زلزله از روش استاتیکی محاسبه می‌شود.

۳- قاب‌های تکیه‌گاهی در این حالت نیز مشابه قاب تکیه‌گاهی بویلر، طراحی می‌گردد.

۱- ملاحظات مربوط به طراحی لرزه‌ای مجاری دود و هوا و تجهیزات تصفیه گاز خروجی به صورت زیر می‌باشد.

- ۱-۱- مجرای دود، مجرای برای عبور گاز خروجی حاصل از احتراق در بویلر می‌باشد و معمولاً بین قسمت خروجی بهینه‌ساز سوخت و دهانه دودکش قرار دارد. بنابراین مجرای دود قسمت پستی مبدل حرارتی بویلر نیز باید مانند تجهیزات طراحی گردد.

مجرای هوا در واقع مجرای برای احتراق بویلر می‌باشد و معمولاً در فاصله بین فن ورودی هوای تحت فشار و مجرای باد ورودی نصب شده است.

طراحی لرزه‌ای مجرای دود با بررسی مقاومت اعضای مهاربند و پایه‌های تکیه‌گاهی مجرا انجام می‌شود، این طراحی شامل اعضای سازه‌ای از قبیل دیرک‌های داخلی مجرای دود، نمی‌باشد.

- ۱-۲- بدنه اصلی دستگاه گردگیر دود صلب می‌باشد و دارای سازه‌ای می‌باشد که نیروی لرزه‌ای را به راحتی به پی یا قاب تکیه‌گاهی منتقل می‌کند. بنابراین فقط مقاومت سازه تکیه‌گاهی آن کنترل می‌شود.

- ۳-۱- بدنه اصلی دستگاه زداینده نیترات گاز خروجی، ترکیبی از قاب فولادی و ورق فولادی می‌باشد و انتظار می‌رود که بدنه اصلی برای تحمل فشار داخلی در شرایط بهره‌برداری دارای مقاومت کافی باشد. بنابراین طراحی لرزه‌ای سازه با بررسی مقاومت اعضای از قبیل اعضای سازه تکیه‌گاهی انجام می‌شود.
- ۲- از آنجایی که سازه مجرای هوا و دود، نسبتاً ساده بوده و در مکان‌های پایین نصب می‌شود، بنابراین روش طراحی اصلی لرزه‌ای، روش استاتیکی می‌باشد.
- ۳- طراحی سازه‌ای بدنه اصلی دستگاه زداینده نیترات گاز خروجی با توجه به مفاد زیر باید انجام شود.
- ۱-۳- باید بتواند نیروی لرزه‌ای را به پی یا قاب تکیه‌گاهی به راحتی منتقل کند.
- ۲-۳- با توجه به اینکه دمای قاب تا دمای گاز بالا می‌رود، بتواند انبساط حاصل از این دما را جذب کند.
- ۴- محاسبه بار طراحی
- ۱-۴- وزن تمام ملحقات اعم از پله‌ها، لوله‌کشی، صفحه چسبنده غبارگیر و مخزن ته‌نشینی آن، سیستم نیترات زدا و تجهیزات زداینده سولفور باید ملحوظ گردد.
- ۲-۴- در وزن بدنه اصلی مجرای هوا و دود، وزن غبار چسبیده باید در نظر گرفته شود.
- ۵- ارزیابی و محاسبه تنش
- ۱-۵- از آنجایی که سازه مجرای دود توخالی بوده و نسبت سطح مقطع به وزن بدنه اصلی در آن بزرگ می‌باشد، اثر باد روی آن موثرتر از زلزله می‌باشد.
- ۲-۵- در دستگاه نیترات زدای گاز خروجی، تنش مجاز مصالح با توجه به اثر دمای بالای گاز خروجی باید تصحیح گردد. برای این منظور این تنش مجاز باید کمترین مقدار $0.6S_u, 0.6S_{u0}, 0.9S_y$ یا S_y باشد. که S_u : مقاومت کششی در دمای بهره‌برداری مصالح از 0°C تا 40°C که باید کمتر از حداقل مقدار استاندارد مصالح باشد. S_{u0} : مقاومت کششی در دمای محیط، S_y : مقاومت تسلیم در دمای بهره‌برداری و S_{y0} : مقاومت تسلیم در دمای محیط می‌باشد.

۳-۳-۵- کمیت‌های مجاز

تنش مجاز مصالح سازه بویلر و ملحقات آن از پاراگراف مربوط به مصالح فولادی فصل ۴ تعیین می‌گردد.

۴-۳-۵- معیار پذیرش

تنش ایجاد شده ناشی از نیروی لرزه‌ای طرح، بایستی کمتر از مقدار تنش مجاز باشد.

۵-۴- محاسبات طرح لرزه‌ای توربین و ملحقات

۵-۴-۱- روند بارگذاری

بارگذاری لرزه‌ای توربین و ملحقات آن بصورت زیر می‌باشد:

- ۱- برای بارگذاری و تحلیل توربین می‌توان از روش‌های شبه استاتیکی، شبه استاتیکی اصلاح شده، دینامیکی، مدل‌سازی فیزیکی و آزمایشگاهی استفاده کرد.
- ۲- طراحی لرزه‌ای بطور اصولی شامل ارزیابی تغییرشکل، آسیب یا حرکت ناشی از نیروی زلزله و تغییر مکان اجباری می‌باشد.

• منظور از توربین در اینجا هردو توربین بخاری و گازی می‌باشد.

۵-۴-۲- روند محاسبه

۵-۴-۲-۱- بدنه اصلی توربین

طراحی بدنه اصلی توربین باید با توجه به نکات زیر انجام شود

- ۱- سطح عملکرد طراحی لرزه‌ای بدنه اصلی توربین و تجهیزات روغن موتور قابلیت استفاده بی‌وقفه می‌باشد.
- ۲- طراحی لرزه‌ای بدنه اصلی توربین (پیچ‌های مهری و اهرم تثبیت توربین و غیره) باید برای تجهیزاتی که به آن و پی ثابت شده‌اند، انجام شود.
- ۳- طراحی پیچ‌های مهری و اهرم‌های تثبیت مربوط به پی باید بر اساس آئین‌نامه آبا انجام شود.
- ۳-۱- وسایل تکیه‌گاهی شامل پیچ‌های مهری نیز باید طراحی گردد.
- ۳-۲- حداقل یکی از منابع برق پمپ اضطراری روغن، تبدیل چرخ‌دنده پمپ روغن و چرخ‌دنده اضطراری پمپ روغن نباید هرگز از کار بیافتد.
- ۳-۳- سرریز روغن در اثر لرزش سطح روغن، در هنگام زلزله نباید رخ دهد. برای این منظور باید معیارهای استاندارد ASTM D445 یا استانداردهای مورد تایید، تأمین گردد.

- صلبیت توربین بخار خیلی بالا بوده و ایمنی کافی در مقابل تلاطم را دارد و در طراحی لرزه‌ای می‌توان آن را به صورت یک جسم صلب در نظر گرفت. بنابراین در حالت عادی نیروی مقاوم در برابر تغییر مکان ناشی از نیروی لرزه‌ای باید مورد بررسی قرار گیرد.

- صلبیت تجهیزات مونتاز روغن موتور، بالا می‌باشد و ایمنی کافی در مقابل زلزله را خواهند داشت. بنابراین به علت بالا بودن مقاومت لرزه‌ای در مقابل تغییر شکل ناشی از تغییر مکان لرزه‌ای، طراحی لرزه‌ای اجزاء زیر و اعضای تکیه‌گاهی آن‌ها از قبیل پیچ‌های مهری باید انجام شود:

مخزن اصلی
کولر روغن موتور
پمپ اضطراری روغن
تبدیل چرخ‌دنده پمپ روغن
چرخ‌دنده اضطراری پمپ روغن

۵-۴-۲- ژنراتور و ملحقات آن

- ۱- ژنراتور و ملحقات آن باید به گونه‌ای طراحی گردد تا در اثر نیروی لرزه‌ای آسیب ندیده و مقاومت کافی داشته باشد.
- ۲- وسایل تثبیت نمودن (پیچ و مهره) به بدنه اصلی ژنراتور و بدنه اصلی مولد باید طراحی لرزه‌ای شود.
- ۳- در مورد ملحقات ژنراتور، طراحی لرزه‌ای وسایل تکیه‌گاهی تجهیزات زیر باید انجام شود:
 - ۱-۳- وسایل روغن موتور و عایق روغن
 - ۲-۳- تأسیسات فرآیند هیدروژن و دی اکسید کربن
 - ۳-۳- باس اصلی مابین ژنراتور و مبدل اصلی نیرو و ملحقات
 - ۴-۳- مبدل اصلی نیرو

- ۱- با توجه به بالا بودن فرکانس ارتعاشی ژنراتور، رفتار آن تقریباً صلب بوده و احتمال خرابی در زلزله ندارد. بنابراین فقط لنگر واژگونی و نیروی برشی در بدنه اصلی و پی (برای مثال پیچ مهره و مهره) بایستی مورد بررسی قرار گیرد. برای این منظور نیروی زلزله از رابطه (۵-۱) و با استفاده از وزن ژنراتور محاسبه می‌گردد. تنش‌های وارده و لنگر واژگونی ناشی از این نیرو نباید به ترتیب از تنش‌های مجاز و لنگر مقاوم واژگونی تجاوز نماید.
- ۳- برای جلوگیری از نشت هیدروژن در زمان زلزله از محل یاطاقان، لازم است که روغنکاری مولد خنک کننده گاز هیدروژن، بطور پیوسته ادامه داشته باشد.
- ۴- از آنجایی که صلبیت تجهیزات مونتاژ این تأسیسات زیاد است، طراحی لرزه‌ای اعضای تکیه‌گاهی از قبیل پیچ مهره در مولفه‌های زیر باید انجام شود:

- محفظه خلاء
- مخزن انبساط
- مخزن تخلیه هوا
- لوله کشی

۵-۴-۳- کندانسور

- ۱- تنش و لنگر واژگونی ناشی از زلزله که از رابطه (۵-۱) محاسبه می‌شود در محل اتصال به پی، نباید از تنش‌های مجاز و لنگر واژگونی مقاوم تجاوز نماید.
- ۲- تنش ناشی از زلزله که از رابطه (۵-۱) محاسبه می‌شود در محل اتصال کندانسور با توربین نباید از تنش‌های مجاز تجاوز نماید.
- ۳- گرچه روش متداول در بارگذاری لرزه‌ای کندانسور روش شبه استاتیکی می باشد، لیکن استفاده از روش دینامیکی نیز توصیه می شود.

- کندانسور معمولاً در مقابل لنگر واژگونی، به علت تراکم مهارهای زیر آن در طراحی اولیه ، به اندازه کافی پایدار می‌باشد.

۵-۴-۴- مبدل‌های حرارتی

- ۱- تنش و لنگر واژگونی ناشی از زلزله که از رابطه (۵-۱) محاسبه می‌شود در محل اتصال به پی، نباید از تنش‌های مجاز و لنگر واژگونی مقاوم تجاوز نماید
- ۲- مبدل‌های حرارتی قائم باید در ارتفاع یا سقف مهار گردند.
- ۳- در قسمت‌هایی که پایه بر روی ریل واقع شده است برای جلوگیری از جداشدگی از ریل باید گیره‌هایی تعبیه گردد که نیروهای مقاوم این گیره‌ها از نیروی لرزه‌ای که در بند ۱ محاسبه گردیده است، بیشتر باشد.
- ۴- با استفاده از مونتاژ مناسب باید از همسانی فرکانس طبیعی مبدل با فرکانس طبیعی سازه تکیه‌گاهی ، جلوگیری شود.

- مبدل‌های حرارتی دارای فرکانس طبیعی بالا بوده و در تحلیل لرزه‌ای می‌توان آنها را به صورت یک جسم صلب در نظر گرفت.
- تا زمانی که سازه تکیه‌گاهی سالم باشد، مبدل حرارتی دچار آسیب یا قطع عملکرد در اثر نیروی لرزه‌ای نخواهد شد. بنابراین فقط باید لنگر واژگونی و نیروی برشی در پیچ مهار، مورد بررسی قرار گیرد.
- فرکانس طبیعی سازه تکیه‌گاهی فرکانسی است که در آن سازه به انضمام سایر سیستم‌ها به‌مراه تجهیزات به نوسان در می‌آید.

۵-۴-۵- ماشین دورانی اصلی

- ۱- تنش و لنگر واژگونی ناشی از زلزله که از رابطه (۵-۱) و با استفاده از وزن این ماشین‌ها محاسبه می‌شود در محل اتصال به پی، نباید از تنش‌های مجاز و لنگر واژگونی مقاوم تجاوز نماید.
- ۲- طراحی لرزه‌ای ماشین دورانی اصلی توربین مشابه ماشین دورانی بویلر، انجام می‌شود.

- ماشین دورانی توربین بخار شامل پمپ گردش آب، پمپ تقطیر، پمپ‌هایی از قبیل پمپ آب دریا، فن‌هایی از قبیل مکنده کندانسور بخار، و موتورهای برقی برای راه‌اندازی این وسایل می‌باشد.
- فرکانس طبیعی ماشین دورانی از نقطه نظر عملکردی خیلی بالا بوده و در طراحی لرزه‌ای می‌توان آن را به صورت یک سازه صلب در نظر گرفت.
- لازم است نیروی افقی ناشی از زلزله و کشش ناشی از لنگر واژگونی در پیچ مهار به پی تجهیزات، کنترل شود.

۵-۴-۶- جرثقیل

۱- روش طراحی جرثقیل

۱-۱- جرثقیل باید در مقابل نیروی زلزله مقاومت کافی داشته و سرنگون نگردد.

۲-۱- روش‌های تحلیل و بارگذاری جرثقیل، روش شبه استاتیکی و شبه استاتیکی اصلاح شده می‌باشد.

۲- بار لرزه‌ای

۱-۲- ضریب زلزله افقی

الف) روش شبه استاتیکی

$$K_{SH} = K_H \cdot \beta'_3 \cdot \beta'_4 \cdot \beta_4 \quad (۴-۵)$$

β_4 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی. مقدار این ضریب بستگی به ارتفاع سازه از روی زمین دارد. برای ارتفاع کوچکتر مساوی ۱۶ متر برابر ۱ است. برای ارتفاع بالای ۱۶ متر برابر است با $0.0125h + 0.8$

β'_3 : ضریب تصحیح مربوط به سازه تکیه‌گاهی

ضریب تصحیح مربوط به سازه تکیه‌گاهی با در نظر گرفتن رواداری ناشی از تنوع مشخصات دینامیکی سازه تکیه‌گاهی و جرثقیل، به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

۴-۱- در حالتی که جرثقیل بر روی زمین و پایه‌ها نصب می‌گردد.

$$\beta'_3 = 2.0 \quad (۵-۵)$$

۴-۲- در حالتی که جرثقیل بر روی سازه در ساختمان نصب می‌گردد.

$$\beta'_3 = 1 + (\alpha - 1)h / H \quad (۶-۵)$$

H: ارتفاع ساختمان جرثقیل (m)

h: ارتفاع محل نصب جرثقیل (m)

α : ثابت تعیین شده از H

الف) در سازه فولادی

$$\alpha = 3 \quad (H < 33m) \quad (۷-۵)$$

$$\alpha = 100 / H \quad (H \geq 33m) \quad (۸-۵)$$

ب) در سازه بتن مسلح (RC) یا سازه قاب فولادی بتن مسلح (SRC)

$$\alpha = 3 \quad (H < 50m) \quad (۹-۵)$$

$$\alpha = 150 / H \quad (H \geq 50m) \quad (۱۰-۵)$$

۵- ضریب تصحیح لغزش β'_4

مقادیر استاندارد ضریب تصحیح لغزش β'_4 ، در جدول (۲-۵) نشان داده شده است.

جدول ۵-۲ مقدار β'_4

رده	راستای بار	وجود قید	β'_4
۱	عمود بر ریل	محدود شده با لبه چرخ یا غلطک فشاری کناری	۱
۲	موازی ریل	محدود شده با مهار جرثقیل	۱
۳	موازی ریل	بدون قید	{(تعداد کل چرخ‌ها/تعداد چرخ‌های ترمزدار) ۰/۶۵, ۰/۱} حداکثر

- ضریب زلزله بدست آمده از روش شبه استاتیکی یا روش شبه استاتیکی اصلاح شده، مربوط به حالتی است که اتصال جرثقیل به پی، زمین و غیره گیردار باشد.
 - اگر اتصال به پی فقط از نوع اصطکاکی باشد، لغزش در نقطه اتصال چرخ به ریل رخ می‌دهد و ضریب زلزله محاسبه شده از رابطه (۴-۵) با استفاده از مقدار β'_4 بدست آمده از جدول (۲-۵) کاهش یافته به پایه یا وجه ساختمان، منتقل می‌شود.
 - جرثقیل‌ریلی، راستای افقی به ریل با لبه چرخ مقید و در راستای حرکت در هنگام توقف بطور کامل مهار می‌شود.
 - در طراحی در راستای حرکت، باید نامساعدترین شرایط کار جرثقیل یا توقف آن، در نظر گرفته شود.
- ب) روش شبه استاتیکی اصلاح شده
- ضریب زلزله اصلاح شده افقی با توجه به پی‌بود طبیعی جرثقیل، نوع زمین و با استفاده از رابطه (۱۱-۵) تعیین می‌شود.

$$K_{MH} = K_H \cdot \beta'_3 \cdot \beta'_4 \cdot \beta_5 \quad (۱۱-۵)$$

K_{SH} : ضریب زلزله افقی

K_H : ضریب زلزله افقی طرح در سطح زمین با استفاده از رابطه (۱-۳)

β'_3 : ضریب تصحیح سازه تکیه‌گاهی

β'_4 : ضریب تصحیح لغزش

β_5 : ضریب بزرگنمایی پاسخ شتاب (روش ضریب لرزه‌ای اصلاح شده) که مطابق زیر محاسبه می‌گردد:

الف- ضریب بزرگنمایی پاسخ شتاب جرثقیل ثابت روی زمین

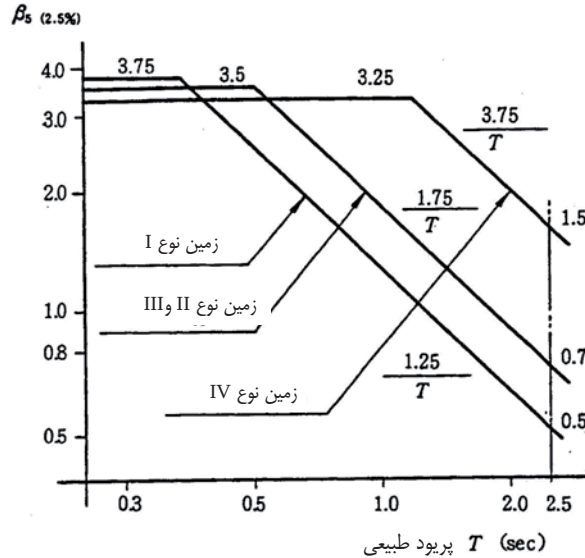
وقتی جرثقیل مستقیماً بر روی زمین نصب شده است، ضریب بزرگنمایی پاسخ شتاب $\beta_{5(2.5\%)}$ با ثابت میرایی متناظر ۲/۵٪ از شکل (۲-۵)، بر حسب پی‌بود جرثقیل محاسبه شده از رابطه (۱۵-۵) و نوع زمین تعیین می‌شود، سپس ضریب β_5 از رابطه (۱۲-۵) به دست می‌آید که در آن ضریب تصحیح η ، بر حسب مقدار ثابت میرایی جرثقیل مورد نظر به صورت زیر ضرب می‌شود.

$$\beta_5 = \beta_{5(2.5\%)} \times \eta \quad (۱۲-۵)$$

مقدار η ، از جدول (۳-۵) تعیین می‌گردد.

جدول ۵-۳ مقدار η

ثابت میرایی h_c (%)	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۵	۱۰
ضریب تصحیح η	۱/۴۳	۱/۲۴	۱/۱۵	۱/۰۶	۱	۰/۹۴	۰/۸	۰/۶۲

شکل ۵-۴ ضریب بزرگنمایی پاسخ شتاب $\beta_{5(2.5\%)}$

ب- وقتی جرثقیل بر روی سازه‌هایی از قبیل پایه و ساختمان نصب می‌گردد.

ضریب بزرگنمایی پاسخ شتاب β_5 از حاصلضرب λ ، در ضریب β_5 تعیین می‌گردد.

$$\lambda = 0.7 \times \sqrt{\frac{1 + \gamma}{0.925\gamma + 0.075}} \quad (۱۳-۵)$$

$$\gamma = \text{وزن سازه تکیه‌گاهی} / \text{وزن جرثقیل (بار مرده + زنده)} \quad (۱۴-۵)$$

عبارت λ در این پاراگراف با ساده‌سازی رابطه بزرگنمایی پاسخ با دو مدل سیستم جرم- فنر و با در نظر گرفتن

حرکت دورانی (کوپلینگ) بین جرثقیل و پایه یا ساختمان، به دست می‌آید.

برای سادگی، این ضریب فقط از نسبت وزن جرثقیل به وزن سازه تکیه‌گاهی تعیین می‌گردد.

استفاده از تحلیل دینامیکی با در نظر گرفتن پریود طبیعی و ثابت میرایی نیز مناسب می‌باشد.

۷- نحوه محاسبه پریود طبیعی جرثقیل

$$T_z = 2\pi \sqrt{\frac{W \cdot \alpha_z}{g}} \quad (۱۵-۵)$$

T_z (sec): پریود طبیعی در راستای حرکت

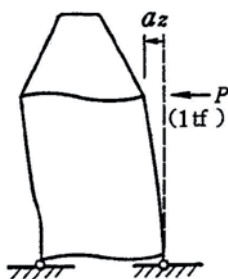
W : وزن در یک وجه تیر جرثقیل هوایی یا وزن کل به جز پایه پل جرثقیل (t)

g : شتاب گرانش زمین (980 m/s^2)

α_z : ضریب نرمی افقی تیر در راستای حرکت جرثقیل هوایی (cm/tf)

(همانطور که در شکل (۳-۵) نشان داده شده α_z تغییر مکان در محل می‌باشد که نیروی واحد افقی

($P = 1.0 \text{ (tf)}$ اعمال می‌شود)



راستای طولی

شکل ۵-۵ نرمی قاب

۲-۲- نیروی جانبی زلزله از حاصلضرب وزن جرثقیل در ضریب زلزله افقی در مرکز ثقل تعیین می‌گردد.

$$F = K \times W$$

(۱۶-۵)

W : وزن جرثقیل

K : ضریب زلزله بر حسب نوع تحلیل (K_{SH}, K_{MH})

۳- ترکیب بارها

بارهای ثقیلی استاتیکی و دینامیکی در بحرانی‌ترین محل، مقدار و راستا با نیروی زلزله بصورت زیر ترکیب می‌شوند:

بار دینامیکی قائم + بار استاتیکی قائم + بار لرزه‌ای

۴- پایداری در مقابل واژگونی

برای تامین پایداری، مقدار لنگر پایدار در نقطه تکیه‌گاهی واژگونی جرثقیل باید بیشتر از مقدار لنگر واژگونی در آن نقطه

باشد.

۵-۴-۳- کمیت‌های مجاز

تنش مجاز مصالح توربین و ملحقات آن بر اساس فصل ۴، تعیین می‌گردد.

۵-۴-۵- معیار پذیرش

در هر حالت مقدار تنش ایجاد شده در اثر نیروی لرزه‌ای طرح، نبایستی از تنش مجاز تعیین شده از بند پیشین بیشتر باشد.

۵-۵- دودکش

۵-۵-۱- روند

طراحی دودکش با ارتفاع ۶ متر یا کمتر، به روش شبه استاتیکی و با ارتفاع بیشتر از ۶ متر، به روش دینامیکی انجام می‌شود. یک روش ساده شده در تحلیل دودکش‌های بیش از ۶ متر، روش ضریب لنگر است که در آن لنگر خمشی و نیروی برشی مستقیماً به عنوان بار لرزه‌ای به سازه وارد می‌شود. برای دودکش‌هایی که بار زیادی به بخش بالایی آنها وارد شده یا صلبیت آنها بطور ناگهانی در قسمت‌های میانی تغییر می‌کند، باید از روش‌های دینامیکی استفاده گردد. برای دودکش‌های بسیار بلند از روش تحلیل مودال طیفی و تحلیل تاریخچه زمانی استفاده می‌شود.

۵-۵-۲- مراحل محاسبه

نیروی لرزه‌ای دودکش مستقل را می‌توان علاوه بر روش ضریب لنگر با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی یا تحلیل مودال طیفی، بدست آورد. در ادامه روش ضریب لنگر ارائه خواهد شد. لنگر خمشی و نیروی برشی ایجاد شده در اثر نیروی لرزه‌ای در ساختگاه دودکش با توجه به ارتفاع دودکش به صورت زیر محاسبه می‌شود.

۱) لنگر خمشی (N.m)

$$M = 0.4 \cdot h \cdot C_{si} \cdot W \quad (۱۷-۵)$$

۲) نیروی برشی (N)

$$Q = C_{si} \cdot W \quad (۱۸-۵)$$

h: ارتفاع از تراز دودکش (m)

C_{si} : ضریب توزیع تنش در راستای ارتفاع

$$C_{si} = K_{SH} \cdot Z \cdot \left(1 - \frac{h_i}{h}\right) \quad (۱۹-۵)$$

Z: ضریب زلزله منطقه‌ای

h_i : ارتفاع از تراز پایه در هر بخش دودکش (m)

$$\left. \begin{aligned} \Delta M_0 &= M_0 - m_0 - \Delta a_0 \\ \Delta M_i &= \Delta a_{i-1} - \Delta a_i \quad (1 \leq i < n) \\ \Delta M_n &= \Delta a_{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (۲۱-۵)$$

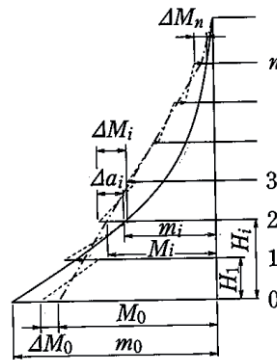
M_i : لنگر خمشی دودکش در ارتفاع H_i (kN.m)

m_i : لنگر خمشی ناشی از بار معادل که نیروی برشی طراحی را خنثی کند. (kN.m)

Δa_i : تفاوت لنگر خمشی طراحی M_i و لنگر خمشی m_i ناشی از بار معادل (kN.m)

ΔM_i : لنگر خمشی اصلاحی (kN.m)

H_i : ارتفاعی از تراز که تنش در آن محاسبه می‌شود. (m)



شکل ۷-۵ طرح کلی لنگر خمشی اصلاحی

۳-۵-۵- مقادیر مجاز

مقادیر مجاز تنش در مصالح سازه‌های بکار رفته در دودکش و ملحقات آن، به مقادیر تعیین شده در بخش مصالح فولادی ۳-۴ بستگی دارد.

۴-۵-۵- معیارهای پذیرش

مقدار تنش بدست آمده از نیروهای طراحی لرزه‌ای نباید از مقدار تنش مجاز بندهای ذکر شده تجاوز کند.

۶-۵- برج‌های خنک‌کن

طراحی برج خنک‌کن با کوران طبیعی باید با استفاده از ضوابط داده شده برای دودکش‌ها انجام شود.

۷-۵- واحد کنترل

۷-۵-۱- روند

۷-۵-۱-۱- روش طراحی

به طور کلی کنترل‌کننده‌ها و تجهیزات حفاظتی به روش شبه استاتیکی یا روش شبه استاتیکی اصلاح شده طراحی می‌شود.

تجهیزات حفاظتی و کنترل‌کننده نیروگاه حرارتی از سوئیچ‌های مختلف نصب شده در ساختمان، گیرنده مبدل، محرک، کابل‌های متصل کننده تجهیزات، لوله‌کشی هوا و غیره تشکیل شده‌اند.

این تجهیزات تماماً دارای فرکانس‌های زیاد بوده و تقریباً صلب عمل می‌کنند. لذا روش شبه استاتیکی و یا در بعضی موارد با پیوندهای بلندتر روش شبه استاتیکی اصلاح شده رفتار لرزه‌ای آنها را بخوبی تبیین می‌نماید.

۷-۵-۱-۲- نیروی طراحی لرزه‌ای

نیروی ناشی از زلزله بر این تجهیزات به صورت زیر بدست می‌آید:

$$F = K_{SH} \times W \quad (۲۲-۵)$$

F : نیروی لرزه‌ای (N)

W : وزن (N)

K_{SH} : ضریب زلزله افقی طراحی بدست آمده از رابطه (۲۳-۵)

$$K_{SH} = \beta_4 \cdot K_H \quad (۲۳-۵)$$

β_4 : ضریب بزرگنمایی پاسخ تجهیز

K_H : شدت لرزه در سطح زمین در محل نصب

۱- شدت لرزه در سطح زمین تحت عنوان بارگذاری شریانهای حیاتی با توجه به شتاب مبنا، ضریب اهمیت تجهیز، ضریب

پهنه بندی و ضریب بزرگنمایی خاک محاسبه می‌شود.

۲- ضریب بزرگنمایی پاسخ تجهیز

- چون ضریب بزرگنمایی هر تجهیز متفاوت می‌باشد، نمی‌توان یک مقدار خاص به انواع مدل‌های آن اختصاص داد.

- شرکت سازنده قبلاً آزمایش لرزش مربوط به تجهیزات را به روشی مناسب انجام داده و سپس مشخصات مقاومت لرزه‌ای استاندارد آنها مشخص می‌شود.

- برای تجهیزاتی که انجام آزمایشات لرزش در آنها مشکل می‌باشد، ضریب بزرگنمایی هر تجهیز با استفاده از روش‌هایی مانند تحلیل غیرمستقیم مشخصات مقاومت لرزه‌ای از روی اطلاعات لرزه‌ای تعیین می‌شود.

- ضریب بزرگنمایی تجهیز در راهنمای طراحی لرزه‌ای تجهیزات الکتریکی پست‌ها برای بخش‌های تامین برق داخلی برابر ۱/۶ و برای صفحه کلیدها برابر ۲/۵ می‌باشد.

۵-۷-۱-۳- روش محاسبه تنش پیچ مهار

در تجهیزات حفاظت و کنترل، ارتفاع تجهیزات در مقایسه با ارتفاع طبقه زیاد بوده و در اثر زلزله امکان سقوط آنها وجود دارد. بنابراین، لازم است در محل نصب، توسط پیچ با مقاومت کافی مهار شود.

مقاومت پیچ مهار از رابطه‌های زیر بدست می‌آید:

۱- لنگر واژگونی صفحه و بار ناشی از عمل مهار پیچ مهار

لنگر واژگونی صفحه از رابطه‌ی (۵-۲۴) بدست می‌آید.

$$M_t = K_{SH} \times W \times H_O + K_{SV} \times W \times L_1 - W \times L_2 \quad (۵-۲۴)$$

M_t : لنگر واژگونی صفحه (N.m)

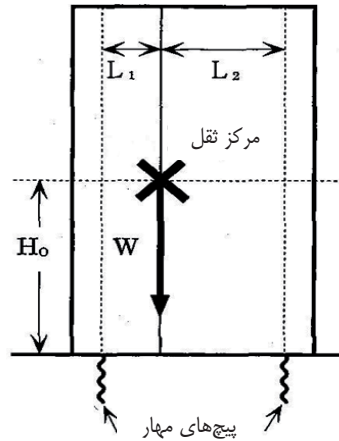
K_{SH} : ضریب زلزله افقی با استفاده از رابطه (۵-۲۳)

W : وزن صفحه (N)

H_O : ارتفاع از تراز کف تا مرکز ثقل صفحه (mm)

K_{SV} : ضریب زلزله قائم ($K_{SV} = K_{SH} / 2$)

L_1 L_2 : فاصله افقی مرکز ثقل صفحه و پیچ مهار (mm)



شکل ۵-۸ ابعاد صفحه

در $M_t > 0$ ، صفحه تمایل به واژگونی دارد. در چنین شرایطی، رابطه (۵-۲۵) برای نیروی ناشی از عمل مهار وارد بر پیچ مهار باید تایید شود.

$$T_0 = \frac{M_t}{n \cdot (L_1 + L_2)} \leq T_a \quad (25-5)$$

T_0 : نیروی ناشی از عمل مهارى وارد بر يك پيچ مهارى (N)

n : تعداد پيچ‌هاى مهار يك وجه

T_a : نیروى ناشى از عمل مهارى مجاز لرزه‌اى پيچ مهارى (N)

۲- مقاومت پيچ مهارى

تنش برشى و كششى وارد بر پيچ مهار در زلزله با استفاده از رابطه‌هاى (۲۶-۵) و (۲۷-۵) تايبید مى‌شود.

$$\tau = \frac{K_{SH} \cdot W}{N \cdot A_s} f_s \quad (26-5)$$

$$\sigma = \frac{T_0}{A_s} f_t \quad (27-5)$$

τ : تنش برشى وارد بر يك پيچ مهار در زلزله (N/mm^2)

N : تعداد كل پيچ‌هاى مهار

A_s : سطح مقطع موثر پيچ مهارى (mm^2)

f_s : تنش برشى مجاز پيچ مهارى در زلزله (N/mm^2)

σ : تنش كششى وارد بر يك پيچ مهارى در زلزله (N/mm^2)

f_t : تنش كششى مجاز پيچ مهارى در زلزله (N/mm^2)

در $44 N/mm^2 > \tau$ ، زمانیکه نیروى برشى و كششى همزمان اعمال مى‌شود، رابطه (۲۸-۵) بايد برقرار باشد.

$$\sigma \leq f_{ts} = 1.4f_t - 1.6\tau \quad (28-5)$$

f_{ts} : تنش مجاز پيچ مهارى در زلزله زمانیکه نیروى برشى و كششى در يك زمان وارد مى‌شود. (N/mm^2)

۵-۷-۲- شدت لرزه هر یک از تجهیزات

۱- برد کنترل و برد دستگاه محافظ

الف) در منطقه فرکانس غالب زلزله، طراحی باید به گونه‌ای انجام شود که ضریب تشدید صفحه، کمترین مقدار ممکن شود.

ب) برای سازه‌های مقاوم لرزه‌ای، در حد امکان باید از نصب صفحه کنترل بر بالشتک لاستیکی، اجتناب شود. زمانیکه نصب با استفاده از بالشتک لاستیکی و با هدف جذب ارتعاشات مکانیکی اجتناب ناپذیر است، اقداماتی برای پیشگیری از سقوط و لغزش صفحه باید انجام گیرد.

ج) پیچ‌های مهار باید به طور کامل به صفحه پایه بسته شوند.

د) زمانیکه رایانه‌ها بر روی کف نصب می‌شود، لازم است که از سقوط کابینت پیشگیری شود.

ه) دستگاه‌های جانبی و میز کنسولی باید ثابت شود.

و) چون کامپیوترها از سیستم‌هایی مانند دیسک‌های مغناطیسی و سایر دستگاه‌های جانبی، تشکیل شده‌اند که در برابر زلزله ضعیف هستند، انتخاب سطح و روش نصب تجهیزات، حائز اهمیت بوده و بطور جداگانه باید برای مقاومت در برابر زلزله کنترل شود.

۲- صفحه کلید داخلی (زیرسقف)

الف) در محل نصب، دژنکتور باید در اطاقک مهار شود. طراحی دژنکتور باید به نحوی باشد که در هنگام زلزله هیچ آسیبی به صفحه نزده و در اثر برخورد با آن هیچ آسیبی نبیند.

ب) سایر موارد به بند ۱ مراجعه شود.

۳- سیستم کنترل ایمنی

۳-۱- سیستم تأمین برق اضطراری

الف) چون سیستم تأمین برق اضطراری یک سیستم بسیار ضروری است، به منظور تأمین ایمنی نیروگاه حرارتی، طراحی به گونه‌ای باید انجام شود که در اثر زلزله هیچ آسیبی به آنها وارد نشده و بلافاصله پس از اتمام زلزله فعالیت خود را مجدداً شروع کنند.

ب) در طراحی لرزه‌ای موارد زیر را باید در نظر گرفته شود.

i) انتخاب مخزن با سقف مناسب و ظرفیت کافی برای تأمین آب لازم سیستم خنک‌کن.

ii) برای ژنراتورهای دیزلی با تکیه‌گاه جداگر ارتعاشی، اقداماتی برای پیشگیری از سقوط و لغزش باید انجام گیرد.

iii) برای جلوگیری از سرریز مخزن در اثر تلاطم، باید بتوان کلاhek آدرو با استفاده از پیچ ثابت کرد.

(iv) تغییر مکان ناشی از زلزله باید با دادن خم به لوله قابل جذب باشد.

(v) برای صفحه کنترل، صفحه کلید، تجهیز حفاظتی، مخزن هوا برای شروع و تاسیساتی مانند کمپرسور هوا، مخازن سوخت و مخزن سوخت روزانه به قسمت ۱ مراجعه شود.

۳-۲- شارژر و باتری انبارهای

(الف) در طراحی لرزه‌ای موارد زیر باید در نظر گرفته شود.

(i) به منظور عدم تشدید بین فرکانس طبیعی باتری انبارهای و فرکانس غالب منطقه زمین‌لرزه، طراحی برای حداقل ۱۰ هرتز یا بیشتر انجام شود.

(ii) سازه به گونه‌ای طراحی شود که حتی در صورت لرزش مایع داخلی در اثر زلزله، الکترولیت ریزش نکند.

(iii) مقاوم‌سازی قفسه و طراحی سازه بدون جابجایی یا لغزش باتری انبارهای باید انجام شود.

(iv) آرایش مناسب باطری در یک ردیف طوری باشد که در اثر نیروی زلزله آسیبی به باتری‌ها وارد نشود.

(v) استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر به گونه‌ای که پست ترمینال باتری در اثر حرکت و انتقال باتری انبارهای و ارتعاش کابل آسیب نبیند.

برای شارژر به بخش ۱ مراجعه کنید.

۳-۳- سیستم روشنایی اضطراری

- نورافکن در حد امکان باید به سازه مهار شود.

۴- سیستم اطلاع‌رسانی (Paging)

(الف) سیستم پیجینگ بایستی میزان تشدید در قفسه را از طریق کاهش ارتفاع مرکز ثقل یا طریق دیگری محدود کند.

(ب) ضریب تشدید سیستم اطلاع‌رسانی (Paging)، β_5 در طبقه سوم برابر با ۲/۵ در طبقه دوم ۱.۵ و طبقه اول ۱ در نظر گرفته می‌شود.

۵- سایر موارد

۵-۱- لوله‌کشی و سیم‌کشی

(الف) سیم‌کشی و لوله‌کشی باید طوری طراحی شود که با قابلیت انعطاف‌پذیری زیاد خود بتواند نیروی لرزه‌ای بزرگ ناشی از زلزله را تحمل کند.

(ب) در طراحی لرزه‌ای موارد زیر باید در نظر گرفته شود.

(i) انعطاف‌پذیری کافی و مطمئن برای اتصال بین تجهیزات با خصوصیات ارتعاشی مختلف تامین گردد. علاوه‌براین، در محل اتصال انعطاف‌پذیر باید این مسئله مد نظر قرار گیرد که در اثر خمش، هیچ تماسی با سایر بخش‌ها برقرار نشده و در عملکرد ایزولاتورها هیچ وقفه‌ای ایجاد نشود.

(ii) بخش‌های زیر طوری طراحی شود که در بخش‌های نصب شده در زیرزمین نشست نامتقارن ایجاد نشود و در صورت ایجاد نشست جزئی با قابلیت انعطاف‌پذیری کافی بتواند آن را تحمل کند.

- بخش‌های عبوری از پی ساختمان
- سایر بخش‌های مشابه

ج) در مسیریابی نباید خطر سقوط بخش‌های بالایی وجود داشته باشد.

۵-۲- توقف عملکرد نیروگاه در اثر زلزله

طراحی باید به گونه‌ای انجام شود که در زمان وقوع زلزله، واحد تولید برق بدون خطر و با اطمینان متوقف گردد.

۵-۳- پیشگیری از خرابی تجهیزات حفاظتی

طراحی تجهیزات حفاظتی باید طوری انجام شود که در اثر زلزله آسیبی به آنها وارد نشود.

۵-۷-۳- مقادیر مجاز

تنش مجاز مصالح سازه‌ای مورد استفاده، به مقدار تعیین شده در فصل ۴ بستگی دارد.

۵-۷-۴- معیارهای پذیرش

مقدار تنش بدست آمده از نیروهای طراحی لرزه‌ای نباید از مقدار تنش مجاز بندهای مربوطه در فصل ۴ تجاوز کند.

فصل ۶

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

مخازن سوخت نفتی

۶-۱- سطح عملکرد مخازن سوخت نفتی

مخازن سوخت نفتی باید به گونه‌ای طراحی گردد که در سطح خطر-۱ زلزله هیچگونه آسیبی به آن وارد نشده و بهره‌برداری بی‌وقفه ادامه یابد. در سطح خطر-۲ نیز شکست و تغییرشکل مختل‌کننده طولانی مدت بهره‌برداری، رخ نداده و نشت مواد سوختی اتفاق نیافتد.

۶-۲- طراحی لرزه‌ای

۶-۲-۱- روند

بارگذاری لرزه‌ای مخازن با توجه به ظرفیت مخزن به یکی از روشهای شبه استاتیکی، شبه استاتیکی اصلاح شده و دینامیکی صورت می‌پذیرد. برای طراحی نیز از روش تنش مجاز برای سطح خطر-۱ و از روش‌های شکل پذیر برای سطح خطر-۲ استفاده می‌شود. در ادامه، این روشها حسب مورد برای مخازن سوخت نفتی نیروگاهی با توجه به ظرفیت آنها ارائه شده است.

۶-۲-۲- روش‌های محاسبه

۶-۲-۲-۱- ضرایب لرزه روش استاتیکی

مخازن بر حسب ظرفیت به سه نوع، مخازن با ظرفیت بیشتر از ۱۰۰۰ متر مکعب، کمتر از ۱۰۰۰ و بیشتر از ۵۰۰ متر مکعب و کمتر از ۵۰۰ متر مکعب تقسیم می‌شوند.

۱- مخزن (ظرفیت 1000 m^3 یا بیشتر)

بار طراحی لرزه‌ای با در نظر گرفتن ترکیب بارهای زیر محاسبه می‌گردد:

- بار در حالت بهره‌برداری عادی + بار ناشی از اثرات شتاب زلزله

- بار در حالت بهره‌برداری عادی + بار ناشی از اثرات تغییر مکان زلزله

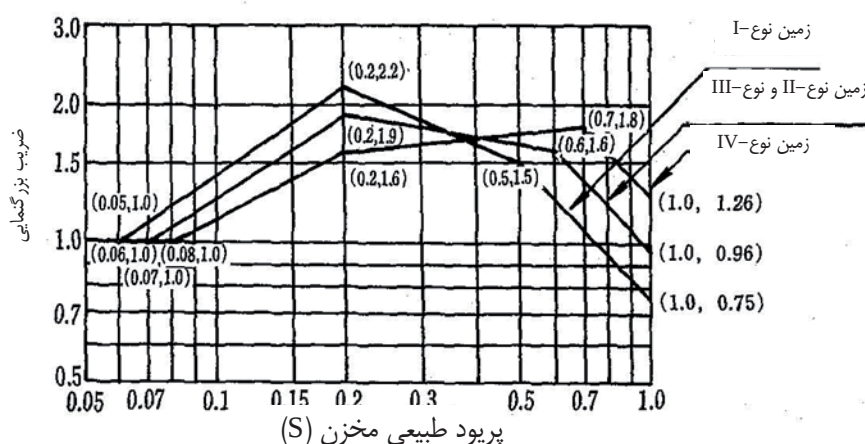
۱-۱- ضریب زلزله، مربوط به اثرات شتاب زلزله

ضرایب زلزله افقی، K_{MH} و قائم، K_{MV} با استفاده از روش شبه استاتیکی اصلاح شده، از روابط زیر محاسبه می‌گردد.

$$K_{MH} = \beta_5 \cdot K_H \quad (۱-۶)$$

$$K_{MV} = K_{MH} / 2 \quad (۲-۶)$$

β_5 : نسبت بزرگنمایی که در آن پریود طبیعی مخزن در نظر گرفته شده و از شکل (۱-۶) تعیین می‌گردد.



شکل ۶-۱ ضریب بزرگنمایی مخزن بر حسب پریود طبیعی مخزن

۲-۱- ضریب زلزله برای مخزن با تلاطم

در این حالت به علت کم بودن شتاب، اثر سرعت پاسخ افقی، در نظر گرفته می‌شود.

$$K_{M2} = 0.15 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot v_6 \quad (۳-۶)$$

$$v_6 = \frac{4.5}{T_s} \quad (۴-۶)$$

K_{M2} : ضریب زلزله افقی طرح مربوط به تلاطم مایع

β_1 : ضریب اهمیت (یک در نظر گرفته می‌شود)

β_2 : نسبت شتاب مبنای طرح

v_6 : ضریب بزرگنمایی که در آن پریود طبیعی تلاطم مایع در نظر گرفته می‌شود.

T_s : پریود طبیعی تلاطم مایع (s) که از رابطه (۶-۹) محاسبه می‌گردد.

۲- مخزن (ظرفیت کمتر از ۱۰۰۰ و بیشتر از ۵۰۰ مترمکعب)

بار طراحی لرزه‌ای با در نظر گرفتن ترکیب بار زیر محاسبه می‌گردد.

بار در حالت بهره‌برداری عادی + بار ناشی از شتاب

ضرایب زلزله افقی، K_{MH} و قائم، K_{MV} با استفاده از روش شبه استاتیکی اصلاح شده از رابطه‌های (۶-۱) و (۶-۲) بدست می‌آید.

۳- مخزن (با ظرفیت کمتر از ۵۰۰ متر مکعب)

در این حالت می‌توان از اثرات شتاب قائم و تغییر مکان در زلزله صرف‌نظر کرد و مخزن را همانند یک جسم صلب فرض و آن را با روش شبه استاتیکی همانند بدنه اصلی بویلر در فصل ۵ تحلیل نمود. ضریب زلزله در این حالت در زیر ارائه شده است.

$$K_{SH} = K_H \cdot \beta_4 \quad (۵-۶)$$

$$\beta_4 = \max\{1, 0.0125 \times h + 0.8\} \quad (۶-۶)$$

h: ارتفاع مخزن

۱- پریود طبیعی مخزن با استفاده از رابطه (۷-۶) تعیین می‌گردد.

$$T_b = \frac{2J}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{W}{\pi \cdot g \cdot E \cdot t_{(1/3)}}} \quad (7-6)$$

T_b : پریود طبیعی مخزن (s)

λ : مقداری است که از رابطه (۸-۶) تعیین می‌گردد.

$$\lambda = 0.067 \cdot (H/D_I)^2 - 0.30 \cdot (H/D_I) + 0.46 \quad (8-6)$$

H: ارتفاع تراز حداکثر مایع (mm)

D_I : قطر داخلی مخزن ذخیره واقع در محوطه (mm)

W: وزن (N)

g: شتاب گرانش (mm/s^2)

E: مدول ارتجاعی (N/mm^2)

$t_{(1/3)}$: ضخامت ورق کناری در ارتفاع یک سوم تراز حداکثر مایع از کف مخزن (بجز خوردگی مجاز) (mm)

J: ضریب تصحیح مربوط به تأثیر اندرکنش پی، زمین و بدنه اصلی مخزن می‌باشد. برای مخزن ذخیره خارجی با پی گسترده واقع بر خاک نوع-۴، ۱/۱ و برای سایر موارد ۱ در نظر گرفته می‌شود.

۲- پریود طبیعی مربوط به تلاطم مایع از رابطه (۹-۶) تعیین می‌گردد.

$$T_s = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{D_I}{3.68 \cdot g} \cdot \coth\left(\frac{3.68 \cdot H}{D_I}\right)} \quad (9-6)$$

T_s : پریود طبیعی تلاطم مایع (s)

در مخازن با ظرفیت کمتر از 1000 m^3 به علت کوچک بودن قطر، ارتفاع آنها از قطرشان بیشتر می‌باشد، لذا از اثر تلاطم به علت تأثیر کمتر فشار هیدرودینامیکی ناشی از تلاطم مایع، نسبت به فشار دینامیکی ناشی از شتاب زمین، صرف نظر می‌گردد.

۶-۲-۲-۲- بار طراحی

پس از محاسبه ضرایب لرزه در روش شبه استاتیکی، بار طراحی باید به صورت زیر محاسبه گردد.

۱- بار لرزه‌ای طراحی

بارهای مختلف مخزن در شرایط عادی و زلزله بشرح زیر در نظر گرفته می‌شوند:

۱-۱- بار در حالت بهره‌برداری عادی

- وزن مخزن

- وزن مایع

– بار زنده

۱-۲- بار در هنگام زلزله (بار مربوط به مؤلفه قائم و تغییرمکان در زلزله در مخازن با ظرفیت کمتر از ۵۰۰ متر مکعب در نظر گرفته نمی‌شود)

– فشار هیدرودینامیکی ناشی از ضریب زلزله قائم و افقی به علت اثرات شتاب زلزله

– فشار هیدرودینامیکی ناشی از ضریب زلزله افقی به علت اثرات تغییرمکان زلزله

– نیروی افقی ناشی از بار مرده در اثر ضریب زلزله افقی و بار زنده

– بار قائم افزایش یافته ناشی از ضریب زلزله قائم در بار مرده و بار زنده

– وزن مخزن با در نظر گرفتن وزن مخصوص فولاد محاسبه می‌گردد.

۲- ترکیب بار طراحی

در جدول (۶-۱) ترکیب حالت بارگذاری و نوع بار نشان داده شده است.

جدول ۶-۱ ترکیب حالت بارگذاری و نوع بار

نوع بار	در حالت بهره‌برداری عادی	اثرات دینامیکی (ارتعاش) زمین لرزه	اثرات استاتیکی (مخاطرات ژئوتکنیکی) زمین لرزه
بار مرده	○	○	○
بار مایع	○	○	○
بار زنده	○	○	○
فشار هیدرودینامیکی در	×	○	○
اثر نیروی لرزه‌ای افقی	×	○	×
فشار هیدرودینامیکی در	×	○	×
اثر لرزش قائم	×	○	×

توجه ۱) در مخازن با ظرفیت کمتر از 500 m^3 نیروها با در نظر گرفتن محتوای مایع به صورت جسم صلب محاسبه می‌گردد.

توجه ۲) در جدول بالا علامت دایره به معنی در نظر گرفته شدن و علامت ضرب به معنی در نظر نگرفتن می‌باشد.

۶-۲-۲-۳- بررسی ارتفاع مجاز مربوط به تلاطم مایع

در مخازن با ظرفیت 1000 m^3 و بیشتر، ارتفاع مجاز مربوط به تلاطم مایع باید کمتر از ارتفاع لبه بالایی ورق کناری از تراز سیال باشد، که از رابطه (۶-۱۰) محاسبه می‌گردد.

$$H_C = 0.45 D_I \cdot K_{M2} \quad (\text{mm}) \quad (6-10)$$

H_C : ارتفاع لبه فوقانی ورق کناری (mm)

۶-۲-۲-۴- بررسی واژگونی و لغزش

بررسی واژگونی و لغزش مخزن در هنگام زلزله ضروری است.

۱- بررسی واژگونی

لنگر واژگونی مخزن ناشی از مولفه افقی (حرکت صلب مایع) و تلاطم مایع، نباید از لنگر مقاوم مربوطه، بیشتر گردد. M_{T1} و M_{T2} به ترتیب لنگر واژگونی در اثر مولفه افقی (حرکت صلب مایع) و تلاطم مایع بوده و لنگر مقاوم مربوط به هر دو به ترتیب M_{RT1} و M_{RT2} است که باید:

$$M_{T1} \leq M_{RT1} \quad (۱۱-۶)$$

$$M_{T2} \leq M_{RT2} \quad (۱۲-۶)$$

۲- بررسی لغزش

نیروی افقی ایجاد شده در مخزن ناشی از مولفه افقی (حرکت صلب مایع) و تلاطم مایع نباید از نیروی مقاوم در برابر لغزش آن بیشتر گردد.

Q_P و Q_{PS} به ترتیب نیروی افقی کف در اثر مولفه افقی (حرکت صلب مایع) و تلاطم مایع بوده و نیروی مقاوم مربوط به هر دو به ترتیب F_1' و F_2' است که باید:

$$Q_P \leq F_1' \quad (۱۳-۶)$$

$$Q_{PS} \leq F_2' \quad (۱۴-۶)$$

۱- بررسی واژگونی

لنگرهای واژگونی M_{T1} و M_{T2} در اثر زلزله افقی و تلاطم مایع از رابطه‌های (۱۵-۶) و (۱۶-۶) به دست می‌آید و لنگرهای مقاوم M_{RT1} و M_{RT2} از رابطه‌های (۱۵-۶) و (۱۶-۶) به دست می‌آید.

$$M_{T1} = M_P + M_{PB} \quad (N.mm) \quad (۱۵-۶)$$

$$M_{T2} = M_{PS} + M_{PBS} \quad (N.mm) \quad (۱۶-۶)$$

$$M_{RT1} = (W_T + W_L)(1 - K_{MV}).D/2 + \sigma_a.N_B.A_B.D/4 \quad (N.mm) \quad (۱۷-۶)$$

$$M_{RT2} = (W_T + W_L).D/2 + \sigma_a.N_B.A_B.D/4 \quad (N.mm) \quad (۱۸-۶)$$

M_P و M_{PB} : لنگر ایجاد شده در ورق کناری و کف در اثر مولفه افقی زلزله (N.mm)

M_{PS} و M_{PBS} : لنگر ایجاد شده در ورق کناری و کف در اثر تلاطم مایع (N.mm)

W_T : وزن بدنه مخزن بجز ورق کف و ورق حلقوی (N)

W_L : وزن مایع ذخیره شده (N)

N_B : تعداد پیچ‌های مهار

A_B : سطح مقطع پیچ مهار (mm^2)

σ_a : تنش کششی مجاز پیچ مهار (N/mm^2)

D: قطر خارجی مخزن (mm)

۱-۱- لنگر در کف ورق کناری در اثر مولفه افقی زلزله از رابطه (۱۹-۶) محاسبه می‌گردد.

$$M'_p = K_{MH} \left(\frac{W_0 H_0 - W_1 H_1}{\beta_5} + W_1 H_1 + W'_s H'_s + W'_r H'_r \right) \quad (19-6)$$

M'_p : لنگر در کف ورق کناری (N.mm)

H'_s : ارتفاع مرکز ثقل ورق کناری از کف ورق کناری (mm)

H'_r : ارتفاع مرکز ثقل ورق سقف از کف ورق کناری (mm)

W_0 : وزن آب ثابت (N) (از نسبت ارتفاع تراز فوقانی به قطر مخزن ذخیره خارجی با استفاده از شکل (۳-۶) به دست می‌آید)

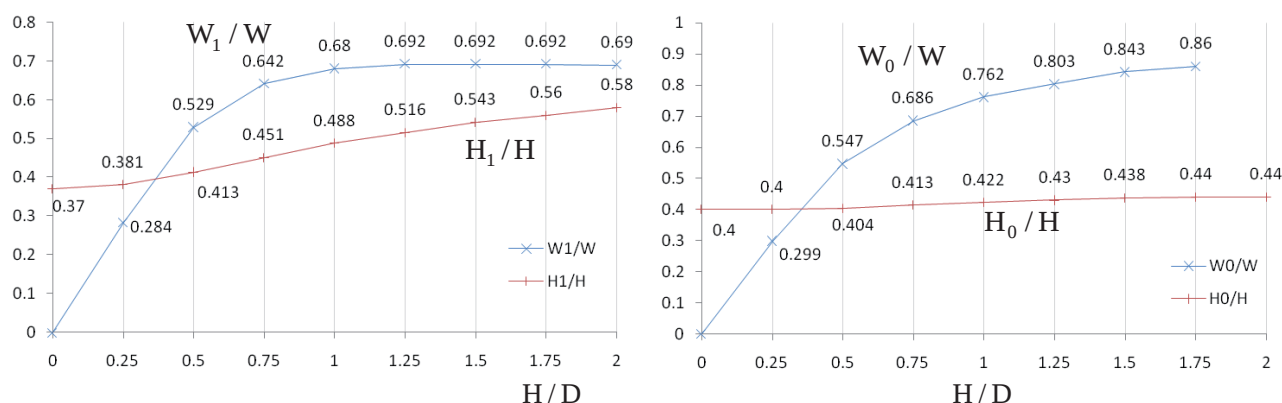
و W_1 : وزن آب متلاطم (N) (از شکل (۳-۶) به دست می‌آید)

W'_s : وزن ورق کناری و تجهیزات الحاقی (N)

W'_r : وزن ورق سقف و تجهیزات الحاقی (N)

H_0 : محل اثر آب ثابت (mm) (از نسبت ارتفاع تراز فوقانی به قطر مخزن ذخیره خارجی با استفاده از شکل (۲-۶) به دست می‌آید).

و H_1 : محل اثر آب متلاطم (mm)



شکل ۳-۶ رابطه بین $\frac{H_1}{H}$ با $\frac{H}{D}$ و $\frac{W_1}{W}$ با $\frac{H}{D}$

شکل ۲-۶ رابطه بین $\frac{H_0}{H}$ با $\frac{H}{D}$ و $\frac{W_0}{W}$ با $\frac{H}{D}$

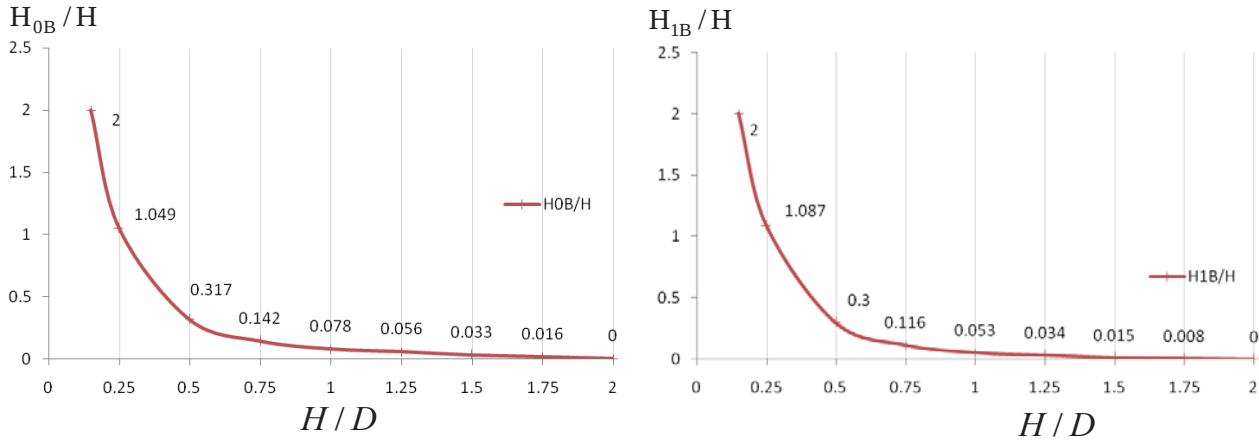
۲-۱- لنگر ایجاد شده در ورق کف در اثر زلزله از رابطه (۲۰-۶) محاسبه می‌گردد.

$$M_{PB} = W_0 \cdot H_{0B} \cdot K_{MH} / v_{6..} + W_1 \cdot H_{1B} \left(1 - \frac{1}{\beta_5} \right) K_{MH} \quad (N.mm) \quad (20-6)$$

M_{PB} : لنگر ایجاد شده در ورق کف (N.mm)

H_{0B} و H_{1B} : ارتفاع تبدیل شده (از نسبت ارتفاع تراز فوقانی و قطر مخزن ذخیره خارجی با استفاده از شکل‌های

(۴-۶) یا (۵-۶) به دست می‌آید) (mm).



شکل ۶-۵ رابطه بین $\frac{H_{0B}}{H}$ با $\frac{H}{D}$

شکل ۶-۴ رابطه بین $\frac{H_{1B}}{H}$ با $\frac{H}{D}$

۳-۱- لنگر ورق کف کناری در اثر تلاطم از رابطه (۶-۲۱) محاسبه می‌گردد.

$$M'_{PS} = W_0 \cdot \eta_{\max} \frac{\tanh(3.68H/D) - D/3.68H \{1 - \operatorname{sech}(3.68H/D)\}}{1.84} \quad (۶-۲۱)$$

M'_{PS} : لنگر ایجاد شده در ورق کناری در اثر تلاطم مایع (N.mm)

$\eta_{\max}$: حداکثر تغییر مکان تراز مایع که از رابطه (۶-۲۲) به دست می‌آید. (mm)

$$\eta_{\max} = 0.42 D_I K_{M2} \quad (۶-۲۲)$$

۴-۱- لنگر ایجاد شده در ورق کف در اثر تلاطم مایع از رابطه (۶-۲۳) محاسبه می‌گردد.

$$M_{PBS} = W_0 \cdot \eta_{\max} \frac{D \cdot 0.148}{H \cosh(3.68H/D)} \quad (۶-۲۳)$$

۵-۱- لنگر وارد بر ورق کناری

برای بدست آوردن لنگرهای M_P, M_{PS} وارد بر ورق کناری، می‌توان از رابطه‌های زیر و لنگرهای پایین ورق کناری استفاده کرد.

$$M_P = \left(1 - \frac{Z}{H}\right)^2 \cdot M'_P \quad (۶-۲۴)$$

$$M_{PS} = \left(1 - \frac{Z}{H}\right)^{1.3} \cdot M'_{PS} \quad (۶-۲۵)$$

Z: ارتفاع از کف مخزن بر حسب mm

۲- بررسی لغزش

Q_P و Q_{PS} به ترتیب نیروی‌های افقی در اثر مولفه افقی زلزله و تلاطم مایع می‌باشد که به ترتیب از رابطه‌های

(۶-۲۶) و (۶-۲۷) به دست می‌آید و نیروی‌های مقاوم در برابر هر یک از این نیروها به ترتیب از رابطه‌های (۶-۲۸) و

(۶-۲۹) به دست می‌آید.

۱-۲- نیروی افقی کف Q_p در اثر مؤلفه افقی زلزله از رابطه (۲۶-۶) تعیین می‌گردد.

$$Q_p = K_{MH} \left(\frac{W_0 - W_1}{\beta_5} + W_1 + W'_s + W'_r \right) \quad (26-6)$$

Q_p : نیروی افقی کف (N)

۲-۲- نیروی افقی کف Q_{PS} در اثر تلاطم از رابطه (۲۷-۶) تعیین می‌گردد.

$$Q_{PS} = \frac{\eta_{\max}}{H} \cdot \frac{\tanh(3.68H/D)}{1.84} W_0 \quad (27-6)$$

Q_{PS} : نیروی افقی کف در اثر تلاطم (N)

۳-۲- نیروی مقاوم در اثر مؤلفه افقی (حرکت صلب مایع) و تلاطم مایع به ترتیب از رابطه‌های (۲۸-۶) و (۲۹-۶) به دست می‌آید.

$$F'_2 = (W_T + W_L) \cdot \mu \cdot (1 - K_{MV}) + \frac{1}{2} \cdot \tau_a N_B \cdot A_B \quad (28-6)$$

$$F'_2 = (W_T + W_L) \cdot \mu + \frac{1}{2} \cdot \tau_a N_B \cdot A_B \quad (29-6)$$

A_B, N_B, K_V, W_L, W_T : مانند قسمت‌های ذکر شده فوق

τ_a : تنش برشی مجاز پیچ مهراری که از رابطه (۳۰-۶) بر حسب مقاومت کششی مجاز تعیین می‌گردد.

$$\tau_a = \sigma_a / \sqrt{3} \quad (N/mm^2) \quad (30-6)$$

μ : ضریب اصطکاک کف مخزن با پی، در حدود ۰/۴

۵-۲-۲-۶- مطالعه تنش ایجاد شده در زلزله

برای تنش ایجاد شده در زلزله موارد زیر باید مورد مطالعه قرار گیرد.

۱- تنش کششی پیرامونی ورق کناری

تنش کششی پیرامونی ورق کناری بدست آمده از رابطه (۳۱-۶) باید کمتر از تنش مجاز باشد.

$$\sigma_c = \frac{P \cdot D}{2t} \quad (31-6)$$

$$P = P_{ST} + \sqrt{P_h^2 + P_V^2} \quad (32-6)$$

σ_c : تنش کششی پیرامونی (N/mm^2)

t : ضخامت ورق (mm) به استثنای مقدار مجاز خوردگی

P_{ST} : فشار هیدرواستاتیکی (MPa)

P_h : فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در اثر مؤلفه افقی زمین‌لرزه افقی (MPa)

P_V : فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در اثر مؤلفه قائم زمین‌لرزه قائم (MPa)

برای مطالعه فشار هیدرولیکی ناشی از تلاطم سیال باید از رابطه (۳۳-۶) استفاده شود.

$$P = P_{ST} + P_S \quad (33-6)$$

P_{ST} : فشار هیدرواستاتیکی (MPa)

P_S : فشار هیدرولیکی دینامیکی که بر صفحه کناری به واسطه تلاطم اعمال می‌شود.

۲- بخش گوشه ورق کناری و ورق حلقوی یا ورق کف

تنش موضعی ایجاد شده در گوشه ورق کناری، ورق حلقوی یا ورق زمینه باید کمتر از تنش مجاز باشد.

تنش حاصل، تنش ثانویه بوده و با استفاده از رابطه (۳۴-۶) و (۳۵-۶) محاسبه می‌شود.

۱-۲- حالت بدون مهار

تنش خمشی گوشه‌ی ورق حلقوی ناشی از زلزله از رابطه (۳۴-۶) محاسبه می‌شود.

$$\Delta\sigma_B = \frac{12}{t_B^2} \left| M_m \cdot M_o + M_v \cdot V_1 + M_q \frac{P_1}{K_B} D_B \right| \quad (۳۴-۶)$$

M_o : لنگر استاتیکی نامعین ایجاد شده در گوشه انتهایی پایینی ورق (N.mm/mm)

V_1 : نیروی قائم انتهایی پایینی ورق کناری ناشی از لنگر واژگونی در زلزله (N.mm)

P_1 : فشار هیدرودینامیکی در گوشه (MPa)

K_B : مدول ضریب واکنش خاک (N/mm^3)

D_B : مقاومت خمشی ورق حلقوی، از رابطه (۵۵-۶) محاسبه می‌گردد. (N.mm)

t_B : ضخامت ورق حلقوی (mm)

M_q, M_v, M_m : ضریب تاثیر برای پارامترهای $\frac{P_1}{K_B} D_B, V_1, M_o$ که به ترتیب از رابطه‌های (۴۸-۶)، (۴۹-۶)

و (۵۰-۶) بدست می‌آید.

۲-۲- حالت با مهار

تنش خمشی گوشه ورق حلقوی ناشی از زلزله از رابطه (۳۵-۶) محاسبه می‌شود.

$$\Delta\sigma_B = 2K\alpha_m P_0 \frac{D}{2 \cdot t_L} \quad (۳۵-۶)$$

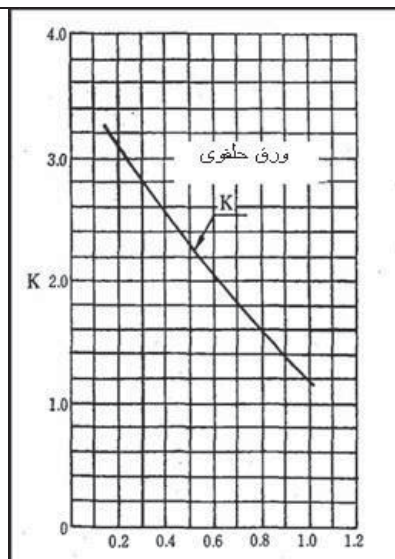
K : شاخص تنش با توجه به شکل (۶-۶)

t_L : ضخامت ورق بخش پایینی در ورق کناری (به استثنای مقدار مجاز خوردگی) (mm)

t_B : ضخامت ورق حلقوی (mm) (استفاده شده در شکل (۶-۶) برای تعیین K)

α_m : عدد تاثیر توزیع فشار هیدرودینامیکی

P_0 : فشار هیدرودینامیکی در گوشه (MPa)



شکل ۶-۶ (ضخامت ورق کناری/ (ضخامت ورق حلقوی یا زمینه)) نسبت ضخامت ورق

۳- بررسی کمانش پوسته مخزن

تنش کمانش ناشی از مؤلفه افقی و مؤلفه قائم زلزله و تلاطم سیال نباید از مقدار تنش مجاز تجاوز کند. تنش محوری فشاری ایجاد شده در ورق کناری از رابطه (۳۶-۶) بدست می‌آید.

$$\sigma_b = \frac{N}{A} + \frac{2M_p}{AD_I} \quad (۳۶-۶)$$

σ_b : تنش محوری فشاری (N/mm^2)

N : بار قائم با در نظر گرفتن ضریب زلزله قائم (N)

A : سطح مقطع (mm^2)

M_p : لنگر ورق کناری ($N.mm$)

برای مطالعه تلاطم سیال، لنگر M_{ps} ($N.mm$) ورق کناری ناشی از تلاطم سیال با استفاده از رابطه (۳۷-۶) بدست می‌آید.

$$\sigma_b = \frac{N}{A} + \frac{2M_{ps}}{AD_I} \quad (۳۷-۶)$$

۱- روش محاسبه فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در اثر زلزله افقی

$$P_h = P_{h0} + P_{h1} \quad (۳۸-۶)$$

P_h : فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در ارتفاع Z از کف (MPa)

P_{h0} و P_{h1} : طبق رابطه (۳۹-۶) و (۴۰-۶)

$$P_{h0} = \left\{ \sum_{i=0}^5 C_{oi} \left(\frac{Z}{H} \right)^i \right\} \frac{\rho \cdot H \cdot K_{MH}}{\beta_5} \quad (۳۹-۶)$$

$$P_{h1} = \left\{ \sum_{i=0}^5 C_{1i} \left(\frac{Z}{H} \right)^i \right\} \left(1 - \frac{1}{\beta_5} \right) \frac{\rho \cdot H \cdot K_{MH}}{\beta_5} \quad (۴۰-۶)$$

ρ : وزن مخصوص سیال ذخیره شده (N/mm^3)

C_{1i} و C_{0i} : مقادیر بدست آمده از جدول (۲-۶) یا جدول (۳-۶) براساس نسبت ارتفاع تراز بالایی و قطر مخزن خارجی

جدول ۲-۶ ضرایب C_o

C_{0i} H/D	C_{00}	C_{01}	C_{02}	C_{03}	C_{04}	C_{05}
۰/۱۵	۰/۸۱۱	- ۰/۱۳۰	۰/۶۸۸	- ۴/۲۱	۵/۷	- ۲/۸۵
۰/۲	۰/۸۲۴	- ۰/۱۳۲	۰/۶۸۸	- ۴/۲۴	۵/۷۱	- ۲/۸۵
۰/۳	۰/۸۲۶	- ۰/۱۳۳	۰/۷۰۳	- ۴/۲۶	۵/۷۴	- ۲/۸۷
۰/۴	۰/۷۹۴	- ۰/۱۲۹	۰/۷۰۶	- ۴/۱۱	۵/۵۴	- ۲/۷۹
۰/۵	۰/۷۴۲	- ۰/۱۳۲	۰/۸۱۱	- ۴/۲۲	۵/۶۵	- ۲/۸۵
۰/۶	۰/۶۸۴	- ۰/۱۳۳	۰/۸۹۲	- ۴/۲۳	۵/۶۵	- ۲/۸۶
۰/۷	۰/۶۲۶	- ۰/۱۳۱	۰/۹۵۲	- ۴/۲۱	۵/۶۲	- ۲/۸۶
۰/۸	۰/۵۷۲	- ۰/۱۳۲	۱/۰۳	- ۴/۲۴	۵/۶۶	- ۲/۸۸
۱	۰/۴۸۱	- ۰/۱۳۳	۱/۱۳	- ۴/۲۶	۵/۷۳	- ۲/۹۴
۱/۲	۰/۴۱۰	- ۰/۱۳۴	۱/۲	- ۴/۳۳	۵/۸۷	- ۳/۰۲
۱/۴	۰/۳۵۶	- ۰/۱۳۶	۱/۲۶	- ۴/۴۲	۶/۰۶	- ۳/۱۲
۱/۶	۰/۳۱۳	- ۰/۱۴۰	۱/۳۲	- ۴/۵۶	۶/۳۰	- ۳/۲۳
۱/۸	۰/۲۷۹	- ۰/۱۴۴	۱/۳۷	- ۴/۷۱	۶/۵۴	- ۳/۳۴
۲	۰/۲۵۲	- ۰/۱۴۸	۱/۴۳	- ۴/۸۷	۶/۷۹	- ۳/۴۵

جدول ۳-۶ ضرایب C_{li}

C_{li} H/D	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}
۰/۱۵	۰/۸۰۷	۰/۲۳۴	- ۱/۴۵	۰/۵۴۷	- ۰/۱۹۷	۰/۰۶۲۶
۰/۲	۰/۸۱۳	۰/۲۶۷	- ۱/۴۸	۰/۵۸۸	- ۰/۲۱۷	۰/۰۲۸۷
۰/۳	۰/۷۹۲	۰/۲۷۷	- ۱/۱۵	- ۰/۰۳۳۵	۰/۴۱۸	- ۰/۳۰۵
۰/۴	۰/۷۳۱	۰/۲۴۱	- ۰/۴۷۲	- ۱/۳	۱/۷	- ۰/۹
۰/۵	۰/۶۴۴	۰/۱۹۳	۰/۲۶۵	- ۲/۶۲	۳/۰۵	- ۱/۵۲
۰/۶	۰/۵۵۱	۰/۱۳۳	۱/۰۱	- ۳/۹۸	۴/۴۷	- ۲/۱۷
۰/۷	۰/۴۶۲	۰/۰۸۱۰	۱/۶۱	- ۵/۰۶	۵/۶۳	- ۲/۷۲
۰/۸	۰/۳۸۵	۰/۰۳۷۷	۲/۰۸	- ۵/۹۲	۶/۶۲	- ۳/۱۹
۱	۰/۲۶۷	- ۰/۰۳۰۱	۲/۶۷	- ۷/۰۵	۸/۰۵	- ۳/۹
۱/۲	۰/۱۸۸	- ۰/۰۷۷۲	۲/۹۷	- ۷/۷۲	۹/۰۹	- ۴/۴۴
۱/۴	۰/۱۳۶	- ۰/۱۱۲	۳/۱۲	- ۸/۱۸	۹/۹۲	- ۴/۸۸
۱/۶	۰/۱	- ۰/۱۳۹	۳/۱۹	- ۸/۵	۱۰/۶	- ۵/۲۴
۱/۸	۰/۰۷۵۳	- ۰/۱۶۲	۳/۲۳	- ۸/۷۹	۱۱/۲	- ۵/۵۵
۲	۰/۰۵۸۰	- ۰/۱۸۴	۳/۲۷	- ۹/۰۹	۱۱/۸	- ۵/۸۳

۲- روش محاسبه فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در اثر مولفه قائم زلزله

$$P_V = \rho H \left\{ \left(1 - \frac{Z}{H} \right) \frac{K_{MV}}{\beta_5} + 0.811 \cos \left(\frac{\pi Z}{2H} \right) \left(1 - \frac{1}{\beta_5} \right) K_{MV} \right\} \quad (41-6)$$

P_V : فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در ارتفاع Z از کف (MPa)

Z : ارتفاع از کف (mm)

۳- روش محاسبه فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری ناشی از تلاطم سیال

$$P_S = \rho \eta_{\max} \frac{\cos h(3.68Z/D)}{\cos h(3.68H/D)} \quad (42-6)$$

P_S : فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری در ارتفاع Z از کف ناشی از تلاطم سیال (MPa)

$\eta_{\max}$: حداکثر تغییر مکان سطح سیال که مقدار آن از رابطه (۲۲-۶) بدست می‌آید. (mm)

۴- محدوده تنش خمشی گوشه‌ی ورق حلقوی در زلزله

$$\Delta \sigma_B = \frac{12}{t_B^2} \left| M_m \cdot M_o + M_v \cdot V_1 + M_q \frac{P_I}{K_B} D_B \right| \quad (43-6)$$

در عبارت بالا، لنگر استاتیکی نامعین ایجاد شده در گوشه پایینی ورق کناری با استفاده از رابطه‌های زیر بدست می‌آید.

V_1 : نیروی قائم در انتهای پایینی ناشی از لنگر واژگونی زلزله (N/mm)

$$M_0 = \frac{1}{\left(\frac{\theta_n}{D_B} + \frac{1}{2K_s D'_s} \right)} \left\{ \frac{P_1 R^2 K_s}{E \cdot t} - \theta_v \frac{V_1}{D_B} - \theta_q \frac{P_1}{K_s} \right\} \quad (۴۴-۶)$$

$$\theta_m = \frac{1}{2f^2} (2c^2 + f^2 + 1 + 2cs) \frac{1}{2\beta} \quad (۴۵-۶)$$

$$\theta_v = \frac{c^2}{f^2} \frac{1}{2\beta^2} \quad (۴۶-۶)$$

$$\theta_q = - \left\{ \frac{1}{2f} \left(f - \frac{1}{f} \right) + \frac{sc}{f^2} + \frac{s^2}{f^2} \right\} \beta \quad (۴۷-۶)$$

$$M_m = - \frac{1}{2f^2} (f^2 + 1 + 2cs) \quad (۴۸-۶)$$

$$M_v = - \frac{1}{4f^2} (c^2 - s^2 + 2cs - f^2) \frac{1}{\beta} \quad (۴۹-۶)$$

$$M_q = \frac{2s^2}{f^2} \beta^2 \quad (۵۰-۶)$$

$$f = e^{\beta \cdot l} \quad (۵۱-۶)$$

$$c = \cos \beta \cdot l \quad (۵۲-۶)$$

$$s = \sin \beta \cdot l \quad (۵۳-۶)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_B}{4D_B}} \quad (۵۴-۶)$$

$$D_B = \frac{E \cdot t_B^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (۵۵-۶)$$

$$K_s = \sqrt[4]{\frac{3(1 - \nu^2)}{R^2 t_L^2}} \quad (۵۶-۶)$$

$$D'_s = \frac{E \cdot t_L^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (۵۷-۶)$$

K_B : مدول واکنش خاک (N/mm^3)

t_B : ضخامت ورق حلقوی (mm)

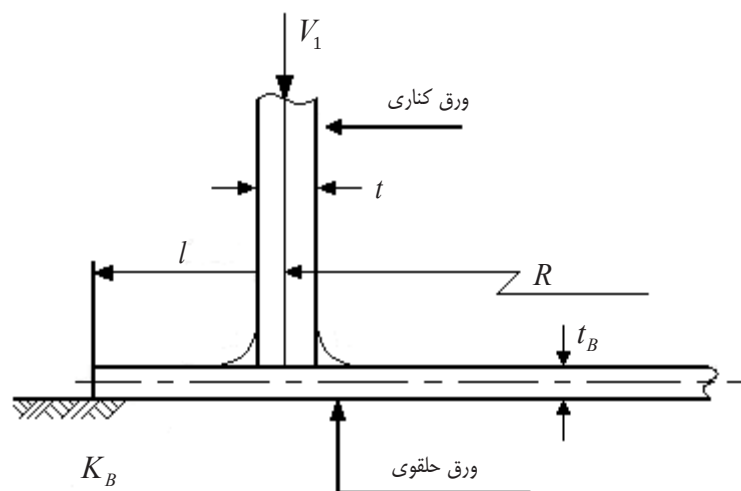
l : اضافه طول ورق حلقوی کف از بر خارجی ورق کناری مطابق شکل ۶-۷ (mm)

t_L : ضخامت ورق کناری در پایین ترین قسمت (به استثنای مقدار مجاز خوردگی) (mm)

R : شعاع متوسط مخزن (mm)

P_1 : فشار هیدروستاتیکی در گوشه (MPa)

ν : ضریب پواسون



شکل ۶-۷ نمایش پارامترهای ابعادی مخزن ذخیره سوخت

فشار هیدرودینامیکی در گوشه P_1 و نیروی قائم V_1 در انتهای پایینی ورق کناری ناشی از لنگر واژگونی زلزله را می‌توان به صورت زیر بدست آورد.

۴-۱- برای محدوده تنش خمشی ورق حلقوی ناشی از حرکت صلب سیال تحت اثر مؤلفه افقی زلزله

$$P_1 = \sqrt{3}K_{MH}\rho_1 H \left\{ 1 - \frac{1}{2} \tanh \left(\frac{\sqrt{3}R}{H} \right) \right\} \quad (۵۸-۶)$$

$$V_1 = \frac{M_{T1}}{\pi R^2} \quad (۵۹-۶)$$

ρ_1 : چگالی سیال ذخیره شده (N/mm^3)

M_{T1} : لنگر واژگونی ناشی از زلزله افقی ($N.mm$)

۴-۲- برای محدوده تنش خمشی ورق حلقوی ناشی از حرکت صلب سیال تحت اثر مؤلفه قائم زلزله

$$P_1 = K_{MV}\rho H \quad (۶۰-۶)$$

$$V_1 = K_{MV} \cdot \frac{W'_S + W'_R}{\pi D} \quad (۶۱-۶)$$

W'_S : کل وزن ورق کناری (N)

W'_R : کل وزن بخش سقف نگهدارنده ورق کناری (N)

محدوده تنش خمشی ایجاد شده در ورق حلقوی زمانیکه مولفه های افقی و قائم به صورت همزمان در نظر گرفته می‌شود، برابر جذر مجموع مربعات محدوده تنش خمشی هر یک از زلزله‌ها می‌باشد.

$$\Delta\sigma_B = \sqrt{(\Delta\sigma_{BH})^2 + (\Delta\sigma_{BV})^2} \quad (۶۲-۶)$$

$\Delta\sigma_{BH}$: محدوده تنش خمشی مولفه افقی

$\Delta\sigma_{BV}$: محدوده تنش خمشی مولفه قائم

۴-۳- برای محدوده تنش خمشی ورق حلقوی ناشی از مؤلفه تغییر مکان زلزله

$$P_1 = \frac{\rho \eta_{\max}}{\cosh\left(3.682 \frac{H}{D}\right)} \quad (۶۳-۶)$$

$$V_1 = \frac{4M_{T2}}{\pi D^2 t} \times t = \frac{4M_{T2}}{\pi D^2} \quad (۶۴-۶)$$

η : حداکثر ارتفاع پاسخ تلاطم (mm)

M_{T2} : لنگر واژگونی تلاطم سیال (N.mm)

حداکثر ارتفاع پاسخ تلاطم η از رابطه (۶۵-۶) بدست می‌آید.

$$\eta = 0.418 D \psi \quad (۶۵-۶)$$

$$\psi = \frac{0.00641}{T_s} S_{VO} \beta_2 \quad (۶۶-۶)$$

S_{VO} : مقدار طیف سرعت (cm/s)

β_2 : ضریب ناحیه لرزه‌ای

T_s : پریود طبیعی تلاطم سیال (s)

۴-۴- محدوده تنش خمشی ناشی از زلزله در اتصال ورق حلقوی با ورق کناری

فشار هیدروستاتیکی P_0 (MPa) وارد بر ورق کناری و عدد تاثیر توزیع فشار هیدرولیکی دینامیکی α_m لازم برای محاسبه محدوده تنش خمشی ورق حلقوی در ورق کناری و اتصال ورق کناری در زلزله، به صورت زیر بدست می‌آید. نسبت K (شاخص تنش) تنش گوشه به تنش غشایی راستای زاویه‌ای ورق کناری با استفاده از نسبت t_B / t_L ضخامت ورق حلقوی به ضخامت ورق کناری و از رابطه (۶۷-۶) بدست می‌آید.

$$K = 3.7013 - 3.0459 \left(\frac{t_B}{t_L}\right) + 0.47294 \left(\frac{t_B}{t_L}\right)^2 \quad (۶۷-۶)$$

الف) محدوده تنش خمشی ورق حلقوی ناشی از شتاب افقی زلزله

$$\alpha_m = 1 + 0.114 \left(\frac{H}{D}\right) + 0.6 \left(\frac{H}{D}\right)^2 \quad (۶۸-۶)$$

$$P_o = \frac{\sqrt{3}}{2} K_{MH} \rho H \tanh\left(\frac{\sqrt{3}D}{2H}\right) \Big|_{z=0} \quad (۶۹-۶)$$

ب) محدوده تنش خمشی ورق حلقوی ناشی از شتاب قائم زلزله

$$\alpha_m = 0.1 \quad (۷۰-۶)$$

$$P_o = K_{MV} \rho H \Big|_{z=0} \quad (۷۱-۶)$$

ج) محدوده تنش خمشی ورق حلقوی در اثر تغییر مکان ناشی از زلزله

$$\alpha_m = 1 + 0.114 \left(\frac{H}{D}\right) + 0.6 \left(\frac{H}{D}\right)^2 + \beta \left\{ 0.025 + 0.112 \left(\frac{H}{D}\right)^2 + 0.8 \left(\frac{H}{D}\right)^3 \right\} \quad (۷۲-۶)$$

$$P_0 = \rho \eta \frac{\cos h\left(3.682 \frac{Z}{D}\right)}{\cos h\left(3.682 \frac{H}{D}\right)} \Big|_{z=0} \quad (73-6)$$

$$\beta = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \quad (74-6)$$

β : گرادیان فشار

P_1 : فشار هیدروپنوماتیکی وارد بر ورق کناری، برابر مقدار رابطه (73-6) در $Z = H$

۶-۲-۲-۶- محاسبه مقاومت جانبی نهایی

مقاومت جانبی نهایی مخزن Q_y باید بیشتر از ظرفیت باربری افقی لازم ناشی از اثرات لرزه‌ای Q_{dw} محاسبه شده از رابطه (77-6) باشد.

$$Q_y = \frac{2\pi R^2 q_y}{0.44H} \quad (75-6)$$

Q_y : مقاومت جانبی نهایی (N)

q_y : مقاومت برکنش هر واحد عرض ورق کف مخزن است، که از رابطه (76-6) بدست می‌آید.

$$q_y = \frac{2t_b \sqrt{1.5P_{ST}\sigma_{yr}}}{3} \quad (76-6)$$

t_b : ضخامت واقعی ورق حلقوی (mm)

P_{ST} : فشار هیدرولیکی استاتیکی (MPa)

σ_{yr} : مقاومت تسلیم واقعی ورق حلقوی (N/mm^2)

علاوه براین، ظرفیت باربری افقی لازم ناشی از اثرات لرزه‌ای با استفاده از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود.

$$Q_{dw} = K_{SH} \cdot \beta_3 \cdot v_p \cdot D_s \cdot W_0 \quad (77-6)$$

Q_{dw} : ظرفیت باربری افقی لازم (N)

β_3 : ضریب تشدید با در نظر گرفتن پریود طبیعی مخزن خارجی

v_p : ضریب طراحی پلاستیک برابر ۱/۵

D_s : ضریب مشخصه سازه‌ای

W_0 : وزن سیال موثر (N)

روش محاسبه ضریب مشخصه سازه‌ای (D_s) در محاسبات ظرفیت باربری افقی لازم به صورت زیر است

۱- زمانیکه نسبت نقطه تسلیم (نقطه تسلیم / مقاومت کششی ورق حلقوی) کمتر از ۸۰٪ است.

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{1 + 84(T_1/T_e)^2}} \quad (78-6)$$

۲- زمانیکه نسبت نقطه تسلیم ۸۰٪ یا بیشتر است.

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{1 + 24(T_1 / T_e)^2}} \quad (79-6)$$

T_1 : پریود بدنه اصلی مخزن است که تنها با در نظر گرفتن برکنش ورق زمینه بدست می‌آید.

$$T_1 = 2\pi\sqrt{W_0 / gK_1} \quad (80-6)$$

T_e : پریود بدنه اصلی مخزن است که با در نظر گرفتن برکنش ورق زمینه و تغییر شکل ورق کناری بدست می‌آید.

$$T_e = \sqrt{T_b^2 + T_1^2} \quad (81-6)$$

K_1 : ثابت فنر کل مخزن در برکنش

$$K_1 = 48.7R^3\kappa_I / H^2 \quad (82-6)$$

κ_I : ثابت فنر با توجه به برکنش هر واحد عرض

$$\kappa_I = q_y / \delta_y \quad (83-6)$$

δ_y : تغییر مکان برکنش در مقاومت تسلیم (mm)

$$\delta_y = 3t_b\sigma_y^2 / 8PE \quad (84-6)$$

T_b : پریود طبیعی بدنه اصلی مخزن در تثبیت پایه ورق کناری (s)

۶-۳- طراحی لرزه‌ای تجهیزات ذخیره سوخت

طراحی لرزه‌ای تجهیزات ذخیره سوخت شامل بازوی بارگیر، پمپ‌ها و دستگاه تولید گرما، باید بصورت زیر انجام شود:

- ۱- طراحی لرزه‌ای تجهیزات باید به روش استاتیکی انجام شود.
- ۲- ضریب زلزله قائم، نصف ضریب زلزله افقی بوده و باید به صورت همزمان اعمال گردد.
- ۳- ضریب طراحی زلزله افقی با استفاده از ضریب اهمیت ۱ تعیین می‌شود.
- ۴- طراحی لرزه‌ای تجهیزات تاسیسات ذخیره سوخت تنها برای پیچ مهار و پی بدنه اصلی می‌باشد.
- ۵- در زمان ارزیابی لنگر واژگونی و لغزش تجهیزات، کاهش یا افزایش وزن ناشی از مولفه قائم روی لنگر واژگونی و نیروی اصطکاک ناشی از نیروی افقی لرزه‌ای تاثیر می‌گذارد.

۶-۴- مقادیر مجاز

۱- تنش مجاز

- تنش مجاز کششی S برابر ۶۰٪ کمترین نقطه تسلیم یا ۶۰٪ مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ است.
- تنش مجاز بررسی کماتش تنش فشاری ورق کناری برابر کمترین مقدار بین S و S' فرض می‌شود.
- S' از رابطه (۸۵-۶) بدست می‌آید.

$$S' = \frac{0.4 \cdot E \cdot t_{sb}}{\gamma \cdot D} \quad (85-6)$$

S و S' : تنش مجاز (N/mm^2)

t_{sb} : ضخامت ورق کناری در محل وقوع کمانش (mm)

γ : ۲/۲۵

۲- تنش مجاز در زلزله

- تنش مجاز کششی در زلزله برابر با $1/5 S$ است.

- تنش مجاز کششی پیچ در زلزله $1/5$ برابر شرایط غیر لرزه‌ای است.

- تنش مجاز کمانش در زلزله کوچکترین مقدار S و S' است.

زمانیکه ظرفیت مخزن بین $500 m^3$ تا $1000 m^3$ است، تنش مجاز S'' به صورت زیر خواهد بود. چنانچه برای مخازن بالای 1000 متر مکعب مقدار دقیق S'' از طریق آزمایش یا آیین‌نامه‌های معتبر، موجود نباشد می‌توان آن را از رابطه (۶-۸۶) بدست آورد.

$$S'' = \frac{0.4 \cdot E \cdot t}{\gamma \cdot D} \quad (6-86)$$

S'' : تنش فشاری مجاز در زلزله (N/mm^2)

t : ضخامت ورق کناری در محل وقوع کمانش (mm)

γ : ۱/۱

۳- تنش مجاز خمشی

محدوده مجاز تنش خمشی ایجاد شده در ورق حلقوی در زلزله برابر $2\sigma_y$ فرض می‌شود.

$$\Delta\sigma_B' \leq 2 \cdot \sigma_y \quad (6-87)$$

$\Delta\sigma_B'$: محدوده تنش خمشی ورق حلقوی ایجاد شده در زلزله (N/mm^2)

σ_y : حداقل نقطه تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش 0.2% ورق حلقوی (N/mm^2)

دامنه تنش ناشی از بار متناوب برای تنش خمشی با توجه به بار لرزه‌ای ایجاد شده در گوشه اختیار شده و می‌تواند به عنوان تنش ثانویه ارزیابی گردد.

۶-۵- معیارهای پذیرش

تنش باید با استفاده از اضافه بار ایجاد شده در نامساعدترین راستای اعمال بار زلزله محاسبه شود.

تنش بدست آمده از نیروی طراحی لرزه‌ای نباید از تنش مجاز تجاوز کند.

فصل ۷

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

مخازن سوخت گازی

۷-۱- سطح عملکرد مخازن سوخت گازی

عملکرد مخازن سوخت گازی در سطح خطر-۱ باید بهره برداری بی وقفه باشد. در سطح خطر-۲، مخزن ممکن است آسیب کمی دیده بطوریکه با تعمیرات سریع در کوتاه مدت قابل بهره برداری باشد. تجهیزات گاز مایع باید از لحاظ اهمیت بر حسب مقدار قابلیت اشتعال یا گازهای خطرناک موجود، طبقه‌بندی و طراحی لرزه‌ای آنها باید بر این اساس انجام شود. از لحاظ اهمیت، مخازن روزمینی دارای درجه اهمیت زیاد و خیلی زیاد می‌باشند.

۷-۲- طراحی لرزه‌ای

۷-۲-۱- مراحل طراحی

تجهیزات مورد نظر برای طراحی عبارتند از:

- مخزن روزمینی
- تاسیسات آتش‌نشانی
- تجهیزات ایمنی

۱- طراحی لرزه‌ای مخزن

مخزن گاز طبیعی مایع با توجه به موارد زیر، به گونه‌ای طراحی می‌شود که شتاب و تلاطم سیال را تحمل کند. آسیب‌های محتمل شامل موارد زیر می‌باشد:

- آسیب به بخش‌ها در اثر تنش‌های ناشی از نیروی لرزه‌ای و تغییرات فشار هیدرولیکی ناشی از تلاطم سیال
- آسیب به بخش بالایی مخزن در اثر ضربه ناشی از تلاطم
- برکنش، واژگونی، کماتش، اعوجاج و لغزش مخزن بر اثر فشار هیدرولیکی ناشی از تلاطم سیال
- نشست، تغییر شکل و آسیب به پی در اثر نیروی زلزله

۱-۱- بار لرزه‌ای تاسیسات با درجه اهمیت متوسط یا کم و با قطر و ارتفاع کمتر از ۱۰ متر به روش شبه استاتیکی محاسبه و سایر تاسیسات به روش شبه استاتیکی اصلاح شده انجام می‌شود.

۲-۱- دامنه جابجایی در تحلیل تلاطم سیال با توجه به ارتعاشات پریود بلند ناشی از زلزله، درجه اهمیت و نسبت شتاب مبنای طرح، تعیین می‌شود.

۳-۱- محاسبه پاسخ اثرات ناشی از شتاب زلزله و تلاطم سیال به صورت جداگانه و با توجه به موارد زیر انجام می‌شود:

الف) ضریب میرایی مورد استفاده با توجه به مشخصات سازه و خصوصیات فیزیکی سیال تعیین می‌شود.

ب) پاسخ شتاب (سطح خطر-۱)

پربود طبیعی مورد استفاده در تحلیل سازه در سطح خطر-۱ با توجه به صلبیت سیال و مخزن تعیین می‌شود.

(ج) تحلیل پاسخ مخزن با احتساب تلاطم سیال در سطح خطر-۲ زلزله با روش‌های زیر صورت می‌پذیرد:

- روش سه موج تشدید

- روش تحلیل تاریخچه زمانی

- روش طیفی

۲- طراحی لرزه‌ای تجهیزات

تجهیزات مورد نظر معمولاً شامل بخارسازها، گرم‌کننده، پمپ و کمپرسور هستند.

بارگذاری لرزه‌ای این تجهیزات با روش شبه استاتیکی صورت می‌پذیرد.

برای سطح خطر-۱، از روش تنش مجاز برای طراحی استفاده می‌شود.

برای سطح خطر-۲، از روش طراحی شکل‌پذیر استفاده می‌گردد.

۳- طراحی لرزه‌ای تجهیزات ایمنی

در تاسیسات گاز طبیعی تجهیزات مورد نظر به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

- دودکش (مربوط به گاز چاه) و هواکش قائم

- محفظه‌هایی از قبیل، جداساز غبار، درزگیرها و سیلندرهای

- پمپ انتقال سوخت

- تاسیسات کنترل ایمنی

نکات زیر در طراحی لرزه‌ای تجهیزات رعایت می‌شود:

۱-۴- برای سطح خطر-۲، درجه اهمیت هر تجهیز باید با استفاده از قضاوت در مورد جایگزینی تجهیزات تعیین شود.

۲-۴- بارگذاری لرزه‌ای تجهیزات ایمنی مربوط به تاسیساتی که درجه اهمیت آنها خیلی زیاد و زیاد است، به روش

شبه استاتیکی اصلاح شده انجام شود اما در صورت لزوم باید با در نظر گرفتن شکل و خصوصیات ارتعاشی، روش

تحلیل مودال طیفی یا تاریخچه زمانی استفاده شود.

۳-۴- بهتر است بارگذاری لرزه‌ای تجهیزات ایمنی مربوط به تاسیسات با درجه اهمیت متوسط و کم به روش شبه

استاتیکی انجام شود. در صورت لزوم روش شبه استاتیکی اصلاح شده بکار می‌رود.

۷-۲-۲- روش‌های طراحی مخزن

۷-۲-۲-۱- طراحی با روش تنش مجاز

در این روش برای موارد زیر تنش ناشی از نیروی زلزله نباید از تنش مجاز تجاوز کند.

۱- ورق‌های کناری و ورق‌های کف

در این مورد لازم است تنش محوری فشاری ورق کناری از تنش مجاز کم‌تر شود.

۳- پیچ‌های مهار یا کلاف مهار

۳- ورق سقف، اسکلت سقف و ورق خم دور مخزن

۴- مخزن خارجی در ورق کناری، ورق سقف، اسکلت سقف و مهار ایجاد شده

۵- قاب سیلندر تلمبه

۶- عایق سرما

علاوه بر موارد فوق نباید لنگر واژگونی ناشی از تلاطم و شتاب از لنگر مقاوم در برابر واژگونی مخزن تجاوز کند. همچنین نیروی افقی ناشی از هردو زلزله با پریود کوتاه و بلند نباید از نیروی مقاوم در برابر لغزش بیشتر شود.

۱- مقاومت ورق کناری و کف

۱-۱- توزیع فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کناری و ورق کف را می‌توان با استفاده از تئوری پتانسیل سرعت محاسبه نمود.

روش محاسبه فشار هیدرودینامیکی و تلاطم سیال به صورت زیر است.

الف) زلزله پریود کوتاه

i) توزیع فشار (P_{HW}) وارد بر دیواره کناری ناشی از شتاب افقی زلزله با استفاده از رابطه (۱-۷) محاسبه می‌شود:

$$P_{HW} = \gamma \cdot k_{MH} \cdot H \sqrt{3} \left\{ \left(\frac{y}{H} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{H} \right)^2 \right\} \cdot \tanh \left(\sqrt{3} \cdot \frac{R}{H} \right) \cdot \cos \phi \quad (H > 1.5R) \quad (1-7)$$

$$P_{HW} = \gamma \cdot K_{MH} \cdot R \cos \phi \quad (H \leq 1.5R) \quad (\text{MPa})$$

فشار در ورق کف (P_b)

$$P_b = \gamma \cdot K_{MH} \cdot \frac{H \sqrt{3}}{2} \frac{\sinh \left(\sqrt{3} \frac{x}{H} \right)}{\cosh \left(\sqrt{3} \frac{\ell}{H} \right)} \quad (\text{MPa}) \quad (H > 1.5R) \quad (2-7)$$

$$P_b = \gamma \cdot K_{MH} \cdot R \quad (\text{MPa}) \quad (H \leq 1.5R)$$

γ : وزن واحد حجم سیال (N/mm^3)

y: عمق دلخواه

x: طول دلخواه در ورق کف

K_{MH} : ضریب زلزله اصلاح شده افقی که از رابطه (۳-۳) محاسبه می‌گردد.

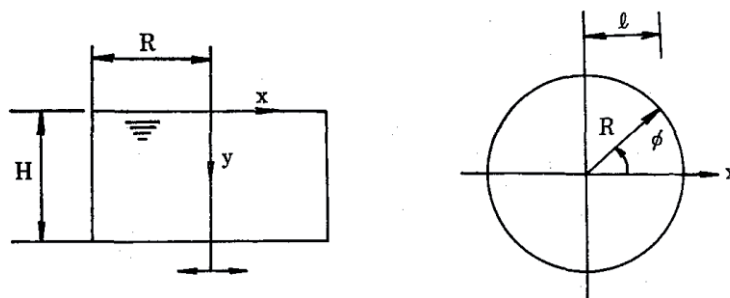
x: عمق دلخواه (cm)

H: حداکثر ارتفاع تراز سیال در مخزن (mm)

R: شعاع متوسط مخزن (mm)

ϕ : زاویه محیطی (رادیان)

به محور مختصات در شکل (۱-۷) الف و ب مراجعه شود.



نمایش پارامترهای دخیل در رابطه‌های (۱-۷) و (۲-۷)

(ب)

(الف)

شکل (۱-۷) نمایش پارامترهای دخیل در رابطه‌های (۱-۷) و (۲-۷)

ii) توزیع فشار (P_{VW}) وارده بر دیواره کناری و کف ناشی از شتاب قائم زلزله با استفاده از رابطه (۳-۷) محاسبه می‌شود.

$$P_{VW} = \gamma \cdot K_{MV} \cdot (y) \quad (\text{MPa}) \quad (3-7)$$

K_{MV} : ضریب زلزله قائم مربوطه به شتاب زلزله

(ب) زلزله پیرو بلند

روش محاسبه فشار هیدرودینامیکی در مد اول تلاطم سیال، بشرح زیر است:

i) فشار هیدرودینامیکی وارده بر ورق کناری (P_W)

$$P_W = \gamma \eta_{\max} \frac{\cos h\left(1.841 \frac{y}{R}\right)}{\cos h\left(1.841 \frac{H}{R}\right)} \cos \theta \quad (\text{MPa}) \quad (4-7)$$

$\eta_{\max}$: حداکثر تغییر مکان تراز مایع (mm) که از رابطه (۲۲-۶) محاسبه می‌گردد.

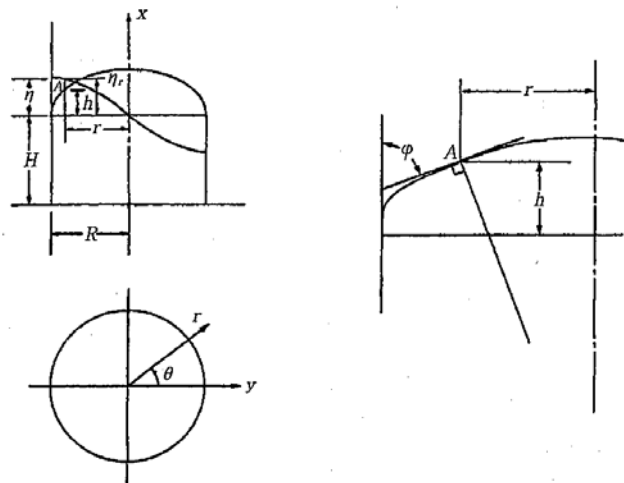
ii) فشار هیدرودینامیکی وارد بر ورق کف (P_{bs})

$$P_{bs} = \gamma \eta_{\max} \frac{J_1(1.841r/R)}{J_1(1.841) \cos h(1.841H/R)} \cos \theta \quad (\text{MPa}) \quad (5-7)$$

r : ابعاد نشان داده شده در شکل (۳-۷) (mm)

$J_1(x)$: تابع بسل مرتبه اول نوع اول

$\gamma, \eta, H, R, \theta$: مشابه i

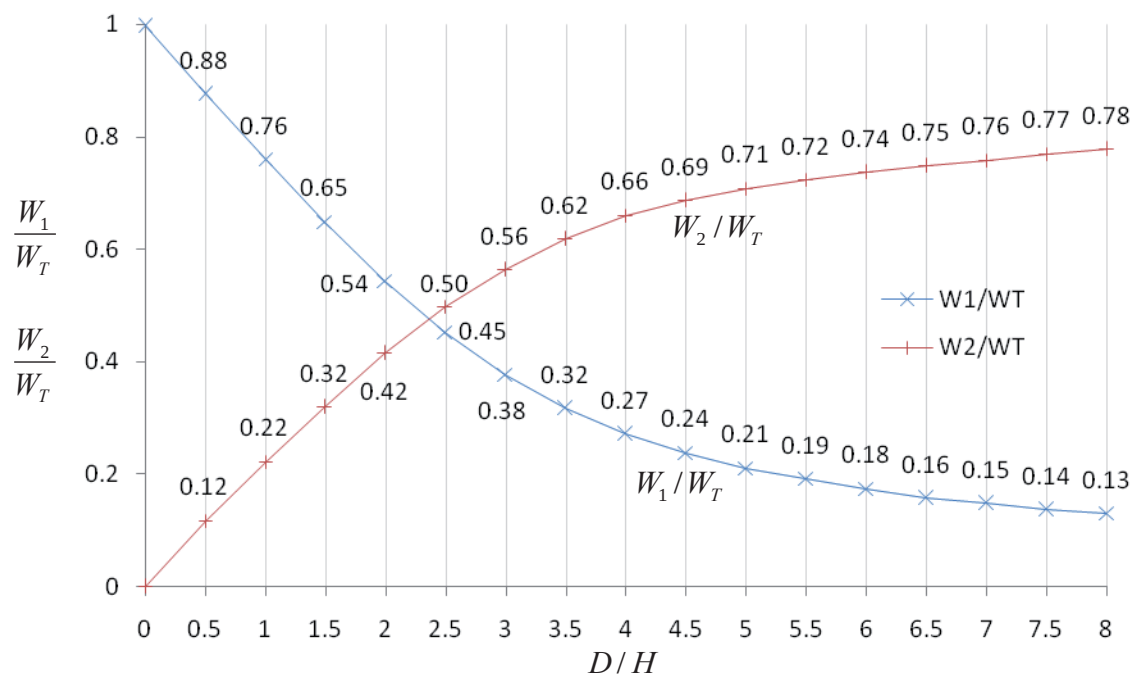


شکل ۷-۲ مختصات و ارتفاع موج در تحلیل تلاطم

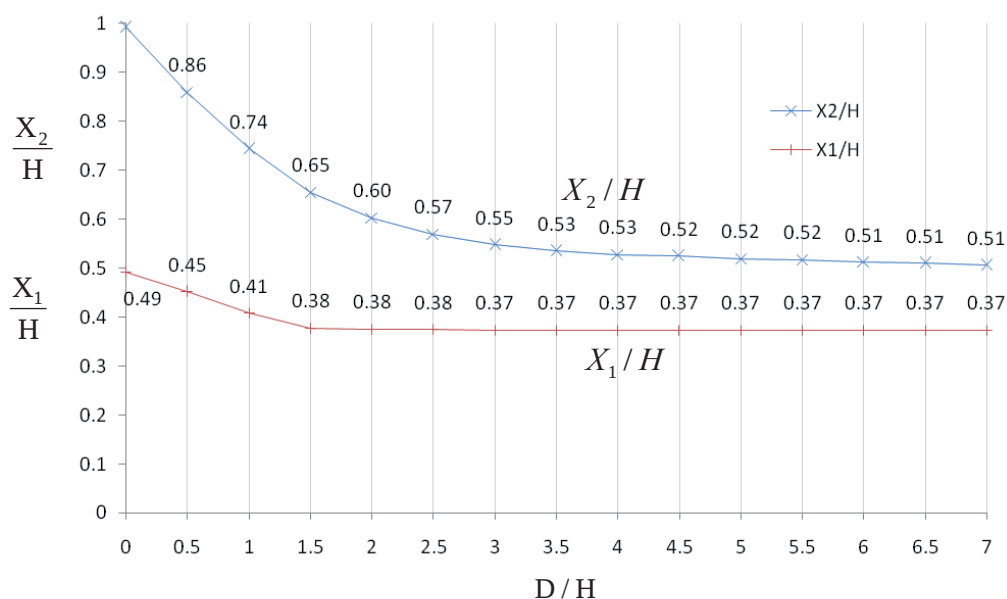
۲-۱- ورق کف (ورق حلقوی) متصل به پایین‌ترین ورق کناری

الف) وزن مؤثر و ارتفاع مرکز ثقل سیال

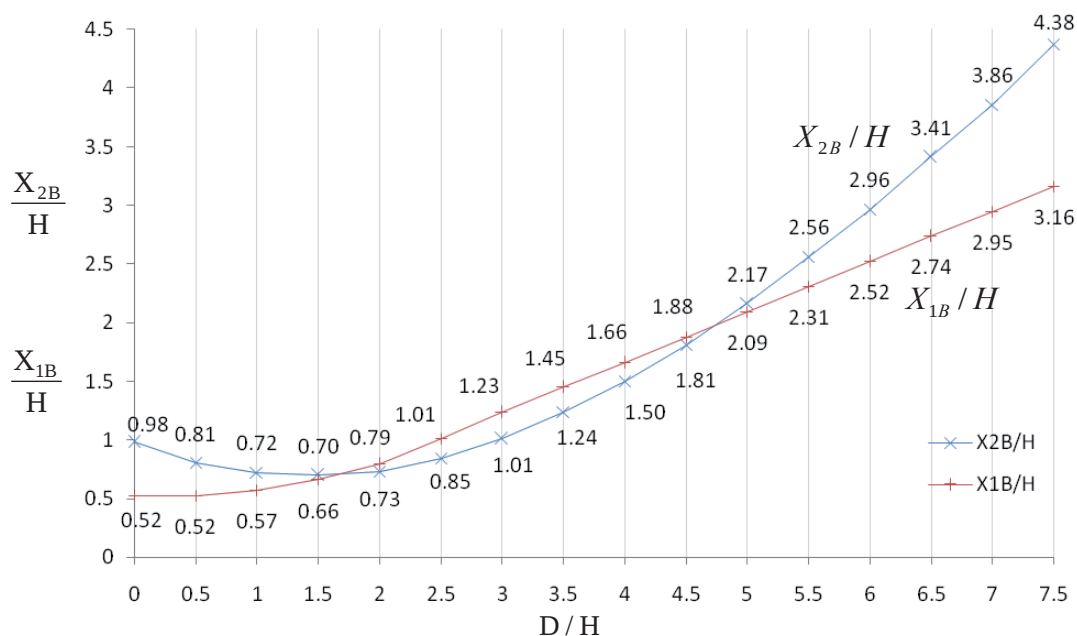
وزن مؤثر و ارتفاع مرکز ثقل سیال از شکل‌های (۳-۷)، (۴-۷) و (۵-۷) بدست می‌آید.



شکل ۷-۳ نسبت وزن مؤثر



شکل ۷-۴ نسبت وزن مؤثر به ارتفاع مرکز ثقل (شامل فشار ورق کف نمی‌شود).



شکل ۷-۵ نسبت وزن مؤثر به ارتفاع مرکز ثقل (شامل فشار ورق کف)

ب) تنش‌های محوری σ_{w1} و σ_{w2} در فشار و تنش مجاز کمانش σ_{cr} ورق کناری، در اثرات دینامیکی و تلاطم سیال با استفاده از رابطه‌های زیر بدست می‌آید.

$$\sigma_{w1} = \frac{4M_1}{AD} + \frac{W_u}{A}(1 + K_{MV}) - \frac{P_o D}{4t} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (6-7)$$

$$\sigma_{w2} = \frac{4M_2}{AD} + \frac{W_u}{A} - \frac{P_o D}{4t} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (7-7)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{0.25}{1.5} E \frac{t - C}{R} \quad (N/mm^2) \quad (۸-۷)$$

M_1 و M_2 لنگرهای بوجود آمده در اثر بخش فوقانی ارتفاع مورد بررسی می‌باشد و از رابطه‌های زیر بدست می‌آید.

$$M_1 = M_{Z1} + K_{MH} \times W_u \times X_S \quad (N.mm) \quad (۹-۷)$$

$$M_2 = M_{Z2} + K_{M2} \times W_u \times X_S \quad (N.mm) \quad (۱۰-۷)$$

M_{Z1} : لنگر واژگونی سیال در اثر بخش فوقانی ارتفاع مورد بررسی در زلزله پریود کوتاه (N.mm)

M_{Z2} : لنگر واژگونی سیال در اثر بخش فوقانی ارتفاع مورد بررسی در زلزله پریود بلند (N.mm)

K_{M2} : ضریب زلزله افقی در اثر تغییر مکان ناشی از زلزله که با استفاده از روش n موج تشدید به صورت زیر می‌باشد.

$$K_{M2} = \alpha_2 / g \quad (۱۱-۷)$$

$$\alpha_2 = 60\mu_d\beta_1\beta_2 \times (2\pi / T_S)^2 \quad (T_S > 7.5\text{sec} \times \mu_d / \mu_v) \quad (۱۲-۷)$$

$$\alpha_2 = 50\mu_v\beta_1\beta_2 \times (2\pi / T_S) \quad (T_S < 7.5\text{sec} \times \mu_d / \mu_v)$$

W_u : وزن مخزن از محل مورد بررسی تا قسمت فوقانی (N)

X_S : فاصله مرکز ثقل کل مخزن تا نقطه مورد بررسی در جهت قائم (mm)

A : سطح مقطع ورق کناری در ارتفاع مورد بررسی، $\pi D t$ (mm²)

t : ضخامت ورق کناری در ارتفاع مورد بررسی (mm)

C : مقدار مجاز خوردگی (mm) (مقدار مجاز خوردگی داخل مخزن برابر با صفر فرض می‌شود).

E : مدول الاستیسیته طولی (N/mm²)

P_0 : فشار داخلی مخزن (MPa)

D : قطر متوسط مخزن (mm)

M_{Z1} و M_{Z2} به صورت زیر بدست می‌آید.

لنگرهای واژگونی ناشی از سیال بر پایین ورق کناری برابر با M_{O1} و M_{O2} است، که به صورت زیر بدست می‌آید:

$$M_{O1} = K_{MH} \times W \times X_1 \quad (N.mm) \quad (۱۳-۷)$$

$$M_{O2} = S(n) \times K_{M2} \times W_2 \times X_2 \quad (N.mm) \quad (۱۴-۷)$$

$$M_{Z1} = (1 - Z/H)^2 \times M_{O1} \quad (N.mm) \quad (۱۵-۷)$$

$$M_{Z2} = (1 - Z/H)^{1.3} \times M_{O2} \quad (N.mm) \quad (۱۶-۷)$$

W_1 : وزن مؤثر سیال ناشی از اثرات شتاب از شکل (۳-۷) (N)

W_2 : وزن مؤثر سیال در اثر تغییر مکان از شکل (۳-۷) (N)

X_1 : وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال ناشی از اثرات شتاب، شکل (۴-۷) (mm)

X_2 : وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال در اثر تغییر مکان، شکل (۴-۷) (mm)

$S(n)$: ضریب تشدید با ورودی n موج سینوسی، در این روابط $S(n) = 3\pi$

۲- کنترل واژگونی

لنگرهای واژگونی M_{1B} و M_{2B} ناشی از اثرات شتاب و تغییر مکان ناشی از زلزله و M_1' و M_2' لنگر مقاوم در برابر واژگونی می‌باشد که می‌توان آنها را با استفاده از رابطه‌های زیر بدست آورد.

$$M_{1B} = K_{MH} \times W_1 \times X_{1B} + K_{MH} \times W_T \times X_S \quad (N.mm) \quad (۱۷-۷)$$

$$M_{2B} = S(n) \times K_{M2} \times W_2 \times X_{2B} + K_{M2} \times W_T \times X_S \quad (N.mm) \quad (۱۸-۷)$$

$$M_1' = (W_L + W_T) \frac{D}{2} (1 - K_{MV}) + \sigma_n \frac{N_B \times A_B \times D}{4} \quad (N.mm) \quad (۱۹-۷)$$

$$M_2' = (W_L + W_T) \frac{D}{2} + \sigma_n \frac{N_B \times A_B \times D}{4} \quad (N.mm) \quad (۲۰-۷)$$

W_1 : وزن مؤثر سیال ناشی از اثر شتاب، شکل (۴-۷) (N)

W_2 : وزن مؤثر سیال در اثر تغییر مکان، شکل (۵-۷) (N)

K_{M2} : ضریب زلزله افقی در اثر تغییر مکان ناشی از زلزله که که از رابطه (۱۱-۷) محاسبه می‌گردد.

W_L : وزن کل سیال (N)

W_T : وزن بدنه اصلی مخزن (N)

X_{1B} : وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال ناشی از اثرات شتاب، شکل (۶-۷) (mm)

X_{2B} : وزن مؤثر ارتفاع مرکز ثقل سیال ناشی از اثرات تغییر مکان، شکل (۶-۷) (mm)

X_S : فاصله مرکز ثقل کل مخزن تا نقطه مورد بررسی در جهت قائم (mm)

N_B : تعداد پیچ مهار

A_B : سطح مقطع پیچ مهار (mm^2)

σ_n : تنش کششی مجاز پیچ مهار (N/mm^2)

۳- مقاومت پیچ‌های مهار

تنش ایجاد شده σ ، در اثر بار ناشی از کشیدن پیچ، یا کلاف مهار (از این پس پیچ مهار نامیده می‌شود) را می‌توان به صورت تقریبی از رابطه (۲۱-۷) بدست آورد،

$$\sigma = \frac{4M_{1B}}{N_B \cdot D \cdot A_B} + \frac{\pi D^2 \cdot P_0}{4N_B \cdot A_B} - \frac{W_T(1 - K_{MV})}{N_B \cdot A_B} + \frac{M_b}{Z_b} \quad (N/mm^2) \quad (۲۱-۷)$$

K_{MV} : در هنگام تلاطم سیال برابر صفر فرض می‌شود.

M_{1B} : لنگر واژگونی ایجاد شده در اثر زلزله در پایین ورق کناری ($i=1,2$)

P_0 : فشار طراحی (فشار گاز) (MPa)

M_b : لنگر خمشی ایجاد شده ($N.mm$) به ازای هر یک از پیچ‌ها در اثر انقباض حرارتی مخزن. زمانیکه صلبیت پیچشی

در کلاف مهار کم باشد، قابل صرف نظر کردن است.

Z_b : مدول مقطع یک پیچ مهرای (mm^3)

K_{MV} : ضریب زلزله قائم (اصلاح شده)

۴- بررسی لغزش مخزن

در حالت کلی، نیروی مقاوم در برابر لغزش، نیروی اصطکاک از ضرب وزن مخزن در ضریب اصطکاک استاتیکی بدست می‌آید. در این حالت زلزله قائم در تراز زمین به علت اثر کاهشی در وزن مخزن در نظر گرفته می‌شود.

نیروی افقی F_1 ، F_2 و نیروی مقاوم F_1' ، F_2' ناشی از اثرات دینامیکی زلزله و تغییر مکان ناشی از زلزله از رابطه‌های زیر بدست می‌آید.

$$F_1 = K_{MH}(W_1 + W_T) \quad (N) \quad (22-7)$$

$$F_2 = S(n) \times K_{M2} \times W_2 + K_{M2} \times W_T \quad (N) \quad (23-7)$$

$$F_1' = (W_L + W_T) \cdot \mu \cdot (1 - K_{MV}) + \frac{1}{2} T_n \cdot N_B \cdot A_B \quad (N) \quad (24-7)$$

$$F_2' = (W_L + W_T) \cdot \mu + \frac{1}{2} T_n \cdot N_B \cdot A_B \quad (N) \quad (25-7)$$

K_{MH} , K_{M2} , W_1 , W_2 , W_T , $S(n)$, N_B , A_B : مشابه روابط پیشین.

T_n : تنش برشی مجاز پیچ مهرای (N/mm^2)

μ : ضریب اصطکاک کف مخزن با پی

K_{MV} : ضریب زلزله قائم در سطح زمین

۵- کنترل کمانش فشاری

۵-۱- مقاومت کمانش ورق کناری مخزن

تنش فشاری σ ایجاد شده در اثر بار زلزله در ورق کناری مخزن خارجی، باید کمتر از تنش مجاز کمانش σ_c نشان داده شده در ادامه باشد.

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{4M_i}{AD} \quad (N/\text{mm}^2) \quad (26-7)$$

$$\sigma_c = \frac{0.2}{1.5} E \frac{t_{as} - C}{R} \quad (N/\text{mm}^2) \quad (27-7)$$

N : بار قائم با در نظر گرفتن ضریب زلزله قائم (N)

A : سطح مقطع ورق کناری در ارتفاع مورد بررسی (N)

M_i : لنگر خمشی وارد بر ورق کناری ناشی از بار زلزله در ارتفاع مورد بررسی $i=1,2$ ($N.\text{mm}$)

t_{as} : ضخامت واقعی ورق کناری مخزن خارجی (mm)

C : مقدار مجاز خوردگی (mm)

۵-۲- مهار مخزن

تنش ایجاد شده در اثر بار زلزله در مهار مخزن باید کمتر از تنش مجاز باشد.

$$\sigma = Q / A_p \quad (N/mm^2) \quad (28-7)$$

$$Q = F + \frac{4M_o}{D_1 N} \quad (N) \quad (29-7)$$

Q : بار وارد بر مهار (N)

M_o : لنگر واژگونی ایجاد شده در اثر شتاب (N.mm)

D_1 : قطر داخلی مخزن (mm)

N : تعداد مهارها

F : بار وارد بر مهار در حالت بهره‌برداری عادی (N)

A_p : سطح مقطع مهار (mm²)

۲-۲-۲-۷- طراحی به روش شکل‌پذیر

در طراحی به روش شکل‌پذیری، مقاومت هر یک از اجزای مخزن باید به صورت زیر باشد:

۱- مخزن داخلی

۱-۱- طراحی باید به گونه‌ای انجام شود تا ضریب شکل‌پذیری به دست آمده، از ضریب شکل‌پذیری مجاز بیشتر نشود.

۲-۱- ارزیابی مخزن داخلی با مد اول غالب و با استفاده از روش انرژی انجام می‌شود.

۳-۱- روش انرژی شامل روش‌های ضریب شکل‌پذیری، روش ظرفیت باربری می‌باشد.

۴-۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در مدهای خرابی زیر:

الف) ورق کناری مخزن داخلی

- کماتش ورق

ب) مهار مخزن داخلی

- تسلیم مهار

ج) افشانه مخزن داخلی

- خرابی افشانه

۲- مخازن خارجی

بر اساس بندهای ۱-۱ و ۲-۱ و بر اساس مد خرابی زیر ارزیابی می‌شود.

- کماتش ورق کناری

۳- قاب سیلندر پمپ

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مهار سقف و ورق‌های کناری مخزن داخلی در قاب سیلندر پمپ، باید با استفاده از روشی مناسب برای تحلیل پاسخ قاب سیلندر پمپ، انجام شود.

۴- عایق سرد

باید به گونه‌ای طراحی گردد تا تنش ناشی از زلزله از مقدار تنش مجاز بیشتر نشود.

در بخش‌هایی که ضریب شکل پذیری داده نشده است، کرنش و تنش تا حد تسلیم در نظر گرفته می‌شود. یعنی تنش تا حد تنش تسلیم و کرنش تا حد کرنش تسلیم در نظر ملحوظ می‌گردد. برای توضیحات بند ۷-۲-۲ به پیوست ۲ مراجعه شود.

۷-۲-۳- کمیت‌های مجاز

کمیت‌های مجاز در بند ۴-۳ مربوط به مصالح به دست می‌آید.

۷-۲-۴- معیار پذیرش

۷-۲-۴-۱- روش تنش مجاز (سطح خطر-۱)

مقاومت اجزای مخزن در طراحی به روش تنش مجاز به اصول زیر بستگی دارد.

۱- مقاومت اجزایی از قبیل ورق‌های کناری و کف

تنش ایجاد شده در این اجزا در اثر زلزله بهره‌برداری در سطح خطر-۱، باید از مقدار تنش مجاز کمتر باشد. در مورد ورق‌های کناری تنش محوری فشاری به وجود آمده نباید از تنش مجاز حد کماتش، بیشتر باشد.

۲- بررسی واژگونی مخزن

لنگر واژگونی ایجاد شده در اثر تلاطم و شتاب ناشی از زلزله، نباید از لنگر مقاوم بیشتر باشد.

۳- مقاومت اجزایی از قبیل پیچ‌های مهری

تنش ایجاد شده در پیچ یا تسمه مهری در هنگام زلزله نباید از تنش مجاز مربوطه بیشتر شود.

۴- بررسی لغزش مخزن

نیروی افقی ناشی از زلزله تلاطم و شتاب ناشی از زلزله، نباید از مقاومت در برابر لغزش جانبی بیشتر شود.

۵- مقاومت سقف

تنش ایجاد شده در غلاف و اسکلت سقف، و ورق خم دور کف مخزن در اثر بار لرزه‌ای باید به گونه‌ای باشد که از مقدار تنش مجاز بیشتر نشود.

۶- مخزن خارجی

تنش ایجاد شده ورق کناری پوشش سقف، اسکلت سقف و مهار، در اثر زلزله نباید از تنش مجاز بیشتر شود.

۷- قاب سیلندر پمپ

تنش ایجاد شده در این عضو در اثر زمین‌لرزه نباید از تنش مجاز بیشتر شود.

۸- عایق سرد

تنش ناشی از زلزله نباید از تنش مجاز بیشتر شود.

۷-۲-۴-۲- روش شکل پذیر (سطح خطر-۲)

مقاومت اجزای مخزن به روش شکل پذیر با توجه به اصول زیر تعیین می گردد.

۱- مخزن داخلی

ضریب شکل پذیری محاسباتی در مدهای آسیب زیر در سطح خطر-۲، نباید از ضریب شکل پذیری مجاز بیشتر شود:

۱-۱- کمانش ورق کناری

۱-۲- تسلیم مهار مخزن داخلی

۱-۳- خرابی افشانه مخزن داخلی

۲- مخزن خارجی

طراحی با روشی مانند بند ۱ انجام می شود و ارزیابی عملکرد لرزه‌ای بر اساس مد خرابی کمانش ورق کناری آن می باشد.

فصل ۸

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

لوله کشی نیروگاهی

۸-۱- سطح عملکرد سیستم‌های لوله‌کشی

- در سطح خطر ۱ نباید آسیبی به سیستم لوله‌کشی بین تجهیزات وارد شده و باید بی وقفه مورد بهره‌برداری قرار گیرند.
- در سطح خطر ۲ نباید نشی صورت گیرد. سایر آسیب‌ها باید بحدی ناچیز باشد که با حداقل وقفه مجدداً قابل بهره‌برداری باشند.
- لوله‌کشی اصلی بویلر، توربین، مخازن سوخت نفت و گاز، باید بتواند نیروی ناشی از زلزله را به سازه تکیه‌گاهی، انتقال دهد.
 - لوله‌های بین تجهیزاتی نباید در اثر شتاب و تغییر مکان نسبی ناشی از زلزله آسیب‌دیده و محتویات آن به بیرون نشت کند.

۸-۲- بارگذاری لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی

۸-۲-۱- لوله‌کشی روزمینی

- الف (لوله‌کشی اصلی بویلر و توربین
- بارگذاری لرزه‌ای لوله‌کشی بویلر و توربین بخار به روش شبه استاتیکی انجام شود.
- ب (لوله‌کشی مخازن سوخت
- بار برای لوله‌های با درجه اهمیت زیاد، از روش شبه استاتیکی اصلاح شده، روش طیفی یا روش تاریخچه زمانی، انجام می‌شود.
- در صورتی که از موج لرزه‌ای مناسب استفاده شود و در تحلیل، میرایی مناسب در نظر گرفته شود، می‌توان از روش تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی، استفاده کرد.
- در سیستم لوله‌کشی با درجه اهمیت متوسط و کم، وقتی طراحی به روش پاسخ تکیه‌گاه لوله‌کشی (ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساده شده) انجام می‌شود، نیازی به تحلیل پاسخ و تغییر مکان پاسخ نیست.
- در بارگذاری لرزه‌ای به موارد زیر باید توجه نمود:
- ۱- روش شبه استاتیکی اصلاح شده
 - ۱-۱- در روش شبه استاتیکی اصلاح شده، لوله با فرض رفتار تیر و شرایط تکیه‌گاهی مربوطه، مدل می‌شود.
 - ۱-۲- باید انعطاف‌پذیری لازم در مقابل تغییر مکان سازه تکیه‌گاهی، مخزن یا ماشین‌آلات تامین گردد.
 - ۱-۳- تنش قفسه نگهدارنده (شامل پیچ مهار) تحت عکس‌العمل در نقطه تکیه‌گاهی باید کنترل شود.
 - ۲- روش دینامیکی
 - ۱-۲- در روش دینامیکی، مدلسازی حتی‌المقدور باید منطبق با شرایط واقعی باشد.
 - ۲-۲- اگر در مقایسه با وزن سیستم سازه نگهدار (یا مخزن یا ماشین‌آلات)، وزن لوله‌کشی به قدر کافی کم باشد (کمتر از ده درصد وزن سیستم)، نیروی لرزه‌ای با استفاده از قسمت ۲-۳ یا ۲-۴ محاسبه می‌شود.

- ۳-۲- زمانیکه فرکانس طبیعی لوله کشی بسیار بالاتر از فرکانس طبیعی غالب سیستم سازه نگهدار (بیش از ۱۰ برابر) است، نیروی لرزه‌ای از ضرب جرم در حداکثر شتاب پاسخ لوله کشی در محل نصب، بدست می‌آید.
- ۴-۲- برای مواردی به غیر از بند ۳-۲، نیروی لرزه‌ای با در نظر گرفتن رفتار دینامیکی لوله کشی، محاسبه می‌شود.
- ۵-۲- اگر وزن لوله کشی در مقایسه با وزن سیستم سازه نگهدار قابل صرف نظر (کمتر از ده درصد وزن سیستم نگهدار) کردن نباشد، لوله کشی و سازه نگهدار به صورت یک سیستم مرکب، تحلیل می‌گردد.

- ثابت میرایی لوله کشی ۵٪ یا کمتر فرض می‌شود.
- برای روش طراحی دینامیکی، نیروی طراحی با استفاده از طیف پاسخ کف سازه تکیه‌گاهی تعیین می‌شود.

۸-۲-۲- لوله کشی زیرزمینی

طراحی لرزه‌ای لوله زیرزمینی ترجیحاً براساس روش پاسخ تغییر مکان انجام می‌شود.

ارزیابی لوله زیرزمینی با درجه اهمیت زیاد یا خیلی زیاد و براساس کرنش ایجاد شده در لوله انجام می‌شود. در مناطق با احتمال جابجایی بزرگ ناشی از روانگرایی و تغییر مکان افقی ناشی از جابجایی جانبی زمین شیبدار وجود دارد، مطالعات مناسب باید انجام شود.

۸-۳- محاسبات سیستم لوله کشی در بویلر و توربین بخار

۱- لوله کشی اصلی بویلر

۱-۱- در صورت اعمال نیروی لرزه‌ای، مقدار تنش ایجاد شده باید رابطه‌های (۱-۸) و (۲-۸) را ارضا کند.

$$S_L = \frac{PD_0}{4t_n} \left(\text{or } \frac{Pd^2}{D_0^2 + d^2} \right) + \frac{1000(0.75 \times i_c)M_A}{Z} \leq 1.0 S_h \quad (1-8)$$

$$S_L = \frac{PD_0}{4t_n} \left(\text{or } \frac{Pd^2}{D_0^2 + d^2} \right) + \frac{1000(0.75 \times i_c)M_A}{Z} + \frac{1000(0.75 \times i_c)M_B}{Z} \leq 1.2 \times S_h \quad (2-8)$$

S_L : مقدار تنش ایجاد شده در اثر فشار داخلی، وزن لوله‌ها و سایر بارهای بهره‌برداری (N/mm^2)

P : فشار طرح (MPa)

D_0 : قطر خارجی لوله (mm)

d : قطر داخلی لوله (mm)

t_n : ضخامت اسمی لوله (mm)

Z : مدول مقطع (mm^3)

M_A : لنگر ترکیبی ایجاد شده در اثر وزن لوله در امتداد مقطع و سایر بارهای بهره‌برداری (N.m)

i_c : ضریب تمرکز تنش، از جدول ۱۹ پیوست محاسبه می‌گردد.

M_B : لنگر ترکیبی ایجاد شده در اثر بارهای متغیر مانند نیروی عکس‌العمل جت شیر اطمینان در مقطع لوله، فشار، نوسان سرعت جریان و نیروی لرزه‌ای ($N.m$)

S_h : مقاومت کششی مجاز در دمای طراحی مصالح (N/mm^2)

۲-۳ در حالتی که تنش ناشی از جابجایی نسبی در نظر گرفته می‌شود، رابطه (۳-۸) باید ارضا شود.

$$S_E = \frac{100Q(i_c \cdot M_C)}{Z} \leq S_A + S_h - S_L \quad (3-8)$$

S_E : تنش ناشی از بار در لوله (N/mm^2)

M_C : لنگر ترکیبی ایجاد شده در اثر تغییرمکان نسبی ناشی از زلزله و انبساط حرارتی بین اتصالات ($N.m$)

S_A : برابر $1.25S_c + 0.25S_h$ فرض می‌شود.

S_c : مقاومت کششی مجاز در دمای عادی مصالح (N/mm^2)

۲- لوله کشی اصلی توربین

بهتر است لوله کشی اصلی و لوله کشی آب فرعی توربین بر اساس بندهای زیر انجام شود.

۲-۱- لوله کشی اصلی

لوله کشی اصلی توربین باید در محل اتصال با توربین بر اساس روش استفاده شده در لوله کشی اصلی بویلر طراحی شود. لوله کشی‌های زیر لوله کشی اصلی به شمار می‌روند:

الف) لوله کشی‌هایی که اتصال دهنده سوپاپ بخار به بدنه اصلی توربین هستند.

ب) لوله کشی‌هایی که توربین با فشار متوسط را به توربین با فشار کم اتصال می‌دهند.

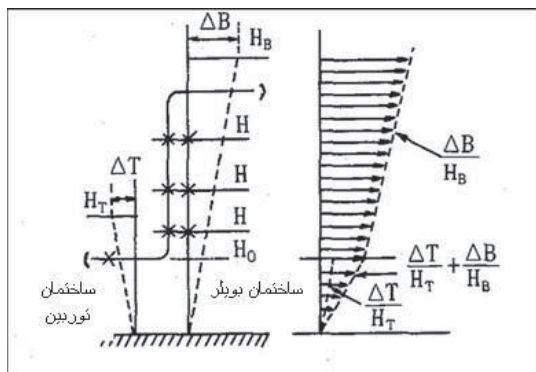
۲-۲- لوله کشی آب فرعی

شامل لوله کشی آب دریا برای کندانسور، خنک کننده مبدل حرارتی آب به استثنای لوله‌های با قطر کم می‌باشد.

لوله کشی آب فرعی بدون حفاظ باید طراحی لرزه‌ای شود تا مقاومت کافی را برای تحمل نیروی لرزه‌ای داشته باشد.

انتظار می‌رود خط لوله دارای تغییرمکان نسبی بزرگی در طول مسیر بوده و با قضاوت طراح به حد کافی مهار شده و نقاط تکیه‌گاهی آن بالای قسمت اتصال با دقت طراحی شده است.

- لوله کشی اصلی بویلر شامل لوله بخار اصلی، لوله بازگرمکن با دمای بالا و پایین و لوله اصلی آب می‌شود.
 - بسیاری از آسیب‌های وارده به لوله کشی اصلی بویلر در زلزله از تغییرمکان نسبی سازه‌های نگهدارنده لوله کشی سرچشمه می‌گیرد. بنابراین، برای طراحی لرزه‌ای لازم است که تغییرمکان بین تکیه‌گاه‌ها در نظر گرفته شود.
 - باید پریود طبیعی لوله‌ها و تکیه‌گاه‌ها به منظور اجتناب از پدیده تشدید ارتعاش مورد توجه طراح قرار گیرد.
- نیروی لرزه‌ای لوله کشی اصلی بویلر با استفاده از ضریب اصلاح مربوط به ارتفاع یا با فرض مقادیر متوسط یکنواخت به علت تغییر محدوده ارتفاع نصب، محاسبه می‌شود.
- در مطالعه، تغییرمکان نسبی بین اتصالات در لوله کشی اصلی بویلر، تغییرمکان نسبی بین ساختمان بویلر و ساختمان توربین باید در نظر گرفته شود. مقدار تغییرمکان نسبی از رابطه (۴-۸) بدست می‌آید.



شکل ۸-۱ تغییر مکان نسبی بین ساختمان بویلر و توربین

$$\Delta = \left(\frac{\Delta T}{H_T} + \frac{\Delta B}{H_B} \right) H_0 + \frac{\Delta B}{H_B} (H - H_0) \quad (۴-۸)$$

Δ : مقدار تغییر مکان نسبی (mm)

ΔT : تغییر مکان ساختمان توربین (mm)

ΔB : تغییر مکان ساختمان بویلر (mm)

H_T : ارتفاع ساختمان توربین (m)

H_B : ارتفاع ساختمان بویلر (m)

H_0 : ارتفاع نزدیکترین محل اتصال لوله کشی ساختمان بویلر به ساختمان بویلر (m)

H : ارتفاع محل محاسبه تغییر مکان (m)

در صورت مشخص نبودن مقادیر T و B ، مقدار داخل پرانتز عبارت اول رابطه (۴-۸) را می‌توان تقریباً ۱۰۰ میلیمتر بر ۳۰ متر و $\Delta B/H_B$ عبارت دوم را ۱۶۰ میلیمتر بر ۶۰ متر در نظر گرفت.

ضریب f برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود زیرا فرکانس شروع/ پایان معمول نیروگاه در حدود ۷۰۰۰ بار یا کمتر، می‌باشد. ارزیابی طراحی لرزه‌ای لوله کشی اصلی بویلر مطابق با ASME - B31.1 - 2001 EDITION انجام می‌شود.

عبارت داخل پرانتز رابطه (۴-۸) و (۵-۸) برای لوله جدار ضخیم و مطابق با بخش III، ASTM بکار می‌رود.

لوله کشی توربین بخار: طراحی لرزه‌ای لوله کشی توربین بخار، باید براساس روش طراحی لوله کشی اصلی بویلر صورت پذیرد.

۸-۴- محاسبات سیستم لوله کشی مخازن سوخت

۱- کلیات

بارهای زیر باید به عنوان بارهای مؤثر در طراحی لرزه‌ای در نظر گرفته شود.

- وزن خود لوله کشی و تاسیسات الحاقی
- وزن محتویات لوله کشی
- فشار داخلی لوله کشی

• اثرات لرزه‌ای

• سایر بارها

تنش محاسباتی از مجموع تنش ناشی از بار بهره‌برداری و تنش ناشی از بار لرزه‌ای در نامساعدترین حالت بدست می‌آید.

مواردی که در طراحی لرزه‌ای باید در نظر گرفته شود عبارتست از:

۱-۱- محاسبات نمونه براساس شکل، مصالح، سازه و شرایط بهره‌برداری بصورت طبقه‌بندی انجام شده است. حالت ارتعاش سایر لوله‌کشی‌ها را می‌توان از نتیجه محاسبات مربوطه تخمین زده و نیازی به محاسبات لرزه‌ای جداگانه نمی‌باشد.

۲-۱- سیستم لوله‌کشی به صورت یک تیر و شرایط تکیه‌گاهی مدل می‌شود.

۳-۱- زمانیکه امکان ایجاد تنش ناشی از تغییر مکان بزرگ وجود دارد، لوله‌کشی باید دارای انعطاف‌پذیری کافی باشد.

۴-۱- برای پیشگیری از افت سازه تکیه‌گاهی، باید از تجهیزات پیشگیری از افت استفاده گردد.

۵-۱- تنش ناشی تغییر مکان نسبی بین نقاط نصب مانند سازه تکیه‌گاهی، مخزن و ماشین‌آلات باید کنترل شود.

۶-۱- برای جلوگیری از هرگونه آسیب و نشت، اتصال بین لوله و مخزن باید بتواند جابجائی‌های نسبی احتمالی بین آنها را براحتی جذب نمایند.

۲- محاسبه تنش در حالت بهره‌برداری عادی

۱-۲- تنش پیرامونی ایجاد شده در اثر فشار داخلی در لوله‌کشی با استفاده از رابطه (۵-۸) بدست می‌آید.

$$\sigma_{ci} = \frac{P_i(D - t + c)}{2(t - c)} \quad (5-8)$$

σ_{ci} : تنش پیرامونی ایجاد شده در اثر فشار داخلی در لوله‌کشی (N/mm^2)

P_i : حداکثر فشار بهره‌برداری (MPa)

D : قطر خارجی لوله‌کشی (mm)

t : ضخامت واقعی لوله‌کشی (mm)

c : ضخامت خوردگی سطح داخلی (mm)

۲-۲- تنش پیرامونی ایجاد شده در اثر فشار زمین یا بار ترن یا خودرو در لوله‌کشی از رابطه (۶-۸) بدست می‌آید.

$$\sigma_{CO} = \frac{D_1 \cdot K_B \cdot W \cdot R \cdot E \cdot I_t + \alpha \cdot W \cdot K_{HS} \cdot R^5 + 2\beta \cdot D_1 \cdot K_x \cdot W \cdot P_i \cdot R_4}{E \cdot I_t + 0.061 K_{HS} \cdot R^4 + 2P_i \cdot D_1 \cdot R^3 \cdot K_x} \cdot \frac{1}{Z_t} \quad (6-8)$$

σ_{CO} : تنش پیرامونی ایجاد شده در اثر فشار زمین یا بار ترن یا خودرو در لوله‌کشی (N/mm^2)

D_1 : ضریب خیز مربوط به زمان (۱ برای زمین نوع I، جایگزین شده است، ۱/۵ برای سایر انواع زمین)

K_B : مقدار بدست آمده از جدول (۱-۸)

جدول ۸-۱ K_x و K_B با توجه به شرایط بستر

شرایط بستر	K_B	K_x
بستر به مقدار کافی متراکم	۰/۱۲۵	۰/۰۸۳
بستر عادی	۰/۱۳۸	۰/۰۸۹

W : فشار زمین یا بار ترن یا خودرو (N/mm)

R : شعاع لوله کشی (mm)

E : مدول یانگ لوله کشی (N/mm²)

I_t : لنگر دوم سطح دیواره لوله کشی (شکل ۸-۲) (mm⁴/mm)

α : مقدار بدست آمده از رابطه (۸-۷)

$$\alpha = 0.061 \times D_1 \times K_B - 0.082 \times K_x \quad (۸-۷)$$

K_{HS} : ضریب عکس‌العمل افقی (N/mm²)

β : مقدار بدست آمده از رابطه (۸-۸)

$$\beta = D_1 \times K_B - 0.125 \quad (۸-۸)$$

P_i : حداکثر فشار بهره‌برداری (MPa)

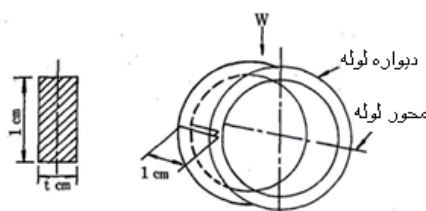
K_x : مقدار بدست آمده از جدول (۸-۱)

Z_t : مدول مقطع دیواره لوله (شکل ۸-۲) (mm³/mm)

I_t و Z_t از رابطه‌های (۸-۹) و (۸-۱۰) بدست می‌آید.

$$I_t = \frac{1}{12} t^3 \quad (\text{mm}^4/\text{mm}) \quad (۸-۹)$$

$$Z_t = \frac{1}{6} t^2 \quad (\text{mm}^3/\text{mm}) \quad (۸-۱۰)$$



شکل ۸-۲ مقطع لوله

تنش محوری ایجاد شده در لوله کشی در اثر فشار داخلی در مواردیکه تغییرمکان محوری مقید نمی‌باشد با استفاده از رابطه (۸-۱۱) و در مواردیکه تغییرمکان محوری مقید می‌باشد از رابطه (۸-۱۲) بدست می‌آید.

$$\sigma_{li} = \frac{P_i(D - t + c)}{4(t - c)} \quad (۸-۱۱)$$

$$\sigma_{li} = v \cdot \frac{P_1(D - t + c)}{2(t - c)} \quad (۱۲-۸)$$

σ_{li} : تنش محوری ایجاد شده در اثر فشار داخلی لوله کشی (N/mm^2)

P_1 : حداکثر فشار بهره‌برداری (MPa)

v : ضریب پواسون لوله کشی

۳-۲- تنش محوری ایجاد شده در اثر بار ترن یا خودرو در لوله کشی با استفاده از رابطه (۱۳-۸) بدست می‌آید.

$$\sigma_{10} = \frac{0.322 W}{Z_p} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_p}{K_{SV} \cdot D}} \quad (۱۳-۸)$$

σ_{10} : تنش محوری ایجاد شده در اثر بار ترن یا خودرو در لوله کشی (N/mm^2)

W : بار ترن یا خودرو (N/mm)

Z_p : مدول مقطع لوله کشی (mm^3)

E : مدول یانگ لوله کشی (N/mm^2)

I_p : لنگر دوم سطح لوله کشی (mm^4)

K_{SV} : ضریب عکس‌العمل در راستای قائم (N/mm^3)

۳- روش محاسبه تنش در زلزله

منظور از اثرات زلزله، نیروی اینرسی، فشار زمین، فشار دینامیکی آب، شناوری و تغییر مکان زمین ناشی از زمین‌لرزه است.

۳-۱- برای لوله روزمینی

الف) نیروی اینرسی در زلزله

نیروی اینرسی، در راستای محور لوله و راستای عمود بر محور لوله در صفحه افقی، اعمال می‌شود.

ب) فشار دینامیکی آب در اثر زلزله

فشار دینامیکی آب در زلزله از رابطه‌های (۱۴-۸) و (۱۵-۸) بدست می‌آید.

$$P_{W1} = 0.785 \times K_{SH} \times \gamma_w \times D^2 \quad (۱۴-۸)$$

$$P_{W2} = 0.785 \times K_{SV} \times \gamma_w \times D^2 \quad (۱۵-۸)$$

P_{W1} : فشار دینامیکی افقی آب ناشی از زلزله (N/m)

P_{W2} : فشار دینامیکی قائم آب ناشی از زلزله (N/m)

γ_w : وزن مخصوص آب (N/m^3)

راستای P_{W1} راستای افقی عمود بر محور لوله و راستای P_{W2} راستای قائم عمود بر محور لوله و همراهی

نیروی اینرسی می‌باشد.

۳-۲- برای لوله مدفون

الف) فشار زمین در زلزله

فشار زمین در زلزله از رابطه (۸-۱۶) بدست می‌آید. فشار زمین بر لوله‌کشی متکی بر شمع‌ها در زلزله از رابطه (۸-۱۷) بدست می‌آید.

$$W_s = \gamma_s \times h \times D \times (1 + K_v) \quad (8-16)$$

$$W_s = \frac{1}{K} \cdot (e^{\frac{K \cdot h}{D}} - 1) \cdot \gamma_s \cdot D^2 (1 + K_v) \quad (8-17)$$

W_s : فشار زمین (N/mm)

γ_s : چگالی مرطوب زمین (N/mm³)

h : عمق مدفون لوله‌کشی (mm)

e : لگاریتم طبیعی (عدد نپر)

K : ثابت، ۰/۴ برای خاک نوع I و II و ۰/۸ برای سایر انواع خاک

K_v : ضریب زلزله قائم در تراز زمین

بارهای ملحوظ شده بصورت زیر است:

۱- فشار داخلی، حداکثر فشار داخلی فرض می‌شود.

۲- فشار خاک بر بالای لوله مدفون در نظر گرفته می‌شود.

۳- فشار هیدرولیکی برابر با فشار هیدرواستاتیک فرض می‌گردد.

۴- بار ترن از رابطه (۸-۱۸) بدست می‌آید. اگر همزمان ۲ خط ترن باشد، بار ترن هر خط اضافه و اعمال می‌شود.

$$W_t = \frac{P_t \cdot D}{B_t (B_s + 2h_p \cdot \tan \theta)} \cdot (1 + i_t) \quad (8-18)$$

W_t : بار ترن (N/mm)

P_t : بار محور (چرخ) (N)

B_t : عرض چرخ (mm)

B_s : طول تراورس (mm)

h_p : فاصله بین سطح فوقانی لوله و سطح زمین (mm)

θ : زاویه توزیع بار محور (چرخ) (درجه)

i_t : ضریب ضربه که از جدول (۸-۲) بدست می‌آید.

جدول ۸-۲ ضریب ضربه ترن

i_t ضریب ضربه	h_p (mm)
0.75	$h_p < 1500$
$0.9 - 0.0001h_p$	$1500 \leq h_p \leq 9000$
0	$9000 < h_p$

۵- بار خودرو از رابطه (۸-۱۹) بدست می‌آید.

$$W_m = \frac{29.1D}{100 + h_p \cdot \tan \theta} \cdot (1 + i_c)(N/mm) \quad (۸-۱۹)$$

W_m : بار خودرو (N/mm)

θ : زاویه توزیع بار چرخ عقب خودرو (درجه)

i_c : ضریب ضربه که از جدول (۸-۳) بدست می‌آید.

جدول ۸-۳ ضریب ضربه خودرو

i_c ضریب ضربه	h_p (mm)
0.75	$h_p < 1500$
$0.65 - 0.0001h_p$	$1500 \leq h_p \leq 6500$
0	$6500 < h_p$

۸-۵- محاسبات سیستم لوله کشی مخازن سوخت گاز طبیعی مایع

۸-۵-۱- مراحل ارزیابی لرزه‌ای لوله کشی

در مواردیکه اهمیت سازه کم است، نیازی به استفاده از روش طراحی لرزه‌ای نبوده و طراحی با استفاده از روش‌های ارزیابی ساده شده تکیه‌گاه لوله کشی (روش دهانه مجاز لوله) انجام می‌شود. لیکن طراحی لرزه‌ای باید برای لوله‌های زیر انجام شود:

- لوله با قطر خارجی ۴۵ میلیمتر یا بیشتر
- محتویات لوله ۳ مترمکعب یا بیشتر
- لوله متصل به برج‌ها و مخازن

۸-۵-۲- روش ارزیابی ساده شده (روش دهانه مجاز لوله)

اگر درجه اهمیت سازه متوسط یا کم باشد، می‌توان از این روش استفاده نمود. در این روش اگر طول دهانه لوله کمتر از طول دهانه مجاز بوده و برای لوله در تکیه‌گاه‌های مختلف، ظرفیت جذب تغییرمکان بیشتر از تغییرمکان نسبی سازه باشد، عملکرد لرزه‌ای قابل قبول می‌باشد.

روش دهانه مجاز در موارد زیر بکار می‌رود.

۱- ارزیابی عملکرد باید در هر مقطع لوله کشی بین دو نقطه اتکای ثابت اعمال شود. اما اگر مقطع لوله کشی مشخص

نباشد، باید ارزیابی در اولین نقطه اتکای نزدیک به مقطع بکار برده شده، انجام شود.

۲- دهانه‌های زیر با استفاده از روش دهانه مجاز ارزیابی می‌شود.

- طولانی‌ترین دهانه سیستم لوله کشی

• دهانه لوله با بار متمرکز

- ۳- اگر تکیه‌گاه‌ها متعدد باشد، ظرفیت جذب تغییرمکان نسبی باید ارزیابی شود.
- ۴- 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.
- ۵- ارزیابی بندهای ۲ تا ۴ در هر سه راستا انجام می‌شود (دو راستای افقی و یک راستای قائم).
- ۶- اگر دهانه لوله دارای اتصال انبساطی باشد، ارزیابی ظرفیت تغییرمکان اتصال مربوطه نیز باید انجام شود.

۸-۵-۲-۱- معیار دهانه مجاز

لوله در سه راستا، دو راستای عمود و یک راستای موازی با محور لوله‌کشی، باید در برابر زلزله مهار شود. طول لوله‌کشی بین تکیه‌گاه‌های مجاور (طول دهانه لوله) که عملکرد تکیه‌گاهی موثری در راستای زلزله دارد، نباید از طول دهانه مجاز متناظر، بیشتر باشد.

معیار پذیرش روش دهانه مجاز در رابطه (۸-۲۰) نشان داده می‌شود.

$$L_{ps} \leq L_a$$

(۸-۲۰)

L_{ps} : طول دهانه لوله، محاسبه شده توسط پیوست ۳-۱. (m)

L_a : طول مجاز دهانه محاسبه شده توسط پیوست ۳-۱. (m)

۸-۵-۲-۲- ظرفیت تغییرمکان

تغییرمکان نسبی لوله‌کشی بین تکیه‌گاه‌ها نباید از ظرفیت جذب تغییرمکان آن تجاوز کند. زمانی که نقطه اتکای لوله بر تکیه‌گاه‌های مختلف باشد، ارزیابی ظرفیت تغییرمکان باید انجام شود. 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 اتکاء انشعاب باید انجام شود.

ارزیابی ظرفیت تغییرمکان به صورت زیر انجام می‌شود.

$$\Delta \leq \delta_a$$

(۸-۲۱)

Δ : تغییرمکان نسبی بین دو تکیه‌گاه یا بین شروع انشعاب و اولین تکیه‌گاه انشعاب لوله (mm)

δ_a : ظرفیت تغییرمکان دهانه لوله در راستای مورد طراحی است (mm)

۸-۵-۳- روش طراحی تنش مجاز

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با درجه اهمیت زیاد به روش تنش مجاز، با استفاده از تحلیل تفصیلی انجام می‌شود. در مواردیکه نمی‌توان از روش دهانه مجاز استفاده کرد، حتی اگر درجه اهمیت آن کم باشد روش تنش مجاز بکار می‌رود.

روند طراحی لرزه‌ای استاندارد سیستم لوله‌کشی در پیوست ۳-۲ نشان داده شده است.

۱- سیستم لوله‌کشی از لوله، تکیه‌گاه، پی، اتصال فلنجی، شیرها و اتصالات انبساطی، تشکیل شده است.

۲- موج لرزه‌ای از طریق پی به لوله کشی، تکیه‌گاه و لوله‌ها منتقل می‌شود. لرزش لوله از تکیه‌گاه آن به سازه تکیه‌گاهی و سپس به پی و زمین انتشار می‌یابد. برای ساده‌سازی، معمولاً تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی و لوله بطور جداگانه انجام می‌شود.

۳- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی تنها با در نظر گرفتن جرم لوله کشی در برابر موج زلزله انجام شده و شتاب و تغییر مکان در تکیه‌گاه لوله کشی محاسبه می‌شود.

۴- شتاب و تغییر مکان بدست آمده از تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی به عنوان مقادیر ورودی فرض شده، نیروی عکس‌العمل، لنگر و تنش هر بخش از لوله، افشانه‌ها و سازه تکیه‌گاهی و غیره بر اساس آن محاسبه می‌شود.

۵- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای با مقایسه تنش محاسبه شده و تنش مجاز طراحی لرزه‌ای، انجام می‌شود.

۸-۳-۱- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی

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 و وزن لوله کشی به عنوان بار به سازه تکیه‌گاهی لوله کشی وارد می‌شود. جزئیات تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله کشی در پیوست ۳-۳ توضیح داده شده است.

۸-۳-۲- تحلیل پاسخ سیستم لوله کشی

محاسبه تنش سیستم لوله کشی برای نیروی لرزه‌ای استاتیکی، تغییر مکان پاسخ تکیه‌گاه، فشار و وزن محرک انجام می‌شود. تحلیل با مدل کردن لوله به صورت تیر انجام می‌شود. نیروی لرزه‌ای استاتیکی اصلاح شده از رابطه‌های (۸-۲۲) و (۸-۲۳) بدست می‌آید.

$$F_{MH} = \beta_8 \mu K_{MH} W_H \quad (8-22)$$

$$F_{MV} = \beta_9 K_{MV} W_V \quad (8-23)$$

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

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

β_8 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی (جدول (۸-۴)) چنانچه سازه تکیه‌گاهی متصل به لوله برج یا مخزن از نوع سازه قابی باشد مقدار این جدول در ۲ ضرب می‌شود. این ضریب برای سازه تکیه‌گاهی لوله کشی برابر با ۲ می‌باشد.

β_9 : ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم سازه تکیه‌گاهی لوله کشی که برابر با ۲ فرض می‌شود.

K_{MH} : ضریب زلزله اصلاح شده افقی

K_{MV} : ضریب زلزله اصلاح شده عمودی

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (8-24)$$

$$K_{MV} = \beta_6 K_V \quad (8-25)$$

β_5 : تقویت پاسخ که در این رابطه برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود.

β_6 : تقویت پاسخ در جهت عمودی که در این رابطه برابر ۲ در نظر گرفته می‌شود.

W_H : وزن محرک (N)

W_V : وزن محتویات و وزن مرده لوله کشی وارد بر محلی که نیروی لرزه‌ای قائم اصلاح شده طراحی محاسبه می‌شود (N)

- تحلیل پاسخ سیستم لوله کشی براساس تغییرمکان پاسخ سازه تکیه‌گاه آن به روش تحلیل پاسخ تغییرمکان انجام می‌شود.
- در این روش تغییرمکان پاسخ تکیه‌گاهی، به عنوان تغییرمکان اجباری به لوله‌ها و ملحقات آنها اعمال می‌شود.
- مدل تحلیلی و نیروی لرزه‌ای طراحی اصلاح شده در پیوست ۳-۴ نشان داده شده است.

۸-۵-۳- محاسبه تنش لوله کشی

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

۱- فشار سیال، وزن محرک و نیروی لرزه‌ای

تنش راستای طولی ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروهای لرزه‌ای افقی و قائم برای بخش منحنی، محدوده انشعابی و بخش تکیه‌گاهی لوله کشی، از رابطه (۸-۲۶) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_\ell = \frac{\sqrt{(i_i M_i)^2 + (i_o M_o)^2}}{Z} + \left| \frac{F_T}{A_p} \right| \quad (۸-۲۶)$$

σ_ℓ : تنش راستای طولی ناشی از فشار، وزن و نیروی ناشی از زلزله (N/mm^2)

i_i : ضریب تشدید تنش درون صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال لوله (جدول ۱۹ پیوست)

i_o : ضریب تشدید تنش برون صفحه‌ای محاسبه شده با استفاده از روش مناسب بر حسب نوع اتصال لوله (جدول ۱۹ پیوست)

M_i : لنگر خمشی درون صفحه‌ای ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی لرزه‌ای افقی و قائم (پیوست ۳-۵) (N.mm)

M_o : لنگر خمشی برون صفحه‌ای ناشی از فشار سیال، وزن محرک، نیروی لرزه‌ای افقی و قائم (پیوست ۳-۵) (N.mm)

Z : مدول مقطع لوله که در آن محاسبات بدون در نظر گرفتن مقدار مجاز خوردگی انجام می‌شود. برای لوله انشعابی با قطرهای مختلف از رابطه (۸-۲۷) استفاده می‌شود. (mm^3)

$$Z = \pi(r_p)^2 t_s \quad (۸-۲۷)$$

r_p : شعاع متوسط لوله در محل خم (mm)

t_s : ضخامت موثر لوله دوخم. ضخامت مجاز خوردگی و صفحه تقویتی در نظر گرفته نمی‌شود. (mm)

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

A_p : سطح مقطع لوله. مقدار مجاز خوردگی نادیده گرفته می‌شود (mm^2)

۲- محدوده تنش تناوبی براساس نیروی لرزه‌ای

محدوده تنش تناوبی براساس نیروی لرزه‌ای افقی، قائم طراحی و جابجایی نقطه اتکای لوله کشی با استفاده از رابطه (۲۸-۸) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_E = 2 \frac{\sqrt{(i_1 M_i)^2 + (i_o M_o)^2 + M_t^2}}{Z} \quad (28-8)$$

σ_E : محدوده تنش تناوبی تنش خمشی براساس نیروی لرزه‌ای افقی، قائم و جابجایی تکیه‌گاه لوله کشی (N/mm^2)

M_t : لنگر پیچشی ناشی از نیروی لرزه‌ای افقی، قائم وارد و جابجایی تکیه‌گاه لوله کشی (پیوست ۳-۵) ($N.mm$)

۸-۵-۳-۴- ارزیابی تنش لوله کشی

اگر در طراحی لرزه‌ای تنش محاسبه شده از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای تجاوز نکند، ارزیابی قابل قبول می‌باشد. اگر تنش محاسبه شده بیش از تنش مجاز باشد، مشخصات طراحی، سازه و شرایط تکیه‌گاهی تغییر داده شده و ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکرار می‌شود.

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای لوله کشی در پیوست ۳-۶ نشان داده می‌شود.

۸-۵-۳-۵- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی

- ارزیابی نشت در اثر نیروی محوری و لنگر خمشی محاسبه شده از تحلیل پاسخ شتاب و تحلیل پاسخ تغییر مکان لوله کشی، در اطراف اتصال فلنجی باید انجام شود.

- ارزیابی نشت زمانی تایید می‌شود که تنش‌ها در اتصال فلنجی (تنش شعاعی و پیرامونی فلنج و تنش محوری مادگی لوله) کمتر از تنش مجاز باشد.

- می‌توان از ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی با درجه اهمیت کم صرف نظر کرد.

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 (۲۹-۸) بدست می‌آید.

$$P_e = \frac{4F_T}{\pi D_e^2} + \frac{16M}{\pi D_e^3} \quad (29-8)$$

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)

$$D_e = D_{gi} + 2(N_g - b_g) \quad (30-8)$$

D_{gi} : قطر داخلی واشر (mm)

N_g : عرض واشر (mm)

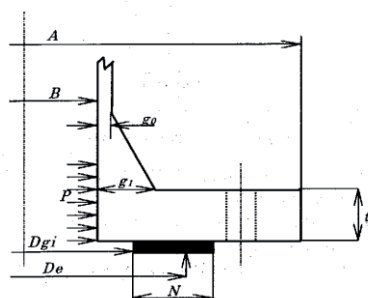
b_g : عرض موثر واشر (mm)

کل فشار معادل P_{eq} از رابطه (۳۱-۸) و با استفاده از فشار P_p سیال در لوله کشی و فشار معادل در زلزله بدست می‌آید.

$$P_{eq} = P_p + P_e \quad (۳۱-۸)$$

P_{eq} : کل فشار معادل (MPa)

P_p : فشار سیال در لوله (MPa)



شکل ۳-۸ فلنج با واشر مسطح

۲- محاسبه تنش (واحد همه تنش‌ها N/mm^2)

تنش در اتصال فلنجی در حالت بهره‌برداری محاسبه می‌شود.

برای محاسبه باروارد بر وجه (بر قطر) درونی فلنج در اثر بار کل H و فشار داخلی، فشار معادل کل استفاده می‌گردد. تنها فشار داخلی برای مطالعه بار بر وجه کششی، جاییکه باربری واشر در محاسبات بار فشاری کاهش یافته، بکار می‌رود.

تنش انواع مختلف فلنج مانند فلنج شل بدون مادگی لوله از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

- تنش محوری مادگی لوله

$$\sigma_H = 0 \quad (۳۲-۸)$$

- تنش شعاعی فلنج

$$\sigma_R = 0 \quad (۳۳-۸)$$

- تنش حلقوی فلنج

$$\sigma_T = \frac{YM}{t_f^2 B_f} \quad (۳۴-۸)$$

تنش فلنج با در نظر گرفتن مادگی لوله با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

- تنش محوری مادگی لوله

$$\sigma_H = \frac{fM}{Lg_1^2 B_f} \quad (۳۵-۸)$$

- تنش شعاعی فلنج

$$\sigma_R = \frac{(133t_e + 1)M}{Lg_1^2 B_f} \quad (۳۶-۸)$$

• تنش حلقوی فلنج

$$\sigma_r = \frac{YM}{t_f^2 B_f - Z\sigma_R} \quad (۳۷-۸)$$

B_f : قطر داخلی فلنج. زمانیکه 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

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

e : ضریب، برای فلنج یکپارچه $\frac{F}{h_o}$ و برای فلنج شل $\frac{F_L}{h_o}$

f : ضریب اصلاح تنش طوقه تعیین شده براساس مقدار g_1/g_0 و h_h/h_0 . به نمودار پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

F : ضریب تعیین شده براساس مقدار g_1/g_0 و h_h/h_0 . به پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

F_L : ضریب تعیین شده براساس مقدار g_1/g_0 و h_h/h_0 . به پیوست ۷-۳ 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 $(t_e + 1)/T + t_f^3/d$

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

T : ضریب تعیین شده براساس مقدار $K(=A/B_f)$. به پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

t_f : ضخامت فلنج (mm)

U : ضریب تعیین شده براساس مقدار $K(=A/B_f)$. به پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

V : ضریب تعیین شده براساس مقدار g_1/g_0 و h_h/h_0 . به پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

V_L : ضریب تعیین شده براساس مقدار g_1/g_0 و h_h/h_0 . به پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

Y : ضریب تعیین شده براساس مقدار $K(=A/B_f)$. به پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

Z : ضریب تعیین شده براساس مقدار $K(=A/B_f)$. به پیوست ۷-۳ مراجعه شود.

ارزیابی نشت با محاسبه تنش داخلی معادل با بار لرزه‌ای انجام می‌شود (از این پس "فشار داخلی معادل" نامیده می‌شود)، و تنش

ایجاد شده (تنش شعاعی در بال، تنش دایره‌ای در بال و تنش محوری در مرکز) در اتصال فلنجی در اثر فشار معادل که فشار اضافه

بر فشار داخلی معادل می‌باشد، باید کمتر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای باشد.

۸-۵-۳-۶- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیرها

- تنش در بخش ضعیف بدنه اصلی شیر و بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی زیاد از محور لوله، در اثر نیروی اینرسی ناشی از لرزه محاسبه می‌شود. اگر مقاومت شیر کافی باشد، عملکرد شیر ایمن در نظر گرفته می‌شود.

- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیر به این صورت است که تنش ایجاد شده در مقطع، بین بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی، مانند بدنه اصلی و محرک شیر، در اثر نیروی لرزه‌ای افقی طراحی وارد بر شیر باید کوچکتر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای باشد.

- برای شیرهای زیر، می‌توان از ارزیابی تنش محاسبه شده صرف‌نظر کرد.

- در صورتیکه سیستم لوله‌کشی دارای شیر، به روش دهانه مجاز طراحی شود.
- در صورتیکه بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی، مانند محرک‌ها، مهار شده باشد.
- در صورتیکه فرکانس طبیعی بدست آمده شیر ۲۰ هرتز یا بیشتر باشد.

- معیار فرکانس طبیعی شیر

اگر در شیر شرط $\frac{H_{VD}}{\sqrt{D_V}} \leq 40$ ارضا شود، فرکانس طبیعی ۲۰ هرتز یا بیشتر در نظر گرفته می‌شود.

H_{VD} : فاصله مرکز ثقل وجه فلنج تخت شیر تا جرم خارج از مرکز قسمت گردان شیر (mm)

D_V : حداقل عرض مصالح در بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی، مانند وجوه فلنج تخت و بخش‌های محرک شیر (mm)

برای شیرهای دستی بدون توجه به موارد بالا، ۲۰ هرتز فرض می‌شود.

۱- نیروی لرزه‌ای افقی اصلاح شده طراحی

نیروی لرزه‌ای افقی اصلاح شده طراحی وارد بر شیر از رابطه (۸-۳۶) محاسبه می‌شود.

$$F_{MH} = \beta_8 \mu K_{MH} W_H \quad (۸-۳۸)$$

اگر راستای میله شیر عمود بر راستای قائم زلزله باشد، نیروی طراحی به جای رابطه بالا از رابطه (۸-۳۷) بدست می‌آید.

$$F_{MH} = \beta_9 K_{MV} W_H \quad (۸-۳۹)$$

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

β_8 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی (جدول (۸-۴)) چنانچه سازه تکیه‌گاهی متصل به لوله برج یا مخزن از نوع سازه قابی

باشد مقدار این جدول در ۲ ضرب می‌شود. این ضریب برای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی برابر با ۲ می‌باشد.

جدول ۸-۴ ضریب بزرگنمایی پاسخ لوله‌کشی شیر

ضریب β_8	$H_{VD} / \sqrt{D_V}$
۱ (هرچند ارزیابی قابل صرف‌نظر کردن است)	۴۰ یا کمتر
$0.1H_{VD} / \sqrt{D_V} - 0.3$	۴۰-۶۰
۳	بیشتر از ۶۰

β_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.

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

۲- محاسبه تنش

تنش بخش‌های با خروج از مرکزیت وزنی و بخش‌های محرک شیر از رابطه (۸-۴۰) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_n = \frac{F_{MH} \cdot L_b}{Z} + \sigma_L \quad (۸-۴۰)$$

σ_n : بزرگترین تنش در مقطع بین بخش‌هایی با خروج از مرکزیت وزنی مانند بدنه‌های اصلی شیر بخش‌های محرک

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

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

Z : مدول مقطع (mm^3)

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

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 شیر از رابطه (۸-۳۹) بدست می‌آید:

$$\sigma_L = (F_p + F_m) \cdot \frac{4}{\pi(D_o^2 - D_i^2)} \quad (۸-۴۱)$$

F_p : نیروی ناشی از فشار داخلی (N)

$$F_p = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot P_p \quad (۸-۴۲)$$

F_m : نیروی خروجی از بخش محرک (N)

D_i : قطر داخلی مقطع (mm)

P_p : فشار سیال در بدنه اصلی شیر (MPa)

• در شیری که وزن بخش محرک آن زیاد و مرکز ثقل این بخش از محور لوله‌کشی دور است، به علت کاهش نسبی

فرکانس طبیعی، در بخش محرک در اثر زلزله نیروی زیادی ایجاد می‌شود.

• برای شیرهای با فرکانس طبیعی کمتر از ۲۰ هرتز، تنش در بخش ضعیف بین بدنه اصلی شیر و بخش‌های با خروج

از مرکزیت وزنی از محور لوله‌کشی برای نیروی اینرسی محاسبه و عملکرد لرزه‌ای ارزیابی می‌شود.

- اگر مقاومت به اندازه کافی باشد، عملکرد قطع جریان نیز ایمن فرض می‌شود.

۸-۵-۳-۷- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی

۱- محاسبه تنش

۱-۱- مقدار جابجایی محوری چین آکاردئون

تغییر مکان آکاردئون در تکیه‌گاه در اثر زلزله به صورت زیر تبدیل به جابجایی محوری چین‌های آن می‌شود:

$$e_{be} = e_x + e_y + e_\theta \quad (۴۳-۸)$$

الف) برای آکاردئون‌های ساده

$$e_x = \frac{x}{N_b} \quad (۴۴-۸)$$

$$e_y = \frac{3d_p y}{L_{lb} + x_c} \quad (۴۵-۸)$$

$$e_\theta = \frac{d_p \theta_A}{2N_b} \quad (۴۶-۸)$$

ب) برای آکاردئون دوتایی

$$e_x = \frac{x}{2N_b} \quad (۴۷-۸)$$

$$e_y = \frac{K_{bI} d_p y}{2N_b (L_{lb} - C_{bI} + 0.5x_c)} \quad (۴۸-۸)$$

e_{be} : مقدار آکاردئون‌های جابجایی چین‌ها (mm)

x : کل تغییر مکان‌های محوری (mm)

y : مقدار تغییر مکان عمود بر محور (mm)

θ_A : مقدار تغییر مکان خمشی 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_{lb} : طول موثر بخش آکاردئونی (mm)

C_{bI} : طول موثر یک آکاردئون (mm)

K_{bI} : ضریب اصلاح شده جابجایی معادل آکاردئون دوتایی

۱-۲- محاسبه تنش (واحد همه تنش‌ها N/mm^2)

الف) برای آکاردئون‌های بدون حلقه تقویتی

i) تنش غشایی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mmp} = \frac{P_p W_b}{2n_b t_p} \quad (۴۹-۸)$$

(ii) تنش خمشی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mbp} = \frac{P_p}{2n_b} \left(\frac{W_b}{t_p} \right)^2 C_p \quad (۵۰-۸)$$

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

$$\sigma_{mmd} = \frac{E'_b t_p^2}{2W_b^3 C_f} e_{ba} \quad (۵۱-۸)$$

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

$$\sigma_{mbd} = \frac{5E'_b t_p}{3W_b^2 C_d} e_{ba} \quad (۵۲-۸)$$

ب) برای آکاردئون‌های با حلقه تقویتی

(i) تنش غشایی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mmp} = \frac{P_p (W_b - k_r q)}{2n_b t_p} \quad (۵۳-۸)$$

(ii) تنش خمشی در راستای محوری ناشی از فشار

$$\sigma_{mbp} = \frac{P_p}{2n_b} \left(\frac{W_b - k_r q}{t_p} \right)^2 C_p \quad (۵۴-۸)$$

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

$$\sigma_{mmd} = \frac{E'_b t_p^2}{2(W_b - k_r q)^3 C_f} e_{ba} \quad (۵۵-۸)$$

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

$$\sigma_{mbd} = \frac{5E'_b t_p}{(W_b - k_r q)^2 C_d} e_{ba} \quad (۵۶-۸)$$

P_p : فشار محرک (MPa)

E'_p : ضریب الاستیسیته طول 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_b : 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 جابجایی آکاردئون

C_d : ضریب اصلاح تنش خمشی محاسباتی ناشی از جابجایی آکاردئون

e_{ba} : کل جابجایی هر چین آکاردئون

۲- محاسبه دامنه تنش کل

حداکثر دامنه‌های محوری تنش به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$S_{am} = 0.7(\sigma_{mmp} + \sigma_{mbp}) + (\sigma_{mmd} + \sigma_{mbd}) \quad (57-8)$$

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

- حداکثر تنش محوری در آکاردئون‌ها، در اثر تغییر مکان تکیه‌گاه لوله، باید کمتر از تنش قابل قبول متناظر با ۵۰۰ سیکل، باشد.

- جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی لازم است نوع مناسبی از اتصال انبساطی در محل مناسب نصب شود.

۸-۳-۵-۸- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

روش محاسبه تنش افشانه برج‌ها و مخازن با استفاده از تئوری پوسته‌های جدار نازک در زیر داده شده است:

۱- تنش پوسته جدار نازک

تنش در راستای i از رابطه (۵۸-۸) محاسبه می‌شود.

$$\sigma_i = K_N \frac{N_i}{t} \pm K_b \frac{6M_{ii}}{t^2} \quad (58-8)$$

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 (۵۹-۸) محاسبه می‌شود.

$$S_I = M_{ax} \left(\frac{\sigma_x + \sigma_\phi \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2}}{2} \times \sqrt{(\sigma_x - \sigma_\phi)^2 + 4\tau^2} \right) \quad (59-8)$$

σ_x : تنش در راستای شعاعی

σ_ϕ : تنش در راستای محوری

τ : تنش محیطی

۳- پوسته کروی

پارامتر شکل هندسی بدون بعد استفاده می‌شود.

پارامتر پوسته (U) عبارتست از نسبت بعد خارجی افشانه به جذر حاصلضرب شعاع پوسته در ضخامت آن

در افشانه‌های توخالی: پارامتر γ عبارتست از نسبت شعاع افشانه به ضخامت آن

در افشانه‌های توخالی: پارامتر p عبارتست از نسبت ضخامت نازل به ضخامت پوسته

از این پارامترها تنش‌های زیر بدست می‌آید:

(۱) تنش غشایی و تنش خمشی در راستای شعاعی و راستای مماسی ناشی از بارگذاری در راستای شعاعی

(۲) تنش غشایی و تنش خمشی در راستای شعاعی و راستای مماسی ناشی از لنگر خمشی

(۳) تنش برشی ناشی از نیروی برشی

(۴) تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی

از این تنش‌ها، حداکثر تنش برشی در دو طرف پوسته حول محل اتصال افشانه و بدنه بدست می‌آید.

اگر یک صفحه دارای صفحه‌ای به عنوان پشتیبان باشد، ضخامت این صفحه را نیز باید به ضخامت صفحه اضافه کرد.

۴- پوسته استوانه‌ای

پارامتر پوسته γ عبارتست از نسبت ضخامت پوسته به میانگین شعاع پوسته

اگر تجهیز متصل به پوسته استوانه‌ای وجود داشته باشد پارامتر زیر تعریف می‌شود.

β برای تجهیزات با شکل دایره عبارتست از نسبت میانگین شعاع پوسته به شعاع محل اتصال تجهیز

β_1 برای تجهیزات با شکل مستطیل عبارتست از: نسبت طول بزرگتر مستطیل به میانگین شعاع پوسته

β_2 عبارتست از نسبت طول کوچکتر مستطیل به شعاع میانگین پوسته.

ضریب تنش از حداکثر تنش برشی داخلی و خارجی ایجاد شده در اطراف اتصال افشانه، بدست آمده از تنش غشایی و

تنش خمشی راستای طولی و پیرامونی و تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی و تنش برشی ناشی از نیروی برشی، با

استفاده از نمودار و با پارامترهای بدون بعد، تعیین می‌گردد.

در صورت وجود ورق سخت‌کننده، اتصال افشانه با ضخامت محفظه و ورق سخت‌کننده ارزیابی می‌شود.

ارزیابی در بخش کماتی ورق سخت‌کننده، تنها با استفاده از ضخامت محفظه انجام می‌شود.

- در افشانه برج‌ها و مخازن، تنش مربوط به نیروی‌های لرزه‌ای افقی و قائم و جابجایی تکیه‌گاه لوله‌کشی باید محاسبه شود.

- جزئیات روش ارزیابی در پیوست ۳-۱۰ نشان داده می‌شود.

۸-۵-۳-۹- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی (تکیه‌گاه و تجهیزات تکیه‌گاهی لوله‌کشی) به این صورت است که تنش بوجود آمده در مصالح، باید کمتر از تنش‌های مجاز طراحی لرزه‌ای باشد.

- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تجهیزات تکیه‌گاهی لوله‌کشی به روش‌های ارزیابی تجهیزات انجام می‌شود.
- روش ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه در پیوست ۳-۱۱ نشان داده می‌شود.

۸-۵-۴- روش طراحی شکل‌پذیر

زمانیکه از سطح خطر ۲- استفاده می‌شود، طراحی لرزه‌ای به روش طراحی شکل‌پذیر انجام می‌شود. ارزیابی اثر جابجائی‌های زمین نیز با روش پاسخ تغییرمکان انجام می‌شود.

- چهارچوب طراحی لرزه‌ای به روش شکل‌پذیر سیستم لوله‌کشی در پیوست ۳-۱۲ نشان داده می‌شود.
- اگر حرکت زمین لوله‌کشی را تحت تاثیر قرار ندهد، نیازی به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای نیست.
- انعطاف‌پذیری در تغییرشکل‌های بزرگ سیستم لوله‌کشی بستگی زیادی به خم‌ها دارد.
- ارزیابی لوله خم در پیوست ۳-۱۳ نشان داده شده است.

۸-۵-۴-۱- ارزیابی طراحی لرزه‌ای نیروی اینرسی و تغییرمکان پاسخ

مراحل ارزیابی نیروی اینرسی و تغییرمکان پاسخ در پیوست ۳-۱۴ نشان داده می‌شود.

۸-۵-۴-۱-۱- سازه تکیه‌گاهی لوله

ضریب زلزله و تغییرمکان پاسخ نقطه اتکا لوله، از تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی محاسبه می‌شود.

سازه تکیه‌گاهی با یک مدل سیستم ارتعاشی مناسب، جایگزین شده و شتاب پاسخ و تغییرمکان پاسخ در نقطه اتکا به روش استاتیکی اصلاح شده، طیفی یا تاریخچه زمانی محاسبه می‌شود. تغییرمکان پاسخ نقطه اتکا به روش استاتیکی اصلاح شده در پیوست ۳-۱۴-۱ نشان داده شده است.

۸-۵-۴-۲- سیستم لوله‌کشی

شتاب و تغییرمکان نقطه اتکا سیستم لوله‌کشی از تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی بدست می‌آید. تحلیل سیستم لوله‌کشی با استفاده از مدل تحلیلی که رفتار غیرخطی تغییرشکل خمیری را در نظر می‌گیرد، انجام می‌شود.

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.

۲- ثابت میرایی

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

روند کلی تحلیل خطی معادل و تحلیل تفصیلی و همچنین ضریب بزرگنمایی پاسخ در پیوست ۳-۱۴-۲ توضیح داده شده است.

۸-۵-۴-۱-۳- مد خرابی

در سیستم لوله کشی، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مد خرابی موارد زیر برای نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ انجام می‌شود.

۱- تغییر شکل پلاستیک لوله خم

۲- ترک در ناحیه انشعاب

۳- ترک لوله در تکیه‌گاه

۴- تغییر شکل موجی لوله

۵- خرابی افشانه

۶- خرابی اتصال انبساطی

۷- نشت گاز فشار قوی از اتصال فلنجی

۸- خرابی تکیه‌گاه

۱- تغییر شکل پلاستیک لوله خم

به علت انعطاف‌پذیری زیاد لوله خم (زانویی) در سیستم لوله کشی، سرعت تغییر شکل پلاستیک افزایش می‌یابد.

۲- ترک در ناحیه انشعاب

به علت تکرار بار لرزه‌ای در نقاط انفصال با تمرکز تنش زیاد، ناشی از بار متناوب زلزله، وقوع ترک در ناحیه انشعاب به عنوان یک مد خرابی مورد انتظار می‌باشد.

۳- ترک لوله در تکیه‌گاه

خستگی ناشی از تکرار بار لرزه‌ای در نقاط انفصال که تنش متمرکز می‌شود باعث یک مد خرابی مانند ترک لوله در تکیه‌گاه می‌باشد.

۴- تغییر شکل موجی لوله

اگر در اثر بار متناوب، تنش نوسانی بیش از حد ایجاد شود، کرنش پلاستیک انباشته شده و باعث موج برداشتن لوله می‌شود.

۵- خرابی افشانه

ترک ناشی از خستگی بار لرزه‌ای متناوب در نقاط انفصال که تنش محلی متمرکز می‌شود، و ناحیه افشانه به عنوان یک مد خرابی در نظر گرفته می‌شود.

۶- خرابی اتصال انبساطی

ترک ناشی از خستگی آکاردئون در اتصال انبساطی ناشی از تغییر شکل بیش از اندازه در اثر بار لرزه‌ای به عنوان مد خرابی در نظر گرفته می‌شود. از سوی دیگر، با وجود آنکه طراحی به صورتی انجام شده است که جابجایی دو یا تعداد بیشتر آکاردئون‌ها همراه با حلقه تنظیم‌کننده می‌باشد، در مواردی که تغییر مکان از حد جابجایی تجاوز کند، سازه آکاردئون باید حفاظت شود و تغییر شکل ناشی از لوله کشی جذب گردد. با استفاده از میل مهارها در اتصالات انبساطی باید انبساط و انقباض محوری در سازه مهار گردد تا این جابجایی باعث ناپایداری سازه نشود.

۷- نشت گاز فشار قوی از اتصال فلنجی

نقص در آب‌بندی ناشی از کاهش باربری و اثر کشش یا خمش بیش از اندازه، یک مد خرابی فرض می‌شود.

۸- خرابی تکیه‌گاه

ممکن است در اثر تغییر شکل پلاستیک، در عملکرد تکیه‌گاه‌ها نقص ایجاد شود.

چون تنش در شیرها در حد کران پایین تنش در روش طراحی تنش مجاز، نگهداشته می‌شود، بنابراین می‌توان از ارزیابی، در روش طراحی شکل‌پذیر صرف‌نظر کرد.

۸-۵-۴-۱-۴- ارزیابی لرزه‌ای لوله‌کشی

تغییر شکل پلاستیک نهایی مجاز ناشی از نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ لرزه‌ای طراحی با استفاده از جدول (۸-۵) محاسبه می‌شود.

جدول ۸-۵ تغییر شکل پلاستیک نهایی مجاز ناشی از نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ

تغییر شکل پلاستیک نهایی مجاز	بار
محدودیت فشار داخلی رزوه	فشار داخلی، وزن مرده و تنش طولی ناشی از نیروی اینرسی لرزه‌ای
کرنش پلاستیک نصف دامنه ۲٪	محدوده تنش تکرارشونده

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

۱- ارزیابی مد خرابی لوله خم

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

۲- ارزیابی مد خرابی لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم

ابتدا تنش ظاهری محاسبه می‌شود و این مقدار باید کوچکتر از تنش مجاز طراحی لرزه‌ای طبق جدول (۸-۶) باشد.

جدول ۸-۶ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساده با استفاده از مدل خطی نیروی اینرسی و پاسخ تغییر مکان

بار	تنش مجاز طراحی لرزه‌ای	ملاحظات
تنش طولی	2S	S: توضیح داده شده در ۳-۱-۴
محدوده تنش تکرارشونده در زلزله	4S _y	S _y : مقاومت تسلیم در دمای طراحی مصالح یا مقاومت معادل کرنش ۰/۲٪

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

۸-۵-۴-۱-۵- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی

ارزیابی نشت اتصال فلنجی تحت اثر کشش محوری F و لنگر خمشی M با استفاده از رابطه (۸-۶۰) انجام می‌شود.

$$mP_p + \alpha_1 P_e \leq \sigma_a \quad (8-60)$$

m : ضریب واشر

P_p : فشار داخلی (MPa)

α_1 : ضریب اصلاح نشت مربوط به فشار داخلی معادل

P_e : فشار داخلی معادل ناشی از نیروی کششی محوری F و لنگر خمشی M تحت اثرات لرزه‌ای (N/mm^2)

σ_a : باربری واشر (N/mm^2) ناشی از نیروی بستن اولیه پیچ. در مواردیکه پیچ‌ها منظم نیستند، تنش بستن اولیه هر یک از پیچ‌ها کوچکترین مقدار بین تنش تسلیم و $1500/\sqrt{d}$ پیچ می‌باشد. در اینجا d قطر اسمی پیچ است.

مطالعه تفصیلی و باربری مورد نیاز واشر در اتصال فلنجی در بند ۳-۱۴-۴ پیوست نشان داده می‌شود.

۸-۵-۴-۱-۶- 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 جابجایی زمین، انجام می‌شود. در راستایی که جابجایی نسبی نباید رخ دهد، مقاومت کافی برای عکس‌العمل محاسبه شده از محاسبات پاسخ، باید وجود داشته باشد.

جزئیات مراحل ارزیابی اتصال انبساطی در بند ۳-۱۴-۵ پیوست نشان داده می‌شود.

۸-۵-۴-۱-۷- ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

لنگر خمشی، لنگر پیچشی و کشش محوری وارد بر افشانه باید کمتر از مقادیر مجاز باشد.

جزئیات مراحل ارزیابی افشانه برج‌ها و مخازن در بند ۳-۱۴-۶ پیوست نشان داده می‌شود.

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

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

۱- تغییر شکل پلاستیک تکیه‌گاه

۲- ترک تکیه‌گاه لوله

۳- حد تغییر مکان تکیه‌گاه

۴- کمانش تکیه‌گاه

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله در پیوست ۳-۱۴-۷ نشان داده می‌شود.

۸-۵-۴-۲- ارزیابی طراحی لرزه‌ای تحت اثر تغییرشکل‌های ماندگار زمین (مخاطرات ژئوتکنیکی)

۸-۵-۴-۲-۱- طراحی سیستم لوله‌کشی

برای سیستم لوله‌کشی در زمین‌های روانگرایی باید با استفاده از پی مشترک، از اثر جابجایی نسبی پی‌های منفرد، جلوگیری کرد. اگر عدم نشست گاز فشار قوی با وجود انعطاف‌پذیری کافی در لوله‌کشی تأیید شود، نیازی به این مورد نیست.

این یک اصل است که طراحی سازه به صورتی انجام شود که بجای بکارگیری پی‌های مختلف برای تکیه‌گاه لوله با استفاده از پی مشترک، تغییرمکان نسبی اضافی به لوله‌کشی تحمیل نشود. در پیوست ۳-۱۵ روش تأمین انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی شرح داده شده است.

۸-۵-۴-۲-۲- جابجایی پی ناشی از جابجایی زمین

ارزیابی رفتار لرزه‌ای پی در برابر حرکت زمین برای پیدا کردن حداکثر جابجایی نسبی بین پی و زمین اطراف انجام می‌شود. این ارزیابی با در نظر گرفتن موارد زیر انجام می‌شود.

- ۱- نشست هموار پی ناشی از روانگرایی زمین و جریان خاک روانگرا شده
- ۲- نشست ناهموار پی ناشی از روانگرایی زمین و جریان خاک روانگرا شده
- ۳- تغییرمکان جانبی پی ناشی از جریان ناشی از روانگرایی

مقدار تغییرمکان و تغییرمکان نسبی بین پی‌ها ناشی از جابجایی زمین در پیوست ۳-۱۶ تشریح شده‌اند.

۸-۵-۴-۲-۳- روش تحلیل پاسخ

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تحت جابجایی 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 لوله خم رابطه تنش کرنش غیرخطی فرض شده و برای سایر انواع لوله می‌تواند خطی باشد. اگرچه در لوله خم می‌توان پاسخ خطی را با استفاده از ضریب انعطاف‌پذیری مناسب اصلاح شده در تغییرشکل پلاستیک محاسبه کرد.

ضریب انعطاف‌پذیری لوله خم برای جابجایی پی و تحلیل با استفاده از ضریب انعطاف‌پذیری در پیوست ۳-۱۷ آورده شده‌اند.

۸-۵-۴-۲-۴- مد خرابی

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

- ۱- تغییرشکل پلاستیک لوله خم
- ۲- ترک در محدوده انشعاب
- ۳- ترک لوله‌کشی در تکیه‌گاه
- ۴- تغییرشکل موجی لوله
- ۵- خرابی افشانه
- ۶- خرابی اتصال انبساطی

۷- نشت گاز از اتصال فلنجی

۸- خرابی تکیه‌گاه

نسبت تغییرشکل پلاستیک نهایی مجاز برای جابجایی‌های ماندگار زمین ۵٪ و برای نیروی اینرسی ۲٪ است.

۸-۵-۴-۲-۵- ارزیابی لرزه‌ای لوله کشی

با محاسبه فشار سیال، وزن بهره‌برداری، تنش طولی ناشی از نیروی لرزه‌ای، و محدوده تنش تکرارشونده ناشی از نیروی لرزه‌ای و با در نظر گرفتن ترکیب بار لوله کشی و جهت زلزله، نسبت پاسخ پلاستیک باید در محدوده نسبت تغییرشکل پلاستیک مجاز باشد. در این موارد، ممکن است از ارزیابی مربوط به مد خرابی لوله خم یا لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم استفاده شود.

نسبت تغییرشکل پلاستیک نهایی مجاز لوله کشی برای جابجایی زمین برابر ۵٪ فرض می‌شود. در این موارد، ممکن است از ارزیابی موارد ۱ یا ۲ استفاده شود.

۱- ارزیابی مد خرابی لوله خم

زاویه اعوجاج θ_a لوله خم نباید از زاویه مجاز در ارزیابی با استفاده از ضریب شکل‌پذیری تجاوز نماید.

در اینجا زاویه مجاز θ_a لوله خم برابر زاویه اعوجاج لوله خم مطابق با حداکثر کرنش پلاستیک معادل ۵٪ فرض می‌شود.

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

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لوله انشعابی، مستقیم یا سایر لوله‌ها، تنش ظاهری باید برابر یا کمتر از تنش مجاز $4S_y$ برای

طراحی لرزه‌ای در ارزیابی با ضریب شکل‌پذیری باشد.

جزئیات زاویه مجاز لوله خم در پیوست ۳-۱۸ نشان داده می‌شود.

۸-۵-۴-۲-۶- ارزیابی لرزه‌ای اتصال فلنجی

ارزیابی نشت در اطراف اتصال فلنجی برای نیرو در راستای لوله کشی و لنگر خمشی محاسبه شده از تحلیل پاسخ شتاب و تحلیل پاسخ تغییرمکان لوله کشی انجام می‌شود.

وقتی کشش F و خمش M بر محل اتصال لبه وارد شود، ارزیابی نشت بر اساس بند ۳-۱۹ در پیوست انجام می‌شود.

۸-۵-۴-۲-۷- ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی

تغییرمکان نسبی دو انتهای اتصال انبساطی باید کمتر از تغییرمکان نسبی مجاز مربوط به ده بار تکرار در اتصال انبساطی باشد.

ارزیابی جابجایی‌های ماندگار زمین می‌تواند به صورت مجزا از ارزیابی نیروی اینرسی و تغییرمکان پاسخ انجام شود.

درجایی که نمی‌توان جابجایی نسبی را برای اتصال انبساطی انتظار داشت، اتصال باید مقاومت کافی برای عکس‌العمل بدست آمده از محاسبات را داشته باشد.

جزئیات مراحل تخمین در پیوست ۳-۲۰ نشان داده می‌شود.

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

لنگر خمشی، لنگر پیچشی و کشش محوری وارد بر افشانه باید کمتر از مقادیر مجاز باشد.

جزئیات مراحل ارزیابی مربوط به جابجایی زمین افشانه برج‌ها و مخازن در پیوست ۳-۲۱ نشان داده می‌شود.

۸-۵-۴-۹- ارزیابی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

ارزیابی تکیه‌گاه لوله برای عکس‌العمل بدست آمده از محاسبات پاسخ مربوط به مدهای خرابی ۱ تا ۴ انجام می‌شود.

۱- تغییر شکل پلاستیک تکیه‌گاه لوله

۲- حد تغییر مکان تکیه‌گاه لوله

۳- بار رهایی تکیه‌گاه آزاد

۴- حد کماتش تکیه‌گاه لوله

ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه در پیوست ۳-۲۲ نشان داده می‌شود.

فصل ۹

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

پست‌های برق

۹-۱ تجهیزات هدف

تجهیزات هدف در این فصل شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- ترانسفورماتور (ترانس)

۲- مقره

۳- پوشینگ

۴- کابل

۵- سایر تجهیزات

- پست‌ها معمولاً دارای یک یا چند ترانس، سوئیچ، تجهیزات کنترل و حفاظت می‌باشد.
- در پست‌های بزرگ، دژنکتورها به منظور جلوگیری از اتصال کوتاه یا اضافه بار جریان که احتمال وقوع آن در شبکه وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- در پست‌های توزیع کوچکتر برای حفاظت از مدارهای انشعابی، از قطع کننده‌های خودکار یا فیوز استفاده می‌گردد.
- در یک پست ممکن است سازه‌های پایانه خطوط، سوئیچ‌های ولتاژ بالا و پایین، برق‌گیرها، قطع‌کننده مدار، ابزار کنترل و اندازه‌گیری جریان وجود داشته باشد.
- سایر تجهیزات از قبیل خازن تنظیمی جریان و تنظیم کننده ولتاژ نیز در پست وجود دارد.

۹-۲ مدهای آسیب

۱- ترانس

- مدهای آسیب بدنه ترانس شامل لغزش در طول ریل و واژگونی با خروج از ریل می‌باشد.
- اهم مدهای آسیب پوشینگ‌ها و رادیاتور، نشت مواد روغنی از قسمت سرامیکی، خروج واشر و شکست سرامیک می‌باشد.

این شکست‌ها در محل اتصال واشر به بدنه، متمرکز می‌شود.

۲- تجهیزات سرامیکی

- مهم‌ترین مد آسیب تجهیزات سرامیکی، شکست ستون سرامیکی ناشی از کشش بیش از اندازه می‌باشد.
- مد دیگر آسیب ناپایداری سازه تکیه‌گاه یا تغییر شکل دائمی است.

۳- باس

مد آسیب غالب در یک باس، شکست سرامیک‌ها می‌باشد.

۹-۳- روش طراحی لرزه‌ای مبنی بر عملکرد

۹-۳-۱- طراحی لرزه‌ای تجهیزات پست

- ۱- بعلت صلیبیت زیاد، فرکانس بالا و مقاومت زیاد مصالح، بدنه اصلی ترانس، ترانس جریان، کمپرسور هوا و سازه های نظیر آنها به روش شبه استاتیکی طراحی می گردد.
- ۲- برای طراحی تجهیزات مقره و بوشینگ، از روش دینامیکی استفاده می گردد. پس از کنترل تجهیزات مقره‌ای باس روش دینامیکی برای باس آلومینیومی نیز قابل تعمیم است.
- ۳- در روش تحلیل شبه استاتیکی و دینامیکی، طراحی باید با استفاده از روش تنش مجاز انجام می شود.

۹-۳-۲- روش استاتیکی بارگذاری لرزه ای

- ۱- در روش شبه استاتیکی، باید ضریب زلزله، بر اساس اهمیت تجهیزات استفاده شده در پست تعیین گردد.
- ۲- ضریب زلزله باید با تراز تعیین شده در این راهنما مطابقت داشته باشد.
- ۳- ضرایب لرزه‌ای روش شبه استاتیکی از راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران بدست می آید.

۱- بدنه اصلی ترانس

فرکانس طبیعی بدنه اصلی ترانس معمولاً 15Hz یا بیشتر بوده و احتمال ایجاد پدیده تشدید در اثر زلزله ناچیز می باشد. لوله‌های متصل به بدنه ترانس باید کنترل شود.

۲- واحد تأمین برق در ایستگاه

اغلب این تجهیزات دارای فرکانس طبیعی در حدود 7Hz یا بیشتر بوده و میرایی آنها نیز در حدود ۱۰٪ یا بیشتر می باشد. اغلب این تجهیزات در طبقه اول یا طبقات پایینی نصب می شود. ضریب بزرگنمایی پاسخ تجهیزاتی با ثابت میرایی در حدود ۱۰٪ یا بیشتر و فرکانس طبیعی 7Hz یا بیشتر، حداکثر $1/6$ در نظر گرفته می شود. لذا نیروی لرزه‌ای طرح برابر 0.5×1.6 تعیین می گردد. اگر این تجهیزات در طبقات دوم یا سوم نصب شود، بزرگنمایی ساختمان نیز باید در نظر گرفته شود. از آنجایی که ضریب بزرگنمایی در طبقات دوم یا سوم ساختمان حدود ۲ می باشد، مقدار $1/0.5 \times 2$ (به عنوان شتاب معادل لرزه‌ای طرح تعیین می گردد.

برای طبقات بالاتر، باید بزرگنمایی ساختمان برای این تجهیزات محاسبه شود.

۳- تابلوی برق

تابلوهای برق دارای تنوع سازه‌ای زیادی می باشد. با بررسی نتایج آزمایش لرزه‌ای تابلوهای برق، ضریب بزرگنمایی پاسخ تابلوی برق در حدود $2/5$ یا کمتر می باشد. شتاب افقی استاتیکی برابر با $1/5$ ($0.3 \times 2.5 \times 2.0$) به عنوان مقدار استاندارد در طراحی تابلوی برق نصب شده در طبقه سوم یا کمتر، در نظر گرفته می شود. برای طبقات بالاتر، باید ضریب بزرگنمایی پاسخ برای این تجهیزات محاسبه شود. کفایت مقاومت داخلی تابلوی برق در مقابل شتاب ورودی نیز باید بررسی گردد.

در مورد سقوط اجزایی از قبیل رله بایستی توجه خاص مبذول شود.

۴- کمپرسور هوا

از آنجا که فرکانس طبیعی کمپرسور هوا بیشتر از ۱۵ هرتز بوده و بدنه آن صلب می‌باشد، شتاب افقی آن مانند بدنه ترانس در نظر گرفته می‌شود.

۹-۳-۳- روش تحلیل دینامیکی

- ۱- با توجه به امکان تشدید ارتعاش در تجهیزات بوشینگ از روش دینامیکی برای تحلیل رفتار آنها استفاده می‌گردد.
- ۲- هر دو مولفه افقی و قائم زلزله باید در تحلیل دینامیکی در نظر گرفته شود.
- ۳- ارتعاش میرا با سه موج سینوسی با همان پریود طبیعی تجهیزات، به عنوان ورودی برای تحلیل لرزه‌ای تجهیزات بوشینگ بکار میرود.

۱- نیروی طراحی لرزه‌ای در سطح زمین

۱-۱- شتاب افقی

در روش ۳ موج سینوسی مقدار شتاب افقی ۳/۰. بعنوان ورودی در سطح زمین ملحوظ می‌گردد.

۱-۲- شتاب عمودی

شتاب عمودی، اغلب نصف شتاب افقی می‌باشد. از آنجایی که تاثیر شتاب عمودی بر اغلب دستگاهها از نظر سازه‌ای ناچیز می‌باشد، در بسیاری از حالات نیازی به در نظر گرفتن این شتاب نمی‌باشد. شتاب عمودی برای سازه‌های خاص (بوشینگ دیواری و نظایر آن) که اثرات موج عمودی را دریافت می‌کنند در نظر گرفته می‌شود. شکل موج و زمان وقوع حداکثر در شتابهای افقی و عمودی با یکدیگر متفاوت بوده و لازم است برای هر دو جهت به صورت جداگانه کنترل شود.

۱-۳- موج ورودی

- از آنجایی که فرکانس غالب تجهیزات مقره‌ای، بوشینگ و باس آلومینیومی در زلزله، در محدوده ۰/۵-۱۰ هرتز می‌باشد، احتمال تشدید در محدوده فرکانس طبیعی آنها وجود دارد. بنابراین باید موج سینوسی‌ای که دارای فرکانس طبیعی دستگاه است، به عنوان بدترین حالت ورودی اختیار شود.

- یک روش اعمال تشدید در نظر گرفتن ⁿ سیکل موج سینوسی با فرکانس تشدید به عنوان ورودی معادل با یک موج واقعی زلزله است.

پاسخ تجهیزات در برابر زلزله ناشی از دو موج سینوسی از پاسخ تجهیزات ناشی از موج لرزه‌ای واقعی بزرگ‌تر است. بنابراین موج استفاده شده برای طراحی، از دو موج سینوسی با شتاب افقی ۰/۳ تشکیل می‌شود. این موج ورودی تا حدی محافظه کارانه است.

۲- نیروی طراحی لرزه‌ای تجهیزات

۲-۱- برای دو موج سینوسی:

- تجهیزات مقره‌ای: دو موج سینوسی تشدید با حداکثر شتاب ۰/۳، ورودی در انتهای پایینی تکیه‌گاه

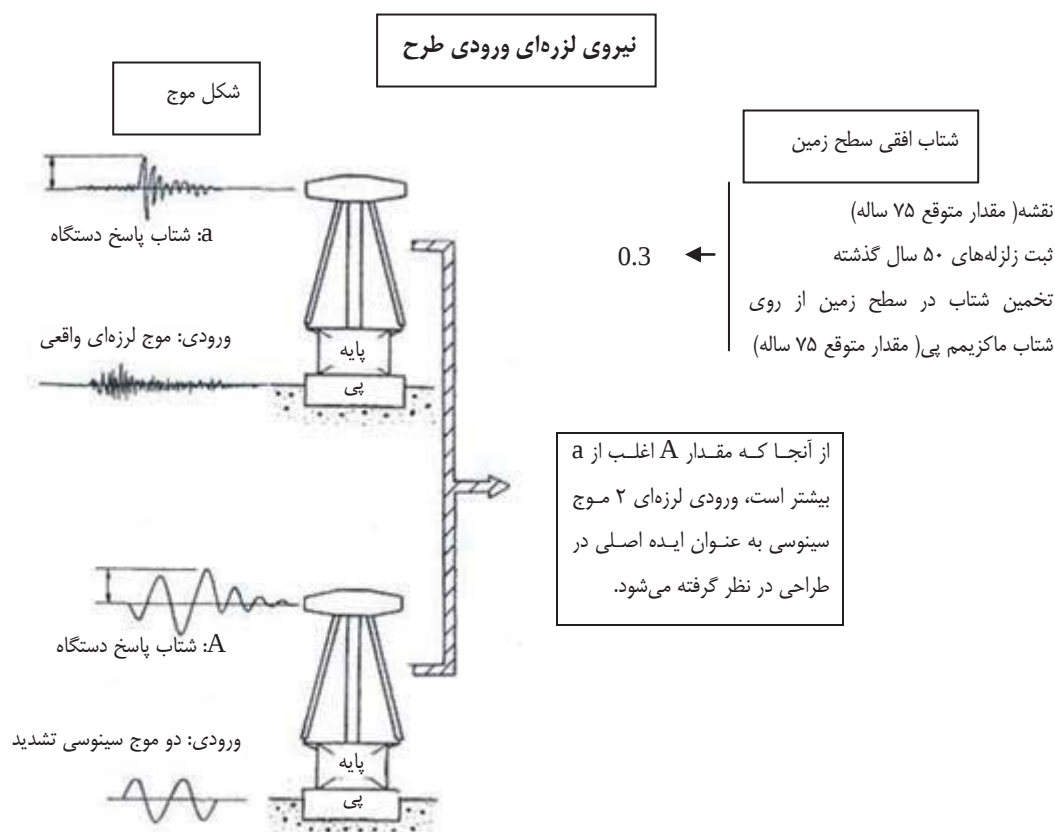
- باس لوله آلومینیومی: دو موج سینوسی تشدید با حداکثر شتاب ۰/۳، ورودی در انتهای پایینی قاب

- پوشینگ ترانسفورماتور: دو موج سینوسی تشدید با حداکثر شتاب 0.3 ، ورودی در انتهای پایینی پایه فلزی برای تجهیز مقره‌ای و باس آلومینیومی ضریب بزرگ‌نمایی با وجود پی برابر $1/2$ ، و برای پوشینگ ترانسفورماتور ضریب بزرگ‌نمایی با وجود پی و بدنه اصلی ترانسفورماتور برابر 2 می‌باشد. همچنین، ضریب عدم قطعیت $1/1$ به منظور در نظر گرفتن تاثیر شتاب عمودی و الحاقات متصل شده در نظر گرفته می‌شود.

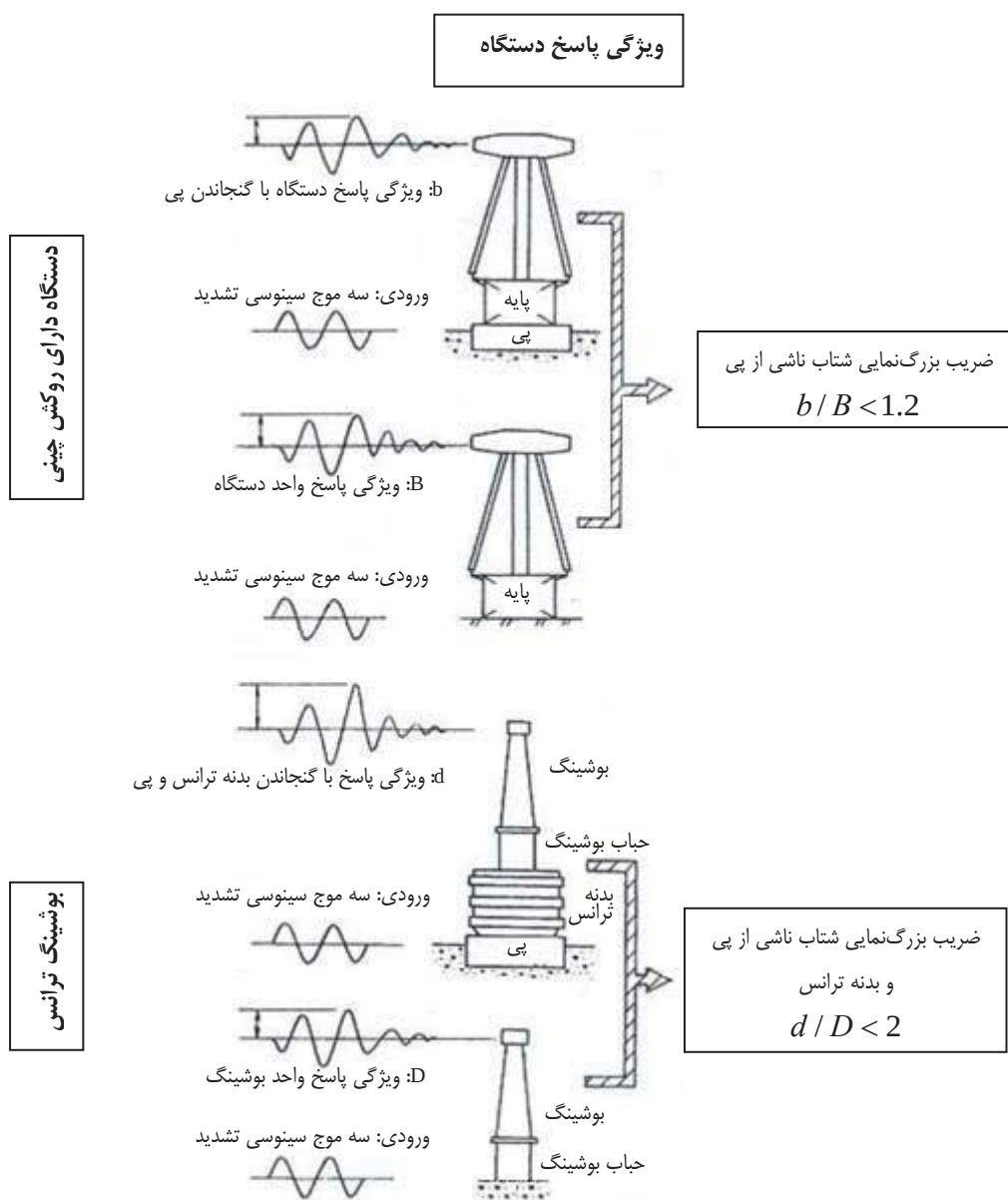
۲-۲- برای سه موج:

- تجهیزات مقره‌ای: سه موج سینوسی تشدید با حداکثر شتاب 0.3 ، ورودی در انتهای پایینی تکیه‌گاه
 - پوشینگ ترانسفورماتور: سه موج سینوسی تشدید با حداکثر شتاب 0.5 ، ورودی در انتهای پایینی پایه فلزی
 - باس لوله آلومینیومی: سه موج سینوسی تشدید با حداکثر شتاب 0.3 ، ورودی در انتهای پایینی قاب
 برای تجهیزات مقره‌ای که ضریب بزرگ‌نمایی با وجود پی از $1/2$ تجاوز می‌کند، لازم است از تحلیل اندرکنشی استفاده گردد.

برای باس آلومینیومی برای نسبت f_1/f_0 ، نسبت فرکانس طبیعی تجهیز، (f_1) به فرکانس طبیعی پی و زمین، (f_0) ، برابر با 0.3 یا کمتر، می‌توان نسبت بزرگ‌نمایی را با وجود پی برابر $1/2$ در نظر گرفت.
 برای مقایسه میان 2 موج و 3 موج، نسبت تبدیل $1/3$ برای میرایی 5% استفاده می‌شود.

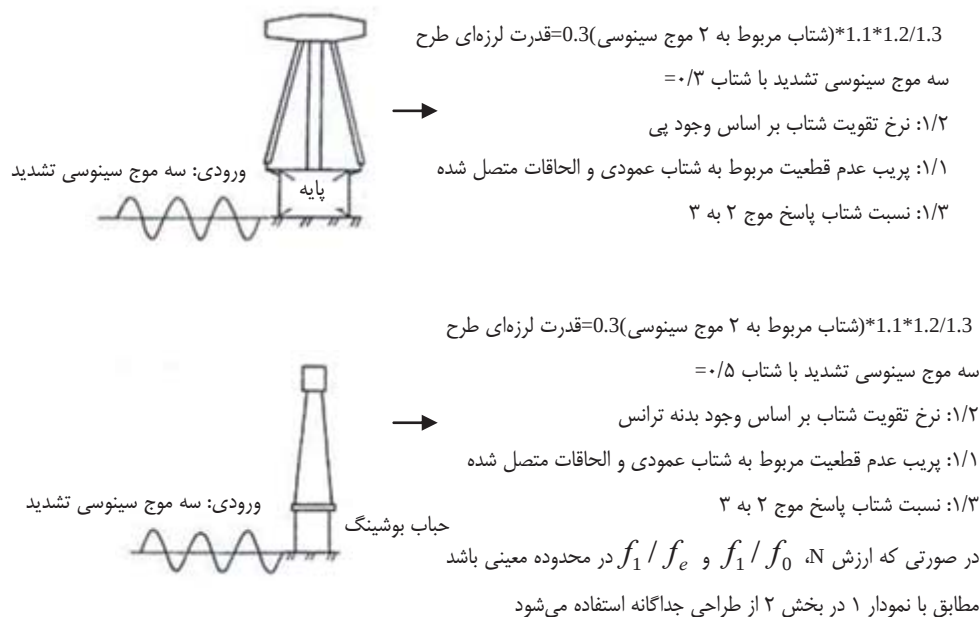


شکل ۹-۱ (الف) نیروی لرزه‌ای ورودی طرح



شکل ۹-۱ (ب) نیروی لرزه‌ای ورودی طرح

قدرت لرزه ای مورد استفاده در طراحی



شکل ۹-۱ (ج) نیروی لرزه‌ای ورودی طرح

۳- شرایط طراحی پوشینگ ترانسفورماتور

نیروی طراحی لرزه‌ای برای پوشینگ ترانسفورماتور نیز در فوق (بند ۲) بیان گردیده است. مشخصات پاسخ پوشینگ در شکل ۹-۱ نشان داده شده است. تفاوت عمده‌ای که با تجهیزات مقررهای وجود دارد، این است که با توجه به وزن سنگین بدنه اصلی ترانسفورماتور که مابین پی و سیستم پوشینگ قرار دارد (شامل پایه فلزی)، پاسخ پوشینگ ترانسفورماتور بوسیله مشخصه ضد ارتعاشی سیستم (زمین، پی و بدنه اصلی ترانسفورماتور) کنترل می‌گردد. پوشینگ به علت وزن سبک به سختی می‌تواند پاسخ سیستم ترانسفورماتور را تحت تاثیر قرار دهد. با آنالیز پاسخ مدل ۲ جرمی سیستم پوشینگ، خصوصیات پاسخ زیر روشن می‌شود.

۳-۱- پاسخ پوشینگ‌ها در اثر ورود ۲ موج سینوسی تشدید در تراز زمین، غالباً شدیدتر از پاسخ در اثر موج لرزه‌ای طبیعی بدون در نظر گرفتن فرکانس طبیعی سیستم پوشینگ می‌باشد.

۳-۲- اگر پاسخ انتهای بالایی ترانسفورماتور به موج سینوسی تشدید تبدیل شده باشد، تعداد موج معادل غالباً زیر ۲ موج بوده و تجربه‌ای مبنی بر بیش از ۳ موج موجود نمی‌باشد.

۳-۳- اگرچه پاسخ پوشینگ ناشی از سه موج سینوسی تشدید با حداکثر شتاب 0.5 وارد شده به انتهای پایینی پایه فلزی پوشینگ، در اکثر موارد از پاسخ پوشینگ به موج لرزه‌ای واقعی با حداکثر شتاب 0.3 ، در تراز زمین تجاوز می‌نماید، اما در محدوده‌ای که نسبت f_1 / f_0 حدود ۱ است، پاسخ ناشی از موج لرزه‌ای واقعی با حداکثر شتاب 0.3 ، بعضی اوقات بزرگتر از پاسخ ناشی از موج سینوسی می‌گردد. در پوشینگ ۴۰۰ کیلو ولت و ۱۳۲ کیلو ولت، پاسخ پوشینگ ناشی از

سه موج لرزه‌ای تشدید با حداکثر شتاب 0.5 وارد شده به قسمت پایینی پایه فلزی کمتر از پاسخ بوشینگ به موج لرزه‌ای واقعی با حداکثر شتاب 0.3 است.

۳-۴- در بوشینگ 230 کیلو ولت هنگامی که f_1/f_0 در محدوده $0.8-1.2$ است، و f_1/f_e در محدوده $0.5-1.5$ است، یک حالت تشدید وجود دارد که پاسخ موج لرزه‌ای واقعی ورودی با حداکثر شتاب 0.3 سطح زمین از پاسخ سه موج سینوسی با حداکثر شتاب 0.5 ورودی به قسمت پایینی پایه فلزی بوشینگ بزرگتر است.

f_0 برای V_s ، 270 متر بر ثانیه یا بیشتر (معادل حدود 25 مقدار ارزش N از آزمایش نفوذ استاندارد) باشد، به استثناء حالت پی با سایز بزرگ، حدود 10 هرتز یا بیشتر میشود.

۹-۳-۴- طراحی لرزه‌ای تجهیزات بوشینگ

۱- برای تجهیزات محوطه با روکش سرامیکی

اگر نسبت بزرگنمایی $1/2$ یا کمتر باشد، نیروی طراحی لرزه‌ای استاندارد که در بالا ذکر شد، می‌تواند استفاده شود. کل سیستم (زمین، پی، و دستگاه) بایستی با دو موج تشدید سینوسی با حداکثر شتاب 0.3 در تراز زمین یا موج لرزه‌ای واقعی در نظر گرفته شود.

۲- برای بوشینگ با شرایط زیر:

بوشینگ حدود 400 کیلو ولت در حالتی که مقدار N ، 10 یا کمتر و بدون شمع باشد.

$$0.8 < f_1 / f_0 < 1.2 \quad (1-9)$$

$$0.5 < f_1 / f_e < 1.5 \quad (2-9)$$

بوشینگ حدود 230 کیلو ولت

$$6\text{Hz} < f_1 < 8\text{Hz} \quad (3-9)$$

$$N < 25 \quad (4-9)$$

$$0.8 < f_1 / f_0 < 1.2 \quad (5-9)$$

$$0.5 < f_1 / f_e < 1.5 \quad (6-9)$$

f_1 : فرکانس طبیعی سیستم بوشینگ

f_0 : فرکانس طبیعی زمین، پی و قاب اصلی ترانس

f_e : فرکانس غالب زمین لرزه

کل سیستم (زمین، پی، و بدنه ترانس، و سیستم بوشینگ) بایستی با دو موج تشدید سینوسی با حداکثر شتاب 0.3 در تراز زمین یا موج لرزه‌ای واقعی در نظر گرفته شود.

۳- برای باس آلومینومی، با نسبت f_1/f_0 ، 0.3 یا بیشتر، کل سیستم (زمین، پی، و سیستم باس آلومینومی) بایستی با دو موج تشدید سینوسی با حداکثر شتاب 0.3 در تراز زمین یا موج لرزه‌ای واقعی در نظر گرفته شود.

۴- تجهیزات داخلی که بر روی طبقه دوم یا بالاتر قرار گرفته‌اند، نیاز به طراحی خاصی دارد. تحلیل پاسخ ساختمان پست

در چنین حالتی باید با استفاده از موج لرزه‌ای واقعی انجام و ورودی پاسخ هر طبقه به عنوان ورودی دستگاه در طبقه مربوطه استفاده شود.

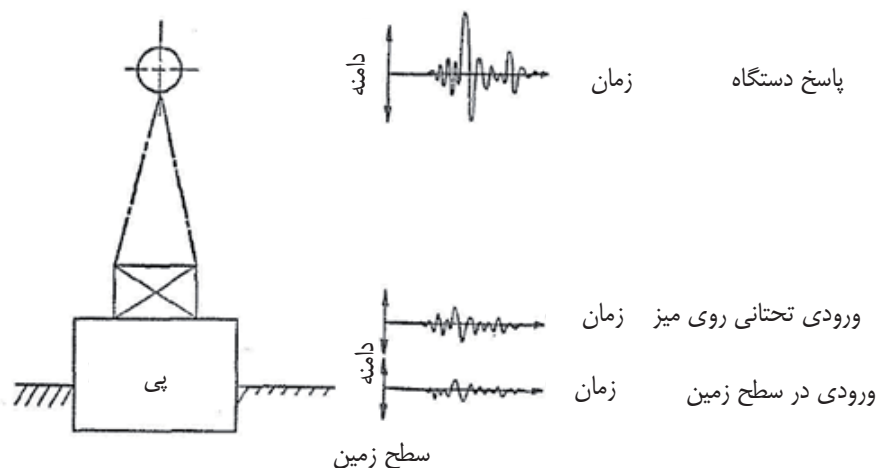
۹-۳-۵- طراحی تجهیزات دیگر

- ۱- دستگاه منبع تغذیه پست، تابلوهای برق و مولدهای هوای فشرده
نیازی به طراحی لرزه‌ای کابل قدرت، کابل کنترل و لوله تحت فشار نیست.
در فاز طراحی و زمان اجرا باید به خطر ناشی از آسیب تجهیزات مجاور توجه کرد. برای کنترل این مسأله از روش استاتیکی استفاده می‌شود.
- ۲- دستگاه منبع تغذیه پست باید برای شتاب افقی استاتیکی 0.5 (طبقه اول یا پایین‌تر) طراحی شود. صفحه سوئیچ‌ها باید با شتاب افقی استاتیکی $1/5$ (طبقه سوم یا پایین‌تر) طراحی گردد. مولد هوای فشرده باید با شتاب افقی استاتیکی 0.5 (طبقه اول یا پایین‌تر) طراحی گردد.

۹-۳-۶- مشخصه‌های پاسخ لرزه‌ای تجهیزات

در طراحی لرزه‌ای تجهیزات، نیروی لرزه‌ای در ارتفاع تجهیزات با در نظر گرفتن بزرگنمایی ناشی از اثر پی و پایه اعمال می‌گردد.

- ۱- مشخصه‌های پاسخ لرزه‌ای تجهیزات مقره‌ای بیرونی
برای درک رفتار تجهیزات لازم است تا اثر پی و زمین مجاور تجهیز را نیز در نظر گرفت.
به منظور ساده‌سازی مراحل کنترل، لازم است برای لرزه ورودی در انتهای پائین پایه، بزرگنمایی ناشی از پی را به لرزه ورودی در سطح زمین اعمال نمود.



شکل ۹-۲ مشخصات پاسخ مقره

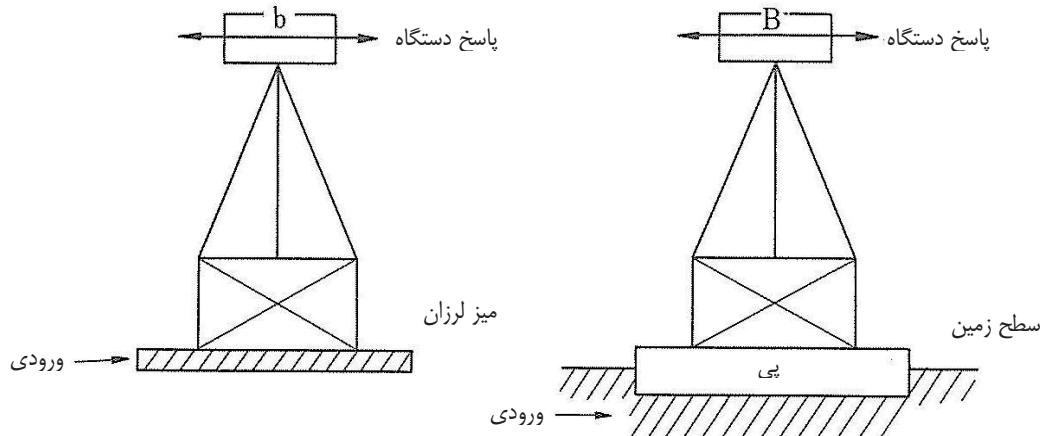
ضریب بزرگنمایی با وجود پی به عنوان شاخص بزرگنمایی تاثیر پی به صورت زیر تعریف می‌شود. این موضوع در شکل (۹-۳) نشان داده شده است.

$$\frac{B}{b} = \frac{\text{پاسخ تجهیزات هنگامی که موج ورودی در سطح زمین وارد می‌شود. (پاسخ در حالتی که اسباب در محل نصب شده است)}}{\text{پاسخ تجهیزات هنگامی که موج ورودی در سطح تراز پایین تجهیز وارد می‌شود. (پاسخ در حالت آزمایش تحریک‌پذیر تجهیزات)}}$$

ضریب بزرگ‌نمایی به علت وجود پی

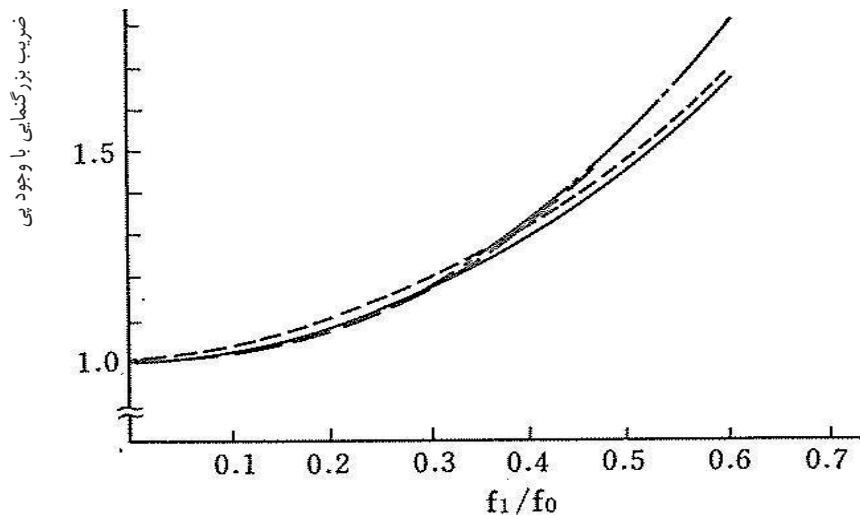
"ضریب بزرگ‌نمایی با وجود پی" به نسبت f_1 / f_0 بستگی دارد.

مطابق شکل (۹-۴)، هرچه f_1 / f_0 به یک نزدیک‌تر می‌شود، ضریب بزرگ‌نمایی بزرگ‌تر می‌شود.



شکل ۹-۳ ضریب بزرگ‌نمایی با وجود پی

	5 %	$y = 1.85 (f_1/f_0)^{2.002} + 1$
	5 %	$y = 2.74 (f_1/f_0)^{2.37} + 1$
	15 %	$y = 1.70 (f_1/f_0)^{1.79} + 1$
	15 %	$y = 2.50 (f_1/f_0)^{2.19} + 1$

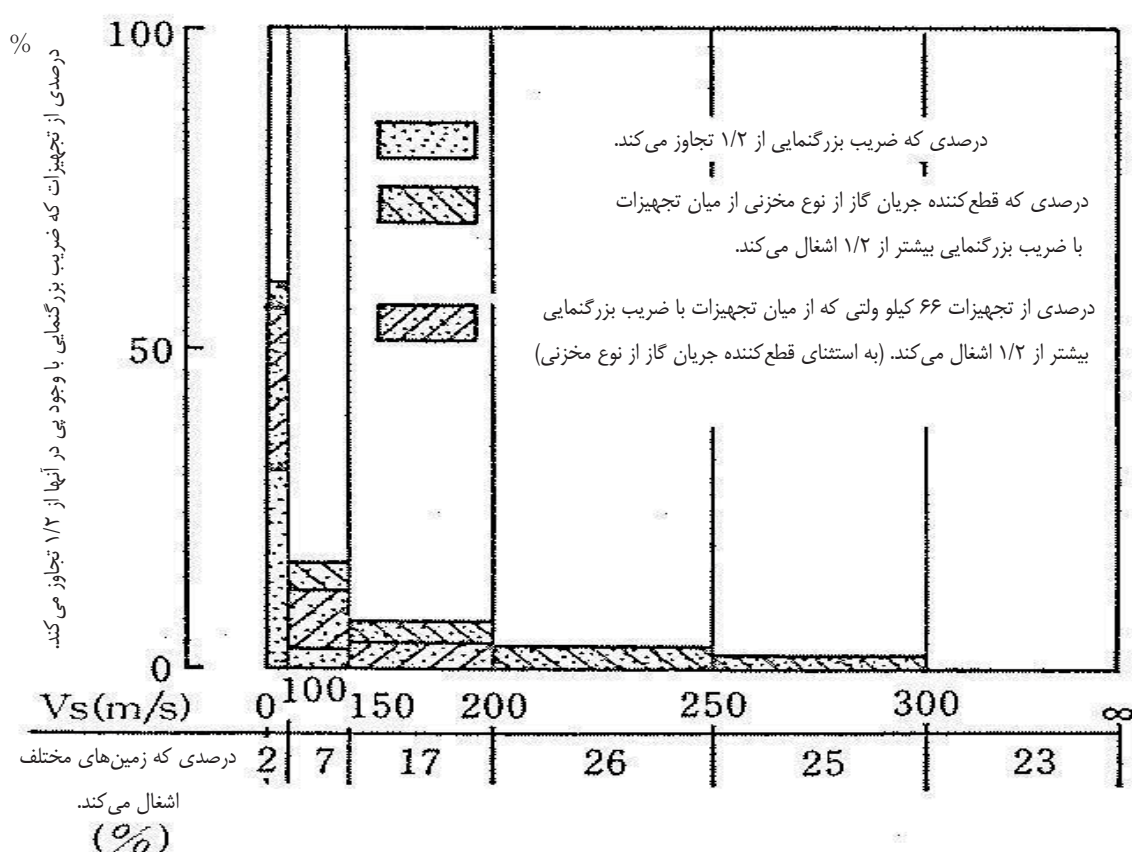


شکل ۹-۴ رابطه میان ضریب بزرگ‌نمایی با وجود پی و نسبت f_1 / f_0

علاوه بر این، f_0 به سختی زمین که با استفاده از سرعت موج برشی V_s لایه سطحی زمین بدست می‌آید، بستگی دارد. وقتی V_s زیاد شود، f_0 نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه ضریب بزرگ‌نمایی کاهش می‌یابد.

نتیجه بررسی انجام شده برای "ضریب بزرگنمایی با وجود پی" برای زمین، پی و فرکانس طبیعی تجهیز مقررهای تیپ‌های مختلف متعلق به شرکت‌های سازنده مختلف در شکل (۵-۹) نشان داده شده است.

برای بیشتر تجهیزات مقررهای "ضریب بزرگنمایی با وجود پی" در زمین با $V_s \geq 150$ متر بر ثانیه برابر $1/2$ یا کمتر است.



شکل ۵-۹ درصد حالت‌هایی که ضریب بزرگنمایی با وجود پی که از $1/2$ فراتر می‌رود

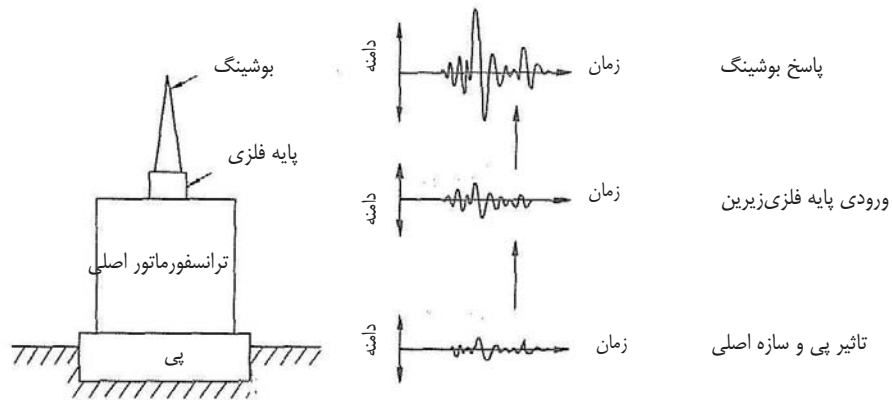
۲- مشخصه‌های پاسخ لرزه‌ای بوشینگ ترانس بیرونی

بوشینگ ترانس رفتاری مشابه تجهیزات مقررهای مطابق شکل (۶-۹) از خود نشان می‌دهد.

در چنین مواردی پدیده بلندشدگی باید در نظر گرفته شود بطوری که اثر زمین، پی، بدنه اصلی و غیره ملحوظ می‌گردد.

ورودی اصلاح شده تراز زمین، در پائین پایه فلزی بوشینگ در نظر گرفته میشود.

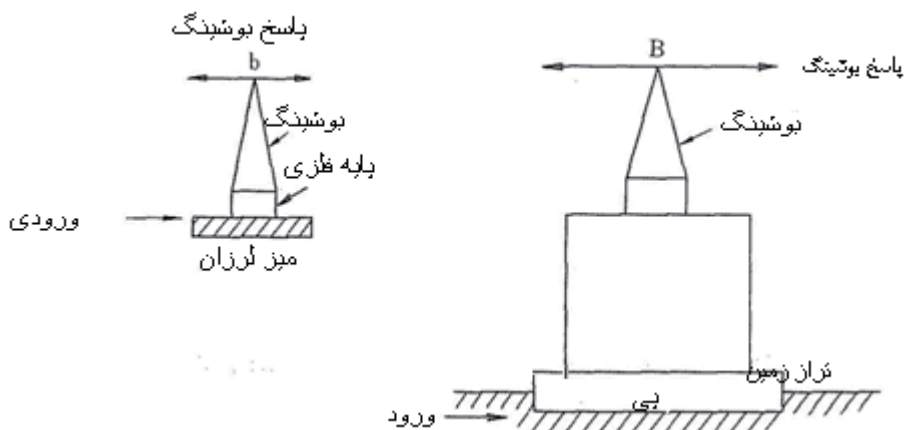
ممکن است مقدار بزرگنمایی را با وجود تأثیر پی و بدنه بوسیله ضریب بزرگنمایی (شکل ۷-۹) نشان داد.



شکل ۹-۶ مشخصه پاسخ بوشینگ ترانس

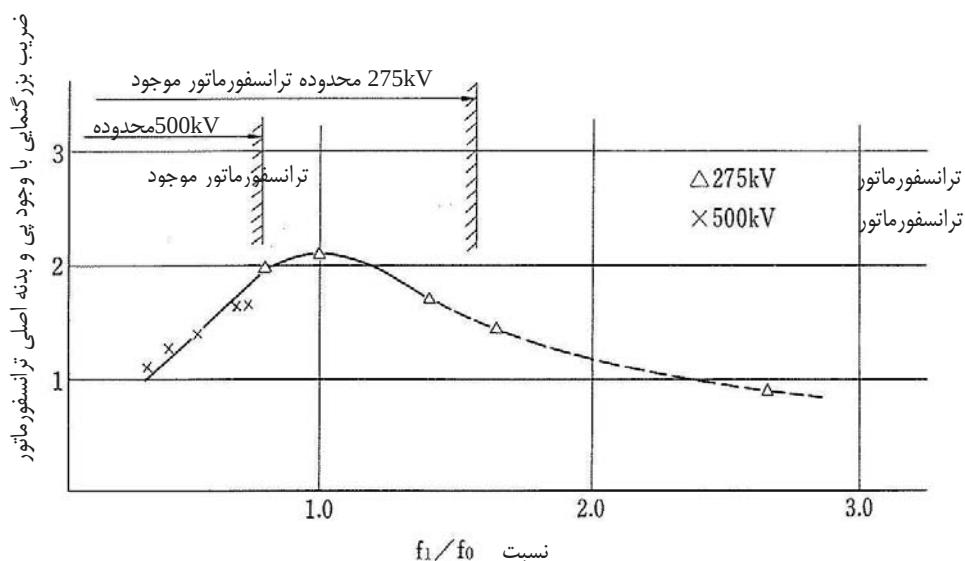
$$\frac{B}{b} = \frac{\text{پاسخ بوشینگ هنگامی که ورودی در سطح است. (پاسخ در حالتی از نصب در محل ترانسفورماتور)}}{\text{پاسخ بوشینگ هنگامی که ورودی در تراز پایین پایه فلزی است. (پاسخ در وضعیت آزمایش تحریک پذیری بوشینگ)}}$$

ضریب تقویت با وجود پایه و بدنه ترانس



شکل ۹-۷ ضریب بزرگنمایی با وجود پی و بدنه اصلی ترانس

- ۱-۲- مانند تجهیز مقره‌ای "ضریب بزرگنمایی با وجود پی و بدنه اصلی ترانسفورماتور" به نسبت f_1 / f_0 بستگی دارد.
- ۲-۲- همانطور که در شکل (۸-۹) نشان داده شده است، بدلیل اینکه احتمال دارد f_1 / f_0 به یک نزدیک شود، ضریب به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر شده و با تجهیز مقره‌ای متفاوت می‌گردد.
- ۳-۲- ضریب بزرگنمایی می‌تواند بر اثر تغییر شکل پی کاهش یابد (به عنوان مثال با بیشتر کردن عرض پی).
- ۴-۲- بنابراین اگر ملاحظات مربوط به بزرگتر شدن تفاوت مابین f_1 و f_0 یا انتخاب صحیح شکل پی صورت گرفته باشد، ضریب بزرگنمایی با وجود پی و بدنه ترانس در حدود ۲ درصد می‌شود.



شکل ۸-۹ ضریب بزرگنمایی با وجود پی و بدنه ترانس

۳- مشخصه پاسخ تجهیز مقره‌ای و پوشینگ ترانس داخل ساختمان

اگرچه برای پاسخ تجهیز مقره‌ای درونی و پوشینگ ترانس برخلاف نوع بیرونی، به جای پی فقط تأثیر ساختمان بررسی می‌شود، ولی نیاز به مطالعه پاسخ هر ساختمان به‌طور جداگانه وجود دارد.

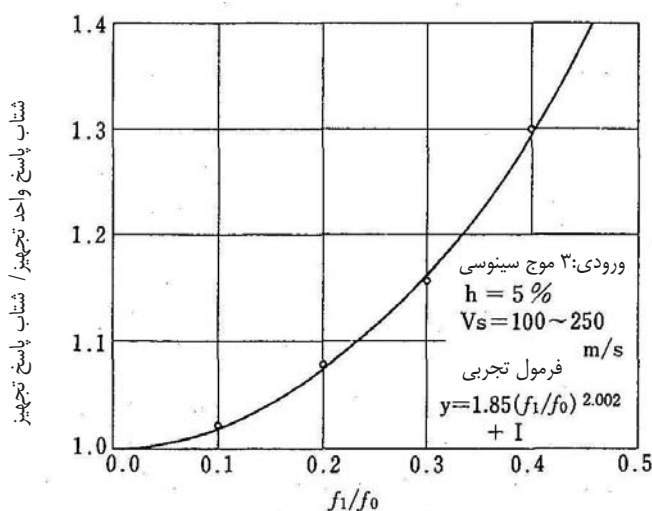
در صورتی که این تجهیزات در زیرزمین یا طبقه اول نصب شود، می‌توان با آن مانند نوع بیرونی برخورد کرد.

۴- مشخصه‌های پاسخ لرزه‌ای باس آلومینیومی

اسکلت فلزی، مقره، و باس آلومینیومی تعداد زیادی نقاط تشدید بین ۲ تا ۷ هرتز داشته و احتمال تشدید در آنها زیاد است.

مقدار بزرگنمایی با در نظر گرفتن اثرات خاک و پی برای تجهیزات ۴۰۰ کیلو ولت برابر ۱/۲ می‌باشد.

محدوده‌ای از f_1/f_0 که در آن می‌توان از این مقادیر استفاده کرد، مطابق شکل (۹-۹)، ۰/۳ یا کمتر می‌باشد.



شکل ۹-۹ رابطه میان ضریب بزرگنمایی و نسبت f_1/f_0

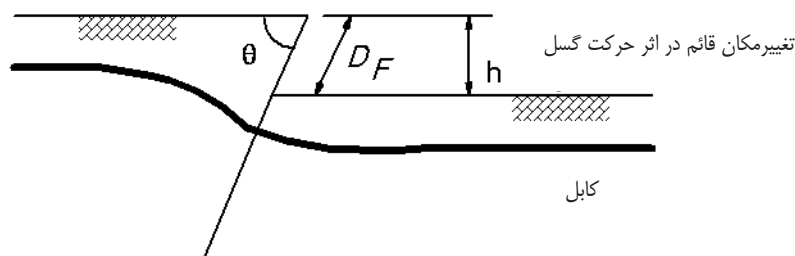
۹-۴- روند طراحی کابل‌ها

- ۱- برای طراحی لرزه‌ای سیم یا کابل هوایی باید از روش تعیین شده در بخش ۱۰-۳-۲ استفاده شود.
- ۲- طراحی لرزه‌ای کابل‌های مدفون بایستی بر اساس کرنش زمین یا تغییر مکان لوله انجام شود.

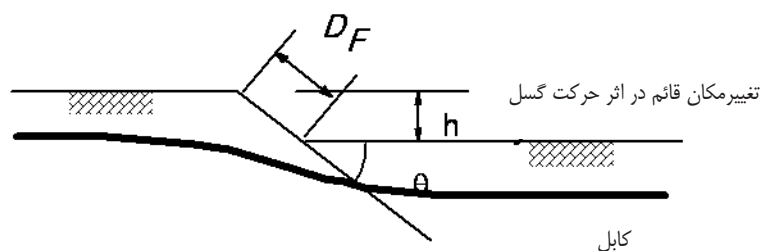
۹-۴-۱- مدهای آسیب کابل‌های برق

بایستی مدهای آسیب کابل‌های مدفون تحت اثر انتشار موج و مخاطرات ژئوتکنیکی (گسلش، روانگرایی و زمین لغزه) در طراحی و اجرا در نظر گرفته شود. کابل‌های واقع در مجاری متصل به آدم‌رو و ساختمان‌ها از لحاظ ایمنی در مقابل زلزله باید کنترل گردد.

در هنگام زلزله، کابل‌های مدفون نصب شده در مجاری دامنۀ ارتعاشی کوچکتری نسبت به ارتعاش زمین دارند. لغزش بین مجرا و کابل، باعث میشود حتی در لرزه‌های قوی، کابل‌های برق در محدوده ارتجاعی باقی بمانند. بنابراین انتشار امواج لرزه‌ای تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کابل‌ها نداشته و دارای مد آسیب مهمی نمی‌باشد. مخاطرات ژئوتکنیکی یا همان تغییر شکل‌های ماندگار زمین از قبیل گسلش، روانگرایی، زمین لغزه و نشست ناهمگن در کابل‌ها تغییر شکل‌های بحرانی ایجاد می‌کنند. کابل‌ها در اثر تنش بیش از حد، ناشی از حرکت معکوس گسل نسبت به راستای کابل (در تقاطع با گسل‌های راستا لغز) یا گسل فشاری دچار خرابی (Z شکل) می‌شود (شکل ۹-۱۰). همانطور که در شکل (۹-۱۱) نشان داده شده است، حرکت گسل در راستای کابل (در تقاطع با گسل‌های راستا لغز) یا گسل نرمال باعث بیرون آمدن کابل‌ها و مد آسیب و پارگی کششی می‌شود. در نواحی روانگرا تغییر شکل بزرگ زمین باعث تغییر شکل کابل در جهت طولی و عرضی می‌شود.

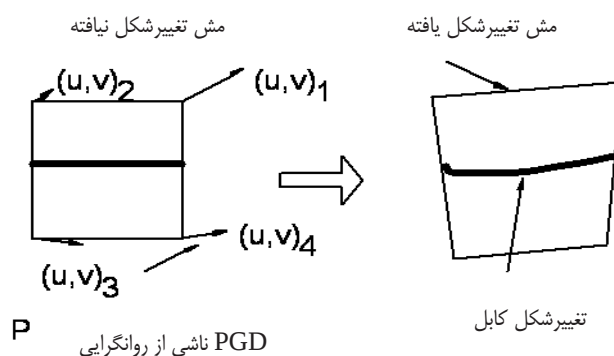


شکل ۹-۱۰ تغییر شکل کابل در محل تقاطع با گسل فشاری (معکوس)

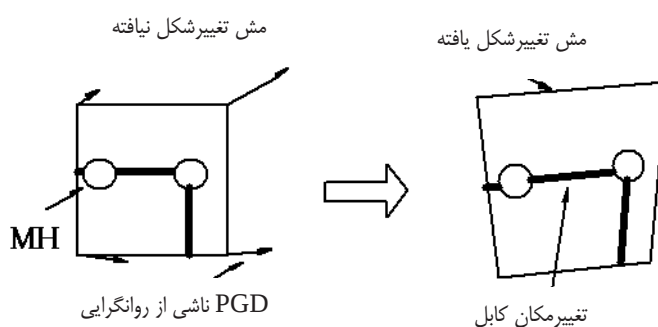


شکل ۹-۱۱ شکل کابل در محل تقاطع با گسل نرمال

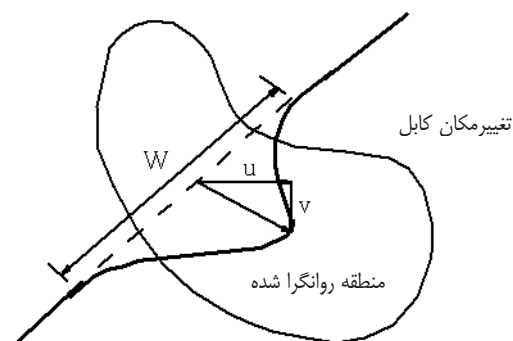
در شکل (۹-۱۲) نمونه‌ای از برش طولی کابل مدفون مستقیم نشان داده شده است. شکل (۹-۱۳) نمونه دیگری که دو آدمرو در اثر تغییر شکل زمین حرکت کرده و باعث کشش در کابل شده را نشان می‌دهد. زمین لغزه باعث ایجاد تغییر شکل زیاد در زمین و بیرون زدن کابل از آن می‌گردد. در کابل‌های هوایی اغلب شکم‌دادگی زیادی در پروفیل طولی آنها رخ می‌دهد. در شکل (۹-۱۴) نمونه‌ای از لغزش زمین و کابل تغییر شکل یافته نشان داده شده است.



شکل ۹-۱۲ تغییر شکل کابل در اثر روانگرایی



شکل ۹-۱۳ مکان کابل متصل به دو آدمرو در اثر روانگرایی



شکل ۹-۱۴ تغییر مکان کابل در اثر زمین لغزه

۹-۴-۲- روند طراحی کابل‌های مدفون

۹-۴-۱- تغییر شکل زمین

اگر سختی خمشی کابل کم باشد، آسیب‌دیدگی بیشتر زمانی روی می‌دهد که ازدیاد طول ΔL از حد بحرانی تجاوز کند.

۱- ازدیاد طول (بهره‌برداری)

ازدیاد طول ΔL کابل از رابطه (۷-۹) قابل محاسبه می‌باشد:

$$\Delta L = \int_0^{L_{ic}} \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx} \right)^2} dx - L_{ic} \quad (7-9)$$

$f(x)$: تابع پروفیل در طول کابل

L_{ic} : طول اولیه کابل

کرنش کابل ε_{cable} از رابطه (۸-۹) محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon_{cable} = \frac{\Delta L}{L_{ic}} \quad (8-9)$$

۲- انتشار موج

کرنش ناشی از انتشار موج در زمین بیش از کرنش کابل بوده و معیار خوبی برای تعیین حداکثر کرنش کابل می‌باشد.

کرنش کابل تقریباً برابر با کرنش زمین ε_G به صورت رابطه (۹-۹) در نظر گرفته می‌شود:

$$\varepsilon_{cable} \approx \varepsilon_G \quad (9-9)$$

۳- تقاطع گسل

کرنش کابل در محل عبور گسل از رابطه (۱۰-۹) محاسبه می‌گردد:

$$\varepsilon_F = \frac{d}{L} \quad (10-9)$$

d : جابجایی گسل از رابطه (۱۱-۹)

L : طول موثر کابل از رابطه (۱۲-۹)

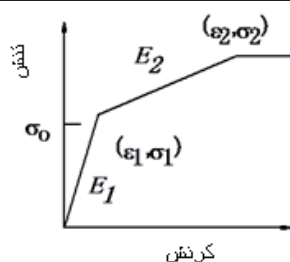
$$d = \frac{h}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (11-9)$$

$$L = \sqrt{\frac{2E_2 d}{q} + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{q} \right)^2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{q} \quad (12-9)$$

q : مقاومت لغزشی در واحد طول

h, θ : تعریف شده در شکل‌های (۱۰-۹)، (۱۱-۹)، (۱۵-۹) و (۱۶-۹).

σ_1 و σ_2 و E_2 : تنش‌های بحرانی و مدول ثانویه تعریف شده در شکل (۱۵-۹)

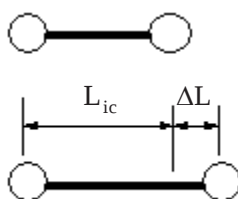


شکل ۹-۱۵ منحنی تنش-کرنش یک المان کابل

۴- روانگرایی

حداکثر کرنش کابل در زمین روانگرا، برابر کرنش محوری زمین در نظر گرفته می شود: در صورت جابجایی سازه‌هایی که کابل به آنها متصل است، کابل‌ها در کشش یا فشار قرار می‌گیرند. کرنش تقریبی کابل با استفاده از جابجایی دو سازه در شکل (۹-۱۶) نشان داده شده است.

$$\varepsilon_{L1} = \frac{\Delta L}{L_{ic}} \quad (9-13)$$



شکل ۹-۱۶ ازدیاد طول کابل بین دو سازه

۵- زمین لغزه

کرنش کابل در اثر زمین لغزه از رابطه (۹-۱۴) به دست می‌آید:

$$\varepsilon_{LS} = \frac{\Delta L}{L_{ic}} \quad (9-14)$$

۹-۴-۲-۲ اتصال به سازه‌ها

۱- مجرا

در صورتی که کابل در مجرا رفتاری ارتجاعی از خود نشان دهد، کرنش حداکثر به صورت رابطه (۹-۱۵) محاسبه می‌گردد:

$$\varepsilon_D = \frac{D}{2EI} \left(\frac{7}{12} q_w L_{ic2}^2 + \frac{2}{3} C_1 L_{ic2} \right) \quad (9-15)$$

که در اینجا D ، q_w و L_{ic2} به ترتیب قطر کابل، وزن واحد کابل و طول موثر افقی می‌باشد.

$$C_1 = \frac{q(L_{ic2}^3 - L_{ic1}^3 + 2L_{ic2}L_{ic1}^2) + \frac{12hEI}{L_{ic1}}}{2(L_{ic1}^2 + L_{ic2}^2)} \quad (۱۶-۹)$$

که در اینجا h ، L_{ic1} و EI به ترتیب تغییر مکان قائم گسل، طول افقی و صلبیت خمشی یک کابل می‌باشد.
۲- آدرو و ساختمان

کرنش حداکثر با استفاده از رابطه (۱۷-۹) محاسبه می‌گردد.

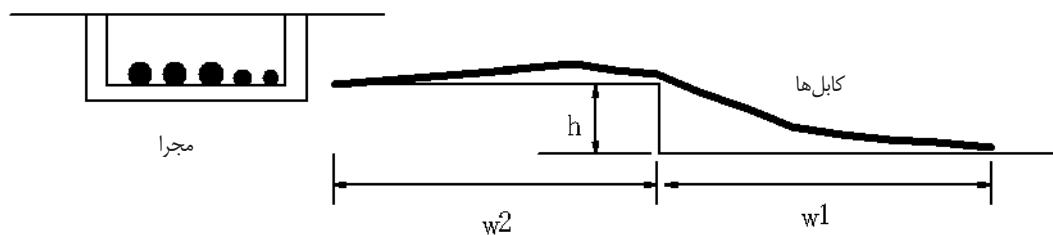
$$\varepsilon_{MH} = \frac{\sqrt{L_{ic}^2 + h^2} - L_{ic}}{W} \quad (۱۷-۹)$$

$$L_{ic} = \frac{2\pi}{\beta}, \beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} \quad (۱۸-۹)$$

K و EI به ترتیب مدول فنریت بین خاک و کابل و صلبیت خمشی کابل‌ها می‌باشد.

۱- مجرا

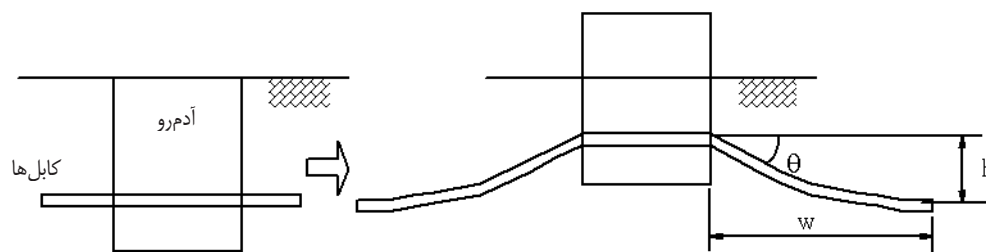
در صورت وقوع نشست ناهمگن زمین، کابل برق موجود در مجرا به صورت شکل (۱۷-۹) تغییر شکل می‌دهد.



شکل ۱۷-۹ تغییر شکل کابل در اثر نشست ناهمگن مجرا

۲- آدرو

مطابق شکل (۱۸-۹)، کابل‌های برق از طریق یک جعبه سوراخ‌دار که جزئی از آدرو می‌باشد، نصب می‌گردد. در صورت بالازدن یا دوران آدرو در اثر فشار برکنش، کابل‌های برق به بیرون کشیده می‌شود. در اثر بیشتر شدن زاویه انحراف از مقدار بحرانی، این امر باعث پاره شدن کابل می‌گردد.



(ب) حالت عادی

(الف) بالازدگی آدرو در اثر روانگرایی

شکل ۱۸-۹ تغییر مکان کابل در اثر نشست مجرا

۳- ساختمان

مدهای آسیب در کابل‌های برق متصل به ساختمان مشابه آدرو می‌باشد.

۹-۵- خصوصیات مجاز مصالح

۱- مقادیر تعیین شده در فصل ۴ این راهنما بایستی برای خواص مصالح و تنش مجاز استفاده گردد.

۲- در صورت نیاز از مقادیر مجاز در مبحث مربوطه در مقررات ملی ساختمان ایران و یا هر آئین نامه معتبر مربوطه دیگر می‌توان استفاده نمود.

۳- مشخصات شکست مصالح پوشینگ تولید شده در شرکت‌های مختلف، متفاوت می‌باشد.

۴- بطور عمده تنش مجاز در پوشینگ معمولی 20 N/mm^2 و در پوشینگ با مقاومت بالا 40 N/mm^2 می‌باشد.

۵- مشخصات مجاز کابلها توسط سازندگان و یا از طریق آزمایشات استاندارد تعیین میگردد.

فصل ۱۰

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

خطوط انتقال و توزیع

۱۰-۱- تجهیزات مورد نظر

در این فصل طراحی لرزه‌ای موارد زیر، ارائه شده است:

۱- دکل‌های فولادی خطوط انتقال

۲- پایه‌ها یا تیرهای برق در شبکه توزیع از جنس بتن و فولاد.

۳- سیم‌ها یا کابل‌های برق

موارد لازم در طراحی لرزه‌ای اتصال ترانس‌های هوایی در شبکه توزیع روی پایه‌های برق نیز اشاره شده است.

۱۰-۲- بارگذاری و طراحی لرزه‌ای

۱۰-۲-۱- دکل انتقال

۱- دکل‌ها بطور عمده فولادی بوده و با روش شبه استاتیکی و با محاسبه نیروی اینرسی لرزه‌ای بارگذاری می‌شوند.

۲- برای بارگذاری تجهیزات روی دکلها از ضریب زلزله طبقه استفاده می‌شود.

۳- برای تحلیل لرزه‌ای پی مدفون دکل نیز، روش پاسخ تغییرمکان باید بکار برده شود.

۴- در صورتی که جزئیات بیشتری از رفتار لرزه‌ای سازه با توجه به عوارض خاص جغرافیایی، شرایط ساختمانی و نوع سازه مورد نیاز باشد، از روش دینامیکی استفاده می‌شود.

۵- بارهای باد و زلزله به هنگام طراحی با یکدیگر مقایسه و اثر هر کدام که بیشتر باشد، لحاظ می‌گردد.

۶- دکل‌های طراحی شده برای نیروی باد به استثنای اثر ناپایداری خاک، در زلزله نیز جوابگو خواهند بود.

۷- بعلاوه اینکه صلبیت دکل بسیار کمتر از پی آن است، ازاین‌رو فرقی بین مدل تحلیلی دکل با پایه‌های گیردار و مدل تحلیلی با شرایط واقعی (پی، دکل و زمین) برای پریود طبیعی و مد ارتعاش وجود ندارد.

۸- پاسخ مجزای دکل و پی، تفاوتی با پاسخ دکل و پی در سیستم دکل- پی- زمین ندارد.

۹- مشخصات ارتعاش در جهت عمود بر خط انتقال در اثر ارتعاش اجزایی از قبیل رشته سیم‌ها و مقره‌ها متغیر می‌باشد.

۱۰- مؤلفه قائم زلزله

- حداکثر شتاب قائم در سطح زمین در حدود نصف حداکثر شتاب افقی می‌باشد و حداکثر آنها همزمان رخ نمی‌دهند.

- اثر زلزله قائم بر پاسخ دکل را می‌توان نادیده گرفت ولی اثر زلزله قائم بر پاسخ بازو را نمی‌توان نادیده گرفت.

- در طراحی لرزه‌ای بازو، نصف ضریب زلزله افقی به عنوان ضریب زلزله قائم در نظر گرفته می‌شود.

۱۰-۲-۲- پایه‌ها

۱- در طراحی باید توجه خاصی به شرایط زمین، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری مبذول شود.

۲- سیستم سازه هوایی در معرض بارهای ناشی از باد، برف، تغییردما و زلزله قرار دارد.

- ۳- بار باد وارده بر کابل بر مقاومت تیر برق و باربری خاک شالوده، اثر می‌گذارد.
- ۴- نیروی کششی موازی وارد بر کابل باعث بوجود آمدن نیروی کششی در سیم‌های تکیه‌گاهی متصل به تیر برق می‌شود.
- ۵- بار ثقلی مرده تیر برق، وزن قطعات جاگذاری فلزی، وزن کابل و مؤلفه قائم سیم تکیه‌گاهی، همواره وارد می‌شود.
- ۶- نیروی باد معمولاً از نیروی زلزله بیشتر می‌باشد.
- ۷- نیروی ناشی از زمین لرزه به عنوان نیروی ثانویه در نظر گرفته می‌شود.
- ۸- بارگذاری لرزه‌ای با روش شبه استاتیکی صورت می‌گیرد.

۱۰-۲-۳- ترانس هوایی

- طراحی سه مؤلفه ذیل در سازه‌های هوایی باید انجام شود:
- ۱- طراحی سیم آویز و سیم تکیه‌گاه
 - ۲- طراحی پایه
 - ۳- طراحی رشته سیم
- برای اتصال ترانس به پایه برق سه روش اتصال مستقیم، اتصال با آویز و اتصال با صفحه نشیمن وجود دارد. اتصال ترانس به پایه باید به قدری محکم باشد تا در اثر برخورد وسایل نقلیه و یا وقوع زلزله از پایه جدا نگردد. کنترل ایمنی ترانس هوایی بایستی بر اساس تجربه یا با توجه به روش محاسبه مناسب با احتساب ضریب بزرگنمایی شتاب در ارتفاع ترانس انجام شود. طراحی ترانس با روش شبه استاتیکی می‌تواند انجام شود.

۱۰-۳- محاسبات طراحی لرزه‌ای

۱۰-۳-۱- دکل‌ها

- ۱- تعیین نوع و اندازه سازه
نوع و اندازه اولیه سازه بر اساس بار باد طراحی شده و برای زلزله کنترل می‌گردد.
دکل یا پی طراحی شده برای بار باد در صورتی که شرایط زمین مناسب باشد، در هنگام زلزله ایمن می‌باشد.
- ۲- انتخاب روش محاسبه لرزه‌ای
۱-۲- اثر زلزله بر دکل و پی واقع بر تراز روی زمین با نیروی اینرسی بررسی می‌گردد.
۲-۲- در پی مدفون، تغییر مکان زمین به دست آمده از روش پاسخ تغییر مکان، به عنوان بار لرزه‌ای اعمال می‌گردد.
۳-۲- در صورت عدم کفایت روش‌های فوق یا نیاز به جزئیات بیشتر از رفتار لرزه‌ای، باید از روش دینامیکی استفاده نمود.
- ۳- کنترل ایمنی
ایمنی دکل با استفاده از نتایج روش‌های مختلف محاسباتی با فرضیات و شرایط متفاوت، بررسی می‌گردد.

برای طراحی لرزه‌ای دکل‌ها در ادامه از منحنی‌هایی استفاده می‌گردد که این منحنی‌ها با استفاده از مطالعات پارامتریک و از روش طیف پاسخ، برای سیستم دکل، مقره و رشته سیم‌ها با در نظر گرفتن اثرات دکل مجاور و با تغییر در نوع و ارتفاع دکل، زاویه افقی، قائم و دهانه خط انتقال، تهیه شده‌اند.

برای این منظور در طراحی استاتیکی دکل باید در محدوده مقادیر جدول (۱۰-۱) باشد.

جدول ۱۰-۱ محدوده مطالعه پارامتریک

ارتفاع دکل	۱۷۰m ~ ۱۰۰ m
زاویه افقی	0° ~ 60°
زاویه قائم	30° ~ -30°
طول دهانه	۸۰۰m ~ ۳۰۰ m
تعداد خطوط	۲ خط

۱۰-۳-۱-۱- محاسبه پریود طبیعی دکل

پریود طبیعی برای طراحی دکل با استفاده از رابطه‌های (۱۰-۱) و (۱۰-۲) محاسبه می‌گردد.

$$T_0 = 1.23X^{0.29} \quad \text{در امتداد خط} \quad (10-1)$$

$$T_0 = 1.14X^{0.29} \quad \text{در جهت عمود بر امتداد خط} \quad (10-2)$$

T_0 : پریود طبیعی (sec)

X : از رابطه (۱۰-۳) به دست می‌آید. (sec)

$$X = \sqrt{\frac{(W_T + W_C)H^2}{g \cdot E \cdot I_B}} \quad (10-3)$$

W_T : وزن دکل (t)

W_C : وزن مؤثر رشته سیم‌ها (جدول (۱۰-۲)) (t)

H : ارتفاع دکل (m)

g : شتاب گرانش (m/s^2)

E : مدول الاستیسیته اعضای دکل (t/m^2)

I_B : صلبیت خمشی دکل در محل اعمال لنگر (معادل با لنگر اینرسی دوم سطح مقطع) (m^4)

جدول ۱۰-۲ وزن مؤثر رشته سیم‌ها

نوع مقره	جهت زلزله ورودی	وزن مؤثر (نسبت به وزن کل)
نوع آویز	راستای خط	۰٪
	عمود بر راستای خط	۰٪
	راستای قائم	۵۰٪
نوع کششی	راستای خط	۵۰٪
	عمود بر راستای خط	۰٪
	راستای قائم	۵۰٪

برای محاسبه وزن دکل و رشته سیم‌ها، وزن بدنه دکل، بازو، رشته سیم و غیره باید در نظر گرفته شود.

۱۰-۳-۱-۲- نیروی برشی و لنگر خمشی در ترازهای مختلف دکل

۱- نیروی برشی و لنگر خمشی طبقه باید از روابط ۱۰-۴ و ۱۰-۹ در دو راستای موازی و عمود بر راستای خط، محاسبه گردد.

$$Q_i = C_{Si} \cdot W_i \quad (۱۰-۴)$$

$$M_i = C_{Mi} \cdot W_i \cdot H_i \quad (۱۰-۵)$$

Q_i : نیروی برشی در تراز h_{bi} از پی دکل (t)

M_i : لنگر خمشی در تراز h_{bi} از پی دکل (t-m)

H_i : فاصله از ارتفاع h_{bi} تا مرکز ثقل قسمت بالای ارتفاع h_{bi} (m)

$C_{Si}C_{Mi}$: ضریب برش در تراز h_{bi} از پی دکل (ضریب لنگر در تراز h_{bi})

$$W_i = \sum_{j=1}^i W_j \quad (۱۰-۶)$$

W_i : وزن دکل از تراز h_{bi} تا قسمت فوقانی (t)

$$H_i = \sum_{j=1}^i W_j (h_{bj} - h_{bi}) / W_i \quad (۱۰-۷)$$

h_{bj} : ارتفاع پانل j از پی دکل (m)

W_j : وزن پانل j (t)

در این حالت ضرایب برش و لنگر خمشی با استفاده از رابطه‌های (۱۰-۸) و (۱۰-۹) محاسبه می‌گردد.

$$C_{Si} = R_S \cdot A_{Si} \cdot K_H \quad (۱۰-۸)$$

$$C_{Mi} = R_M \cdot A_{Mi} \cdot K_H \quad (۱۰-۹)$$

$R_S R_M$: ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب برش (مربوط به ضریب لنگر خمشی) که در بند زیر توضیح داده شده است.

$A_{Mi} A_{Si}$: ضریب توزیع مربوط به ضریب برش (مربوط به ضریب لنگر خمشی) بدنه دکل، که متعاقباً توضیح داده

خواهد شد.

K_H : شدت زلزله افقی طراحی

۲- نیروی برشی و لنگر بازو، بایستی در دو راستای خط و بر عمود خط، و راستای قائم به ترتیب با استفاده از رابطه‌های (۱۰-۱۰) تا (۱۳-۱۰) محاسبه گردد.

در راستای خط و عمود بر خط

$$Q_{Ai} = A_{ASi} \cdot R_S \cdot K_H \cdot W_{Ai} \quad (10-10)$$

$$M_{Ai} = A_{AMi} \cdot R_M \cdot K_H \cdot W_{Ai} \cdot l_x \quad (11-10)$$

در راستای قائم

$$Q_{Ai} = A_{ASi} \cdot K_V \cdot W_{Ai} \quad (12-10)$$

$$M_{Ai} = A_{AMi} \cdot K_V \cdot W_{Ai} \cdot l_x \quad (13-10)$$

Q_{Ai} : نیروی برشی بازو در تراز h_{bi} از پی دکل (t) در راستای بازو ثابت فرض می‌شود.

M_{Ai} : لنگر خمشی بازو در تراز h_{bi} از پی دکل (t-m)

A_{ASi} (A_{AMi}): ضریب توزیع مربوط به ضریب برشی طبقه بازو (مربوط به ضریب لنگر خمشی)

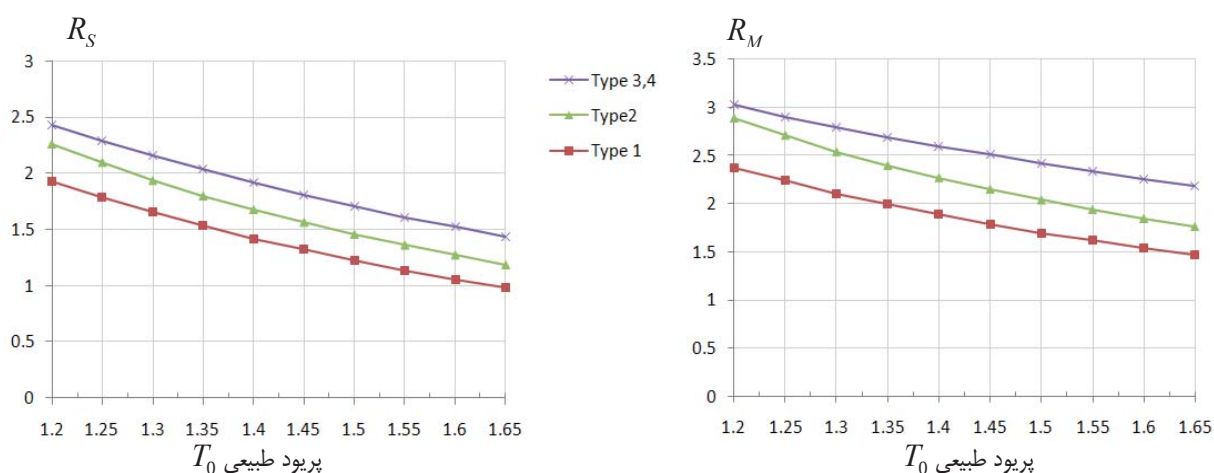
W_{Ai} : وزن بازو در ارتفاع h_{bi} از پای دکل

l_x : فاصله از نوک تا ته بازو (m)

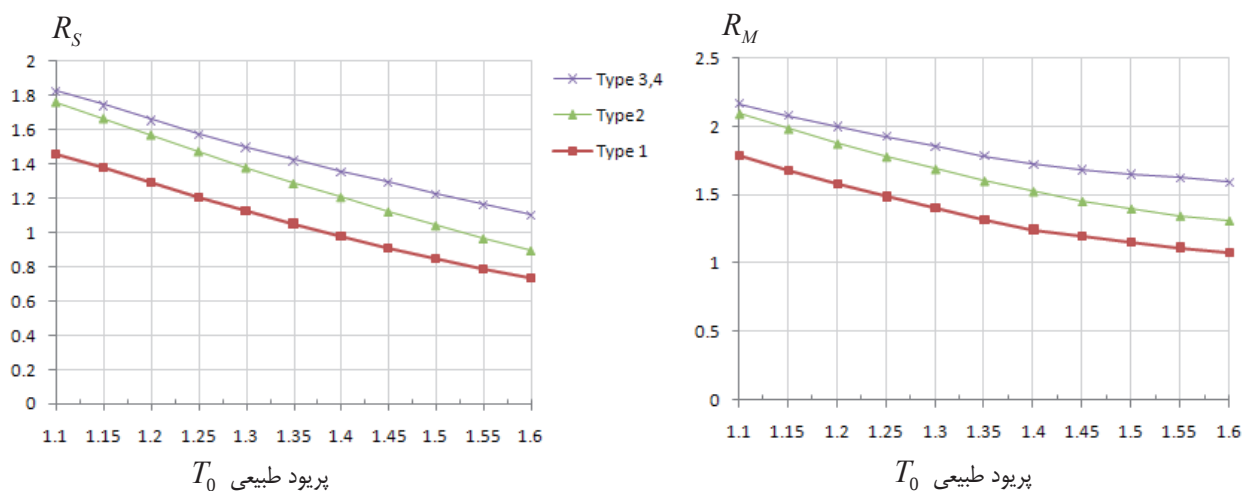
K_V : ضریب زلزله قائم ($0.5K_{SH}$ فرض می‌شود).

۱۰-۳-۱-۳- ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضرایب برش و لنگر طبقه

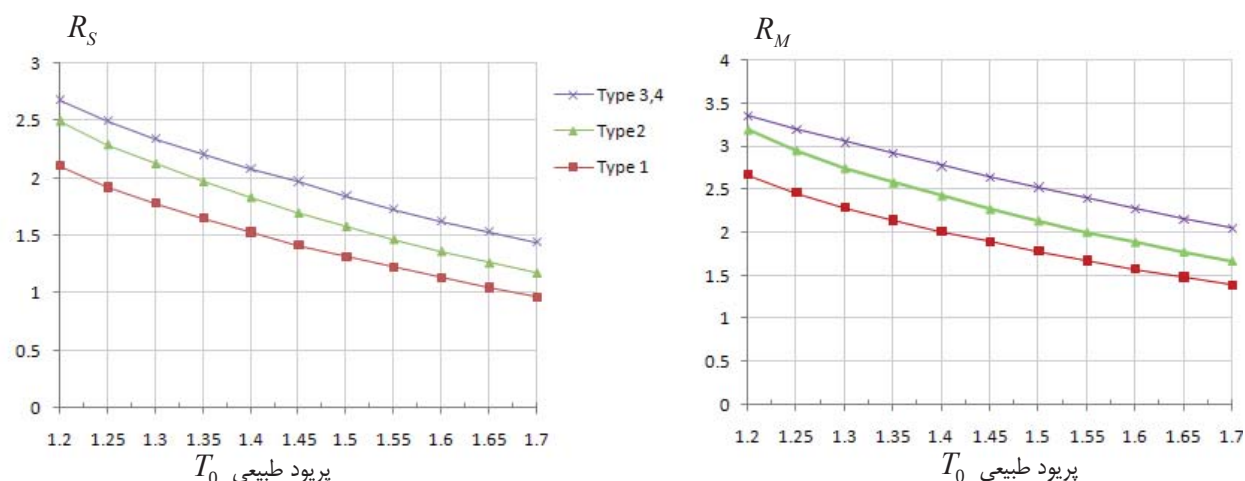
ضریب مشخصه پاسخ R_S ، مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب مشخصه پاسخ R_M ، مربوط به ضریب لنگر طبقه، بایستی از شکل‌های (۱۰-۱) الی (۴-۱۰) بر حسب پریود طبیعی T_0 دکل، و نوع زمین از لحاظ شرایط ارتعاشی محاسبه گردد.



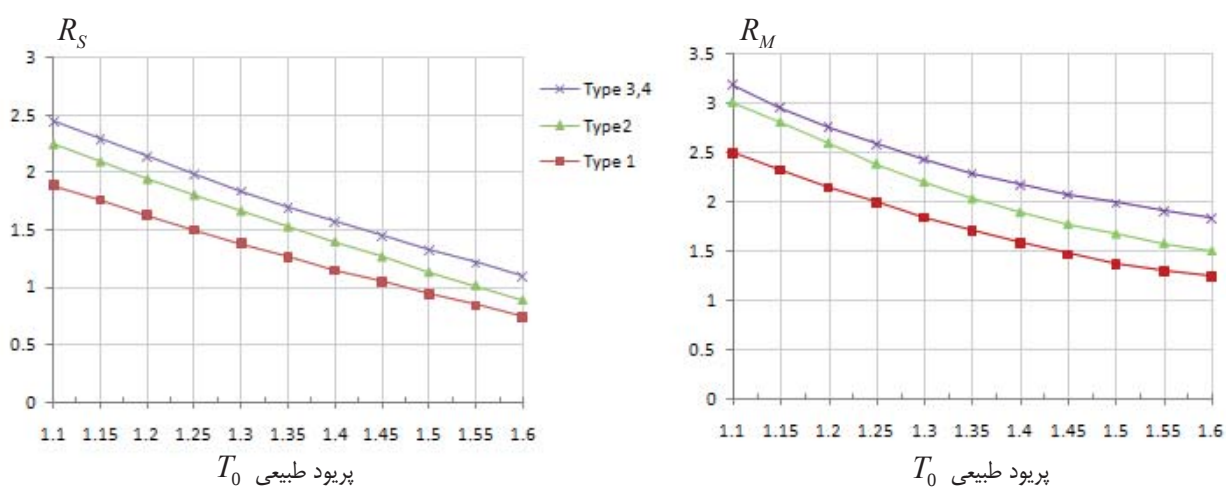
شکل ۱۰-۱ ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه، R_S و R_M ، در دکل از نوع معلق (راستای خط)



شکل ۱۰-۲ ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه، R_M و R_S ، در دکل از نوع معلق (راستای عمود بر خط)



شکل ۱۰-۳ ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه، R_M و R_S ، در دکل از نوع کششی (راستای خط)



شکل ۱۰-۴ ضریب مشخصه پاسخ مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه، R_M و R_S ، در دکل از نوع کششی (راستای عمود بر خط)

۱۰-۳-۱-۴- ضریب توزیع مربوط به ضرایب برش و لنگر طبقه دکل

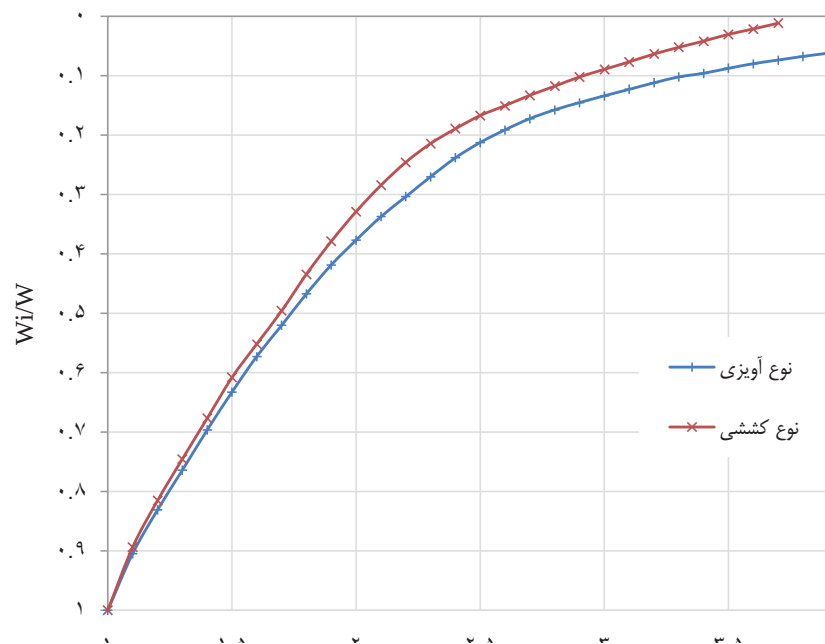
ضریب توزیع مربوط به ضرایب برش و لنگر طبقه دکل با استفاده از شکل‌های (۵-۱۰) تا (۸-۱۰) محاسبه می‌گردد. در این شکل‌ها:

W_i : وزن قسمت فوقانی از ارتفاع h_{bi} از پایه دکل (t)

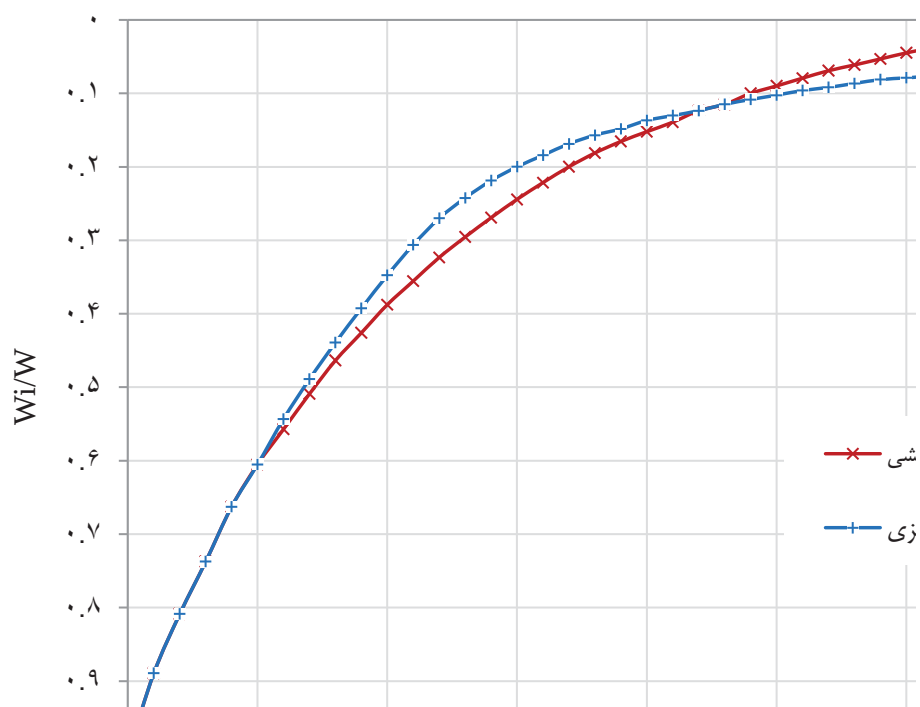
W : وزن کل دکل (وزن‌های مؤثر از قبیل وزن رشته سیم‌ها باید در نظر گرفته شود) (t)

H_i : فاصله از ارتفاع h_{bi} تا مرکز گرانش قسمت فوقانی h_{bi} (m)

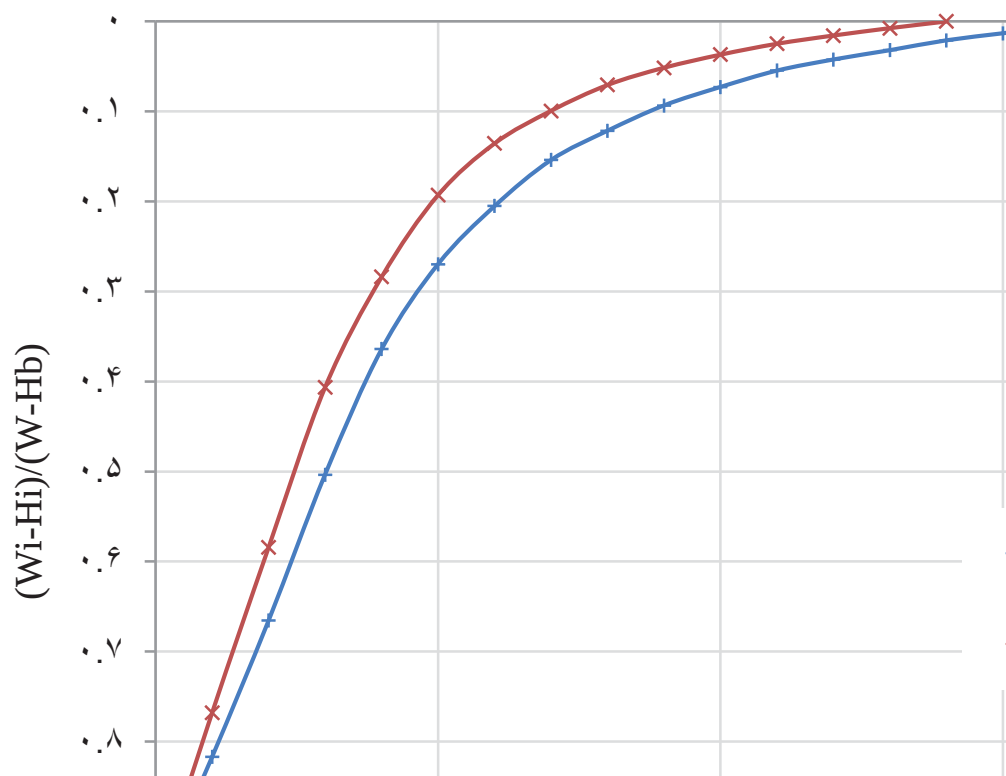
H_b : فاصله پای دکل تا مرکز ثقل آن (m)



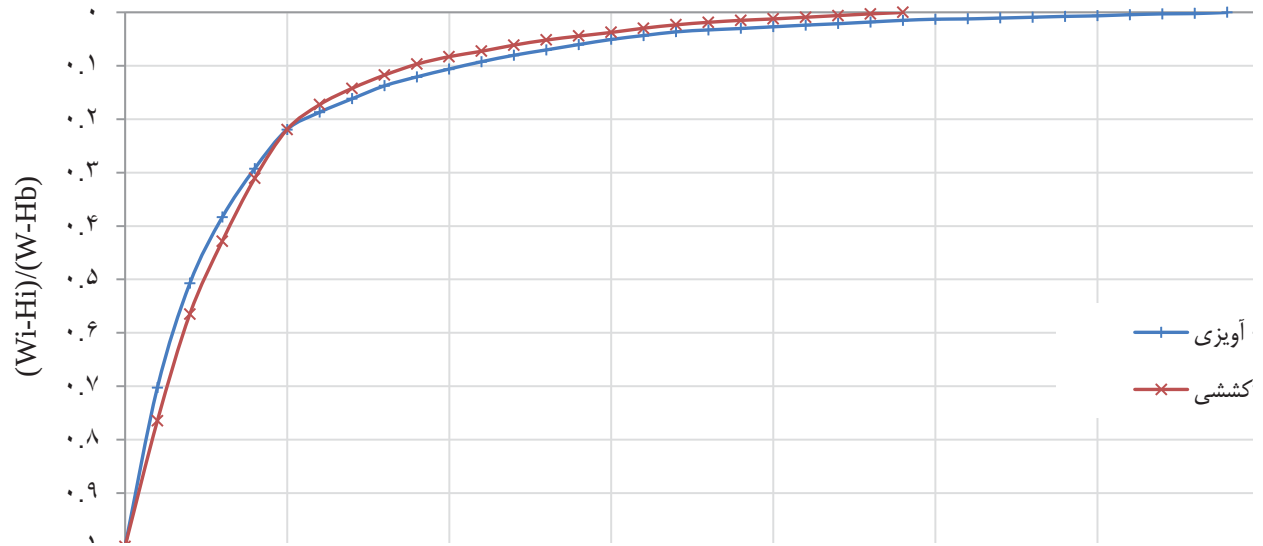
شکل ۵-۱۰ ضریب توزیع مربوط به ضرایب برش طبقه A_{Si} (راستای خط)



شکل ۱۰-۶ ضریب توزیع مربوط به ضریب برش طبقه A_{Si} (راستای عمود بر خط)



شکل ۱۰-۷ ضریب توزیع مربوط به ضریب لنگر طبقه A_{Mi} (راستای خط)



شکل ۱۰-۸ ضریب توزیع مربوط به ضریب لنگر طبقه A_{Mi} (راستای عمود بر خط)

۱۰-۳-۱-۵- ضریب توزیع مربوط به ضرایب برش و لنگر بازو

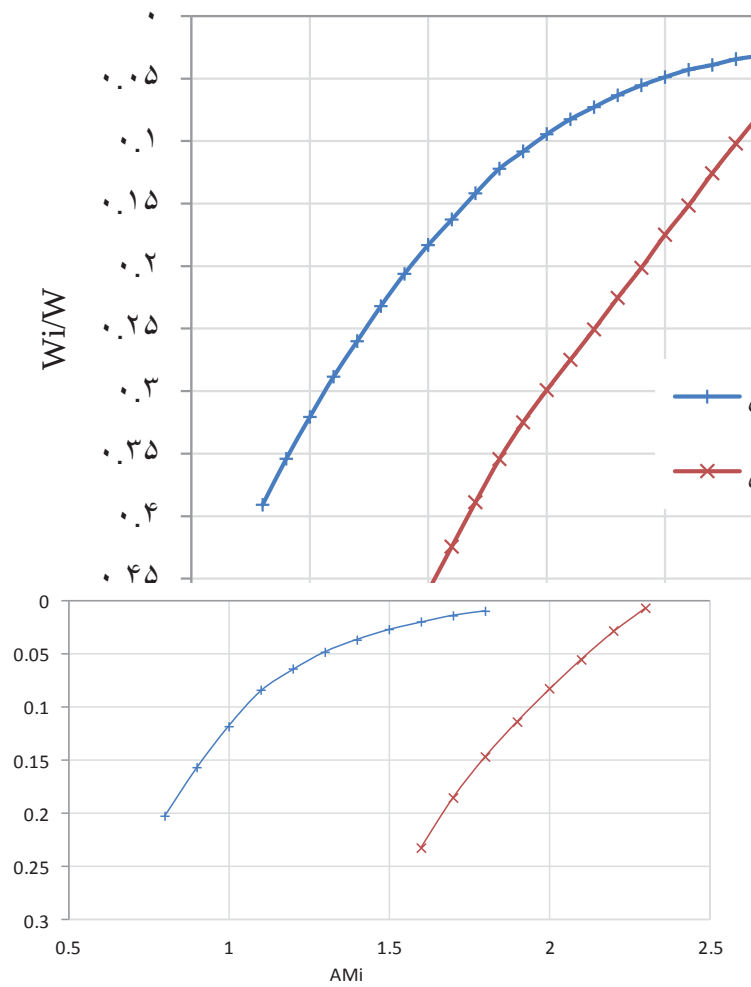
ضریب توزیع مربوط به ضریب برش طبقه A_{Asi} ، و ضریب توزیع مربوط به ضریب لنگر طبقه A_{Ami} ، در بازو، با استفاده از شکل‌های (۹-۱۰) تا (۱۱-۱۰) محاسبه می‌گردد. در این شکل‌ها:

W_i : وزن قسمت فوقانی از ارتفاع h_{bi} از پایه دکل (t)

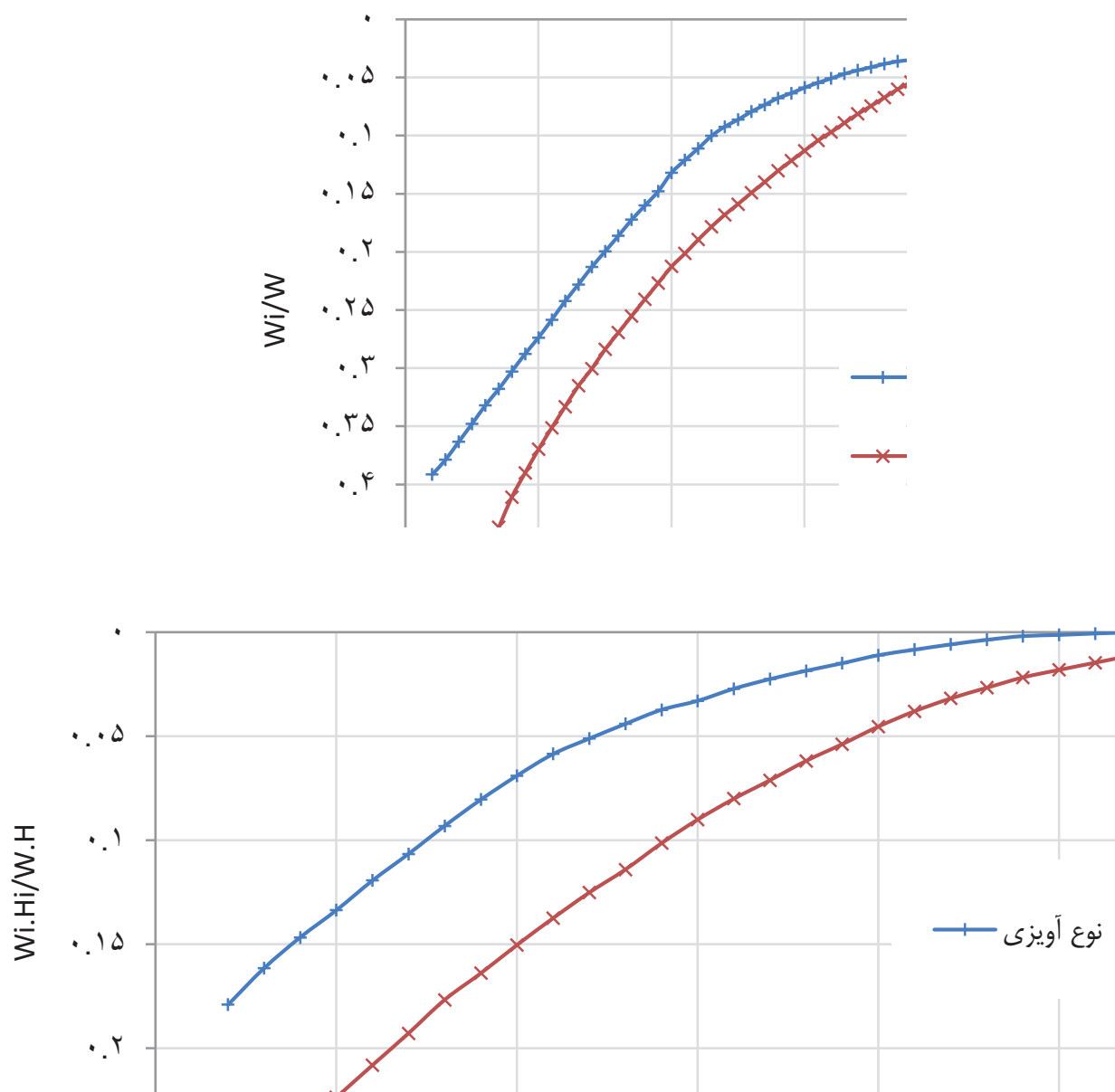
W : وزن کل دکل (وزن‌های مؤثر از قبیل رشته سیم‌ها باید در نظر گرفته شود) (t)

H_i : فاصله از ارتفاع h_{bi} تا مرکز گرانش قسمت فوقانی h_{bi} (m)

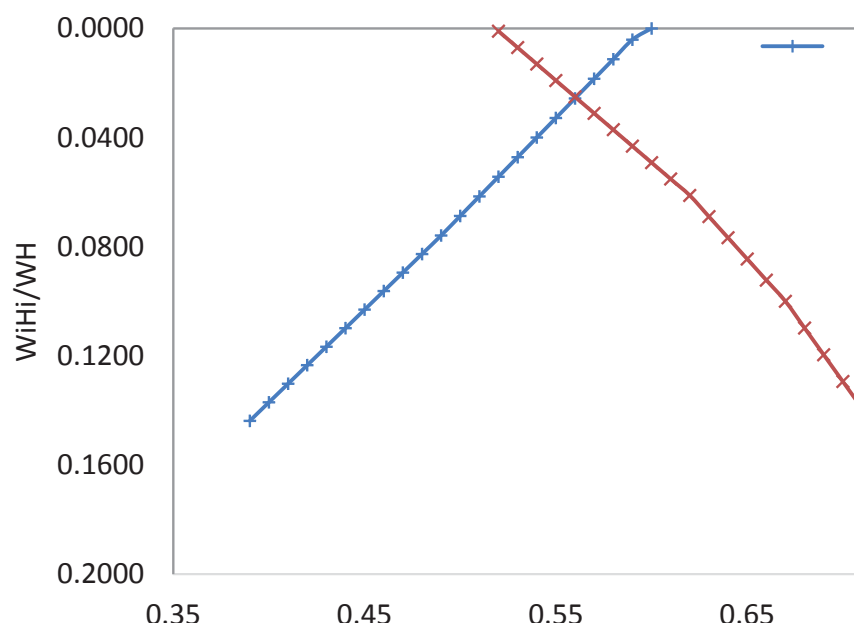
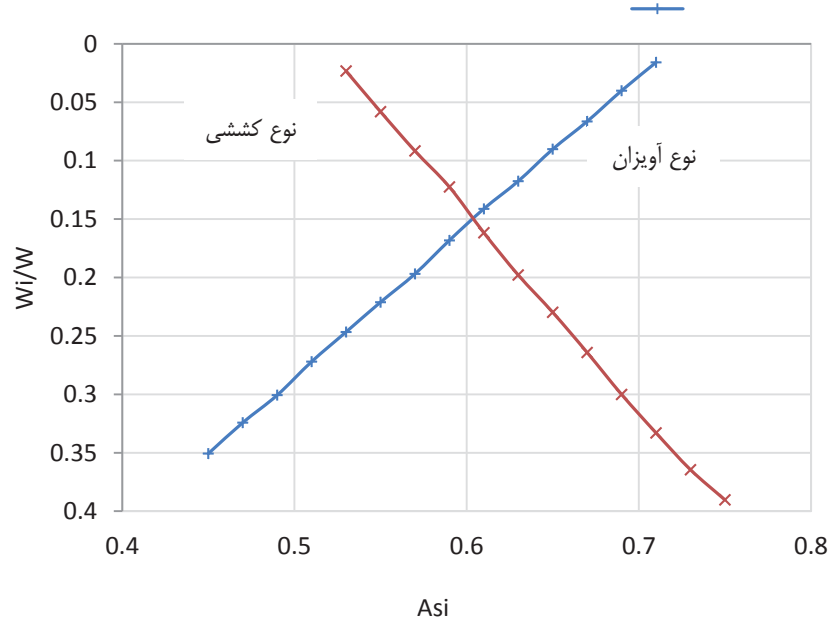
H_b : فاصله پای دکل تا مرکز ثقل آن (m)



شکل ۱۰-۹ ضریب توزیع مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه در بازو A_{AMi} و A_{ASi} (راستای خط)



شکل ۱۰-۱ ضریب توزیع مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه در بازو، A_{ASi} و A_{AMi} (راستای عمود بر خط)



شکل ۱۰-۱۱ ضریب توزیع مربوط به ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه در بازو، A_{ASi} و A_{AMi} (راستای قائم)

۱۰-۳-۱-۶- محاسبه تنش

تنش ناشی از زلزله، بایستی با استفاده از نیروی برشی و لنگر طبقه محاسبه گردد. برای بازوی دکل نیروی لرزه‌ای باید در دو راستای افقی و قائم در نظر گرفته شود. تنش عضو بایستی با ترکیب تنش‌های ناشی از بار مرده، بار کششی رشته سیم و تنش ناشی از زلزله، محاسبه گردد.

کنترل ایمنی بایستی با مقایسه تنش ترکیبی با تنش مجاز طراحی انجام شود.

۱۰-۳-۱-۷- محاسبه بار طراحی پی دکل

۱- بار پی با ترکیب اثرات لرزه‌ای با اثرات بار مرده و بار کششی رشته سیم‌ها، محاسبه می‌گردد.

۲- بارهای لرزه‌ای در دو راستای افقی باید در نظر گرفته شود.

۳- برای طراحی پی از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران و یا آبا می‌توان استفاده نمود.

۱۰-۳-۲- پایه (تیر) برق در خط توزیع

۱- محاسبه بار باد

بار باد و توزیع آن مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران محاسبه می‌شود.

۲- نیروی کششی کابل

نیروی کششی کابل از رابطه (۱۰-۱۴) محاسبه می‌گردد.

$$T = W_L \cdot S^2 / (8 \cdot d) \quad (10-14)$$

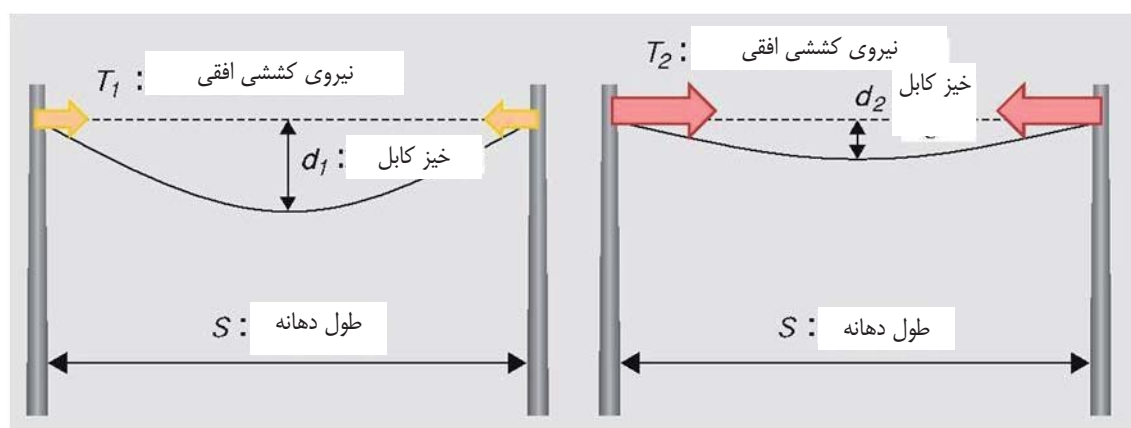
T: نیروی کششی (KN)

d: خیز کابل m

W_L : وزن موثر کابل در یک متر (N / m)

S: طول دهانه (m)

خیز کابل در واقع میزان انحناي کابل نشان داده شده در شکل (۱۰-۱۲) می‌باشد.



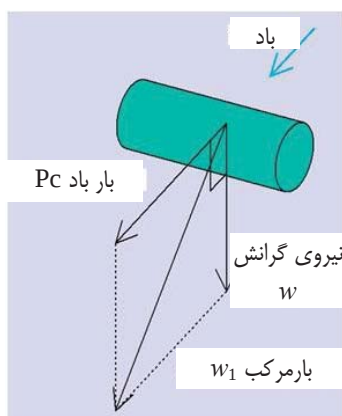
نیروی کششی $T_2 < T_1$ نیروی کششی $d_1 > d_2$ خیز کابل

شکل ۱۰-۱۲ نیروی کششی و درجه شل‌شدگی

وزن موثر کابل در واحد طول همانطور که در شکل (۱۰-۱۳) نشان داده شده است، محاسبه می‌گردد.

$$W_L = \sqrt{w^2 + P_c^2} \quad (10-15)$$

w : وزن کابل در واحد طول (N / m)



۳- محاسبه نیروی قائم

۴- محل اثر نیرو

محل اثر بار

$T' = \frac{H}{H_0} T$

میدل

T

H_0

H

مرکز لنگر

۵-۱- جنس پایہ‌ها

پایه‌های برق در شبکه توزیع از دو نوع بتنی و فولادی می باشد.

پایه‌هایی بتنی به دو نوع ۱ و ۲ طبقه‌بندی می شود.

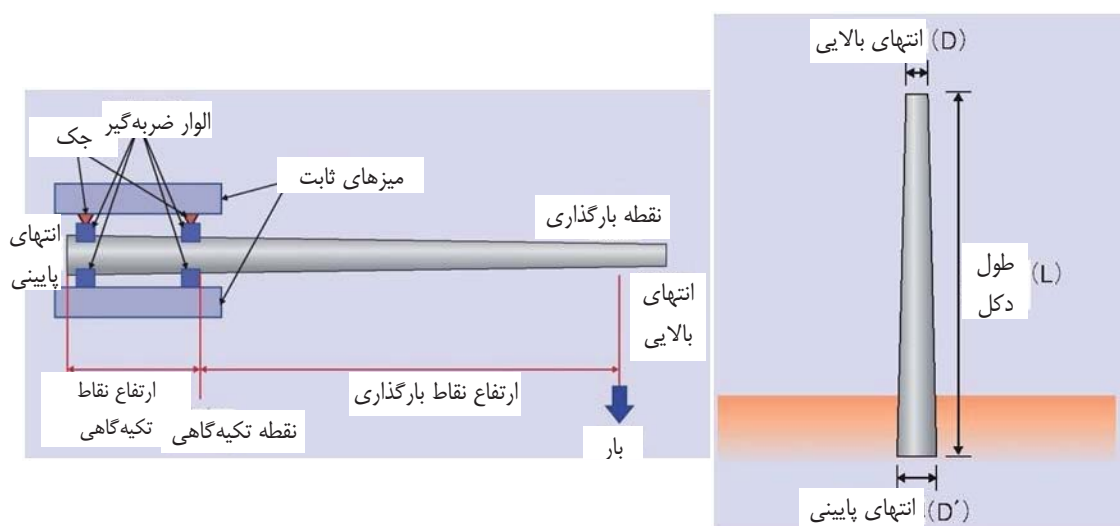
نوع اول برای تأسیسات حیاتی برق‌رسانی و ارتباطات و نوع دوم برای خطوط آهن به کار برده می شود.

۲-۵- شکل پایه‌ها

مطابق شکل (۱۵-۱۰) انتهای پایینی با سطح مقطع بزرگتر و انتهای فوقانی با سطح مقطع کوچکتر می باشد. شیب مخروطی پایه α از رابطه (۱۶-۱۰) محاسبه می گردد:

$$\alpha = (D' - D) / L \quad (16-10)$$

مقدار α هم برای پایه بتنی و فولادی برابر با $1/75$ (یک بر هفتاد و پنج) می باشد.



شکل ۱۵-۱۰ نحوه تعیین زاویه مخروطی پایه

شکل ۱۶-۱۰ آزمایش خمشی پایه

همانطور که از شکل (۱۵-۱۰) مشخص است حداکثر لنگر خمشی در نقطه‌ای بر مرز مابین قمستی از پایه واقع در روی سطح زمین و زیر زمین اتفاق می افتد.

سطح مقطع پایه در نقطه مرزی تعیین کننده می باشد.

۳-۵- مدهای آسیب و مقاومت پایه

آسیب دیدگی پایه به دو صورت می باشد.

حالت اول شکستگی پایه می باشد که این حالت، در صورتی اتفاق می افتد که زمین سخت بوده و لنگر حداکثر ناشی از بار وارده بزرگتر از لنگر مجاز پایه باشد.

حالت دوم واژگونی پایه است که در زمین نرم بوده و ظرفیت باربری مجاز زمین کمتر از حداکثر لنگر وارده باشد.

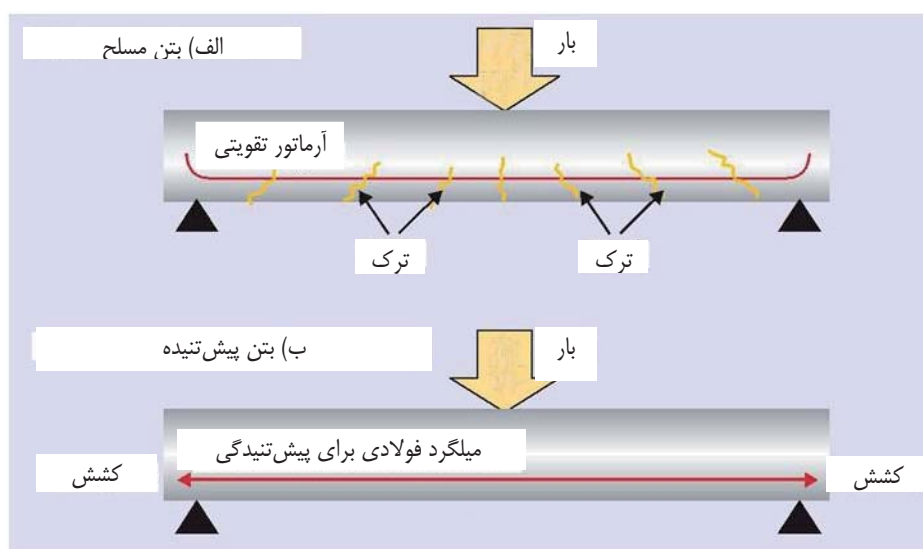
• مقاومت پایه

مقاومت مجاز پایه با استفاده از آزمایش نشان داده شده در شکل (۱۶-۱۰) تعیین می گردد.

حداکثر نیروی وارده (نیروی افقی)، مقاومت مجاز (نیروی طراحی) پایه می باشد.

ترک بیش از 0.25 میلی متر در اثر حداکثر بار طراحی نباید اتفاق بیافتد.

ترک پسماند بدون اعمال بار، نباید بیش از ۰/۵ میلی متر باشد.
نیروی شکست دو برابر نیروی حداکثر طراحی می‌باشد.
همانطور که در شکل (۱۷-۱۰) نشان داده شده است برای اجتناب از ایجاد ترک در پایه بتنی اغلب از میلگردهای فولادی پیش‌تنیده استفاده می‌شود. این پایه‌های به پایه PC معروف هستند.



شکل ۱۷-۱۰ پایه پیش‌تنیده

نیروی طراحی پایه فولادی مانند پایه بتنی کنترل می‌گردد. کنترل کمانش آن با استفاده از آزمایش انجام می‌شود.

- ظرفیت باربری زمین تکیه‌گاهی

لنگر وارد M_{ot} در مرکز دورانی پایه با استفاده از رابطه (۱۷-۱۰) تعیین می‌گردد.

$$M_{ot} = P \cdot (h + t_o) \quad (\text{kN.m}) \quad (17-10)$$

P : نیروی باد (kN)

h : ارتفاع نیروی وارد از سطح زمین (m)

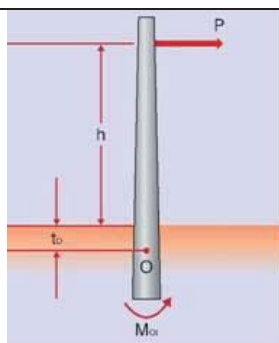
t_o : عمق (فاصله) مرکز دوران در زیر سطح زمین (m)

لنگر نهایی قبل از واژگونی پایه، لنگر مقاوم نهایی M_{oa} نامیده می‌شود.

M_{oa} برای طراحی با ضریب ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$M_{ot} \leq M_{oa} \quad (18-10)$$

شکل (۱۸-۱۰) توضیح رابطه بالا می‌باشد.



شکل ۱۰-۱۸ لنگر وارد در مرکز دوران

• عمق مدفون پایه

هر چقدر عمق مدفون پایه بیشتر باشد، مقدار M_{oa} برای مقاومت در برابر لنگر M_{ot} بیشتر خواهد بود. مقدار M_{oa} به دست آمده باید با شرایط ساختگاه کنترل گردد.

۴-۵- طراحی لرزه‌ای پایه

توضیحات فوق اساساً در مورد طراحی پایه در مقابل بار باد، P می‌باشد.

در طراحی در مقابل بار لرزه‌ای، نیروی وارد P' تعیین شده و این مقدار در رابطه (۱۰-۱۹) بجای مقدار P قرار داده و استفاده می‌شود.

مقدار P' نباید با مقدار P ترکیب شود. لنگر M_{ot} ناشی از P' یا P محاسبه و هر کدام که بزرگتر باشد، در نظر گرفته می‌شود.

$$P' = K_{SH} W_s \quad (10-19)$$

K_{SH} : ضریب زلزله افقی (از پیوست این راهنما تحت عنوان بارگذاری لرزه‌ای شریانهای حیاتی)

W_s : وزن دکل (kN)

از اثر مؤلفه قائم زلزله صرف نظر می‌شود.

۱۰-۴- کمیت‌های مجاز

۱- تنش مجاز

تنش مجاز در روش شبه استاتیکی، روش پاسخ تغییرمکان و روش ضریب برش طبقه، یک و نیم برابر تنش مجاز ناشی از بار عادی در شرایط بهره برداری می‌باشد.

۲- تغییرمکان پی دکل

۲-۱- تغییرمکان پی دکل در زمین نرم

• در صورتی که زلزله در راستا یا عمود بر راستای خط باشد، مقدار تغییرمکان مابین پایه‌ها در حالتی که موج برشی در جهت حرکت، منتشر می‌شود، نادیده گرفته می‌شود.

• اگر زلزله در امتداد ۴۵ درجه نسبت به راستای خط باشد، تغییرمکان نسبی بین پایه‌ها باید محاسبه گردد.

- تغییرمکان مجاز استاندارد در حدود $1/800$ (یک بر روی هشتصد) در دهانه پای دکل می‌باشد.

۲-۲- تغییرمکان پی دکل در زمین‌های معمولی

- تغییرمکان پی دکل در زمین‌های معمولی در اثر حرکت موج سطحی، ناچیز می‌باشد.
- در صورتی که پایه‌های دکل در نواحی کوهستانی بوده یا شیب سطح زمین در این نواحی تغییرات زیادی داشته باشد، تنش اضافی در اعضای دکل بوجود می‌آید.
- تغییرمکان مجاز پی در زمین عادی، یک و نیم برابر مجاز در شرایط بهره‌برداری و 15 میلی‌متر در هر پایه می‌باشد.
- از آنجایی که تغییرمکان پی گسترده روی ساختگاه مساعد کم می‌باشد، کنترل تغییرمکان در مورد آنها انجام نمی‌شود.

۱۰-۵- معیار پذیرش

تنش مرکب اعضای دکل و بازوی طراحی شده با بار باد در هنگام زلزله، نباید از تنش مجاز بیشتر شود. علاوه بر آن مقدار تغییرمکان لرزه‌ای در پی نباید از مقدار مجاز بیشتر شود.

۱۰-۶- محدوده کاربرد

۱- مشخصه عضو اصلی ستون و دکل فولادی باید طبق جدول (۱۰-۳) باشد:

جدول ۱۰-۳ ضریب لاغری

نوع تکیه‌گاه	عضو	ضریب لاغری
ستون فولادی دکل فولادی	پست اصلی (شامل مصالح بازو)	۲۰۰ یا کمتر
	عضو فشاری به غیر از پست اصلی	۲۲۰ یا کمتر
	عضو یدکی (به عنوان عضو فشاری بکار رود)	۲۵۰ یا کمتر

جدول ۱۰-۴ ضخامت عضو (JESC E0008)

نوع تکیه‌گاه	عضو	ضخامت (mm)
ستون فولادی	صفحه فولادی بلند کننده پایه	۱۰ یا بیشتر
	پایه لوله فولادی	۲۰ یا بیشتر
	سایر ستون‌های فولادی	۴۰ یا بیشتر
		۳۰ یا بیشتر
دکل فولادی	لوله فولادی	۲۴ یا بیشتر
	به غیر از لوله فولادی	سایر اعضاء
		۱۶ یا بیشتر
		۵۰ یا بیشتر
	سایر اعضاء	۳۰ یا بیشتر

۲- پیچ بکار برده شده در ستون و دکل فولادی با موافقت بهره‌بردار تهیه می‌گردد.

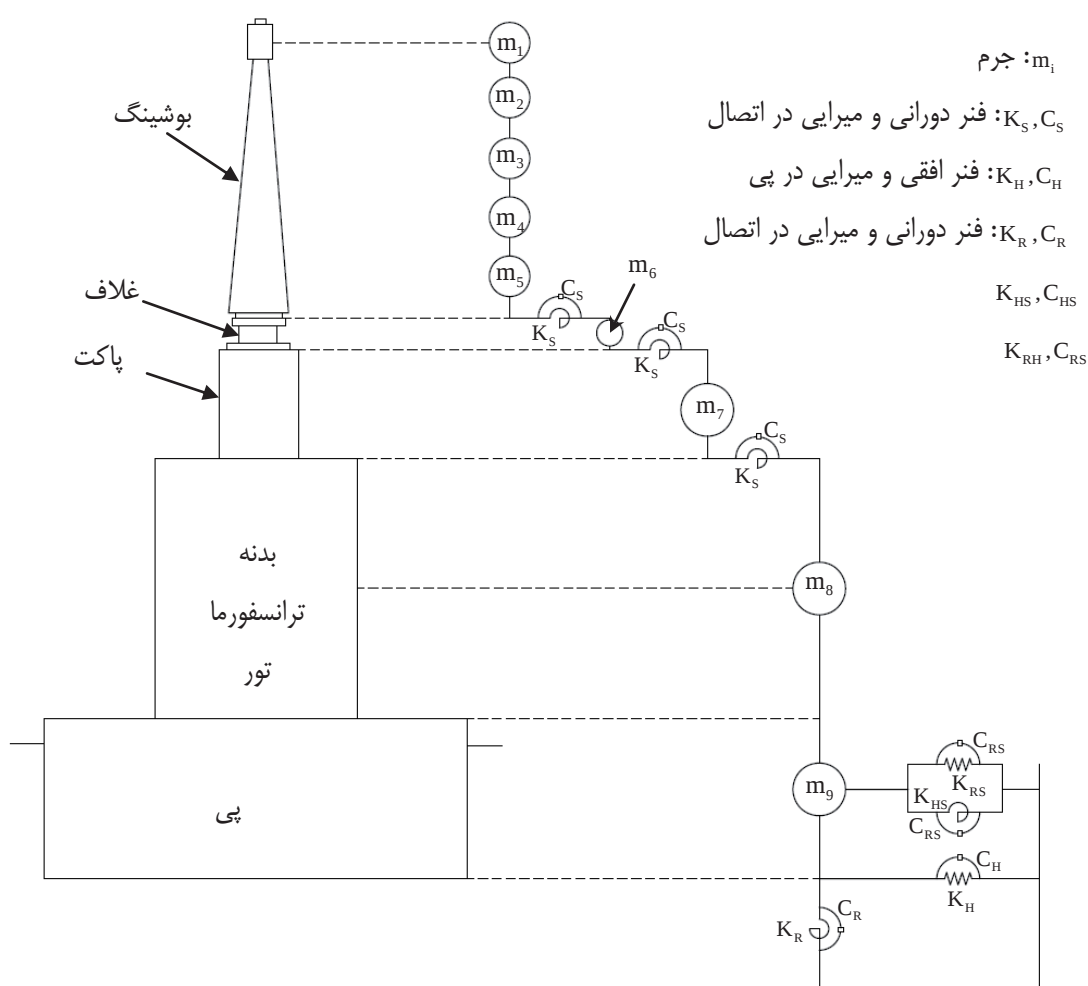
فصل ۱۱

مثالها

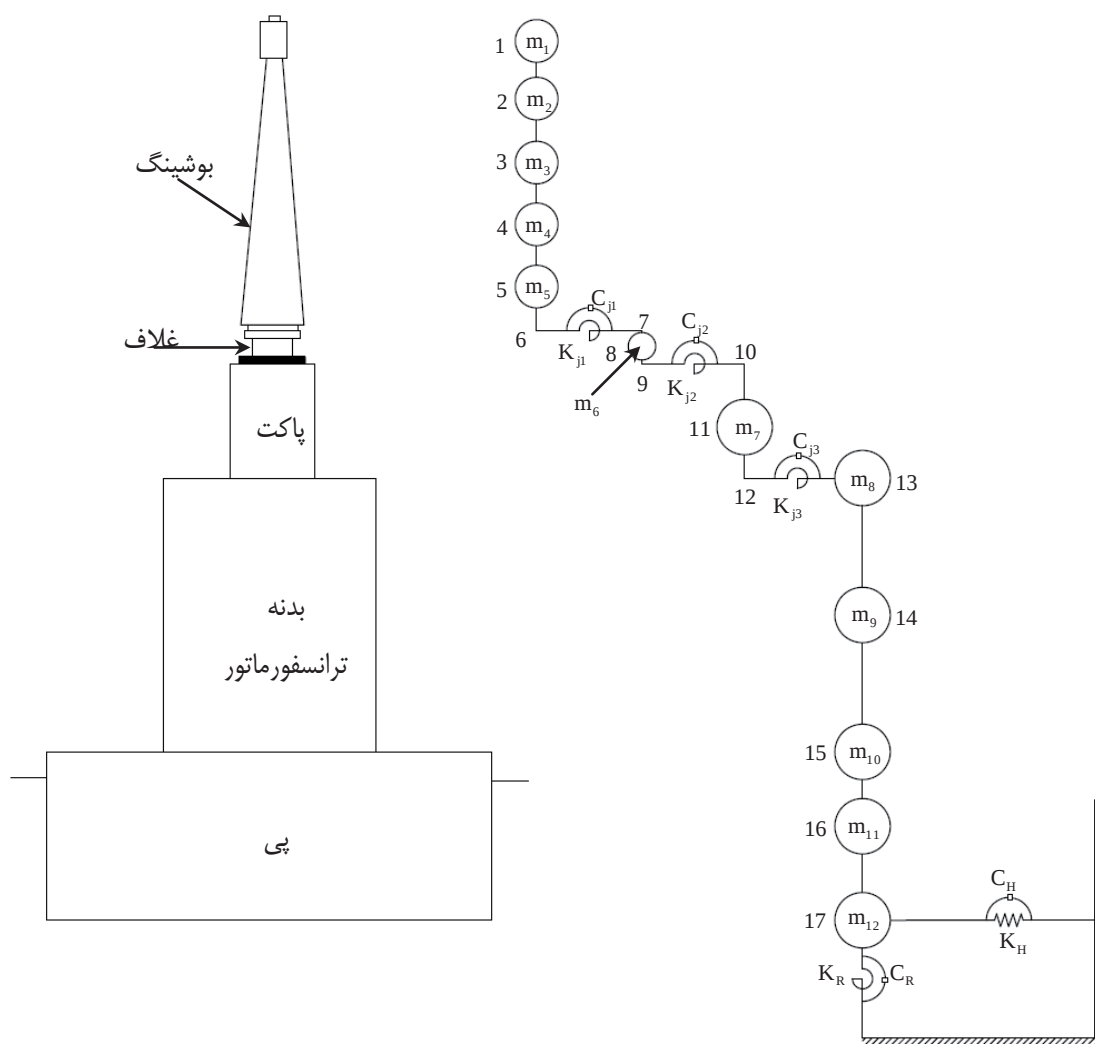
۱۱-۱- مثال طراحی لرزه‌ای برای تاسیسات پوشینگ

۱۱-۱-۱ مدل طراحی لرزه‌ای

شکل ۱۱-۱ ترانسفورماتور با پوشینگ که مستقیماً بر روی پی قرار گرفته است را نشان می‌دهد. شکل ۲ نشان‌دهنده مدل طراحی لرزه‌ای است. جرم و ممان‌های اینرسی، ثابت فنر و نسبت میرایی بحرانی سیستم زمین پی ترانسفورماتور با پوشینگ و پی آن در این شکل آمده است.



شکل ۱۱-۱-۱-۱ مثال طراحی لرزه‌ای ترانسفورماتور پوشینگ



شکل ۱۱-۲- ثابت‌های فیزیکی و نتایج تحلیل پاسخ لرزه‌ای برای بوشینگ ترانسفورماتور

۱۱-۱-۲- مشخصات اصلی بوشینگ

۱۱-۲-۱-۱- وزن و اینرسی دورانی

جدول ۱۱-۱

وزن (N)	اینرسی دورانی ($N.m^2$)	
2.75E4	5.79E4	بدنه ترانسفورماتور
4.28E4	2.39E7	پی

۱۱-۲-۲-۱- ثوابت فنر و میرایی سیستم خاک- پی

جدول ۱۱-۲

C_R	K_R (N.m/rad)	C_H	K_H (N/m)	ν	ρ (kN/m ³)	V_s (m/s)
0.19	5.684E10	0.33	2.156E7	0.4	1.65	200

۱۱-۲-۳- ورودی‌های لرزه‌ای

- ورودی لرزه‌ای: ۲ موج سینوسی با فرکانس ۷/۵ هرتز در سطح زمین
- بزرگ‌نمایی در بالای بوشینگ: ۶/۲
- ممان کف مقره: ۶۰۷۶۰ N.m
- حداکثر تنش: تنش کششی $10/78 \text{ N/mm}^2$ در پایین مقره

۱۱-۱-۳- مدل دینامیکی

معمولاً از سیستم جرم متمرکز استفاده می‌شود. مدل جرم متمرکز در شکل ۲ نمایش داده شده است.

۱۱-۱-۴- اندرکنش خاک- سازه

اندرکنش بین پی و زمین مجاور را می‌توان با استفاده از ثابت‌های فنر افقی و دورانی مدل نمود. اثرات ثابت فنر دورانی برای پاسخ بوشینگ مهم است. روش تفصیلی برای بدست آوردن ثابت‌های میرایی دیگر در جدول ۳ نشان داده می‌شود.

- K_{HS}, K_{RS} از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\text{ارتعاش افقی} = K_{HS} = L G_s S_{u1} \quad (\text{N/m}) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{ارتعاش دورانی} = K_{RS} = L G_s r_0^2 S_{p1} \quad (\text{N.m/rad}) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$L: \text{عمق پی (m)} \quad \omega: \text{فرکانس دورانی (Hz)} \quad a_0: \text{فرکانس بدون بعد (} r_0 \omega / V_s \text{)}$$

$$r_0: \text{شعاع معادل پی (m)} \quad G_s: \text{صلبیت زمین (N/m}^2 \text{)} \quad V_s: \text{سرعت موج s در زمین}$$

$$\rho_s: \text{چگالی زمین (kg/m}^2 \text{)} \quad S_{u1}, S_{p1}: \text{از رابطه جدول ۱۱-۳ بدست می‌آید:}$$

جدول ۱۱-۳- محاسبه فنرهای پی

K _{RS}	بدست آمده از روابط زیر : K_{RS} و K_{HS} ارتعاش افقی : $K_{HS} = L \times G_S \times S_{U1} (N/m)$ ارتعاش دورانی : $K_{RS} = L \times G_S \times r_0^2 \times S_{\phi 1} (N.m/rad)$ L: فرکانس دورانی (هرتز) ω: فرکانس بدون بعد a_0: شعاع معادل پی (m) Γ_0: صلبیت زمین G_S: سرعت موج S زمین V_S: چگالی زمین S_{U1} و $S_{\phi 1}$: بدست آمده از جدول زیر :		
	نسبت پواسون	روابط تخمینی	محدوده اعمالی
	0	$0.2328a_0 + 3.609a_0 / (a_0 + 0.06159)$ $150.3a_0 - 3630a_0^3 - 1934a_0^4 + 3488a_0^5$	$0.2 \leq a_0 \leq 1.5$ $0 \leq a_0 \leq 0.2$
	0.25	$2.474 + 4.119a_0 - 4.320a_0^2 + 2.057a_0^3 - 0.362a_0^4$ $- 1.468\sqrt{a_0} + 5.662\sqrt[4]{a_0}$	$0.2 \leq a_0 \leq 2.0$ $0 \leq a_0 \leq 0.2$
	0.4	$2.824 + 4.776a_0 - 5.539a_0^2 + 2.445a_0^3 - 0.394a_0^4$ $- 1.796\sqrt{a_0} + 6.539\sqrt[4]{a_0}$	$0.2 \leq a_0 \leq 2.0$ $0 \leq a_0 \leq 0.2$
K _{HS}	ارتعاش افقی S_{U1}	$3.142 - 0.4215a_0 - 4.209a_0^2 + 7.165a_0^3$ $- 4.66a_0^4 + 1.903a_0^5$	$0 \leq a_0 \leq 1.5$

(۱) نسبت میرایی بحرانی

جدول ۱۱-۴- نسبت میرایی بحرانی که معمولاً برای سازه‌های بوشینگ استفاده می‌شود، را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱-۴- نسبت میرایی بحرانی

تاسیسات با پوشینگ فلنچی	۸-۲٪
تاسیسات با فلز جوش شده	۵-۲٪
تاسیسات با پیچ	۱۲-۵٪

(۱) نتایج محاسبه

(۱) فرکانس طبیعی مد اول (جنبش) پی و بدنه: ۶/۹ هرتز

فرکانس طبیعی مد دوم پوشینگ: ۷/۵ هرتز

(۲) حرکت سطح زمین: دامنه g با ۰/۳ و ۷/۵ هرتز

(۳) تقویت بالای پوشینگ: ۶/۲

(۴) ممان خمشی پایه پوشینگ: ۶۰۷۶۰ N.m

(۵) حداکثر تنش: $10/75 \text{ N/mm}^2$

نتایج بالا در محدوده تنش مجاز ایزولاتور مشخص است.

۱۱-۲- مثال کابل‌های مدفون

تجهیز: کابل فیبر نوری

ضریب اهمیت: ۱

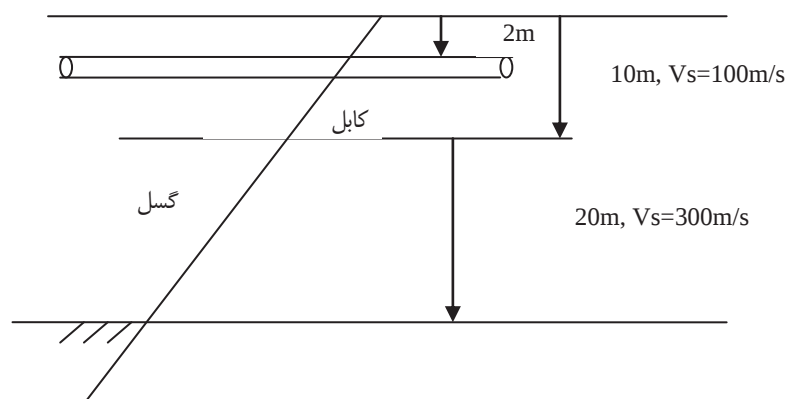
(۱) ساختگاه

ایستگاه فرعی در شهر تهران

شرایط زمین: III

فاصله از گسل منبع زلزله: بیشتر از ۱۰ کیلومتر

همانطور که در زیر نشان داده شده کابل در دو لایه مدفون می‌شود.



شکل ۱۱-۳

(۲) شرایط زلزله

- شرایط MCE در نظر گرفته می‌شود (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)
- $M = 7.2$ و فاصله = ۳۰ کیلومتر و گسل فشاری

(۳) ورودی‌های لرزه‌ای

انتشار موج و حرکت گسل در نظر گرفته می‌شود.

(۴) ضریب زلزله

$A = 0.35$ برای خطر لرزه‌خیزی بسیار بالا در شهر تهران

ضریب میدان نزدیک = ۱ برای بیشتر از ۱۰ کیلومتر و گسل نوع B

(۵) شتاب محاسبه شده توسط M و D

$$\alpha_{\max} = 10^{0.440M - 1.38 \log \sqrt{R_E^2 + d^2} + 1.04}$$

$a_{\max}$: حداکثر شتاب (گال)

M: بزرگای زلزله

R_E : فاصله کانونی (کیلومتر)

d: عمق زلزله (کیلومتر) $= 10^{0.353M - 1.435}$

$a_{\max} = 131$ گال روی سنگ بستر

(۶) جابجایی زمین در اثر انتشار موج

$$S_v = \alpha_v \cdot A \cdot (S + 1)$$

$$\text{پریود سطح زمین} = 40/100 + 80/300 = 0.67$$

سپس $S = 1.75$ برای خطر لرزه‌ای بسیار بالا

$$S_v = 100 \cdot 0.35 \cdot 1.75 = 70 \text{ kine}$$

$$U = \frac{2}{\pi^2} \cdot T \cdot S_v = 9.9 \text{ cm (جابجایی زمین)}$$

$$L = 800 \text{ m (طول موج)}$$

(۷) تغییر مکان گسل

$$\log_{10}(MD) = a + bM$$

رابطه ۱۱-۱

که در آن:

MD: حداکثر تغییر مکان گسل روی سطح زمین (m)

M: بزرگای ممان با توجه به دوره بازگشت زلزله طراحی

a, b: ضرایب مدل گسل بدست آمده از جدول ۱۱-۵.

جدول ۱۱-۵- ضرایب مدل گسل

ضریب		مدل گسل
b	a	
-۱/۰۳	-۷/۰۳	راستا لغز
-۰/۲۹	-۱/۸۴	فشاری
-۰/۸۹	-۵/۹	نرمال
-۰/۸۲	-۵/۴۶	کل

$$\log_{10}(\text{MD}) = a + bM = -1.84 + 0.29 \cdot 7.2 = 0.248$$

$$\text{MD} = 1.75\text{m}$$

(۱) کنترل ایمنی انتشار موج

(۲) انتشار موج

زمانیکه موج لرزه‌ای در سطح زمین منتشر می‌شود، سازه‌های مدفون تحت تاثیر موج قرار گرفته و دچار تغییر شکل می‌شوند. حداکثر کرنش ایجاد شده در کابل‌ها از کرنش زمین تجاوز نمی‌کند بطوریکه کرنش زمین ایجاد شده در اثر انتشار موج معیار مناسبی برای تخمین حداکثر کرنش کابل تحت تاثیر موج است.

(۲) پس به عنوان یک تخمین ساده، کرنش کابل برابر کرنش زمین ε_G فرض می‌شود. به صورت زیر:

$$\varepsilon_{\text{cable}} \approx \varepsilon_G \quad (۸-۷)$$

$$\text{کرنش زمین} = 2\pi U/L = 0.07\%$$

همانطور که در نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده در بخش ۳-۴-۵ مشهود است، در اثر انتشار موج هیچ آسیبی به کابل وارد نمی‌شود.

(۳) کنترل ایمنی جابجایی گسل

(۳) عبور از گسل

در موارد نشان داده شده در شکل ۱۱-۲ و ۱۱-۳ کرنش کابل ناشی از عبور گسل به صورت زیر داده می‌شود.

$$\varepsilon_F = \frac{d}{L} \quad (۸-۸)$$

که در آن d و L به ترتیب جابجایی گسل و طول موثر کابل است.

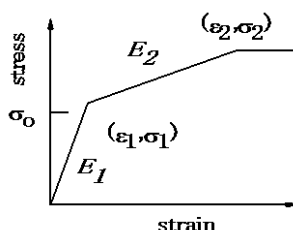
(۸-۹)

$$d = \frac{h}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

$$L = \sqrt{\frac{2E_2 d}{q} + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{q}\right)^2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{q}$$

(۸-۱۰)

که در آن q مقاومت لغزشی هر مساحت حلقه در واحد طول E_{29} ، σ_1 و σ_2 مدول دوم و تنش‌های بحرانی در شکل ۴-۱۱ هستند.



شکل ۴-۱۱- منحنی تنش کرنش المان کابل

درجه $\theta = 90$

$$d = 1.75 / (2 \cdot \sin(45)) = 1.23m$$

بر اساس آزمایش کشش کابل در جعبه، ۳۰۰ میلیمتر در ۱۰۰ متر طول کابل، حد الاستیک کابل می‌باشد، بطوریکه آسیبی به کابل وارد نمی‌شود. نیروی اعمالی ۳ تن بر سطح مقطع $19/6 \text{ cm}^2$ کابل بوده است. سایر مقادیر به صورت زیر است.

$$E_1 = 51000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_2 = E_1 / 5 = 10000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_1 = 0.3 / 100 = 0.0003$$

$$\varepsilon_2 = 3 \cdot \varepsilon_1 = 0.0009$$

$$\sigma_1 = 15.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = 21.3 \text{ N/mm}^2$$

$$q = 0.001 \text{ N/mm}^3$$

$$L = 156.9m$$

سپس

$$\varepsilon_F = 1.23 / 156.9 = 0.008 = 0.8\%$$

کرنش کابل بسیار (بیش از ۱۰ برابر) بیشتر از انتشار موج است. ایمنی باید با استفاده از اطلاعات واقعی آزمایش‌های کابل کنترل

شود.

پیوست‌ها

پیوست ۱

تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای برای قسمت مورد استفاده در سازه هدف، تعیین می‌گردد و برای مصالح فشاری و غیر فشاری، بطور جداگانه در سیستم سازه تکیه‌گاهی، تعریف می‌گردد.

۱-۱- تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار

تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار از ضرب یک ضریب بر مقاومت کششی f_c یا مقاومت متناظر با کرنش ϵ_y ۰/۲٪ در دمای بهره‌برداری مصالح بر حسب نوع تنش، تعیین می‌گردد. تنش‌های مجاز به صورت جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱ تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار

نوع تنش	تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای
تنش کششی	S (در مصالح با اتصال جوشی مقدار S باید در η_w ضرب گردد)
تنش خمشی	S
تنش فشاری	کمترین مقدار از S یا S'
تنش برشی	$0.6S$

توضیح: در این جدول مقادیر S ، S' و η_w بصورت زیر تعیین می‌گردند.

S' : تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار می‌باشد، که مقدار آن بر حسب نوع مصالح از ستون سمت راست، در ستون سمت چپ جدول ۲ آورده شده است. (N/mm^2)

جدول ۲ تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای بر حسب نوع مصالح

نوع مصالح	S
(a) مصالح با آلیاژ آلومینیوم و مصالح فولادی با ۹٪ نیکل برای دماهای پایین کمتر از دمای اتاق	$S = \min\{0.6S_u, 0.9S_y\}$
(b) مصالح فولادی ضد زنگ استنیتی و مصالح فولادی با آلیاژ بالای نیکل، استفاده شده در دمایی بالاتر از دمای اتاق	$S = \min\{0.6S_{u0}, 0.6S_u, 0.9S_{y0}, S_y\}$
(c) مصالحی به غیر از بند (a) و (b)	$S = \min\{0.6S_{u0}, 0.6S_u, 0.9S_{y0}, S_y\}$

S' : تنش مجاز مربوط به کماتش در طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار در ستون سمت چپ جدول ۳ بر حسب نوع مصالح از ستون سمت راست، تعیین می‌گردد. (N/mm^2)

جدول ۳ تنش مجاز مربوط به کماتش

نوع مصالح	S'
مخازن ذخیره افقی استوانه‌ای شکل و برج‌ها	$\frac{0.6 \square \square}{\left(1 + 0.004 \frac{\square}{S'_{\square}}\right) \square \square}$
مخازن استوانه‌ای شکل	$\frac{\square \square}{3 \square}$

 η_w : کفایت جوش

S_u : مقاومت کششی در دمای بهره‌برداری مصالح از ۰ تا ۴۰°C که باید کمتر از حداقل مقدار استاندارد مصالح باشد.

S_{u0} : مقاومت کششی در دمای محیط که باید کمتر از حداقل مقدار استاندارد مصالح باشد.

S_y : مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ در دمای بهره‌برداری مصالح از ۰ تا ۴۰°C که باید کمتر از حداقل مقدار استاندارد مصالح باشد.

S_{y0} : مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ در دمای محیط از ۰ تا ۴۰°C که باید کمتر از حداقل مقدار استاندارد مصالح باشد.

S'_y : کمترین مقدار از S_y یا $(N/mm^2) S_{y0}$

E : مدول ارتجاعی مصالح در دمای بهره‌برداری (N/mm^2)

D_m : متوسط قطر پوسته (mm)

t : ضخامت متوسط پوسته یا ورق دیواره (mm)

D : قطر داخلی مخزن (mm)

۱-۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاه

تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاه از حاصلضرب ضریب حداقل ۷۰٪ در مقاومت کششی و مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ یا مقاومت کششی در دمای طراحی مصالح بر حسب نوع تنش، به دست می‌آید.

تنش مجاز مصالح فولادی در سازه‌های تکیه‌گاهی از استاندارد KHK ژاپن به صورت زیر می‌باشد.

۱-۲-۱- مصالح سازه تکیه‌گاهی

برای طراحی لرزه‌ای، مقدار تنش مجاز مصالح سازه‌های تکیه‌گاهی (N/mm^2) که مستقیماً به مصالح قسمت فشاری جوش نشده‌اند، در ستون سمت راست بر حسب نوع تنش در ستون سمت چپ در جدول ۴ آمده است.

با استفاده از رابطه کنترلی واقع در ستون سمت چپ جدول ۶ در مصالح سازه تکیه‌گاهی، تنش ترکیبی با توجه به نوع ترکیب تنش، در ستون سمت راست این جدول، باید کنترل گردد.

جدول ۴ تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی

تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای		نوع تنش
F		تنش کششی
F		تنش فشاری
کمترین مقدار S'	دامنی	تنش فشاری
$\square$	زینی	
کمترین مقدار $\square'$	مصالحی سازه تکیه‌گاهی به غیر از بند (a) و (b)	
$\sqrt{3}F$		تنش برشی

F: کمترین مقدار از ۷۰٪ مقاومت تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ یا مقاومت کششی مصالح (N/mm^2)

F': تنش مجاز فشاری مربوط به کمانش با توجه به ضریب لاغری مصالح (N/mm^2)

S': مقدار به دست آمده از جدول ۳

توجه: تنش مجاز فشاری $\square F$ ، مربوط به کمانش با توجه به ضریب لاغری مصالح، تعیین می‌گردد.

اگر $\lambda_s \leq \Lambda$

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

اگر $\lambda_s > \Lambda$

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

λ : ضریب لاغری عضو فشاری است که از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$\lambda_s = \frac{l_k}{i} \quad (3)$$

l_k : طول کمانش (mm) که در جدول ۵ بر حسب نوع تکیه‌گاه لبه‌ها، مشخص می‌گردد.

i: شعاع دوم سطح محور کمانش (mm)

جدول ۵ طول کمانش

شرایط تغییر مکان			قید
شرایط دوران	هر دو انتها آزاد	هر دو انتها گیردار	یک سر گیردار یک سر آزاد
l_k	l	$0.5l_k$	$0.7l_k$

l: طول عضو می‌باشد (mm)

Λ : حد ضریب لاغری است که از رابطه (۴) تعیین می‌گردد.

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}} \quad (۴)$$

E: مدول الاستیسیته طولی مصالح (N/mm^2)

v: مقدار به دست آمده از رابطه (۵)

$$v = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda_s}{\Lambda} \right)^2 \quad (۵)$$

جدول ۶ ترکیب تنش‌ها

معادله	نوع ترکیب تنش
$\frac{\sigma_{\square}}{\square} + \frac{\sigma_{\square}}{\square} \leq 1$	ترکیب تنش فشاری و خمشی
$\frac{\sigma_{\square}}{\square} + \frac{\sigma_{\square}}{\square} \leq 1$	ترکیب تنش کششی و خمشی
$\sqrt{(\sigma_{\square} + \sigma_{\square})^2 + 3\tau^2} \leq \square$	ترکیب تنش فشاری و خمشی و برشی
$\frac{\sigma_{\square} + 1.6\tau}{1.4} \leq \square$	ترکیب تنش کششی و برشی (محدود به پیچ مهراری)

f_a : تنش مجاز فشاری مصالح برای طراحی لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی. از جدول ۴ (N/mm^2) تعیین می‌گردد.

f_b : تنش مجاز خمشی مصالح برای طراحی لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی. از جدول ۴ (N/mm^2) تعیین می‌گردد.

f_t : تنش مجاز کششی مصالح برای طراحی لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی. از جدول ۴ (N/mm^2) تعیین می‌گردد.

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

σ_b : تنش خمشی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی (N/mm^2)

σ_t : تنش کششی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی (N/mm^2)

τ : تنش برشی ایجاد شده در مصالح سازه تکیه‌گاهی (N/mm^2)

۱-۲-۲- مصالح مستقیماً جوش شده سازه تکیه‌گاهی به مصالح قسمت فشاری

تنش مجاز مصالح قسمت فشاری باید همانند تنش مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی جوش‌شده به این قسمت باشد. زیرا، عملکرد

قسمت فشاری باید همانند عملکرد مصالح سازه تکیه‌گاهی باشد. از اینرو اعمال شرایط زیر ضروری می‌باشد.

۱- تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای باید کمترین مقدار از بین اعداد به دست آمد از جدول‌های ۱ تا ۵ انتخاب گردد.

۲- در صورت وجود تنش ترکیبی، شرایط جدول ۶ بایستی ارضاء گردد.

۱-۳- تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح پی

در زیر تنش مجاز برای مصالح پی از آیین‌نامه KHK ژاپن آورده شده است.

۱-۳-۱- تنش مجاز بتن در طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز بتن در طراحی لرزه‌ای از ستون سمت چپ جدول ۷ بر حسب نوع تنش ستون سمت راست، تعیین می‌گردد.

جدول ۷ تنش مجاز بتن برای طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای		نوع تنش	
$2F_C / 3$		تنش فشاری	
$F_C/20 \left(0.735 + \frac{3 \square}{200} \right)$		تنش برشی	
$0.06F_C$	میلگرد تقویتی در بالای مقطع	میلگرد مدور	تنش چسبندگی
$0.09F_C$	سایر میلگردها		
$F_C/10 \left(1.32 + \frac{\square}{25} \right)$	میلگرد تقویتی در بالای مقطع	میلگرد تقویتی آجدار	
$3F_C/20 \left(2.00 + \frac{3 \square}{50} \right)$	سایر میلگردها		

۱- F_C در این جدول مقاومت طرح ۲۸ روزه بتن می‌باشد. (N/mm^2)

۲- مقاومت کششی بتن صفر در نظر گرفته می‌شود.

۳- چسبندگی پیچ مهری، مانند سایر میلگردها در نظر گرفته می‌شود. مقدار میلگرد تقویتی در قسمت فوقانی مقطع دو سوم مقادیر سایر میلگردها در نظر گرفته می‌شود، چون چسبندگی بتن با میلگرد تقویتی در قسمت فوقانی خوب نمی‌باشد.

۱-۳-۲- تنش مجاز میلگرد برای طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای میلگرد از ستون سمت چپ جدول ۸ بر حسب نوع تنش در ستون سمت راست تعیین می‌گردد.

جدول ۸ تنش مجاز بتن برای طراحی لرزه‌ای میلگرد

نوع تنش		تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای
تنش فشاری		F
تنش کششی	مورد استفاده همراه با آرماتور برشی	F
	مورد استفاده برای آرماتورگذاری برشی	F (در صورتی که از ۲۹۴ بیشتر شود، ۲۹۴ در نظر گرفته می‌شود)

در این جدول F مقدار تنش تسلیم میلگرد می‌باشد (N/mm^2)

۱-۴- تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح لوله‌کشی

تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح لوله‌کشی و سازه تکیه‌گاهی آنها (یا سیستم لوله‌کشی) برای لوله‌کشی، اتصال فلنج، شیر، اتصال انبساطی و افشانه به ترتیب، به صورت می‌باشد.

در زیر تنش مجاز مصالح لوله‌کشی از آیین‌نامه KHK ژاپن آورده شده است.

۱-۴-۱- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی

جدول ۹ تنش مجاز بتن برای طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی

نوع تنش	تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای
تنش طولی لوله‌کشی	S
محدوده تنش سیکلی	$2S_y$

۱-۴-۲- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای اتصال فلنج

جدول ۱۰ تنش مجاز بتن برای طراحی لرزه‌ای اتصال فلنج

نوع تنش	تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای
تنش شعاعی فلنج	S
تنش پیرامونی فلنج	S
تنش محوری رینگ	$2S_{\square}$

۱-۴-۳- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای شیر

جدول ۱۱ تنش مجاز بتن برای طراحی لرزه‌ای شیر

نوع شیر	تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای
شیر قطع‌کننده جریان در هنگام زلزله	0.5S
سایر شیرها	S

۱-۴-۴- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای اتصال انبساطی

مقدار دو برابر تنش مجاز، در تحلیل تنش و شکست محفظه تحت فشار "متناظر با ۵۰۰ سیکل بارگذاری به دست آمده است.

۱-۴-۵- تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای افشانه متصل به برج‌ها و مخازن

جدول ۱۲ تنش مجاز مصالح برای طراحی لرزه‌ای افشانه متصل به برج‌ها و مخازن

تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای	نوع تنش مقاوم
S	مقاومت تنش غشایی اولیه
1.5S	مجموع تنش اولیه غشایی محلی و اولین تنش خمشی
2S _y	اختلاف بین مقدار حداکثر و حداقل مجموع مقاومت تنش غشایی اولیه محلی، مقاومت تنش خمشی اولیه و مقاومت تنش ثانویه در یک سیکل

پیوست ۲

۲-۱- مخزن داخلی

۲-۱-۱- ورق‌های کناری مخزن داخلی

۲-۱-۱-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به کماتش ورق کناری در اثر زلزله سطح خطر-۲

ضریب زلزله تسلیم مربوط به کماتش ورق کناری برای سطح خطر-۲ از رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$K_{yc2} = K_{MH2} \frac{S_c + \sigma_{t0} - \sigma_{c0}}{\sigma_{cE2}} \quad (۶)$$

K_{yc2} : ضریب زلزله تسلیم مربوط به کماتش در ورق کناری برای سطح خطر-۲

S_c : مقدار به دست آمده از رابطه (۷) در اثر تنش ناشی از کماتش

$$S_c = \frac{Et}{2.5D_I} \quad (۷)$$

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

t : ضخامت ورق کناری در محل محاسبه تنش (mm)

D_I : قطر داخلی ورق کناری (mm)

σ_{t0} : متوسط تنش کششی محوری در اثر فشار داخلی، که از رابطه (۸) محاسبه می‌گردد. (N/mm^2)

$$\sigma_{t0} = \frac{P_0 D_I}{4t} \quad (۸)$$

P_0 : کمترین فشار در حالت بهره‌برداری عادی (MPa)

D_I : قطر داخلی ورق کناری (mm)

σ_{c0} : متوسط تنش فشاری در اثر وزن سازه در محل محاسبه تنش. این مقدار از رابطه (۹) محاسبه می‌گردد (N/mm^2)

$$\sigma_{c0} = \frac{(W_r + W_s)}{\pi D_I t} \quad (۹)$$

W_r : وزن کل ورق‌های سقف (N)

W_s : وزن اعمالی ورق‌های کناری در محل محاسبه تنش (N)

D_I : قطر داخلی ورق کناری (mm)

K_{MH2} : ضریب زلزله اصلاح‌شده تسلیم برای سطح خطر-۲ که مقدار آن از رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد.

$$K_{MH2} = \frac{9\alpha_{H2}}{g} \quad (۱۰)$$

g : شتاب گرانش (cm/s^2)

α_{H2} : شتاب افقی در زمین برای سطح خطر-۲ می‌باشد که از جدول ۱۳ با تقسیم پریود طبیعی اول ناشی از تلاطم محتوای مایع محاسبه می‌گردد. (cm/s^2)

جدول ۱۳ پریود طبیعی اول مربوط به تلاطم، T و α_{H2}

$T(s)$	α_{H2}
$7.5 \frac{\alpha_d}{\alpha_v}$ و کمتر	$\frac{2\pi}{T} V_H$
$7.5 \frac{\alpha_d}{\alpha_v}$ و بیشتر	$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 D_H$

T : پریود طبیعی اول ناشی از تلاطم محتوای مایع (s)

V_H : سرعت لرزه‌ای افقی در سطح زمین (cm/s)

D_H : دامنه تغییر مکان افقی جنبش زمین در سطح زمین (cm)

α_d : ضریب مربوط به دامنه تغییر مکان افقی جنبش زمین در سطح زمین، برای زلزله MCE می‌باشد. α_d بزرگتر از یک می‌باشد (در اصل برابر با یک در نظر گرفته می‌شود).

σ_{cE2} : تنش فشاری در اثر لنگر واژگونی در ارتفاع $\square$ برای سطح خطر-۲ با شتاب افقی اعمالی برابر با $1g$ می‌باشد که از رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد. (N/mm^2)

$$\sigma_{cE2} = K_{MH2} \frac{4(1-h/H_1)^{1.3} W_2 H_2}{\pi D^2 t} \quad (11)$$

$\square_2$: وزن موثر محتوای سیال برای سطح خطر-۲ که از رابطه (۱۲) محاسبه می‌گردد.

$$W_2 = f_2 \times W_L \quad (12)$$

f_2 : نرخ وزن موثر مایع برای سطح خطر-۲ که از شکل ۱، بر حسب مقدار H_1/D_1 به دست می‌آید.

W_L : وزن محتوای سیال ($\square$)

H_2 : ارتفاع مرکزگرانشی محتوای سیال برای سطح خطر-۲ که از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد. ($\square$)

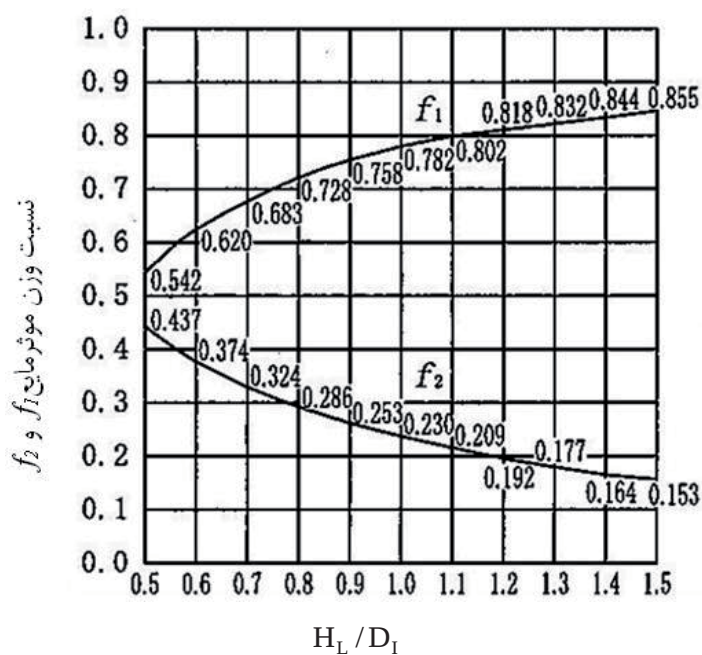
$$H_2 = h_2 \times H_L \quad (13)$$

مقداری که از شکل ۲ به دست می‌آید.

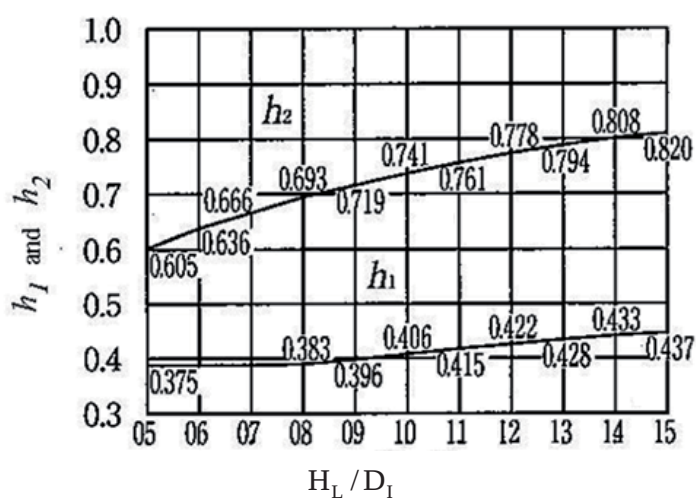
D_1 : قطر داخلی ورق کناری (mm)

$\square$: ضخامت ورق کناری در محل محاسبه تنش (mm)

H_L : ارتفاع بالاترین تراز مایع (mm)



شکل ۱ نسبت وزن مؤثر f_1 و f_2 و H_L/D_I



شکل ۲ h_1 ، h_2 و H_L/D_I

۲-۱-۱-۲- ضریب شکل‌پذیری مجاز

برای $\sigma_0/S_c \leq 0.2$

$$\mu_{pa} = 0.35 \quad \square$$

(۱۴)

برای $\sigma_0/S_c > 0.2$

$$\mu_{pa} = 0.13$$

(۱۵)

μ_{pa} : ضریب شکل‌پذیری مجاز

σ_0 : تنش فشاری محوری مجاز که از رابطه (۱۶) به دست می‌آید. (N/mm^2)

$$\sigma_0 = \frac{(W_r + W_s) - P_0 \pi R^2}{2\pi R t} \quad (۱۶)$$

W_r : وزن کل ورق‌های سقف (N)

W_s : وزن اعمالی ورق‌های کناری در محل محاسبه تنش (N)

t : ضخامت ورق کناری در محل محاسبه تنش (mm)

R : شعاع ورق کناری (mm)

P_0 : حداقل فشار در حالت بهره‌برداری عادی (MPa)

S_c : از رابطه (۱۷) به دست می‌آید.

۲-۱-۲- مه‌ار مخزن داخلی

۲-۱-۲-۱- ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی

$$K_{yt2} = K_{MH2} \frac{S_{ya} - \sigma_{t0} + \sigma_{c0}}{\sigma_{tE2}} \quad (۱۸)$$

K_{yt2} : ضریب زلزله تسلیم مربوط به تسلیم کششی مه‌ار مخزن داخلی برای سطح خطر-۲

σ_{t0} : تنش کششی ناشی از فشار داخلی که از رابطه (۱۹) به دست می‌آید. (N/mm^2)

$$\sigma_{t0} = \frac{\pi D^2 P_0}{4NA_p} \quad (۱۹)$$

N : تعداد مه‌ارهای مخزن داخلی

A_p : سطح مقطع مه‌ار مخزن داخلی (mm^2)

P_0 : حداکثر فشار عملیاتی (MPa)

D : قطر داخلی ورق کناری (mm)

σ_{c0} : تنش فشاری ناشی از وزن سازه که از رابطه (۲۰) محاسبه می‌گردد. (N/mm^2)

$$\sigma_{c0} = \frac{W_s + W_r}{NA_p} \quad (۲۰)$$

W_r : وزن کل ورق‌های سقف (N)

W_s : وزن ورق‌های کناری (N)

σ_{tE2} : تنش کششی ناشی از لنگر واژگونی برای سطح خطر-۲ که از رابطه (۲۱) محاسبه می‌گردد. (N/mm^2)

$$\sigma_{tE2} = K_{MH2} \frac{4W_2 H_2}{DNA_p} \quad (۲۱)$$

۲-۲-۱-۲- ضریب شکل پذیری مجاز

$$\mu_{pa} = \frac{\pi R q_y}{K_{yt}^2 (W_{1s} + W_r + W_1) g} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{0.617 t_b S_{yb}^2}{E_a P_b} \quad (22)$$

در هر حال در این مورد $0.75 \leq \mu_{pa} \leq 2.5$ قرار می‌گیرد.

W_{1s} : بار کل ورق کناری (N)

W_1 : وزن محتوای سیال (N)

g : شتاب گرانش (cm/s^2)

T : پریود طبیعی مخزن در اثر ارتعاش موجی شکل ورق کناری (s)

$\square_\square$: مدول ارتجاعی طولی مهار مخزن داخلی (N/mm^2)

$\square_\square$: فشار اعمالی بر ورق حلقوی (MPa)

R : شعاع ورق کناری (mm)

q_y : مقاومت در برابر تسلیم مخزن داخلی در واحد عرض که از رابطه (۲۳) محاسبه می‌گردد. (N/mm)

$$q_y = \frac{N A S_{ya} - \pi R^2 P_0}{2\pi R} \quad (23)$$

P_0 : حداکثر فشار در حالت عملکرد عادی (MPa)

t_b : ضخامت ورق حلقوی (mm)

S_{yb} : تنش تسلیم ورق حلقوی (N/mm^2)

۲-۱-۳- افشانه مخزن داخلی

ارزیابی افشانه مخزن داخلی بر اساس طراحی به روش مقاومت نهایی بایستی با توجه به نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ انجام شود.

ابتدا تنش ایجاد شده در اثر لنگر خمشی، لنگر پیچشی و نیروی محوری اعمالی بر افشانه مخزن داخلی محاسبه شده و سپس کنترل می‌گردد تا از تنش مقاوم مجاز برای طراحی لرزه‌ای با توجه به جدول ۱۴ بیشتر نباشد.

جدول ۱۴

مد خرابی	نوع ضریب تنش	تنش مقاوم مجاز برای طراحی لرزه‌ای
آسیب دیدگی افشانه در اثر جنبش لرزه‌ای طرح سطح خطر-۱ و سطح خطر-۲	تنش غشائی مقاوم محلی اولیه + تنش مقاوم خمشی اولیه	3S
	اختلاف بین مقادیر حداکثر و حداقل در سیکل مجموع ضریب تنش اولیه و ثانویه در اثر جنبش لرزه‌ای طرح	4S _y

S: تنش مجاز طراحی لرزه‌ای

S_y: نقطه تسلیم یا مقاومت متناظر با کرنش ۰/۲٪ در دمای طراحی مصالح (N/mm^2)

۲-۲-۲- مخزن خارجی

رابطه ضریب زلزله تسلیم و ضریب شکل‌پذیری مجاز ورق کناری در مخزن خارجی به موارد زیر بستگی دارد:

۲-۲-۲-۱- ضریب زلزله تسلیم

ضریب زلزله تسلیم مربوط به تنش فشاری در ورق کناری از رابطه (۲۴) محاسبه می‌گردد:

$$\sigma_{s2} = \sigma_{s2} \frac{S_{\square} + \sigma_{\square} - \sigma_{\square}}{\sigma_{s2}} \quad (24)$$

K_{MH2} : ضریب زلزله افقی اصلاح‌شده طرح

S_c : تنش حد کمانش به دست آمده از رابطه (۲۵) (N/mm^2)

$$S_c = \frac{Et}{3.125D} \quad (25)$$

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

t : ضخامت ورق کناری در محل محاسبه تنش (mm)

D : قطر داخلی ورق کناری (mm)

σ_{t0} : تنش کششی محوری متوسط در اثر فشار داخلی که از رابطه (۲۶) محاسبه می‌گردد. (N/mm^2)

$$\sigma_{t0} = \frac{P_0 D}{4t} \quad (26)$$

σ_{c0} : متوسط تنش فشاری محوری در اثر وزن در محل محاسبه تنش که از رابطه (۲۷) محاسبه می‌گردد. (N/mm^2)

$$\sigma_{c0} = \frac{(W_r + W_s)}{\pi D t} \quad (27)$$

W_r : بار کل قسمت بام (N)

W_s : وزن اعمالی ورق‌های کناری در محل محاسبه تنش (N)

σ_{cE} : تنش فشاری محوری در محل محاسبه تنش، با اعمال ضریب زلزله افقی اصلاح‌شده طرح K_{MH} ، و ضریب زلزله قائم

اصلاح‌شده طرح K_{MV} ، که از رابطه (۲۸) به دست می‌آید. (N/mm^2)

$$\sigma_{cE2} = K_{MH2} \frac{4(1-h/H_1)^{1.3} W_2 H_2}{\pi D^2 t} \quad (28)$$

۲-۲-۲- ضریب شکل‌پذیری مجاز

ضریب شکل‌پذیری مجاز مربوط به کمانش ورق‌های کناری مطابق زیر محاسبه می‌گردد:

برای $\sigma_{\alpha} / \sigma_0 \leq 0.2$:

$$\mu_{pa} = 0.35 \square \quad (29)$$

برای $\sigma_{\alpha} / \sigma_0 > 0.2$:

$$\mu_{pa} = 0.13 \quad (30)$$

μ_{pa} : ضریب شکل‌پذیری مجاز

σ_0 : تنش فشاری محوری مجاز که از رابطه (۳۱) به دست می‌آید (N/mm^2).

$$\sigma_0 = \frac{(W_r + W_s)(1 + K_{MV}) - P_0 \pi R^2}{2\pi R t} \quad (31)$$

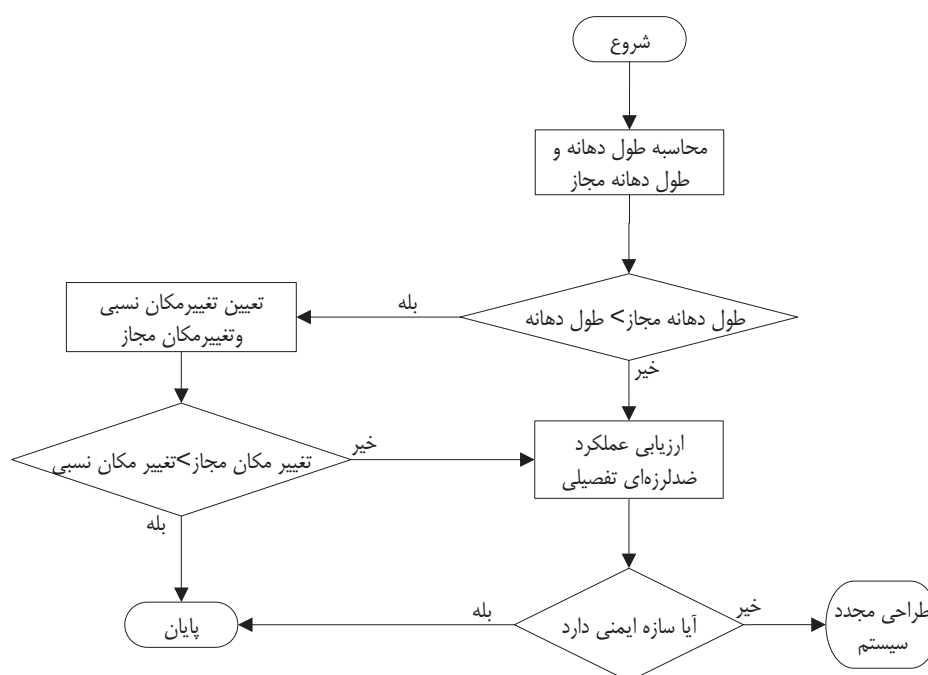
S_c, W_r, W_s, P_0, t : از بند ۲-۳-۱ به دست می‌آید.

R : شعاع ورق کناری (mm)

پیوست ۳

۳-۱- 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 زیاد یا خیلی زیاد باشد باید از روش تنش مجاز استفاده شود.



شکل ۳ روندنما روش دهانه مجاز

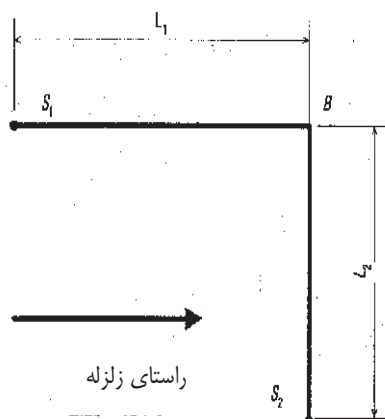
۳-۱-۱- روش محاسبه طول دهانه

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 ۴ دهانه لوله با نقطه تکیه‌گاهی در راستای محور لوله

در مثال شکل ۴، 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 و بنابراین $L_{PS} = L_2$.

۴- درحالتی که قطر خارجی لوله در دهانه لوله متفاوت باشد، طول دهانه لوله L با استفاده از رابطه (۳۲) محاسبه و تبدیل به بیشترین قطر دهانه لوله می‌شود.

$$L = \ell_p + \ell_1 \sqrt{\frac{d}{d_1}} \quad (32)$$

L : طول دهانه لوله (m)

d : بیشترین قطر خارجی دهانه لوله (mm)

d_1 : قطر خارجی لوله (mm)

ℓ_p : طول لوله‌ای که قطر خارجی آن d است. (m)

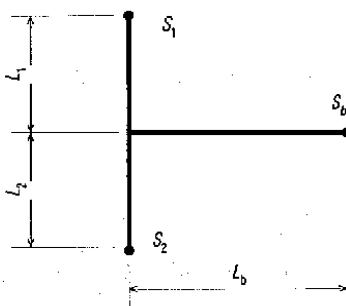
ℓ_1 : طول لوله‌ای که قطر خارجی آن d_1 است. (m)

۵- در حالتی که لوله بیشتر از یک انشعاب داشته باشد:

باید طول دهانه مجاز را بین هر دو تکیه‌گاه بدست آورد. برای شکل ۳، $(L_1 + L_2)$ ، $(L_1 + L_b)$ و $(L_2 + L_b)$ باید کمتر از

طول دهانه مجاز باشند. در همین شکل در حالتی که قطر انشعاب از نصف قطر لوله اصلی باشد طول لوله اصلی نیز

باید کمتر از طول دهانه مجاز باشد



شکل ۵ دهانه لوله‌ی دارای انشعاب

۳-۱-۲- روش محاسبه طول دهانه مجاز

طول دهانه مجاز پایه در جدول ۱۵ و ۱۶ نشان داده است. در حالتی که قطر خارجی در جدول موجود نباشد، می‌توان قطر خارجی را از درون‌یابی بدست 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 ۱۶ طول دهانه مجاز لوله (گاز متراکم)

وزن متمرکز استاندارد W_a (N)	طول دهانه مجاز پایه L_a (m)	قطر خارجی (mm)
۴۰۷	۷/۰	۴۸/۶
۶۰۵	۷/۸	۶۰/۵
۱۱۱۶	۸/۷	۷۶/۳
۱۵۴۵	۹/۵	۸۹/۱
۱۹۸۶	۱۰/۱	۱۰۱/۶
۲۵۳۲	۱۰/۷	۱۱۴/۳
۳۸۰۲	۱۱/۷	۱۳۹/۸
۵۳۷۵	۱۲/۷	۱۶۵/۲
۹۶۲۹	۱۴/۸	۲۱۶/۳
۱۵۲۰۸	۱۶/۴	۲۶۷/۴
۲۲۳۶۱	۱۸/۰	۳۱۸/۵
۲۸۸۵۱	۱۹/۰	۳۵۵/۶
۴۰۳۲۵	۲۰/۳	۴۰۶/۴
۵۳۶۱۲	۲۱/۵	۴۵۷/۲
۶۷۶۳۳	۲۲/۷	۵۰۸
۸۳۵۶۳	۲۳/۸	۵۵۸/۸
۱۰۳۹۴۶	۲۴/۹	۶۰۹/۶

جدول ۱۵ طول دهانه مجاز لوله (گاز مایع)

وزن متمرکز استاندارد W_a (N)	طول دهانه مجاز پایه L_a (mm)	قطر خارجی (mm)
۴۰۷	۶۶۰۰	۴۸/۶
۶۰۵	۷۱۰۰	۶۰/۵
۱۱۱۶	۷۹۰۰	۷۶/۳
۱۵۴۵	۸۶۰۰	۸۹/۱
۱۹۸۶	۹۰۰۰	۱۰۱/۶
۲۵۳۲	۹۵۰۰	۱۱۴/۳
۳۸۰۲	۱۰۲۰۰	۱۳۹/۸
۵۳۷۵	۱۰۸۰۰	۱۶۵/۲
۹۶۲۹	۱۲۲۰۰	۲۱۶/۳
۱۵۲۰۸	۱۳۲۰۰	۲۶۷/۴
۲۲۳۶۱	۱۴۲۰۰	۳۱۸/۵
۲۸۸۵۱	۱۵۰۰۰	۳۵۵/۶
۴۰۳۲۵	۱۶۰۰۰	۴۰۶/۴
۵۳۶۱۲	۱۶۸۰۰	۴۵۷/۲
۶۷۶۳۳	۱۷۶۰۰	۵۰۸
۸۳۵۶۳	۱۸۴۰۰	۵۵۸/۸
۱۰۳۹۴۶	۱۹۱۰۰	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 ϕ_d و ضریب اصلاح وزن متمرکز ϕ_c ، محاسبه می‌شود.

۱- در حالتی که وزن گسترده مصالح عایق حرارتی اضافه می‌شود، ضریب اصلاح وزن گسترده ϕ_d از رابطه (۳۳) محاسبه می‌شود.

$$\phi_d = \left(1 + \frac{\Gamma}{\Gamma_p} \right)^{-0.25} \quad (33)$$

ϕ_d : ضریب اصلاح وزن گسترده، زمانی که $\Gamma/\Gamma_p \leq 0.5$, $\phi_d = 1.0$

Γ_p : مجموع وزن طولی لوله و وزن محتویات در هر متر (N/m)

Γ : 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 ϕ_c طبق جدول ۳ محاسبه می‌شود. نرخ اضافه وزن γ_w از رابطه (۳۴) محاسبه می‌شود.

$$\gamma_w = \frac{W_s}{W_a} \left(1 + \frac{\Gamma}{\Gamma_p} \right)^{-\frac{3}{4}} \quad (34)$$

γ_w : نرخ اضافه وزن

W_s : وزن متمرکز دهانه (N)

W_a : وزن متمرکز استاندارد (N) برای لوله کشی گاز مایع نشان داده شده در جدول ۱۵ و برای لوله کشی گاز متراکم نشان داده شده در جدول ۱۶

جدول ۱۶ ضریب اصلاح وزن متمرکز

محدوده نرخ اضافه وزن	ضریب اصلاح وزن متمرکز ϕ_c
$\gamma_w \leq 0.25$	$\phi_c = 1$
$0.25 < \gamma_w \leq 1$	$\phi_c = 1.13 - 0.53\gamma_w$
$1 < \gamma_w$	$\phi_c = 0.636 - 0.036\gamma_w$

۳-۱-۳ روش محاسبه ظرفیت تغییر مکان لوله کشی

۱- ظرفیت تغییر مکان لوله کشی

ظرفیت تغییر مکان دهانه لوله کشی از رابطه (۳۵) محاسبه می‌شود. تغییر مکان نسبی تکیه‌گاهی باید از ظرفیت تغییر مکان مجاز (Δ) کوچکتر باشد.

$$\delta_a = L_{PS} \cdot f_p \quad (35)$$

δ_a : ظرفیت تغییر مکان لوله کشی در جهت زلزله (mm)

f_p : ظرفیت تغییر مکان طول لوله کشی در هر میلیمتر، مقدار آن از رابطه (۳۶) بدست می‌آید.

$$f_p = C \cdot \varepsilon_y \cdot L_{PS} / d \quad (36)$$

C: ثابت تغییر شکل مجاز دهانه لوله کشی و برابر با ۰/۶۷ می‌باشد.

d: بیشترین قطر خارجی دهانه لوله (mm)

ε_y : کمترین مقدار کرنش تسلیم برای دمای طراحی و دمای عادی مصالح لوله کشی

۲- ظرفیت تغییر مکان اتصال انبساطی

ظرفیت تغییر مکان دهانه لوله با اتصال انبساطی متناظر با کرنش مجاز قید شده در مشخصات اتصال انبساطی می‌باشد

۳- برای شکل ۳ کنترل بشکل زیر می‌باشد

۳-۱- حالتی که قطر خارجی انشعاب از نصف قطر لوله اصلی بیشتر می‌باشد.

ظرفیت تغییرمکان طول تصویر $L_j(1b) = (L_1 + L_b)$ ، $L_j(12) = (L_1 + L_2)$ و $L_j(2b) = (L_2 + L_b)$ به ترتیب به صورت $\delta_a(12)$ ، $\delta_a(1b)$ و $\delta_a(2b)$ فرض شده و تغییرمکان نسبی نقطه تکیه‌گاهی $S_1 - S_b$ ، $S_1 - S_2$ ، $S_2 - S_b$ به ترتیب به صورت $\Delta(12)$ ، $\Delta(1b)$ و $\Delta(2b)$ فرض می‌شوند. سپس ارزیابی ظرفیت تغییرمکان با تایید روابط $\Delta(12) \leq \delta_a(12)$ ، $\Delta(1b) \leq \delta_a(1b)$ و $\Delta(2b) \leq \delta_a(2b)$ انجام می‌شود.

در این شکل، فرض می‌شود جهت زلزله عمود بر راستای کاغذ باشد و S_1 ، S_2 و S_3 نقاط تکیه‌گاهی هستند که راستای عمود بر صفحه را مهار می‌کنند.

۳-۲- در حالتی که قطر خارجی انشعاب برابر یا کمتر از نصف قطر یکی از لوله‌های اصلی است. ارزیابی ظرفیت تغییرمکان با تایید رابطه (۳۷) انجام می‌شود.

$$\frac{\Delta(1b) + \Delta(2b)}{2} + 20 \left(\frac{L_{12}}{L_{PS}} \right) \leq \delta_a(T_b) \quad \text{و} \quad \Delta(12) \leq \delta_a \quad (37)$$

در اینجا، فرض می‌کنیم $\delta_a(T_b)$ ظرفیت تغییرمکان L_{PS} ، L_{PS} دهانه مجاز و همچنین L_{12} طول دهانه لوله هستند.

۳-۱-۴- روش محاسبه تغییرمکان نسبی

۱- تغییرمکان نسبی

برای ارزیابی ظرفیت تغییرمکان دهانه لوله، تغییرمکان در راستای زلزله برابر با تغییرمکان سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی فرض می‌شود که از روش زیر و براساس ارتفاع نقطه تکیه‌گاهی، بدست می‌آید. تغییرمکان نسبی دهانه لوله‌کشی Δ از رابطه (۳۸) بدست می‌آید.

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2 \quad (38)$$

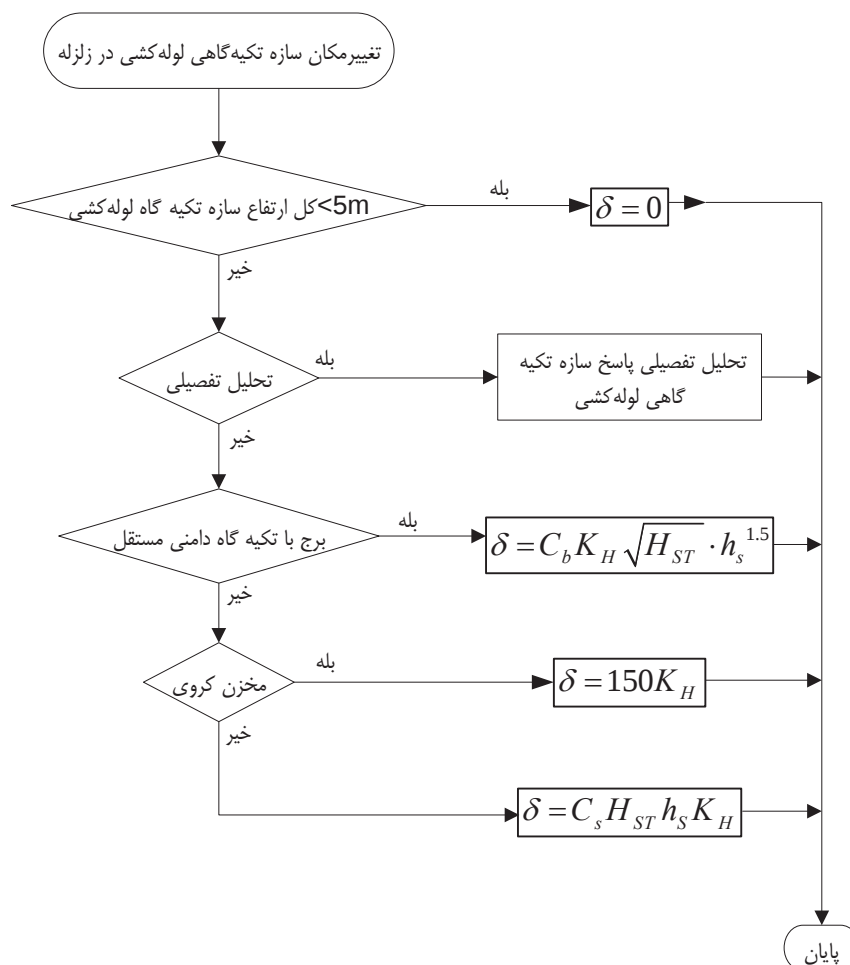
Δ : تغییرمکان نسبی دهانه لوله‌کشی (mm)

δ_1 : تغییرمکان نقطه اتکای ۱ در زلزله (mm)

δ_2 : تغییرمکان نقطه اتکای ۲ در زلزله (mm)

۲- مراحل محاسبه‌ی تغییرمکان سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در زلزله

مراحل محاسبه در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۶ مراحل محاسبه‌ی 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 صرف نظر کرد.

۲-۱- تغییر مکان نقطه اتکای لوله‌کشی برج با تکیه‌گاه دامنی مستقل در هر ارتفاعی در زلزله از رابطه (۳۹) محاسبه می‌شود.

$$\delta = C_b K_H \sqrt{H_{st}} \cdot h_s^{1.5} \quad (39)$$

K_H : شدت لرزه‌ای افقی در تراز زمین با در نظر گرفتن سطح اهمیت سیستم لوله‌کشی

۱: C_b

H_{st} : ارتفاع کل سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی (m)

h_s : ارتفاع نقطه اتکای لوله‌کشی (m)

۲-۲- تغییر مکان مخزن کروی در زلزله از رابطه (۴۰) محاسبه می‌شود.

$$\delta = 150 K_H \quad (40)$$

K_H : شدت لرزه‌ای افقی در تراز زمین با در نظر گرفتن سطح اهمیت سیستم لوله‌کشی

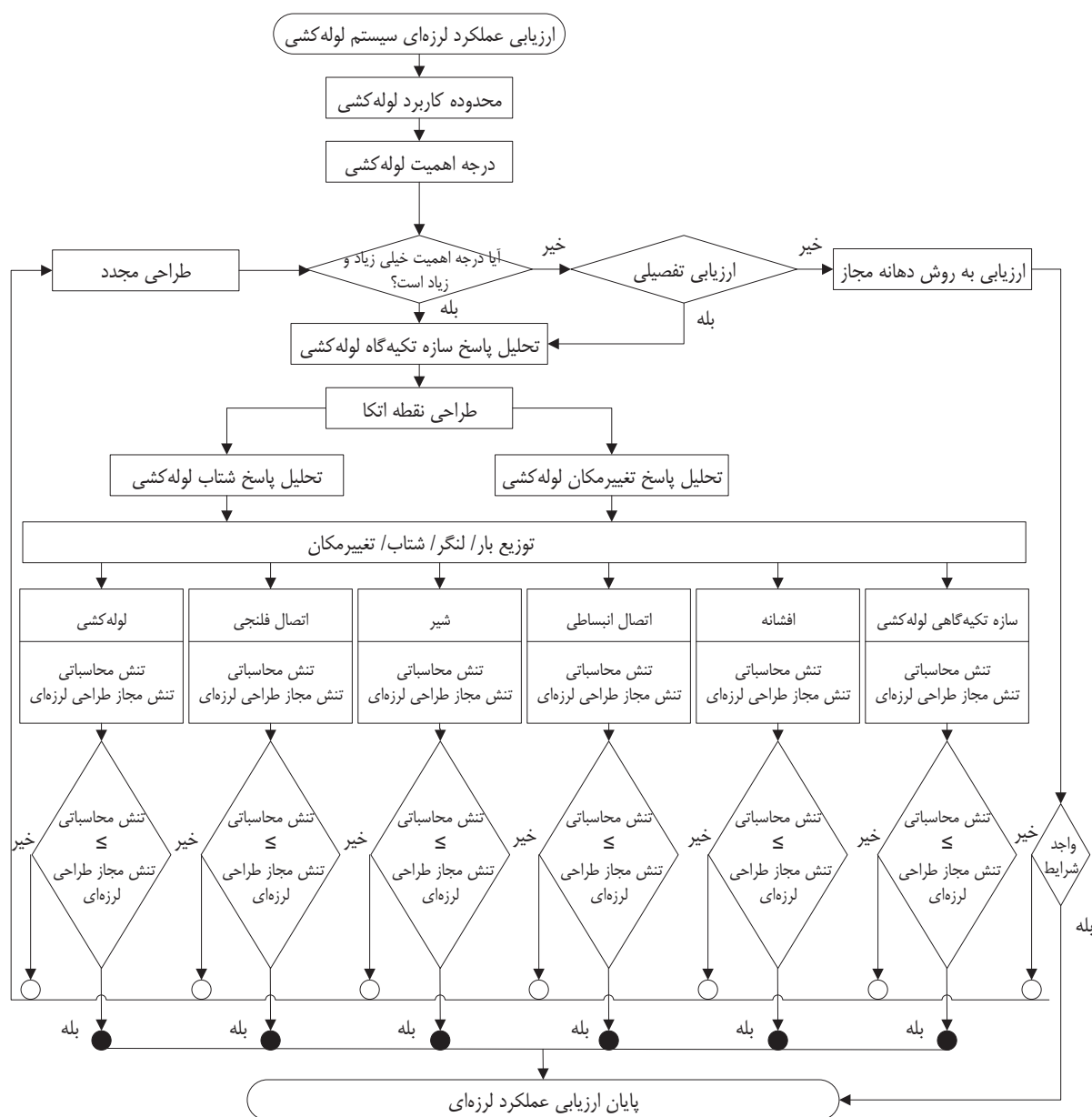
۳-۲- تغییر مکان نقطه اتکای لوله کشی سایر سازه‌های تکیه‌گاهی در زلزله در هر ارتفاعی از رابطه (۴۱) محاسبه می‌شود.

$$\delta = C_S \cdot K_H H_{st} \cdot h_s \quad (41)$$

K_H : شدت لرزه‌ای افقی در تراز زمین مربوط به اهمیت سیستم لوله کشی

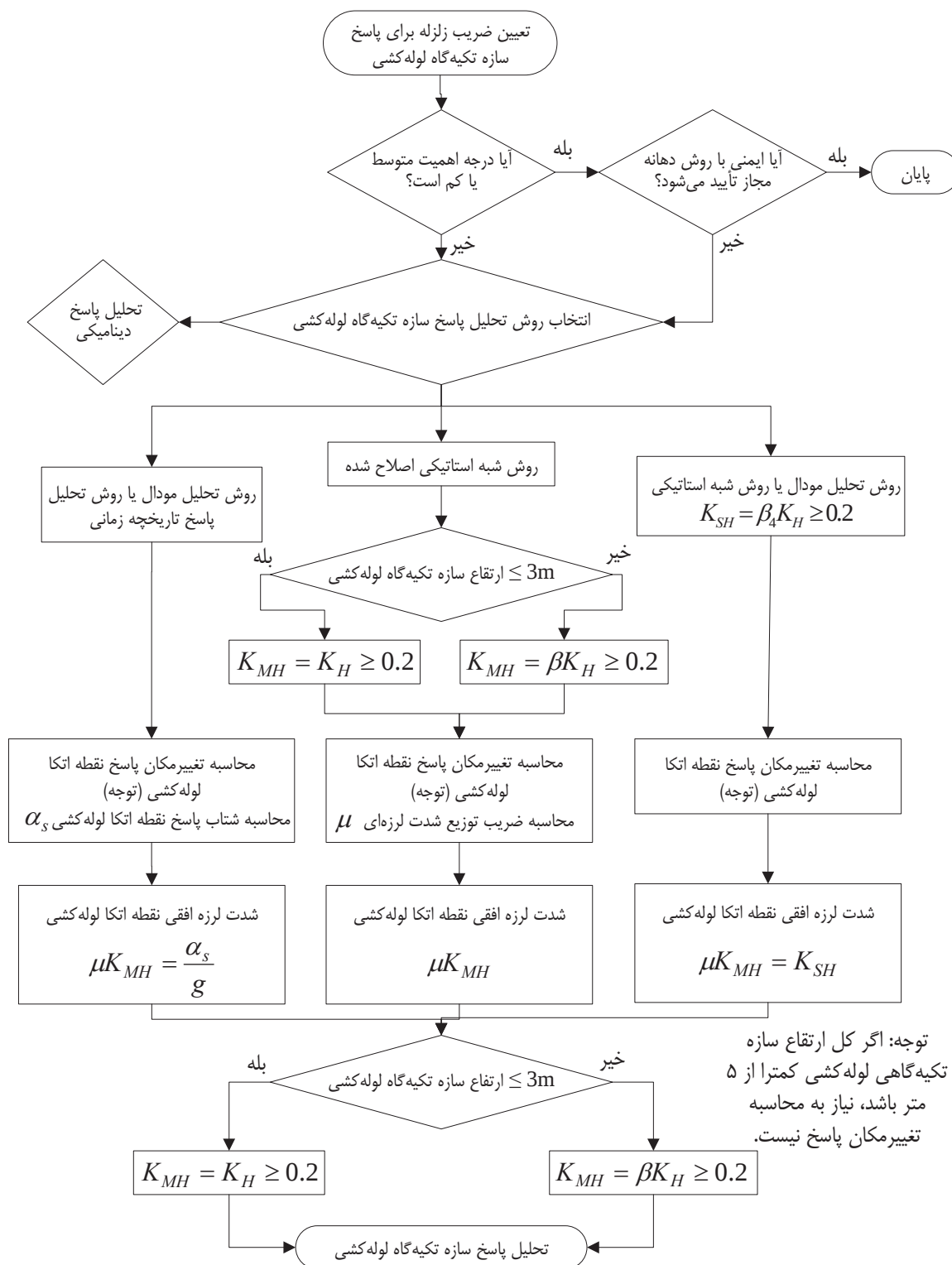
$$C_S: 0.7$$

۳-۲- ساختار استاندارد طراحی لرزه‌ای سیستم لوله کشی



۳-۳- تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاه لوله‌کشی

شکل ۸ نشان‌دهنده تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاه لوله‌کشی می‌باشد.



شکل ۸ مراحل طراحی پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی

۱- درجه اهمیت سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی

در تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، درجه اهمیت براساس درجه اهمیت لوله‌کشی مربوطه، شتاب و تغییرمکان پاسخ در نقطه اتکای لوله‌کشی محاسبه می‌شود. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی براساس 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، β_4 سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی طراحی شده به روش شبه استاتیکی، براساس ارتفاع H از تراز زمین در جدول ۱۷ ارائه شده است.

جدول ۱۷ بزرگنمایی پاسخ افقی β_4

$H(m)$	β_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 استاتیکی اصلاح شده

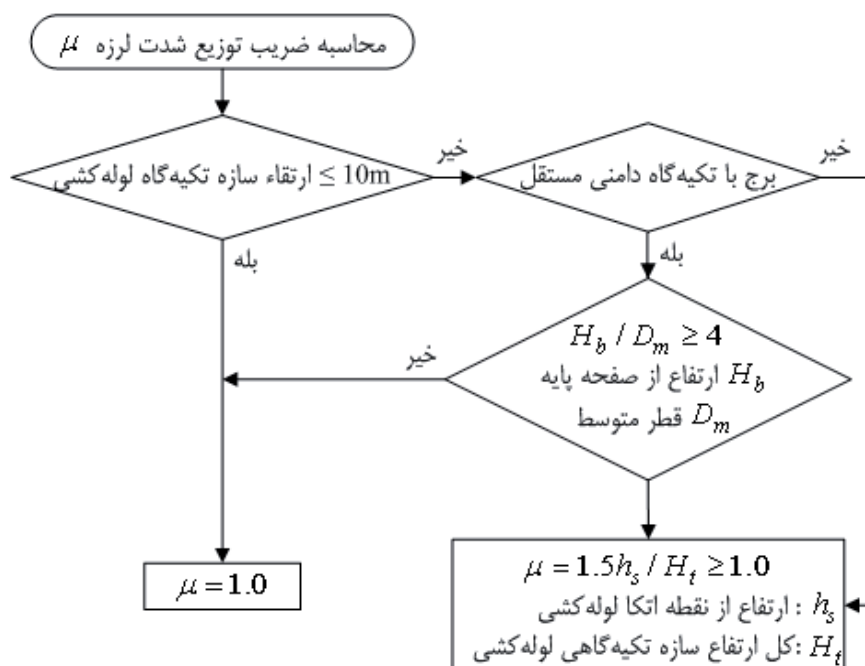
ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، طراحی شده به روش شبه استاتیکی اصلاح شده از ضرب ضریب بزرگنمایی پاسخ استاندارد در ضریب اصلاح بدست می‌آید، که ضریب بزرگنمایی پاسخ استاندارد، براساس پیرو د طبیعی و نوع زمین در محل سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، و ضریب اصلاح براساس ضریب میرایی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی می‌باشد. محاسبات مربوط به این ضریب از راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران پیروی می‌کند.

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

زمانیکه تحلیل پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی به روش شبه استاتیکی اصلاح شده انجام می‌شود، ضریب توزیع شدت لرزه‌ای μ براساس نوع و ارتفاع سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی، همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است، محاسبه می‌شود.



علاوه بر این، برای اتکا لوله‌کشی در پوسته‌ی مخزن کروی، چون کل پوسته جابجا می‌شود،
 h_s : ارتفاع مرکز پوسته (mm)
 H_t : ارتفاع تاج بالایی پوسته کروی (mm)
 زمانی که $\mu < 1.0$ پس $\mu = 1.0$

شکل ۹ توزیع شدت لرزه‌ای، در حالتی که سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی به روش ضریب لرزه‌ای اصلاح شده تحلیل می‌شود.

۳-۴- مدل تحلیلی و نیروی لرزه‌ای اصلاح شده طراحی سیستم لوله‌کشی

برای تحلیل پاسخ شتاب و تغییر مکان، مدل تحلیلی سیستم لوله‌کشی براساس قواعد کلی زیر تهیه می‌شود.

۱- مدل تحلیلی سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی براساس 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 کنیم، 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 نشده و از ابعاد اسمی استفاده می‌شود.

۶- برای محاسبه تنش لوله‌کشی، از مقدار مجاز خوردگی صرف نظر می‌شود.

۳-۵- محاسبه تنش لوله کشی

۱- ترکیب بار

برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای، ترکیبات بار لوله کشی در جدول ۱۸ استفاده می‌شود.

جدول ۱۸ ترکیب بار در طراحی لرزه‌ای لوله کشی

نیروی زلزله		وزن محرک	فشار سیال	نوع تنش
تغییر مکان نسبی	نیروی اینرسی			
	○	○	○	تنش طولی σ_l
○ سازه تکیه‌گاهی	○			محدوده تنش تناوبی σ_E

۲- ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش

برای محاسبه تنش طولی لوله کشی و محدوده تنش تناوبی، ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش از جدول ۱۹ بدست 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 به کار برده می‌شود. اگر تعیین نامساعدترین راستای زلزله مشکل باشد، دو راستای افقی به صورت مستقل از هم اعمال می‌شوند.

۴- تغییر مکان نسبی

در حالتی که نقاط اتکای لوله کشی بر روی تکیه‌گاه‌های مختلفی قرار دارند، مقدار تغییر مکان نسبی بین نقاط اتکای مختلف باید برای ارتعاش در راستاهای مختلف محاسبه شوند.

۵- نیروی خارجی برای ارزیابی فلنج و افشانه‌ی تجهیزات

در ارزیابی فلنج و افشانه‌ی تجهیزات، مجموع قدرمطلق نیروی محوری و ممان مولفه‌های توضیح داده شده در بالا، نیروی خارجی در نظر گرفته می‌شود.

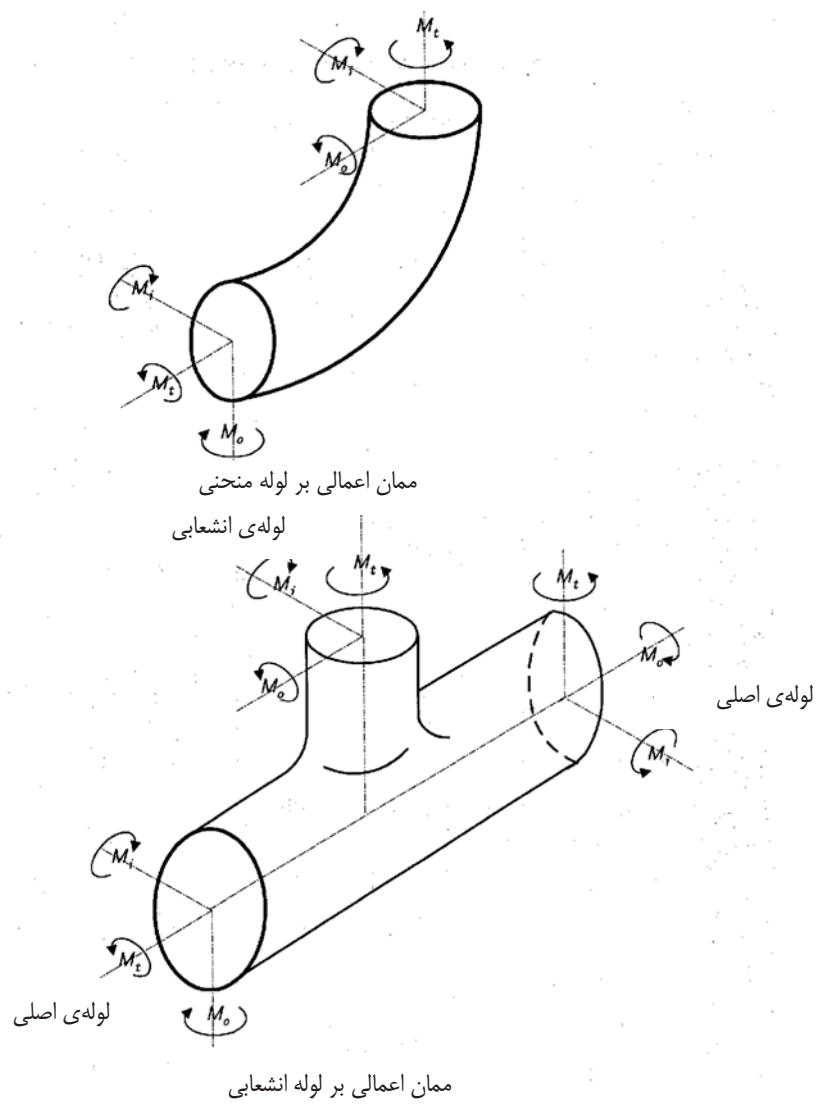
۶- خصوصیات محاسبه تنش

برای محاسبه تنش، مدول الاستیسیته طولی در دمای بهره‌برداری استفاده می‌شود. مقدار مدول الاستیسیته در بند ۴-۳ از متن داده شده است. نسبت پواسون $\nu = 0.3$ مناسب می‌باشد.

۷- توزیع شدت لرزه‌ای در ارتفاع لوله کشی

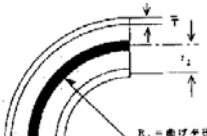
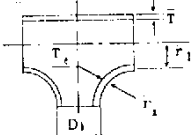
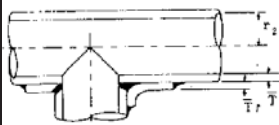
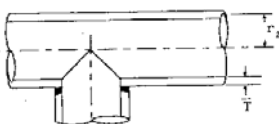
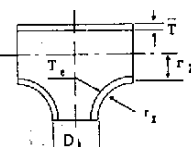
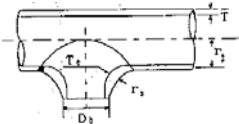
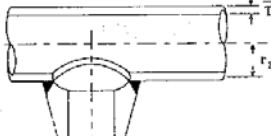
در صورت تغییر شدت لرزه‌ای افقی اصلاح شده طراحی در نقاط اتکای لوله کشی در ارتفاع، استفاده از توزیع خطی مناسب می‌باشد.

تقریباً متوسط شدت لرزه‌ای اصلاح شده افقی طراحی دو نقطه اتکا در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که توزیع آن متمایل به یک طرف باشد، توزیع شدت لرزه‌ای نیاز به دقت بیشتری دارد.



شکل ۱۰ تعریف ممان

جدول ۱۹ ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش

نوع اتصال	ضریب انعطاف‌پذیری k	ضریب تشدید تنش (2) (3)		مقدار مشخصه انعطاف‌پذیری h	طرح ساده
		برون صفحه‌ای i_o	درون صفحه‌ای i_i		
زانویی جوش شده یا خم لوله (2) (4) (5) (6)(7)	$\frac{1.65}{h}$	$\frac{0.75}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{\bar{T}R_1}{r_2^2}$	
9. و ASMEB16 لوله T شکل جوش شده $r_x \geq 1/8Db$ $T_e \geq 1.5 \bar{T}$ (2)(4) (6)(11)(13)	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$4.4 \frac{\bar{T}}{r_2}$	
لوله T شکل مسلح شده با ورق یا زین (2)(4) (8)(12)(13)	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{(\bar{T} + 1/2\bar{T}_r)^{2.5}}{\bar{T}^{1.5}r_2}$	
لوله T شکل مسلح نشده (2)(4) (12)(13)	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{\bar{T}}{r_2}$	
لوله T شکل جوش شده خروجی $0.05Db \leq r_x$ $T_e < 1.5\bar{T}$ (2)(4) (13)	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\left(1 + \frac{r_x}{r_2}\right) \frac{\bar{T}}{r_2}$	
اتصال انشعابی جوش شده r_x $\geq 1/8Db$ $T_e \geq 1.5\bar{T}$ (2)(4) (11)(13)	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$4.4 \frac{\bar{T}}{r_2}$	
اتصال انشعابی جوش شده (نوع یکپارچه مسلح) (2)(4) (9)(12)	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3.3 \frac{\bar{T}}{r_2}$	

مقادیر داخل پرانتز اشاره به نکته‌های زیر دارد.

جدول ۲۰ ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب تشدید تنش

نوع اتصال	ضریب انعطاف‌پذیری k	ضریب تشدید تنش i
اتصال لوله از نوع جوشکاری لب به لب، کاهنده یا فلنج انتهایی لوله با جوشکاری لب به لب	1	1.0
فلنج لوله با جوش دو طرفه	1	1.2
اتصال با جوش گوشه یا لوله با فلنج انتهایی با جوشکاری لوبیایی	1	نکته ۱۴
فلنج با اتصال رویهم (با JPI-7S-15 و ASME B16.9 stub end)	1	1.6
اتصال پیچی یا لوله با فلنج پیچی	1	2.3
لوله مستقیم موجدار یا خم موجدار، نکته ۱۰	5	2.5

نکته:

۱- زمانیکه داده‌های مناسبی وجود ندارد از جدول ۱۹ و ۲۰ استفاده می‌شود. این جدول برای $D/T \geq 100$ معتبر است.

۲- ضریب انعطاف‌پذیری k ذکر شده در این جدول برای زانویی به کار می‌رود. ضریب انعطاف‌پذیری k و ضریب تشدید تنش i ، برابر با ۱ یا بیشتر در نظر گرفته می‌شوند و در مورد پیچ یک در نظر گرفته می‌شود. هر دو ضریب در خم لوله برای طول موثر انحنا (به صورت خط پررنگ تر در شکل نشان داده شده است) و در لوله T شکل در محل تقاطع اعمال می‌شوند.

۳- هر دو مقدار i_1 و i_0 به عنوان ضریب تشدید تنش واحد محاسبه شده از $0.9 \times h^{-2/3}$ مناسب هستند.

۴- مقدار مشخصه انحنا h از رابطه ذکر شده محاسبه می‌شود و مقدار k و i را می‌توان مستقیماً بدست 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 گوشه‌ی لوله T شکل (mm)

$\bar{T}_r$: ضخامت صفحه یا زین (mm)

r_2 : متوسط شعاع لوله نصب شده (mm)

R_1 : شعاع انحنا زانویی جوش شده یا خم لوله (mm)

R_x : شعاع انحنا روی سطح خارج از محدوده انشعاب در وجهی که شامل محور لوله‌ی مادر و لوله‌ی 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 انحنا h محاسبه شده، مقدار ضریب C_1

مستقیماً بدست می‌آید (با استفاده از شکل ۹) و مقادیر h و i جدول براساس 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 دیواره‌ی نازک دارد. اصلاح مقادیر جدول با استفاده از

رابطه‌های (۴۲) و (۴۳) انجام می‌شود. در این دو رابطه E مدول الاستیسیته طولی است. (MPa)

$$k \text{ تقسیم بر } 1 + 6 \left(\frac{P}{E} \right) \left(\frac{r_2}{T} \right)^{2/3} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{1/3} \text{ می شود.} \quad (۴۲)$$

$$i \text{ تقسیم بر } 1 + 3.25 \left(\frac{P}{E} \right) \left(\frac{r_2}{T} \right)^{5/2} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{2/3} \text{ می شود.} \quad (۴۳)$$

۸- برای $\bar{T}_r > 1.5\bar{T}$ مقدار h به صورت مقابل می شود $h = 4\bar{T}/r_2$

۹- فشار استاندارد معادل با لوله مستقیم وارد می شود.

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 داده های کافی وجود ندارد و خم در محدوده ی 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 برون صفحه ای S_{IF} ممکن است ایمن نباشد. این نشان می دهد که جوشکاری صیقلی، مقدار S_{IF} را کاهش می دهد. بنابراین S_{IF} مناسب باید انتخاب شود.

۱۳- ضریب تشدید تنش اتصال انشعابی به بدنه ای با حداقل قطری دو برابر لوله اصلی در دو طرف لوله خط اصلی، بستگی دارد. لازم است ملاحظات خاصی برای لوله باریک ورودی در نظر گرفته شود.

۱۴- حداکثر تا $2/1$ یا کمتر از $2.1\bar{T}/C_x$ ، در نظر گرفته می شود ولی باید $1/3$ یا بیشتر باشد. C_x در اینجا نشان دهنده ی پایه ی جوش گوشه می باشد. برای طول پایه مقدار کوتاه تری فرض می شود.

S : تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح تحت فشار می‌باشد
 S_y : مقاومت تسلیم یا مقاومت معادل تسلیم با استفاده از کرنش 0.2% مصالح

جدول ۲۲ تنش مجاز طراحی لرزه‌ای براساس نوع مصالح

S	نوع مصالح
$S = \min\{0.6S_u, 0.9S_y\}$	(a) مصالح با آلیاژ آلومینیوم و مصالح فولادی با ۹٪ نیکل برای دماهای پایین کمتر از دمای اتاق
$S = \min\{0.6S_{u0}, 0.6S_u, 0.9S_{y0}, S_y\}$	(b) مصالح فولادی ضد زنگ استنیتی و مصالح فولادی با آلیاژ بالای نیکل، استفاده شده در دمایی بالاتر از دمای اتاق
$S = \min\{0.6S_{u0}, 0.6S_u, 0.9S_{y0}, S_y\}$	(c) مصالحی به غیر از بند (a) و (b)

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

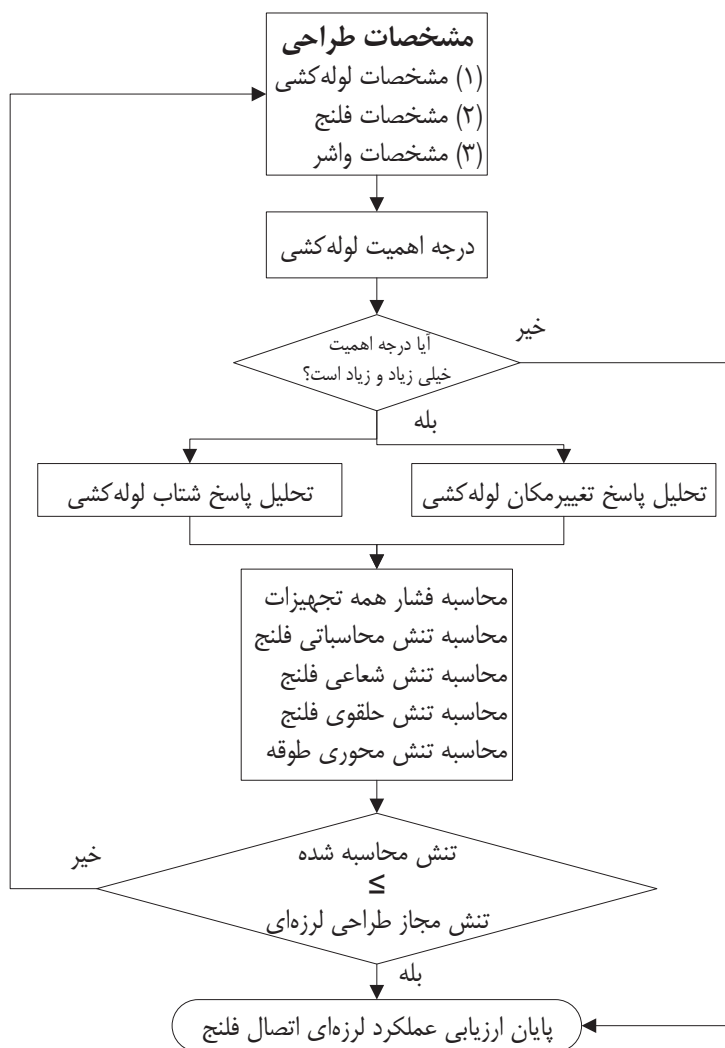
۳-۷- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی

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 ۲۳ تعیین می‌شود.



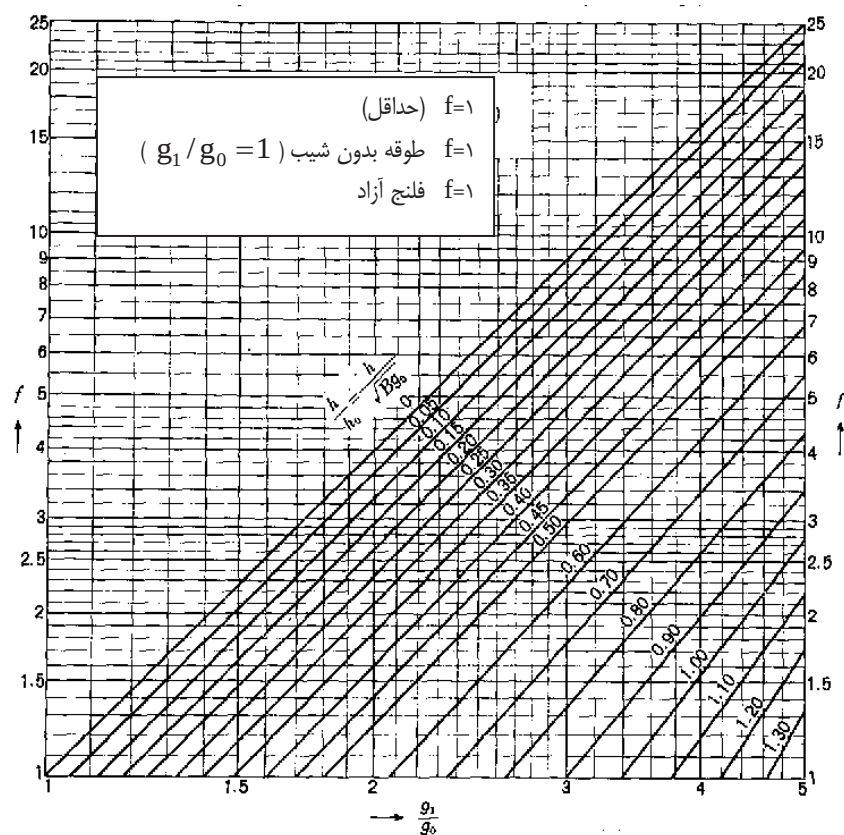
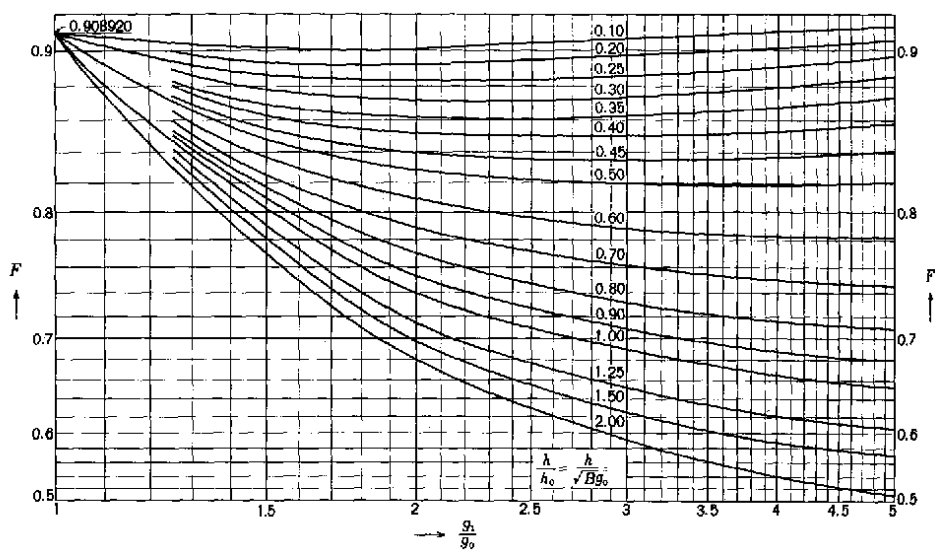
شکل ۱۱ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی

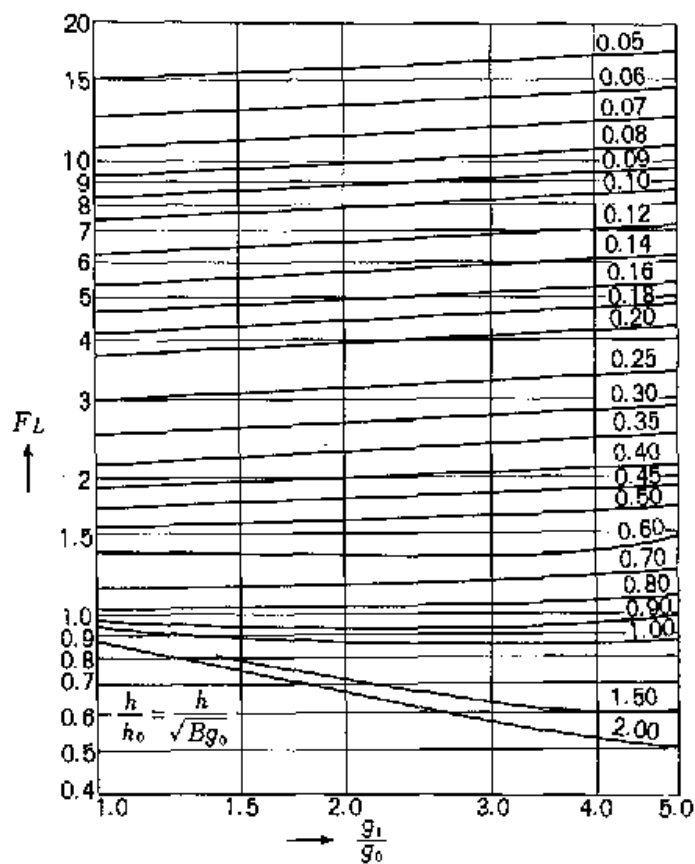
جدول ۲۳ تنش مجاز طراحی لرزه‌ای اتصال فلنجی

نوع تنش	تنش مجاز طراحی لرزه‌ای
تنش شعاعی فلنج	S
تنش حلقوی فلنج	S
تنش محوری طوقه	$2S_y$

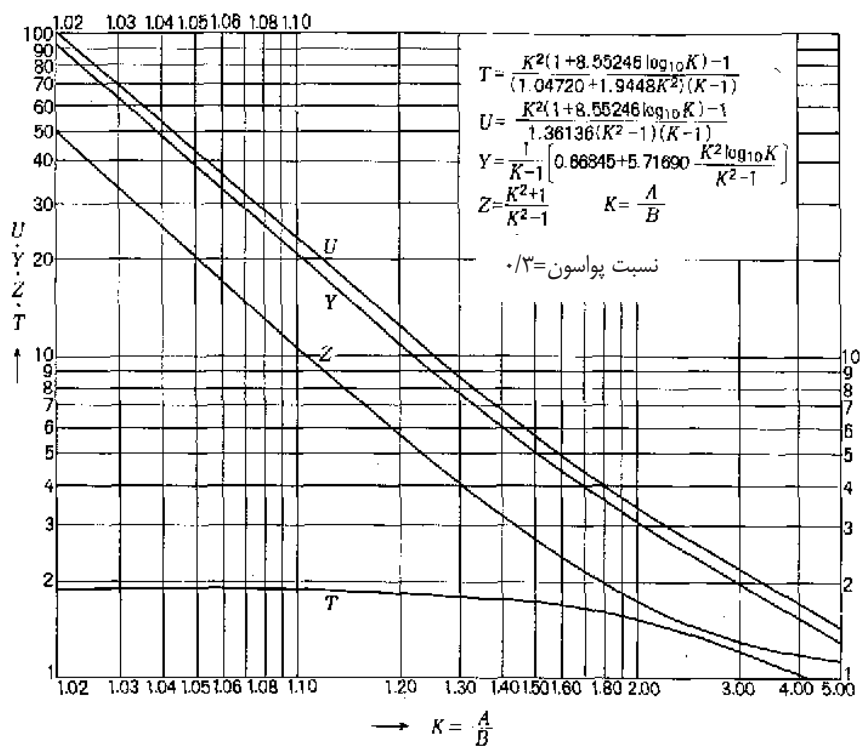
S و S_y در بخش ۳-۴ توضیح داده شده‌اند.

۳- پارامترهای محاسبه تنش

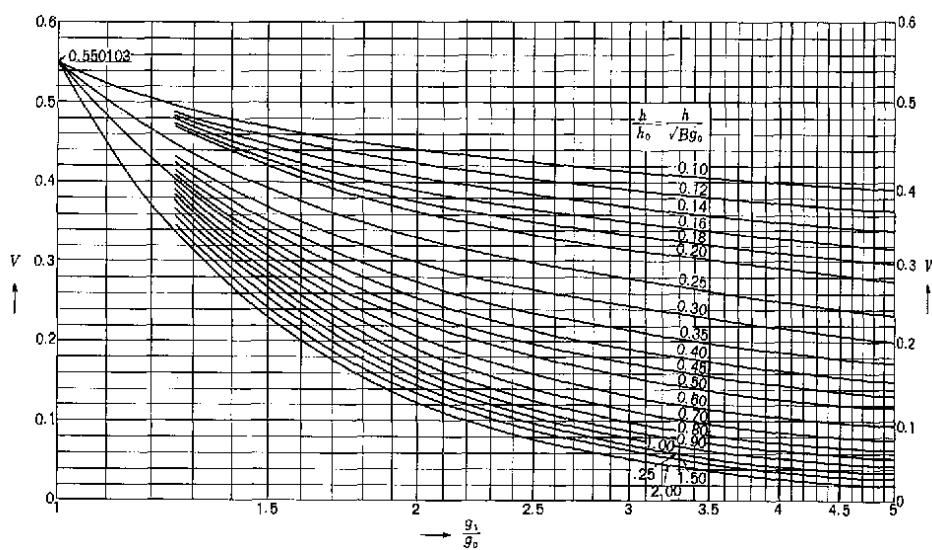
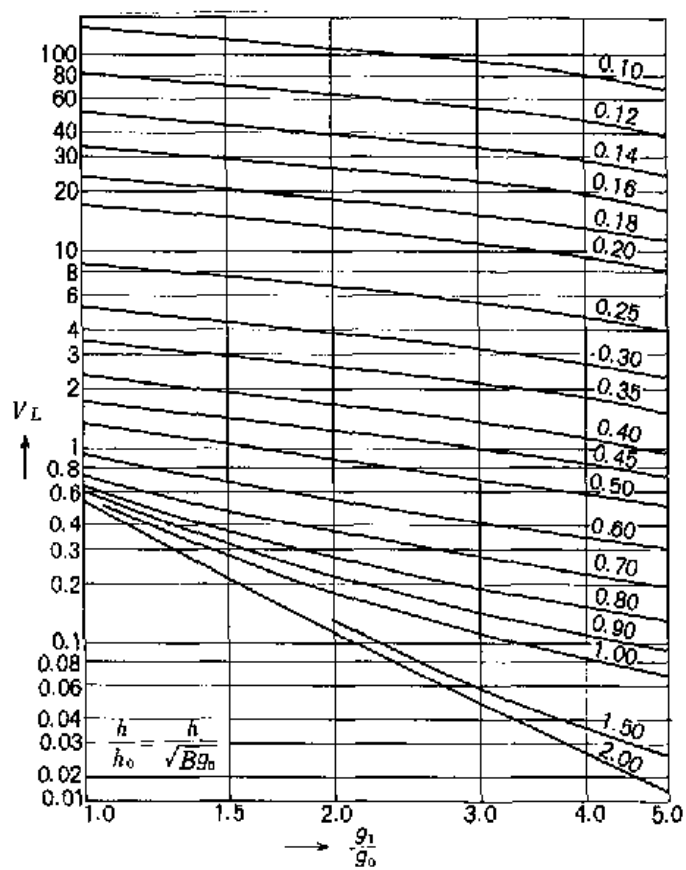
شکل ۱۲ مقدار پارامتر f شکل ۱۳ مقدار پارامتر F



شکل ۱۴ مقدار پارامتر F_L



شکل ۱۵ مقدار پارامتر T و Z ، Y ، U

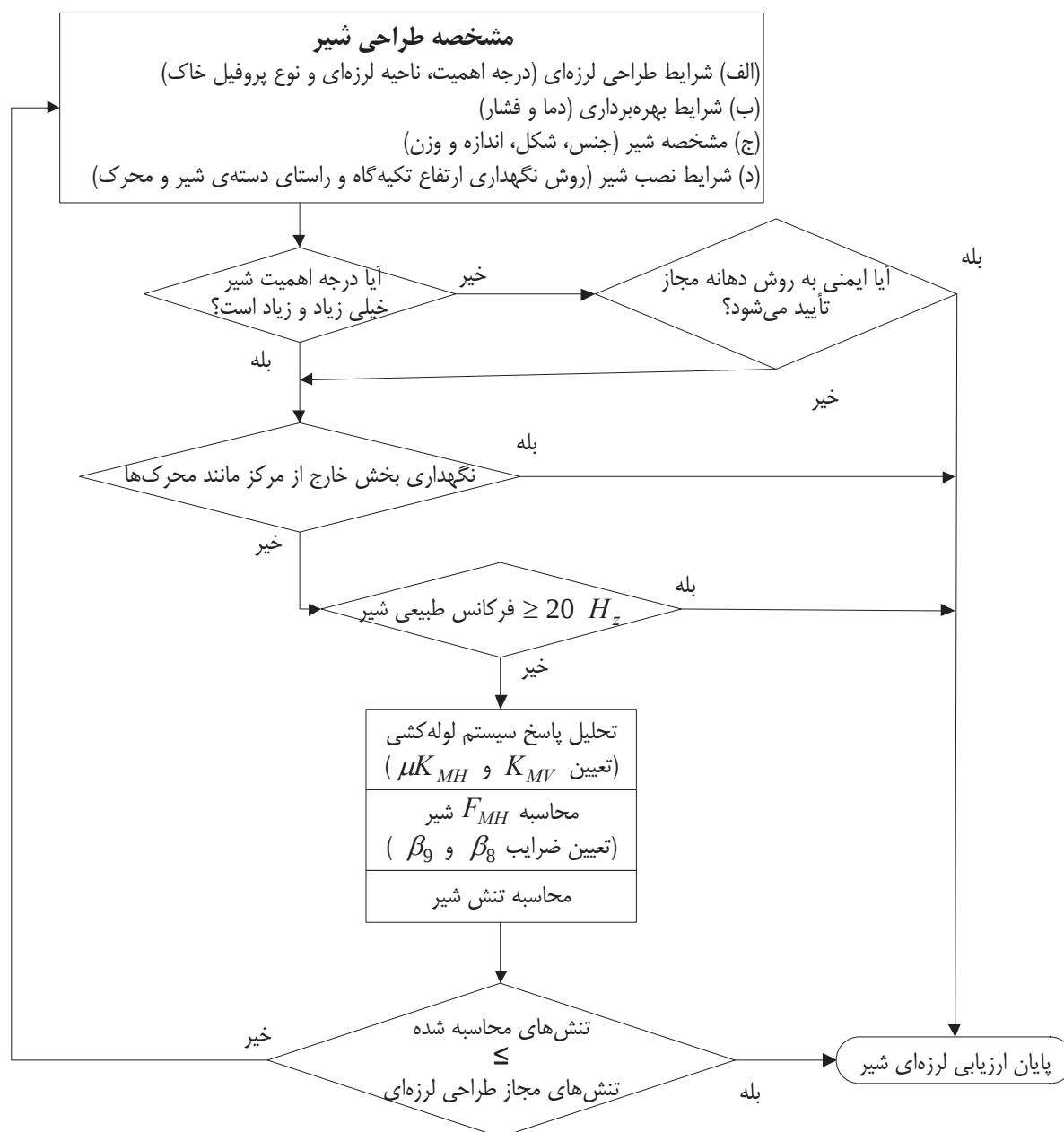
شکل ۱۶ مقدار پارامتر V شکل ۱۷ مقدار پارامتر V_L

۳-۸- 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 محاسبه‌ی تنش در ضعیف‌ترین بخش بین بدنه اصلی شیر و قسمت‌های وزنی در خارج از مرکز لوله‌کشی، برای نیروی اینرسی ناشی از زمین‌لرزه مانند شیریه 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 ۱۸ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای شیر

۲- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای در جدول ۲۴ براساس نوع شیر بیان شده است.

جدول ۲۴ تنش مجاز طراحی لرزه‌ای شیر

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

در اینجا S مقداری است که در قسمت ۴-۳ داده شده است.

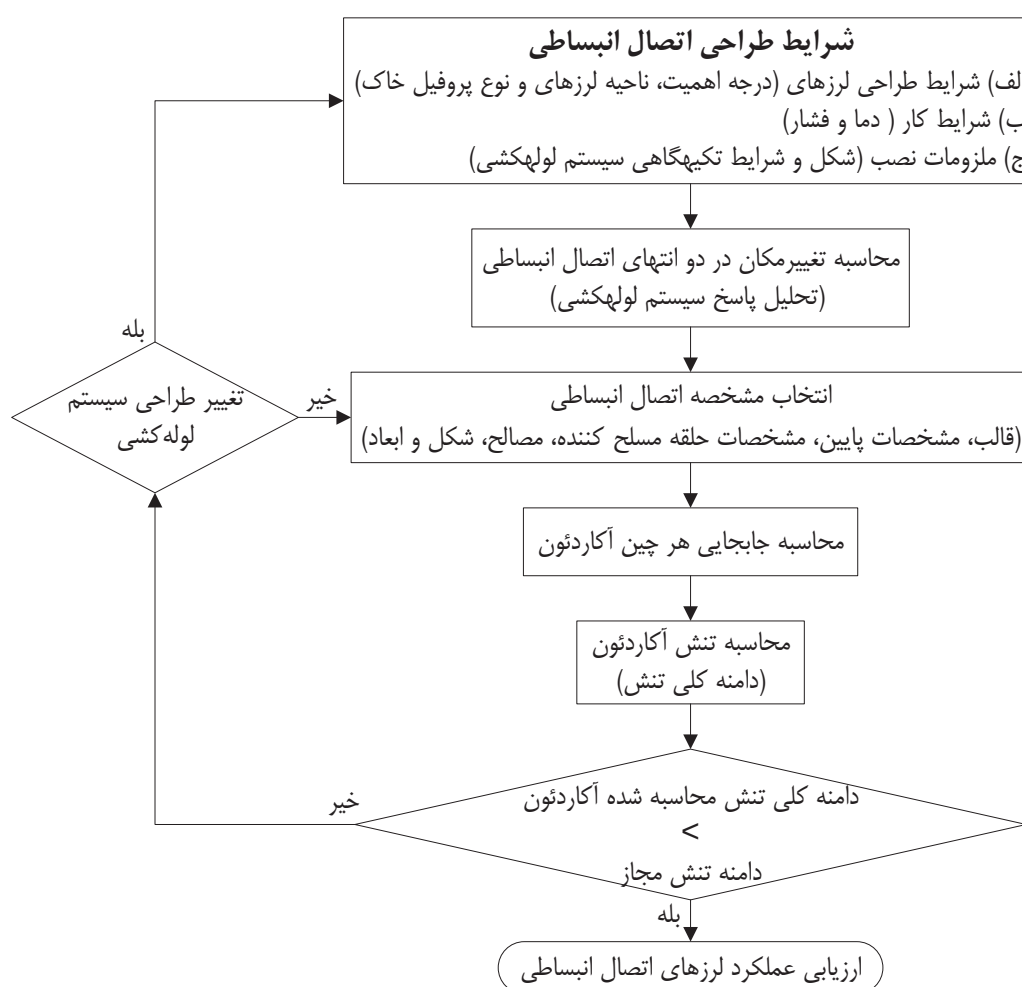
۳-۹- روش ارزیابی لرزه‌ای اتصال انبساطی

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 ۱۹ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ 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.

۲-۱- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای برای تنش محوری ایجاد شده در چین اتصال انبساطی از جنس فولاد سخت، فولاد آلیاژ پایین، فولاد ضدزنگ فریت و فولاد با قابلیت کششی بالا، برابر مقدار زیر است.

الف) $S_a = 2 \times 724 = 1448 \text{MPa}$ اگر کمترین مقاومت کششی برابر 551.6MPa 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.

۲-۴ - برای تنش محوری آکاردئون اتصال انبساطی ساخته شده از فولاد ضدزنگ، آلیاژ نیکل (آلیاژ Ni-Cr-fe و آلیاژ Ni-Fe-Ci) و آلیاژ نیکل مس، تنش مجاز طراحی لرزه‌ای برابر $S_a = 2 \times 1020 = 2040 \text{MPa}$ می‌باشد.

۳-۱۰- روش ارزیابی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

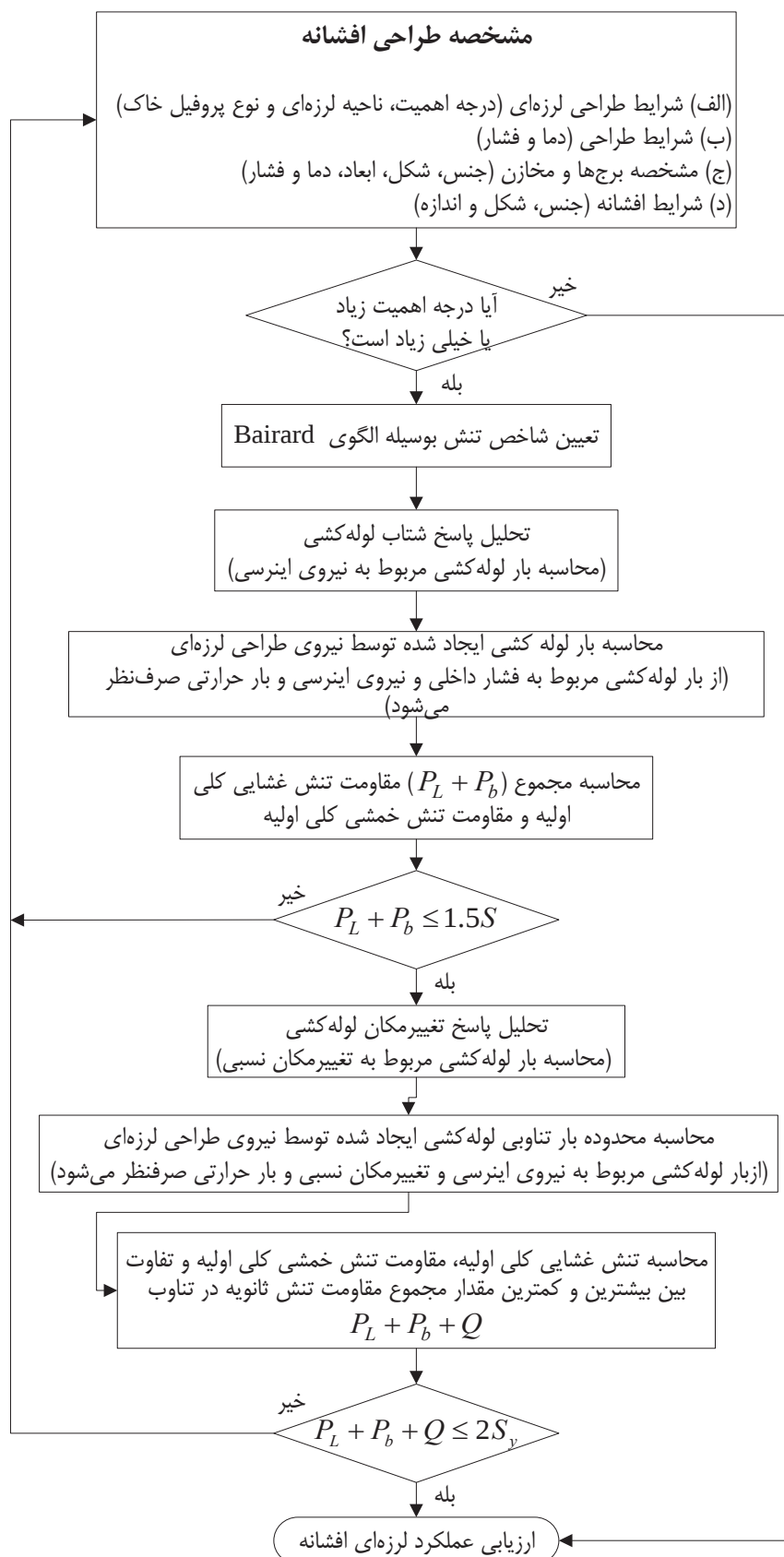
۱- مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه

۱-۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن به این صورت انجام می‌شود که مقاومت اولیه تنش محلی و اختلاف بین مقدار حداقل و حداکثر مجموع مقاومت تنش اولیه و تنش ثانویه در یک سیکل باید به ترتیب کمتر از مقاومت تنش مجاز طراحی لرزه‌ای باشند.

۱-۲- شدت تنش افشانه برج‌ها و مخازن متصل به سیستم لوله‌کشی با درجه اهمیت بالا براساس نیروی لرزه‌ای افقی طراحی لوله‌کشی، نیروی لرزه‌ای قائم طراحی و بار مربوط به جابجایی نقطه اتکای لوله، محاسبه می‌شود.

۱-۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن نشان داده شده در شکل ۲۰ با یک تکنیک ساده براساس 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) براساس تئوری پوسته نازک یا تحلیل تفصیلی مانند روش اجزای محدود (FEM) نشان داده شده در جدول ۲۵، انجام می‌شود.



شکل ۲۰ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

جدول ۲۵ 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 Bairard، روش)
	(۲) - WRC297-1987 / "تنش‌های محلی در پوسته‌های استوانه‌ای ناشی از بارگذاری خارجی بر افشانه‌ها"
	(تکنیکی ساده براساس 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 براساس نوع تنش در جدول ۲۶ ارائه شده است.

جدول ۲۶ شدت تنش مجاز طراحی لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن

نوع شدت تنش	شدت تنش مجاز طراحی لرزه‌ای
شدت تنش غشایی کلی اولیه	S
شدت تنش غشایی محلی اولیه و شدت تنش خمشی اولیه	1.5S
شدت تنش غشایی محلی اولیه، شدت تنش خمشی اولیه و تفاوت بین مقدار حداقل و حداکثر مجموع مقاومت تنش ثانویه در یک سیکل	2S _y

در اینجا، S و S_y مقادیر نشان داده شده در بخش ۴-۳ هستند.

۳-۱۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

۱- عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله که سیستم لوله‌کشی را نگه‌می‌دارد در شکل ۲۱ نشان داده شده است.

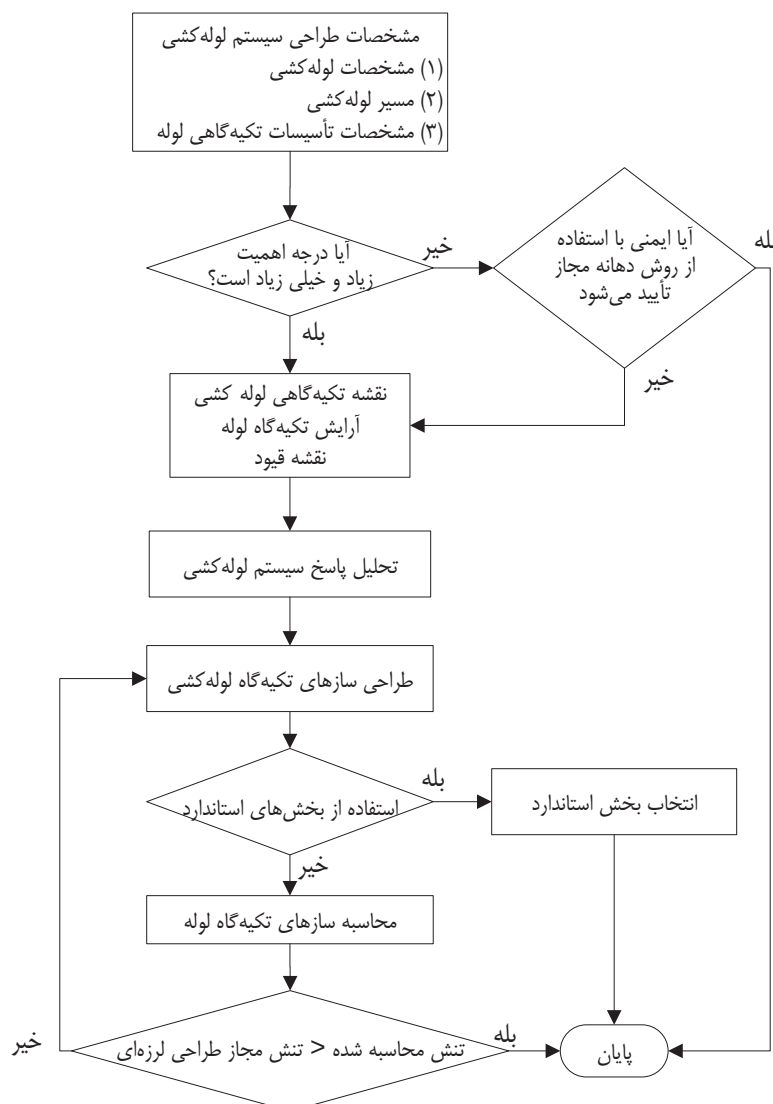
۱-۱- کارکرد تکیه‌گاه لوله (از این پس "کارکرد تکیه‌گاه" نامیده می‌شود).

ثابت نگهداشتن لوله‌کشی است. همه اثرات زلزله از طریق تکیه‌گاه بر لوله‌کشی وارد شده و زمین‌لرزه به نقاط اتکای 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 تغییرمکان و تغییرمکان حرارتی آزاد سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در اثر همزمان زمین لرزه و نیروی خارجی بار لرزه‌ای، وزن مرده و بارگذاری باد، تعیین می‌شود.



شکل ۲۱ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله

۳-۱- تحلیل پاسخ سیستم لوله کشی

در صورت تأیید ارزیابی‌های عملکرد لرزه‌ای اجزایی از قبیل لوله کشی، اتصالات فلنجی و شیرها، بعد از انجام تحلیل پاسخ سیستم لوله کشی براساس نقشه تکیه‌گاه لوله کشی، شرایط بارگذاری تکیه‌گاه لوله از تحلیل پاسخ براساس شرایط طراحی تکیه‌گاه لوله‌ی مربوطه، بدست می‌آید.

۴-۱- نقشه سازه‌ای تکیه‌گاه

تحلیل پاسخ سیستم لوله کشی براساس 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 تغییرمکان لوله‌کشی در نقطه اتکای لوله یا نقطه گیردار تعریف شده در جدول ۲۷، سهیم می‌باشد.

جدول ۲۷ عملکرد و تعاریف تفصیلی تکیه‌گاه لوله

تعاریف تفصیلی		طبقه‌بندی کوچکتر		طبقه‌بندی
		نام	عملکرد	نام
مهار کننده‌ها	به نقطه تکیه‌گاهی گیردار تبدیل می‌شود	تغییر مکان و دوران در سه راستا مهار می‌شود.	مهار	بار لوله‌کشی در زلزله یا جابجایی لوله‌کشی در اثر تغییر شکل حرارتی مهار می‌گردد.
	نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در راستایی قرار می‌گیرد که تغییر مکان لوله‌کشی مهار شده است	تغییر مکان لوله‌کشی در راستای عمود بر محور مهار می‌شود.	هادی	
	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.	تغییر مکان در دو راستای عمود بر محور لوله‌کشی مهار می‌شود.	پیچ یا نوار II شکل	
	نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در راستای محور لوله‌کشی قرار می‌گیرد	تغییر مکان در راستای محور لوله‌کشی مهار می‌شود.	متوقف کننده محوری	
	نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در سه راستا لوله‌کشی قرار می‌گیرد	تغییر مکان در سه راستای لوله‌کشی مهار می‌شود.	متوقف کننده سه محوره	
ماشین ضد ارتعاش	نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی در راستای مهار شده قرار می‌گیرد	تغییر مکان کند مجاز می‌باشد، اما تغییر مکان سریع مهار می‌شود.	دستگاه جداساز سیال	از جلوگیری از ارتعاش و تغییر مکان لوله‌کشی
	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 نوع کابل مکانیکی	
		تغییر مکان توسط فنر کاهش می‌یابد.	دستگاه جداساز فنری	
بند یا نشیمن	در صورتی که تغییر مکانی در فوق با ملاحظه وزن، گرما و بار لرزه‌ای، وجود نداشته باشد، نقطه تکیه‌گاهی لوله در راستای قائم در نظر گرفته می‌شود	وزن مرده لوله‌کشی از وجه پایینی تحمل می‌شود و تغییر مکان راستای پایینی مهار می‌شود.	نشیمن	وزن مرده سیستم لوله‌کشی تحمل می‌شود.
	در صورتی که تغییر مکانی در فوق با ملاحظه وزن، گرما و بار لرزه‌ای، وجود نداشته باشد، نقطه تکیه‌گاهی لوله در راستای قائم در نظر گرفته می‌شود	وزن مرده لوله‌کشی از وجه بالایی تحمل می‌شود و تغییر مکان راستای پایینی مهار می‌شود.	بند صلب	
	در صورتی که تغییر مکانی در فوق با ملاحظه وزن، گرما و بار لرزه‌ای، وجود نداشته باشد، نقطه تکیه‌گاهی لوله در راستای قائم در نظر گرفته می‌شود	عکس العمل توسط فنرها تحمل می‌شود	بند متغییر	
	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 بالایی نگهداشته می‌شود و تغییر مکان راستای پایینی مهار می‌شود.	بند ثابت	

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، قفسه‌ی 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 ۲۸ انجام می‌شود.

جدول ۲۸ شرایط بارگذاری لوله‌کشی

نوع بار	بخش فشاری	بخش غیرفشاری
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 براساس روش تحلیلی و استاندارد نشان داده شده در جدول ۲۹، در بخش‌های ذکر شده در پایین محاسبه شود:

۱- پایه

۲- تیر

۳- مهار

۴- پیچ پی

۵- بخش‌های مهم ویژه‌ی طراحی لرزه‌ای

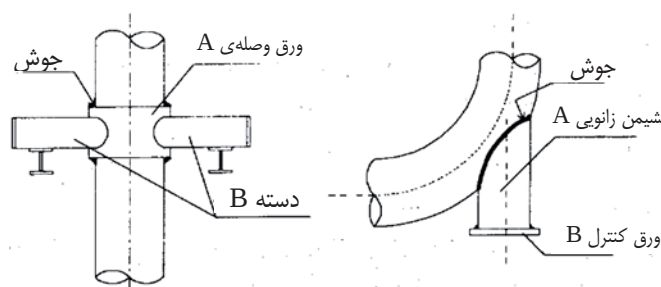
۶- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای تکیه‌گاه

برحسب نوع مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی، تنش‌های مجاز طراحی لرزه‌ای مختلفی بکار برده می‌شوند. کوچکترین مقدار بین تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی، به عنوان تنش مجاز مصالح سازه تکیه‌گاهی که مستقیماً به مصالح بخش فشاری جوش شده‌اند، استفاده می‌شود. زمانیکه مصالح بخش فشاری مشابه مصالحی هستند که در ستون سمت راست جدول ۱ از پیوست ۱ لیست شده‌اند، مصالح سازه تکیه‌گاهی که جوش یا نصب شده‌اند، باید از بین مصالحی که در ستون سمت چپ براساس نوع فلز مصالح بخش فشاری لیست شده‌اند، انتخاب شود.

جدول ۲۹ تنش‌های محاسبه شده تکیه‌گاه لوله

بخش	تکنیک تحلیلی و استاندارد
مصالح مقاوم در برابر فشار	بخش‌های جوشی (دایره و چهار گوش)
	بخش‌های جوشی (مصالح صفحه‌ای)
	بخش‌های جوشی (زین)
مصالح بخش غیرفشاری	بخش سازه‌ی بخش جوشی
	بخش‌های جوشی (زین)
	مصالح فلزی نصب
	سازه تکیه‌گاهی
	تجزیه و تحلیل FEM غیره
	استاندارد طراحی سازه فلزی
	تجزیه و تحلیل FEM غیره
	استاندارد طراحی سازه فلزی و تجزیه و تحلیل FEM غیره
	استاندارد طراحی سازه فلزی و تجزیه و تحلیل FEM غیره

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.



شکل ۲۲ تقسیم کاربردی تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح بخش فشاری و مصالح سازه تکیه‌گاهی

A: قسمتی که نیاز به مطالعه تنش مجاز برای طراحی لرزه‌ای مصالح بخش فشاری دارد، در حالی که مصالح سازه تکیه‌گاهی می‌باشد.

B: قسمتی که برای آن تنها تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح سازه تکیه‌گاهی، اعمال می‌شود.

۷- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح بخش غیرفشاری تکیه‌گاه

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح بخش غیرفشاری تکیه‌گاه در بخش ۳-۴ نشان داده شده است.

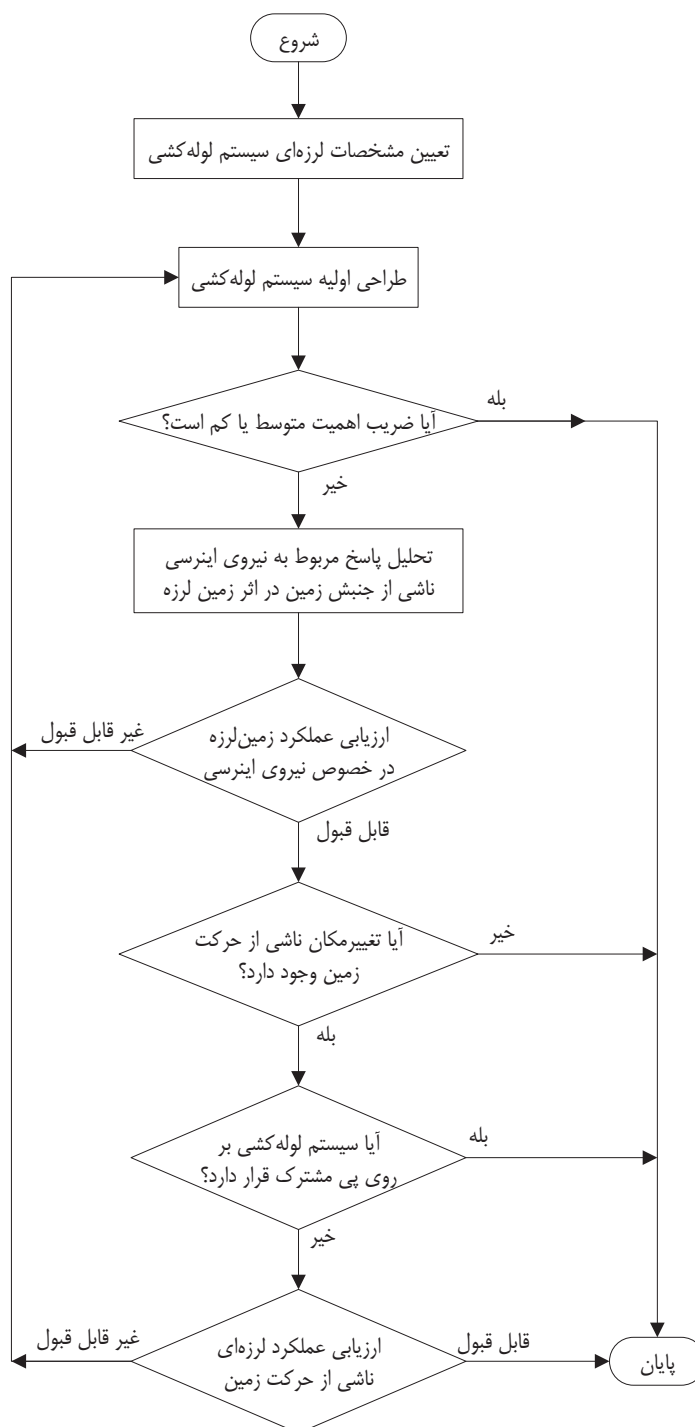
۸- تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح مقاوم در برابر فشار تکیه‌گاه

تنش مجاز طراحی لرزه‌ای مصالح بخش فشاری تکیه‌گاه در بخش ۳-۴ با جزئیات توضیح داده شده است.

۹- صرف‌نظر کردن از ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

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.

۳-۱۲- فرآیند طراحی لرزه‌ای لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر



شکل ۲۳ روندنمای طراحی لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به روش شکل‌پذیر

۳-۱۳- ارزیابی خم لوله در تغییرشکل‌های بزرگ

با توجه به انعطاف‌پذیری خوب لوله‌های فولادی و ظرفیت تغییرشکل زیاد آنها، حتی اگر تغییرشکل در این لوله‌ها از حدود تنش تسلیم تجاوز کند، با این حال لوله سریعاً به نقطه شکست نمی‌رسد. زمانی که لوله‌ها تحت تغییرشکل‌های زیادی ناشی از زمین‌لرزه و غیره، قرار می‌گیرند، دانستن نحوه تغییرشکل 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 تغییرشکل‌های بزرگ لوله‌های خمیده به عنوان مولفه‌های اصلی این سیستم، ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد.

اگر خم لوله تحت لنگر خمشی M قرار بگیرد، تغییر زاویه θ (از این پس زاویه خمش گفته می‌شود) بر اساس تئوری تیر طبق رابطه (۴۴)، به دست می‌آید. در این رابطه اثر بیضوی شده (اعوجاج) در نظر گرفته شده است.

$$\theta_B = k_e 90 \frac{R_1}{EI} M \quad (44)$$

K_e : ضریب انعطاف‌پذیری در تغییرشکل‌های الاستیک ($K_e = 1.65/h_d$)

h_d : مقدار مشخصه تغییرشکل خمشی ($h_d = \bar{T}R_1/r_2^2$)

E : مدول ارتجاعی طولی (N/mm^2)

r_2 : شعاع متوسط لوله (mm)

R_1 : شعاع خم لوله (mm)

$\bar{T}$: ضخامت لوله (mm)

I : ممان اینرسی مقطع (mm^4)

θ_B : زاویه خمش (درجه)

رابطه (۴۴) با لحاظ نمودن تغییرشکل خمیری، در فهم عملکرد تغییرشکل‌های بزرگ لوله خمیده به طور کمی، کمک شایانی می‌نماید. این رابطه به شکل رابطه (۴۵) می‌شود.

$$\theta_B = k_p 90 \frac{R_1}{EI} M \quad (45)$$

در اینجا، مقدار K_p ، ضریب انعطاف‌پذیری در تغییرشکل خمیری می‌باشد. مقدار تقریبی ضریب انعطاف‌پذیری در حالت خمش درون صفحه‌ای، انبساط درون صفحه‌ای و خمش برون 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:

$$k_p = \left[(1.25h_d + 0.33)\theta_B (90/\alpha_p) - 0.48h_d + 0.4 \right] \frac{S_o}{S_y} k_e \geq k_e \quad (46)$$

رابطه تقریبی حالت انبساط درون صفحه‌ای:

$$k_p = \left[(1.28h_d + 0.03)\theta_B (90/\alpha_p) - 0.66h_d + 0.75 \right] \frac{S_o}{S_y} k_e \geq k_e \quad (۴۷)$$

رابطه تقریبی حالت خمش برون صفحه‌ای:

$$k_p = \left[(1.1h_d + 0.24)\theta_B (90/\alpha_p) + 0.15h_d + 0.19 \right] \frac{S_o}{S_y} k_e \geq k_e \quad (۴۸)$$

رابطه تقریبی میانگین خمش و انبساط درون صفحه‌ای و خمش برون صفحه‌ای:

$$k_p = \left[0.37 + (h_d + 0.25)\theta_B (90/\alpha_p) \right] \frac{S_o}{S_y} k_e \geq k_e \quad (۴۹)$$

α_p : زاویه خم لوله (درجه)

S_y : مقاومت تسلیم یا مقاومت معادل تسلیم با استفاده از کرنش 0.2% مصالح (N/mm^2)

$$215 N/mm^2 : S_o$$

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.

$$\theta_B = 29.1 \frac{(\varepsilon_{eq}^p)^{0.829}}{h_d^{0.456}} \quad (۵۰)$$

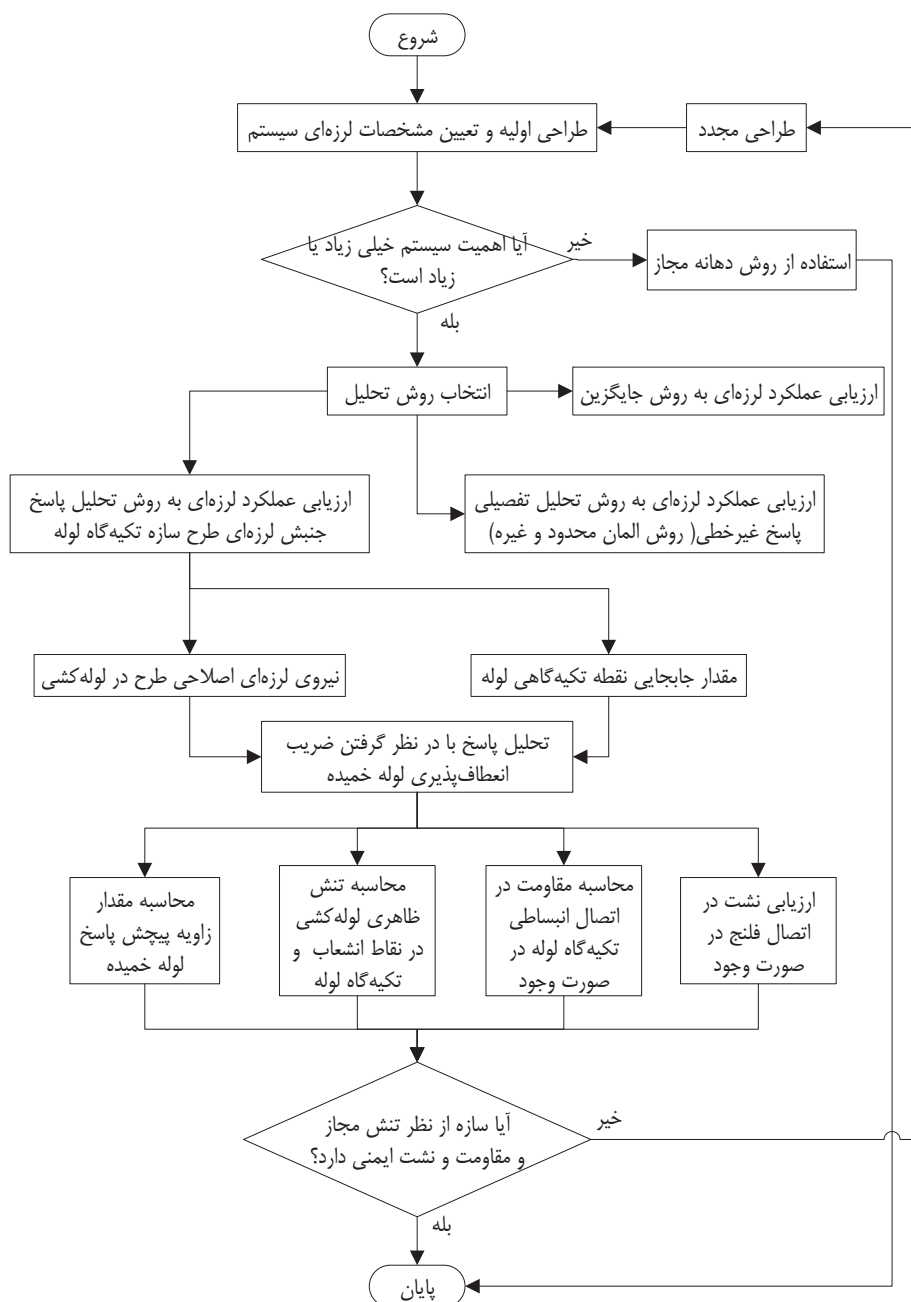
کرنش خمیری ε_{eq}^p کرنش خمیری معادل می‌باشد و از رابطه (۵۱) به دست می‌آید:

$$\varepsilon_{eq}^p = \sqrt{\frac{2}{3} \left[(\varepsilon_x^p)^2 + (\varepsilon_y^p)^2 + (\varepsilon_z^p)^2 + 2(\varepsilon_{zx}^p)^2 + 2(\varepsilon_{xy}^p)^2 \right]} \quad (۵۱)$$

ε_{eq}^p : کرنش خمیری معادل

$\varepsilon_z^p, \varepsilon_{yz}^p, \varepsilon_{zx}^p, \varepsilon_{xy}^p, \varepsilon_y^p, \varepsilon_x^p$: مولفه‌های کرنش خمیری

۳-۱۴- روندنمای ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ



شکل ۲۴ روندنمای ارزیابی نیروی اینرسی و تغییر مکان پاسخ

۳-۱۴-۱- 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 پیوست ۳-۳ 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 (۵۲) محاسبه می‌گردد:

$$\delta_x = \begin{cases} (\mu_p + 1) \frac{K_y}{K_{MH}} \delta_{xMH} & \mu_p < 0 \\ \delta_{xMH} & \mu_p = 0 \end{cases} \quad (52)$$

δ_x : مقدار تغییر مکان افقی پاسخ نقطه تکیه‌گاهی لوله در زمین لرزه (mm)

μ_p : نسبت تغییر مکان خمیری پاسخ سازه تکیه‌گاهی لوله (برج‌ها و مخازن) به مقدار متناظر با مد شکستی که $\mu_{\square}$ دارای بیشترین مقدار خود می‌باشد.

K_{MH} : ضریب لرزه افقی اصلاحی طرح، مربوط به سازه تکیه‌گاهی لوله (مخازن و برج‌ها)

δ_{xMH} : مقدار تغییر مکان افقی پاسخ (mm) در نقطه تکیه‌گاهی لوله در سازه برج‌ها و مخازن مربوط به ضریب لرزه افقی 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 ام از رابطه (۵۳) محاسبه می‌گردد. مقدار $\square$ بین ۱ تا ۴ می‌باشد.

$$Y_i = Y_{i-1} + \Delta Y_i \quad \Delta Y_i = s_i \Delta X_i \quad (53)$$

Y_i : تغییر مکان پاسخ در طبقه i ، $Y_0 = 0$ (mm)

ΔY_i : تغییر مکان نسبی طبقه در طبقه i ام $\Delta Y_i = Y_i - Y_{i-1}$ (mm)

s_i : نسبت تغییر مکان در طبقه i ام که از رابطه (۵۴) محاسبه می‌گردد، ولی مقدار آن برابر با یک یا بیشتر می‌باشد.

$$s_i = 1 + \mu_{pi} = 1 + \frac{1}{4C} \left\{ \left(\frac{K_{MH(i-1)}}{K_{MH(i)}} \right)^2 - 1 \right\} \quad (54)$$

K_{MH1} : مقدار آن از رابطه (۵۵) محاسبه می‌گردد:

$$K_{MH0} = K_{MH} \text{ ولی } K_{MH1} = \min(K_{MH(i-1)}, K_{yi}) \quad (55)$$

K_{yi} : ضریب لرزه تسلیم در طبقه i ام که مقدار آن از رابطه (۵۶) به دست می‌آید:

$$K_{yi} = \frac{Q_1}{\mu W_1 + \dots + \mu_4 W_4} \quad (56)$$

$\square$: ضریب لرزه افقی اصلاحی طرح سازه تکیه‌گاهی لوله (قاب)، که از رابطه (۵۷) محاسبه می‌گردد.

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (57)$$

β_5 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی

K_H : ضریب لرزه افقی مربوط به نیروی لرزه‌ای طراحی در سطح زمین

ΔX_i : تغییر مکان نسبی طبقه i ام بر حسب K_{MH1} (mm)، که مقدار آن از رابطه (۵۸) به دست می‌آید:

$$\Delta X_i = K_{MHi} \frac{\mu_1 W_i + \dots + \mu_4 W_4}{k_i} \quad (58)$$

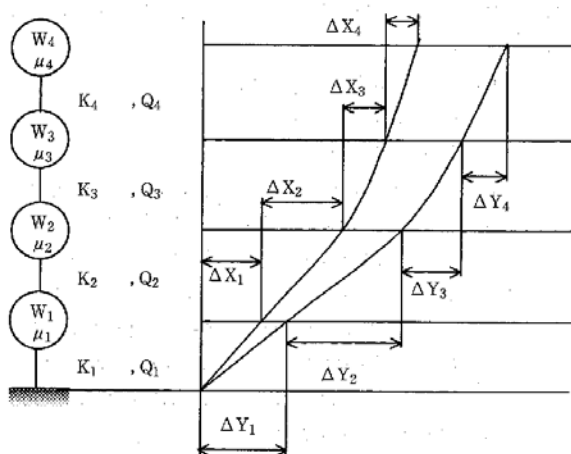
W_i : بار کف در طبقه i ام (kN)

k_i : فنریت طبقه میانی i ام (kN/mm)

Q_1 : مقاومت تسلیم (kN)

μ_i : ضریب توزیع شدت لرزه‌ای در طبقه i ام (این پارامتر مشابه ضریب A_i در فصل سوم محاسبه می‌شود)

μ_{pi} : نسبت تغییر شکل خمیری پاسخ در طبقه i ام



شکل ۲۵

۳-۱۴-۲- 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 بکار 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.

براساس 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 بکار می‌رود. این ضرایب تصحیح با در نظر گرفتن عدم بوجود آمدن هیچ مشکلی در دقت مسئله، به علت کوچک بودن زاویه پیچشی در موارد کمتر از نسبت تغییر شکل خمیری نهایی مجاز و به علت تکرار تغییر شکل مثبت و منفی، یکسان در نظر گرفته می‌شوند.

۲-۱- 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 (۵۹) برای خمش درون صفحه‌ای، انبساط درون صفحه‌ای و خمش برون صفحه‌ای به دست می‌آید (در این رابطه باید بجای θ_B از θ_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 یک ضریب انعطاف‌پذیر معادل آن فرض شده 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 انعطاف‌پذیری 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، بجز قسمت خم، به وسیله تنش انجام می‌شود. چراکه نباید در محدوده خمیری قرار گیرد.

۱-۴- شرایط تحلیل 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 ۳۰ ترکیب بارها نشان داده شده است.

جدول ۳۰ ترکیب بار بهره‌برداری و بار لرزه‌ای

نوع بار	فشار سیال	وزن بهره‌برداری	بار لرزه‌ای	
			نیروی اینرسی	تغییر مکان نسبی
تنش طولی σ_1	○	○	○	
محدوده تنش تناوبی σ_E			○	○ سازه تکیه‌گاه

۲- تحلیل تفصیلی

در تحلیل تفصیلی به روش اجزای محدود و غیره، شیوه‌ای به نام روش هایبریدی (مرکب) 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 غیر خطی 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 (۶۰) به دست می‌آید:

$$\varepsilon_{eq}^p = \sqrt{\frac{2}{3} \left[(\varepsilon_x^p)^2 + (\varepsilon_y^p)^2 + (\varepsilon_z^p)^2 + 2(\varepsilon_{yz}^p)^2 + 2(\varepsilon_{zx}^p)^2 + 2(\varepsilon_{xy}^p)^2 \right]} \quad (60)$$

$\varepsilon_{xy}^p, \varepsilon_{zx}^p, \varepsilon_{yz}^p, \varepsilon_x^p, \varepsilon_y^p, \varepsilon_z^p$: مولفه‌های 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 کاهش پاسخ تغییر مکان در اثر میرایی افزایشی در لغزش ناشی از زلزله‌های تراز 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 بعنوان مثال: ضریب پاسخ بزرگنمایی درسیستم 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:

۳-۱- اگر چه 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.

۳-۲- در تمامی موارد ضریب پاسخ بزرگنمایی در راستای قائم برابر با ۲ می‌باشد.

۳-۳- ضریب پاسخ بزرگنمایی با تعویض انرژی جذب شده در اثر رفتار غیرخطی با یک ثابت میرایی معادل مناسب، به دست می‌آید.

۳-۱۴-۳- 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 تغییرشکل زاویه‌ای مجاز ارزیابی می‌گردد. تغییرمکان زاویه‌ای مجاز تحت شرایطی که در آن کرنش خمیری مجاز خم ۲٪ می‌باشد، به دست می‌آید. این کرنش بواسطه مطالعه پارامتریک مشخصه تغییرشکل‌های بزرگ خم در دو حالت خمش درون صفحه‌ای (خمش و انبساط) و خمش برون صفحه‌ای با مقایسه مقدار مشخصه لوله‌های خمیده مختلف با استفاده از روش المان محدود محاسبه می‌گردد.

$$\theta_{aL2} = 29.1 \frac{\varepsilon_{paL2}^{0.829}}{h_d^{0.456}} \quad (61)$$

در اینجا، ε_{paL2} ، کرنش خمیری معادل و θ_{aL2} ، مقدار تغییرمکان زاویه‌ای مجاز می‌باشد. این رابطه برای لوله با خم ۹۰ درجه می‌باشد و برای لوله‌های با خم ۳۰ و ۴۵ درجه مقدار تغییرمکان زاویه‌ای مجاز از درون یابی محاسبه می‌گردد. در نتیجه با توجه به تغییرشکل خمیری نهایی مجاز مربوط به پاسخ شتاب، مقدار زاویه پیچش لوله خمیده با توجه به حداکثر کرنش خمیری معادل نصف دامنه، برابر با ۲٪، می‌باشد بطوریکه در نصف دامنه ۲٪، $\varepsilon_{paL2} = 0.02$ در کرنش خمیری معادل می‌باشد در نتیجه زاویه پیچش به صورت رابطه (۶۲) محاسبه می‌گردد.

$$\theta_a = \frac{1.14}{h_d^{0.46}} \quad (62)$$

θ_a : زاویه مجاز لوله خمیده (بر حسب درجه)

جدول ۳۱ رابطه بین مقادیر مشخصه تغییرشکل خمشی و زاویه مجاز زانویی شعاع بلند ۹۰ درجه را نشان می‌دهد. در اینجا کرنش خمیری مجاز ۲٪ فرض شده است.

۲- ارزیابی مدهای شکست لوله‌های انشعابی و لوله‌های مستقیم

پدیده کمانش کلی با فرض المان تیری با رفتار خطی برای هر دو باید کنترل شود.

۳- تغییر شکل موجی شکل

تغییر شکل موجی شکل، تغییر شکل غیرارتجاعی متناوب پیش‌رونده می‌باشد. در اغلب حالات کرنش غیرارتجاعی به ازای هر دوره تغییر می‌کند. تغییر شکل موجی شکل ثابت، وقتی بوجود می‌آید که کرنش غیرارتجاعی خالص ناشی از بار معلوم متناوب، در سیکل بعدی ثابت باشد.

احتمال افزایش در تغییر شکل غیرارتجاعی 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 غیرارتجاعی پیش‌رونده با همپوشانی تنش اولیه با فشار داخلی و یک تنش ثانویه متناوب مکانیکی بوجود می‌آید. بطوریکه تنش کششی جداره لوله به علت فشار داخلی و بار متناوب بیش از اندازه اعمالی بواسطه بار لرزه‌ای، در پیرامون لوله بوجود 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 همانطور 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 ۳۱ 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

۳-۱۴-۴- جزئیات روند طراحی اتصال فلنج و فشار تماسی لازم واشر

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.

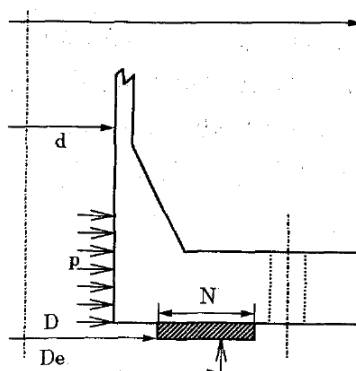
نشت از واشر با استفاده از ضریب واشر ارزیابی می‌گردد. این ضریب با تبدیل نیروی کششی محوری □ و لنگر خمشی □ ناشی از بار لرزه‌ای به فشار معادل در صفحه واشر، به دست می‌آید.

۱-۱- نیروی محوری لوله کشی و لنگر خمشی در اتصال فلنج از تحلیل پاسخ شتاب و تغییر مکان لوله کشی محاسبه می‌گردد.

۲-۲- ارزیابی نشت بدین صورت انجام می‌شود که فشار لازم تماسی واشر باید کمتر از فشار تماسی واشر در اولین مرحله بستن پیچ باشد. فشار لازم تماسی واشر برابر با مجموع فشار وارده بر واشر ناشی از فشار داخلی لوله و فشار معادل با

نیروی محوری و لنگر خمشی محاسبه شده در لوله کشی، می‌باشد.

۲- فشار تماسی لازم واشر در ارزیابی ساده نشت



شکل ۲۶ لبه صفحه نشیمن واشر

فشار داخلی معادل منتج از نیروی محوری F و لنگر خمشی M ، ناشی از بار لرزه‌ای در واشر فایو مسطح به صورت رابطه (۶۳) می‌باشد.

$$p_e = \frac{4F_g}{\pi D_e^2} + \frac{16M}{\pi D_e^3} \quad (63)$$

F_g : نیروی محوری ناشی از بار لرزه‌ای (N)

M : لنگر خمشی ناشی از بار لرزه‌ای (□.□□)

D_e : قطر متوسط در وجه تماسی واشر (□□) $(D_{1G} + 2(N_g - b_g))$

D_{1G} : قطر داخلی واشر (mm)

N_g : عرض واشر (mm)

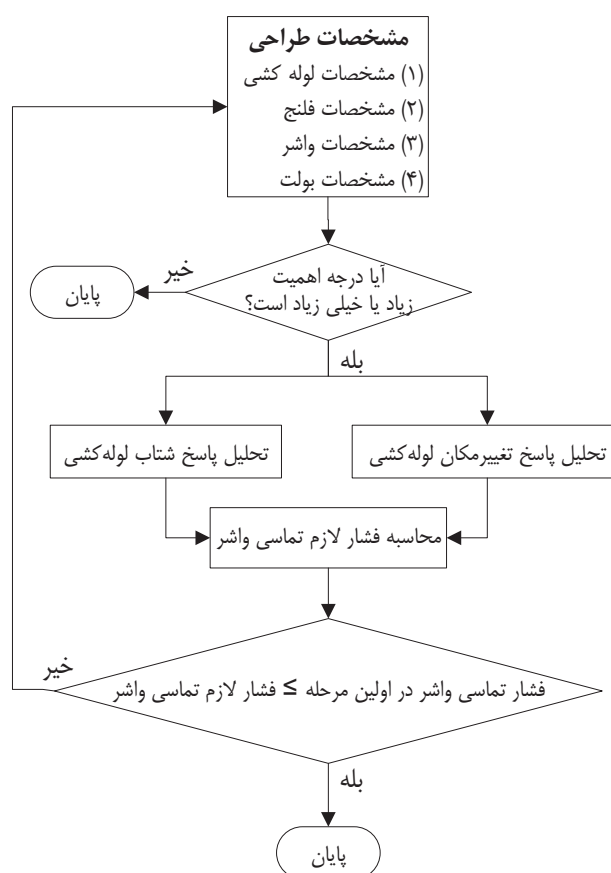
b_g : عرض موثر واشر (mm)

بنابراین فشار تماسی لازم واشر P_{eq} به صورت رابطه (۶۴) می‌باشد.

$$p_{eq} = mp + \alpha p_e \leq \sigma_a \quad (64)$$

در این رابطه m ضریب واشر و α 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 است، 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 ۲۷ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنج

۳-۱۴-۵- 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 ۲۸ 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. علی‌الخصوص، مقدار کلی تنش محوری حداکثر بوجود 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 موسسه استاندارد ژاپن B8281 "تحلیل تنش و شکست محفظه تحت فشار" (۱۹۹۳) بر طبق مصالح آکاردئون، باشد.

۲-۱- تنش مجاز □ در طراحی لرزه‌ای تنش محوری بوجود 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 MPa یا کمتر باشد برابر با $S_a = 2 \times 1896 = 3792 \text{ MPa}$ می‌باشد.

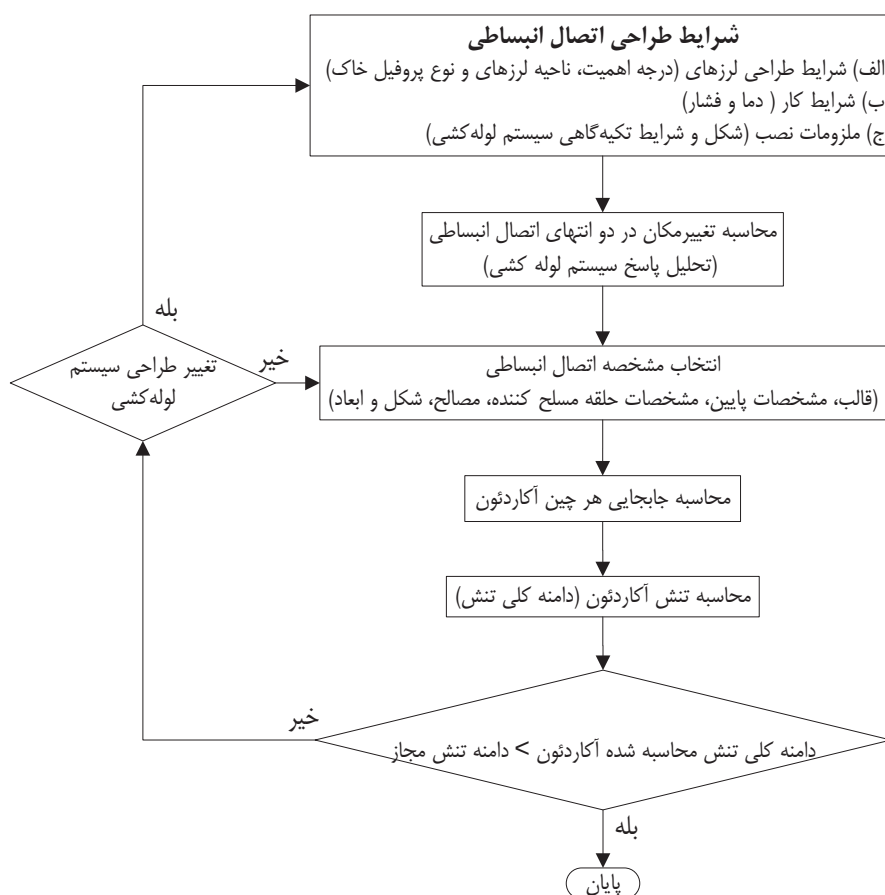
ب) حالتی که حداقل مقاومت کششی $792.9 - 896.3 \text{ MPa}$ باشد برابر با $S_a = 2 \times 1586 = 3172 \text{ MPa}$ می‌باشد.

ج) حالتی که حداقل مقاومت کششی $551.6 - 792.9 \text{ MPa}$ باشد به تناسب از مقادیر بند الف) و ب) به دست می‌آید.

۲-۲- تنش مجاز مورد استفاده در طراحی لرزه‌ای تنش محوری بوجود آمده در آکاردئون اتصال انبساطی از جنس فولاد ضد زنگ آستنی، 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 تیرانس 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.

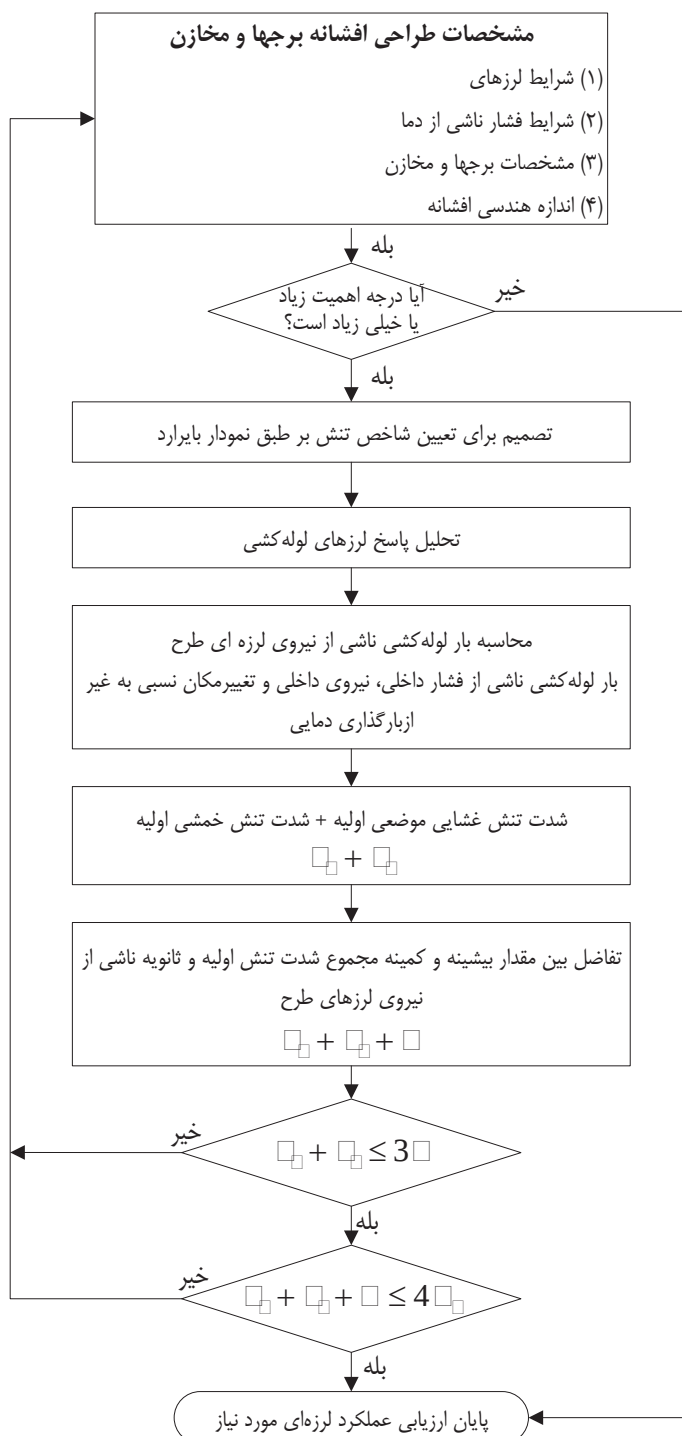


شکل ۲۸ روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی

۳-۱۴-۶- جزئیات روند ارزیابی افشانه برج‌ها و مخازن

در شکل ۲۹ 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 ۲۹ روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در افشانه برجها و مخازن ناشی از نیروی اینرسی

جدول ۳۲ شدت تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای افشانه برجها و مخازن را نشان می‌دهد.

جدول ۳۲ 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 کمینه 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) براساس 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.

۳-۱۴-۷- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله

۱- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم در تکیه‌گاه لوله

در شکل ۳۰ 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 (از این پس، کارکرد تکیه‌گاه گفته می‌شود) 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 هر کدام 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 پیوست در بند ۱۴ توضیح داده شده است، انجام می‌شود.

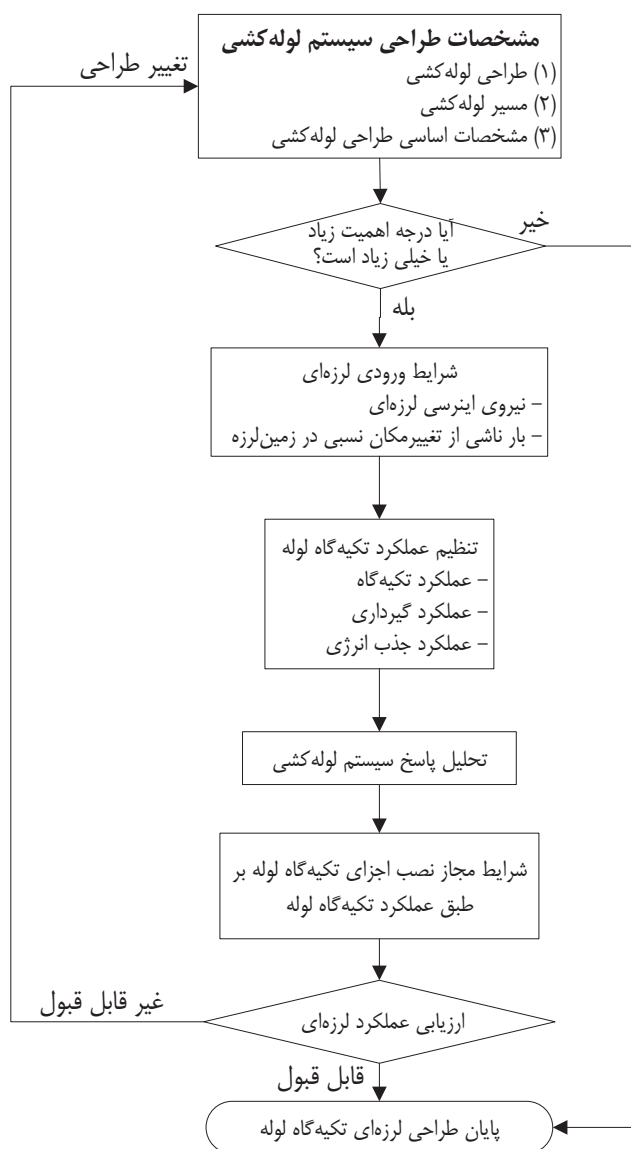
نیروی به وجود آمده در نقطه تکیه‌گاهی که از تحلیل پاسخ به دست می‌آید، با توجه به شرایط بارگذاری نیروی اینرسی تکیه‌گاه لوله می‌باشد. تحلیل پاسخ حرکت زمین در سیستم لوله‌کشی کاملاً مشابه با تغییر مکان نقطه تکیه‌گاهی لوله انجام می‌شود. تغییر مکان ایجاد شده در نقطه تکیه‌گاهی که از تحلیل پاسخ به دست می‌آید با توجه به شرایط بارگذاری حرکت زمین در تکیه‌گاه لوله، می‌باشد.

۴-۱- شرایط مجاز نیروی لرزه‌ای طراحی در تکیه‌گاه لوله

در ارزیابی عملکرد تکیه‌گاه لوله، شرایط مجاز بر طبق کارکرد تکیه‌گاه لوله از بند ۱-۲ می‌باشد.

۵-۱- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لازم

ارزیابی عملکرد شرایط مجاز در بند ۱-۴ تنظیم شده است. طراحی لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله در وضعیت قابل قبول، پایان می‌یابد. در مواردی که قابل قبول نباشد، تغییر طراحی انجام می‌شود و روند ذکر شده در فوق تا زمانی تکرار می‌شود که عملکرد لرزه‌ای مطابق با مشخصات تغییر یافته شود.



شکل ۳۰ 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 تغییرمکان آن در زلزله در اثر شتاب پاسخ حرکت زمین یا تغییرمکان 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 تغییرشکل 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 تغییرشکل 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) تغییرمکان پاسخ بایستی کمتر از تغییرمکان مجاز باشد.

ب) تغییرشکل خمیری جاذب انرژی باید کمتر از قابلیت تغییرشکل 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 ۳۳ می‌باشد.

جدول ۳۳ شرایط بارگذاری لوله کشی

نوع بار	اجزای فشاری	اجزای غیر فشاری
بار ناشی از وزن لوله کشی (وزن و فشار)	○	○
بار ناشی از تنش حرارتی لوله کشی		○
نیروی اینرسی در اثر زلزله در لوله کشی	○	○
بار ناشی از تغییر مکان نسبی در سازه تکیه گاه در اثر زمین لرزه	○	○

توجه:

علاوه بر ارزیابی نیروی اینرسی، روانگرایی و تغییر مکان زمین به صورت مستقل از هم در بخش ۸-۴-۲ ارزیابی شده‌اند.

۴- شرایط مجاز تکیه گاه لوله

شرایط مجاز تکیه گاه لوله با توجه به مشخصات بار و تغییر شکل آنها در نظر گرفته می‌شود. مشخصات بار و تغییر شکل در شکل ۳۱ 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.

۴-۱- بار تسلیم

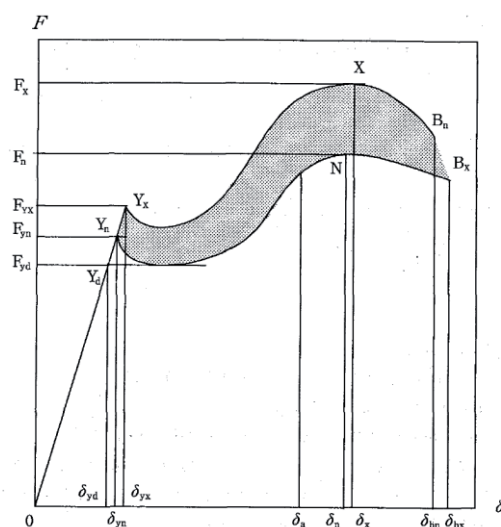
بار تسلیم برابر با مقدار بار تسلیم طراحی، F_{yd} یا کمتر از مقادیر نشان داده شده در شکل ۳۱ می‌باشد.

۴-۲- 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 ۳۱ می‌باشد.

۴-۳- 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 ۳۱ می‌باشد.



شکل ۳۱ نمودار بار و تغییر شکل سازه تکیه گاه لوله کشی

- F_{yx} : حداکثر بار تسلیم
 Y_x : حداکثر مقاومت تسلیم
 δ_{yx} : حداقل تغییر مکان تسلیم
 F_{yd} : بار تسلیم طراحی
 Y_d : مقاومت تسلیم طراحی
 F_x : حداکثر ظرفیت گسیختگی (حداکثر بار انهدام)
 F_n : حداقل ظرفیت بار گسیختگی (حداقل بار انهدام)
 δ_{bx} : حداکثر تغییر مکان گسیختگی
 δ_{bn} : حداقل تغییر مکان گسیختگی
 δ_{yx} : حداکثر تغییر مکان تسلیم
 F_{yn} : حداقل بار تسلیم
 Y_n : حداقل مقاومت تسلیم
 δ_{yd} : تغییر مکان تسلیم طراحی
 δ_a : تغییر مکان مجاز
 X : محل حداکثر ظرفیت گسیختگی
 N_r : محل حداقل بار گسیختگی
 B_x : محل حداکثر 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 بکار برده شده، در بخش ۴-۳ 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 $\square$ شکل و محور اصلی مقطع قوطی شکل، اثر می‌کند:

$$M_{Pc} = M_p \quad \text{اگر} \quad \frac{N}{N_r} \leq \frac{A_w}{2A} \quad \text{آنگاه،} \quad (65)$$

$$M_{Pc} = 1.14 \left(1 - \frac{N}{N_y} \right) M_p \quad \text{اگر} \quad \frac{N}{N_r} > \frac{A_w}{2A} \quad \text{آنگاه،} \quad (66)$$

ب) زمانی که لنگر حول محور ضعیف مقطع H شکل اثر می‌کند:

$$M_{Pc} = M \quad \text{اگر} \quad \frac{N}{N_r} \leq \frac{A_w}{A} \quad \text{آنگاه،} \quad (67)$$

$$M_{Pc} = 1.14 \left\{ 1 - \left(\frac{N - N_{wY}}{N_Y - N_{wY}} \right)^2 \right\} M_p \quad \text{اگر} \quad \frac{N}{N_r} > \frac{A_w}{A} \quad \text{آنگاه،} \quad (68)$$

در اینجا، $N_{wY} = A_w \sigma_Y$

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 اینجا، M_{PCX} و M_{PCY} متناظراً از بندهای الف و ب به دست می‌آیند.

$$\left(\frac{M_x}{M_{PCX}} \right)^2 + \frac{M_y}{M_{PCY}} = 1 \quad (69)$$

د) رابطه طراحی اعضا

نیروی محوری فشاری $\square$ و لنگر خمشی حداکثر $\square_1$ ، باید در رابطه ۷۰ صدق کنند.

$$\frac{N}{N_{er}} + \frac{C_M M_1}{\left(1 - \frac{N}{N_E}\right) M_{er}} \leq 1.0 \quad (70)$$

$$\frac{M_1}{M_{cr}} \leq 1.0 \quad (71)$$

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 نیروی 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 انحنای ساده قرار بگیرد لنگر مثبت، و زمانی که تحت انحنای 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.

$$C_M = 0.6 + 0.4 \frac{M_2}{M_1} \geq 0.4 \quad (72)$$

$$C_M = 1 - 0.5 \left(1 - \frac{M_2}{M_1}\right) \sqrt{\frac{N}{N_E}} \geq 0.25 \quad (73)$$

۶- روش محاسبه شرایط مجاز پیچ U شکل

۶-۱- بار تسلیم پیچ U شکل به صورت مقادیر زیر می باشد.

$$F_{L1z} = \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{by} \quad (74)$$

$$F_{L1y} = 2 \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{by} \quad (75)$$

۶-۲- مقدار بار حدی پیچ U شکل به صورت زیر می باشد.

$$F_{L2z} = 0.7 \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{bBu} \quad (76)$$

$$F_{L2y} = 1.4 \frac{\pi}{4} d_b^2 \sigma_{bBu} \quad (77)$$

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 حدى در راستای عمود بر پيچ U شكل (N)

d_b : قطر پيچ U شكل (mm)

σ_{bBu} : تنش گسيختگی پيچ U شكل (N/mm^2)

در جدول ۳۴ نمونه‌ای از بار محاسبه شده از بند ۱ و ۲ آورده شده است. در این محاسبات جنس مصالح پيچ U شكل از SS400 در نظر گرفته شده است.

جدول ۳۴ بار مجاز پيچ U شكل

بار حدى		بار تسليم		$\square db$	قطر خارجی لوله	قطر اسمی لوله
FL2 y	$\square$ FL2z	$\square$ FL1 y	$\square$ 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 تسليم

بار تسليم مصالح در بخش ۳-۴ مصالح، توضیح داده شده است.

۷-۲- بار حدى

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 بخش ۳-۴ مصالح توضیح داده شده است.

۸-۲- بار حدی

بار حدی ۱/۵ برابر با تسلیم می‌باشد.

۳-۱۵- انعطاف‌پذیری سیستم لوله‌کشی و روند طراحی لرزه‌ای 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، تغییرمکان نسبی بین نقاط تکیه‌گاهی مربوطه جذب می‌گردد. با تشکیل حلقه لوله‌کشی تغییرمکان نسبی در سه راستا مهار می‌گردد.

۱-۲- روش لوله انعطاف‌پذیر

در این روش با استفاده از لوله‌های انعطاف‌پذیر بین نقاط تکیه‌گاهی، تغییرمکان نسبی بین نقاط تکیه‌گاهی مربوطه جذب می‌گردد.

۱-۳- روش تکیه‌گاه آزاد لوله

در این روش انعطاف‌پذیری زیادی در سیستم وجود دارد و تغییرمکان نسبی با استفاده از تکیه‌گاه‌هایی با کارکرد آزادسازی تغییرمکان‌های ناشی از تغییرمکان زمین در پی، جذب می‌گردد.

با حرکت پی لوله‌کشی (نشست و تغییرمکان افقی زمین در اثر روانگرایی) تغییرمکان 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 تغییرمکان پی در اثر تغییرمکان زمین

روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به تغییرمکان پی در اثر تغییرمکان زمین در شکل ۳۲ نشان داده شده است.

۲-۱- 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 تغییرمکان ناشی از حرکت زمین در پی، قابل قبول می‌باشد.

در این مورد گیردار بودن اولین تکیه‌گاه لوله بعد از شیر اطمینان لرزه‌ای با توجه به پیوست ۳ بند ۳-۲۱ مورد تأیید 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

۳-۱- سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک

معمولاً به منظور تأمین مقاومت لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با اهمیت زیاد و خیلی زیاد 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.

۳-۲- 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 (ب) بستگی به مدل تحلیلی دارد که به خوبی حالت تغییر شکل لوله‌کشی، سازه تکیه‌گاهی لوله‌کشی و پی آن را در اثر حرکت زمین شبیه سازی کند.

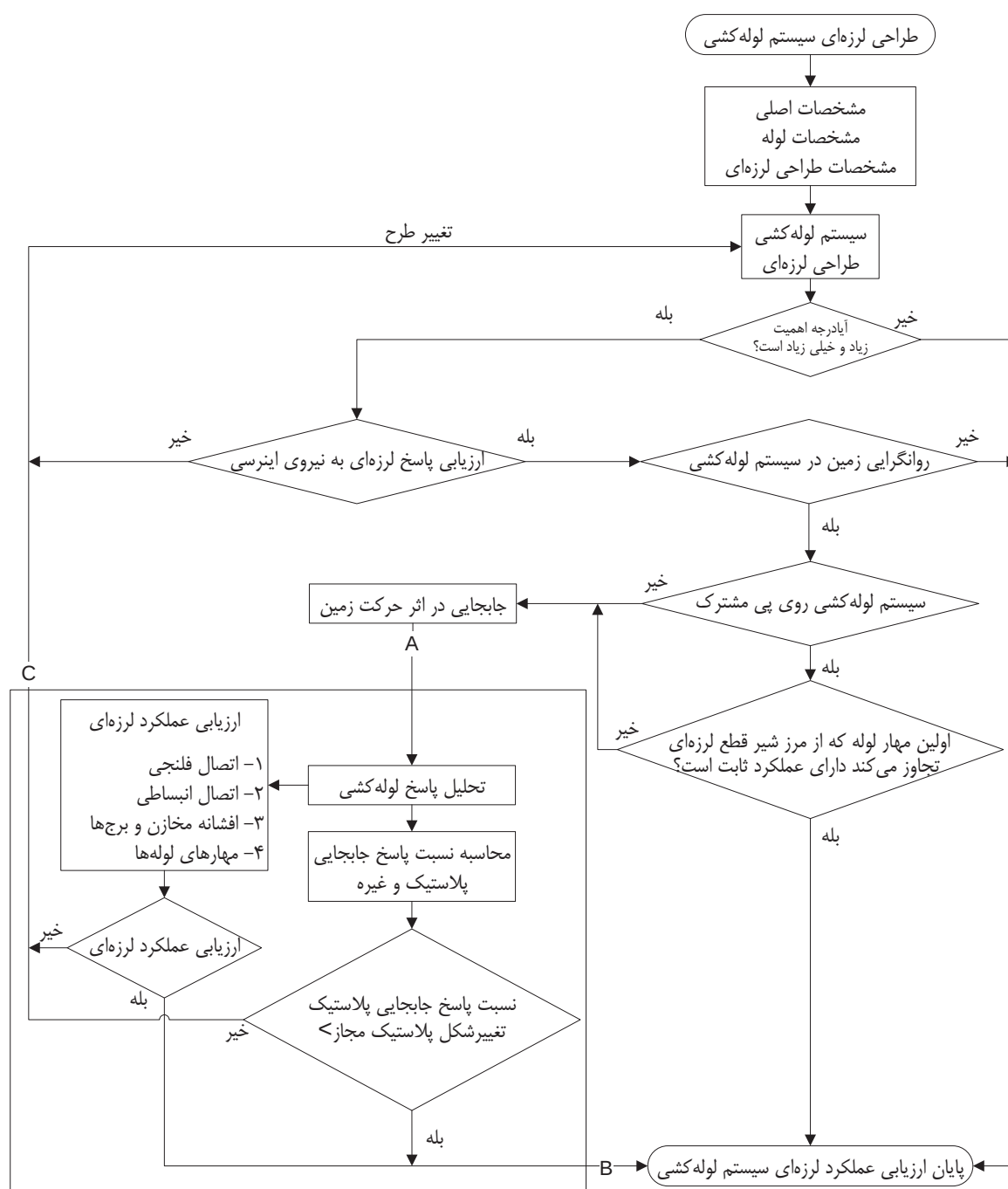
۳-۳- تکیه‌گاه غیر گیردار بر روی پی مشترک

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 ۳-۲ انجام می‌شود.

۴- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با تکیه‌گاه آزاد در اثر حرکت زمین

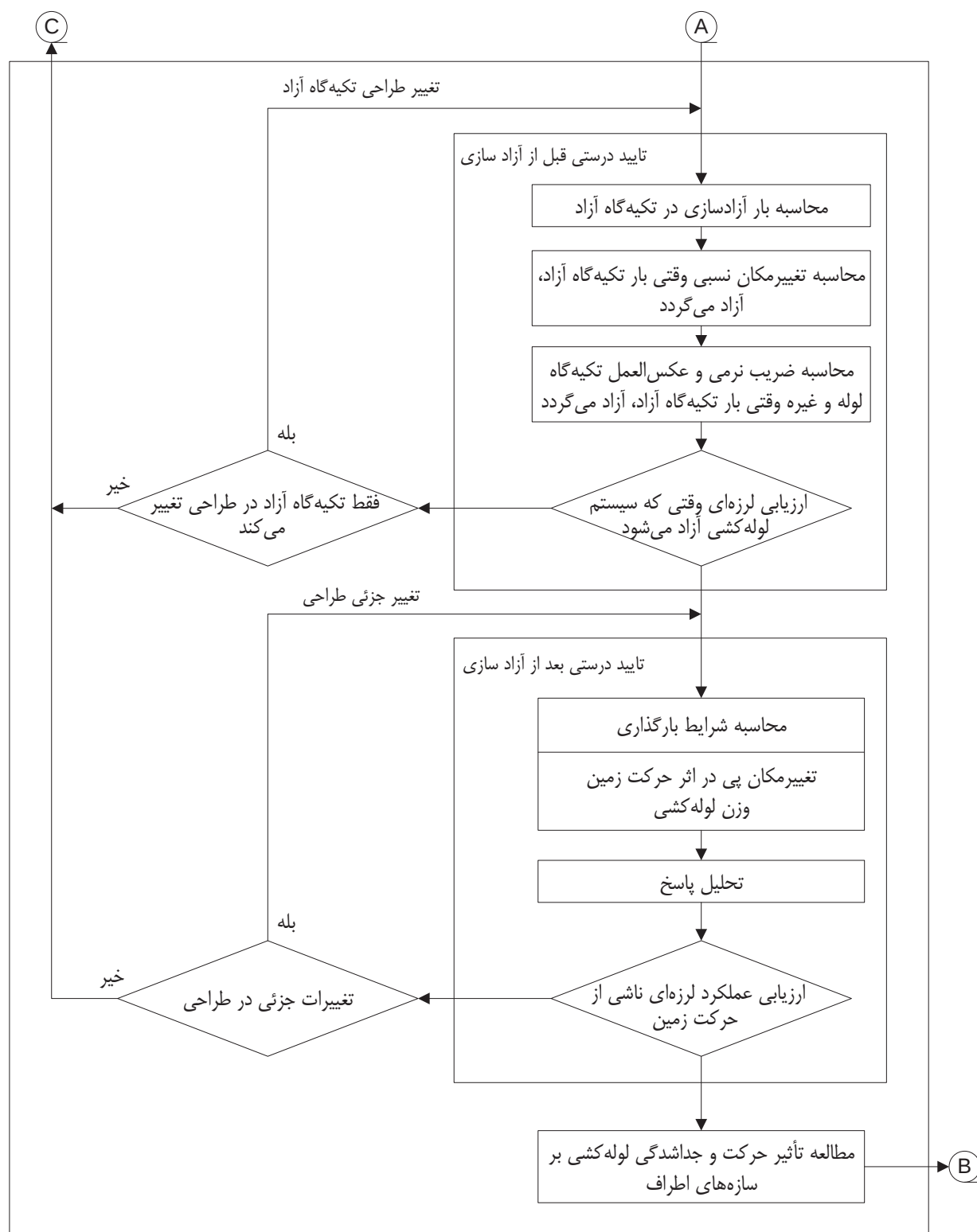
در سیستم لوله‌کشی که دارای تکیه‌گاه آزاد می‌باشد، لازم است که عملکرد لرزه‌ای سیستم هم نسبت به عکس‌العمل حداکثر تکیه‌گاه آزاد و هم نسبت به تأثیر تغییر مکان ناشی از حرکت زمین در پی، تأیید گردد.

- ۴-۱- در این مورد برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی به جای تبعیت از محدوده نشان داده شده توسط خطچین در شکل ۳۴، از روند نشان داده شده در شکل ۳۳ 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 ۳۲ مراحل ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی برای حرکت زمین

د) روند طراحی در صورتی که عملکرد لرزه‌ای مورد نظر تأمین نگردد، بایستی 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 ۳۳ روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با تکیه‌گاه آزاد در اثر حرکت زمین

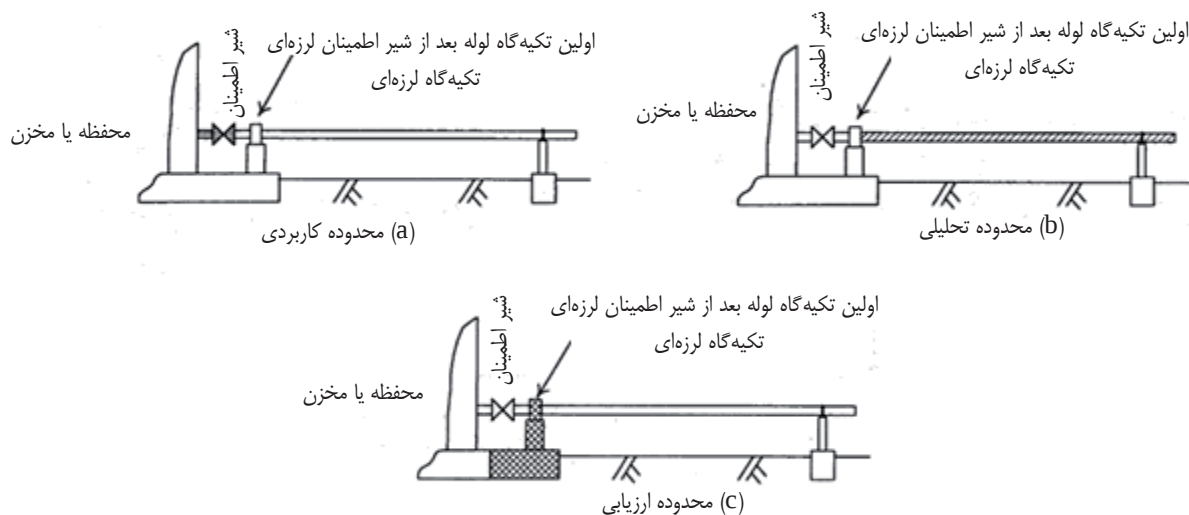
۴-۲- تأیید عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی در مقابل تغییر مکان ناشی از حرکت زمین

الف) در تحلیل پاسخ تأثیر تغییر مکان پی در اثر حرکت زمین، به علت وقوع برکنش و جداشدگی 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.

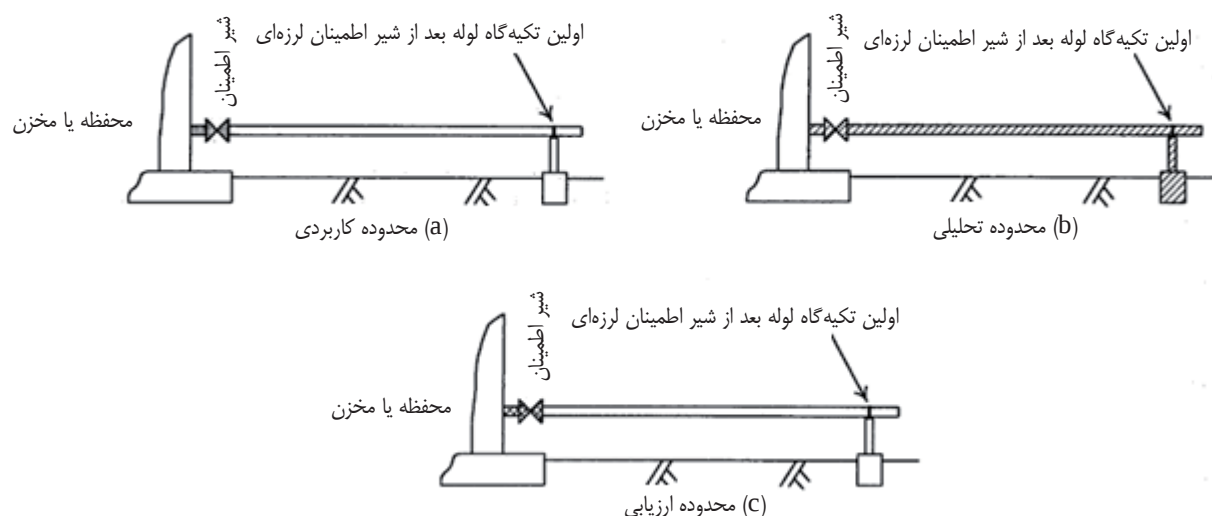
ب) در ارزیابی عملکرد لوله‌کشی به حرکت زمین واقع بر روی پی مشترک، برکنش و جداشدگی (و غیره) تکیه‌گاه گیردار کنترل گردد. بهتر است این کنترل در تکیه‌گاه آزاد لوله‌کشی نیز انجام گیرد.

ج) اگر سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک بنا نشود، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای لوله‌کشی و سازه تکیه‌گاهی لوله باید 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 ۳۴ سیستم لوله‌کشی بر روی پی مشترک



شکل ۳۵ سیستم لوله‌کشی بر روی پی غیر مشترک

۳-۱۶- 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) بوجود می‌آید. اصولاً نقطه تکیه‌گاهی لوله‌کشی بایستی در یک پی مشترک بنا شود ولی با توجه به اینکه 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.

۲-۱- 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.

۲-۳- 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.

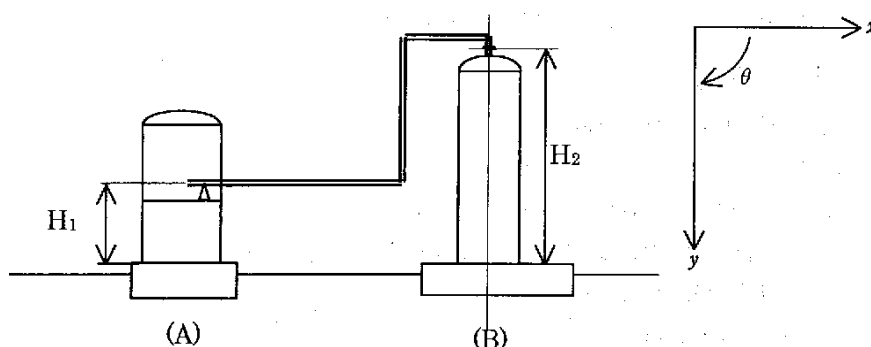
در این حالت، ارتباط بین تغییر مکان نسبی افقی $\Delta_{12}(x)$ و تغییر مکان نسبی قائم $\Delta_{12}(y)$ بین پی تکیه‌گاه‌ها به صورت رابطه زیر می‌باشد.

$$\Delta_{12}(x) = (x_2 + \theta_2 H_2) - (x_1 + \theta_1 H_1) \quad \text{تغییر مکان نسبی افقی:} \quad (78)$$

$$\Delta_{12}(y) = y_2 - y_1 \quad \text{تغییر مکان نسبی قائم:} \quad (79)$$

پارامترهای $x_1, x_2, y_1, y_2, \theta_1, \theta_2, H_1, H_2$ از شکل و جدول ۳۵ تعیین می‌گردند.

زاویه با چرخش ساعتگرد مثبت در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳۶ سازه تکیه‌گاهی لوله

جدول ۳۵ تغییر مکان پی سازه تکیه‌گاهی لوله

(B)	(A)	سازه تکیه‌گاهی لوله
x_2	x_1	تغییر مکان افقی (mm)
y_2	y_1	نشست (mm)
θ_2	θ_1	زاویه دوران (rad)

۳-۱۷- 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 اینکه 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 صرف نظر کرد.

اگرچه بر اساس حالت تغییر شکل لوله خمیده، ضریب انعطاف‌پذیری از روابط ۴۲ تا ۴۴ 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 (۸۰) به دست آورد.

$$p = \left[(1.28h + 0.03)\theta_D (90/\alpha) - 0.66h + 0.75 \right] \frac{S_0}{S_y} k_e \geq k_e \quad (80)$$

α : زاویه لوله خمیده (واحد درجه)

θ_D : تغییر زاویه لوله خمیده (واحد درجه)

k_e : ضریب انعطاف‌پذیری در تغییر شکل ارتجاعی

۲- روند تحلیل

۲-۱- برای تحلیل تغییر مکان پی در اثر روانگرایی، تغییر مکان نسبی در راستای افقی و قائم را باید توأماً 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.

۲-۳- 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.

۳-۱۸- جزئیات زاویه مجاز لوله خمیده

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در اثر حرکت زمین، زاویه مجاز لوله خمیده برابر با مقدار زاویه پیش متناظر با کرنش خمیری معادل ۵٪ می‌باشد. زاویه کنج θ_{al2} ، متناظر با کرنش خمیری معادل ε_{pal2} لوله خمیده از رابطه (۸۱) به دست می‌آید.

$$\theta_{al2} = 29.1 \frac{\varepsilon_{pal2}^{0.829}}{h^{0.456}} \quad (81)$$

که در اینجا، $\varepsilon_{\square\square 2}$ کرنش خمیری معادل و θ_{al2} زاویه کنج می‌باشد. این رابطه برای خم لوله ۹۰ درجه می‌باشد. برای لوله‌های با خم ۳۰ یا ۴۵ درجه مقدار تغییر مکان زاویه‌ای با استفاده از درونیابی اندازه زاویه کنج به دست می‌آید.

در زانویی ۹۰ درجه با در نظر گرفتن ضریب شکل‌پذیری مجاز متناظر با کرنش خمیری معادل ۵٪، زاویه مجاز معادل با $\varepsilon_{pal2} 0.05$ به صورت رابطه (۸۲) به دست می‌آید.

$$\theta_a = \frac{2.43}{h^{0.46}} \quad (82)$$

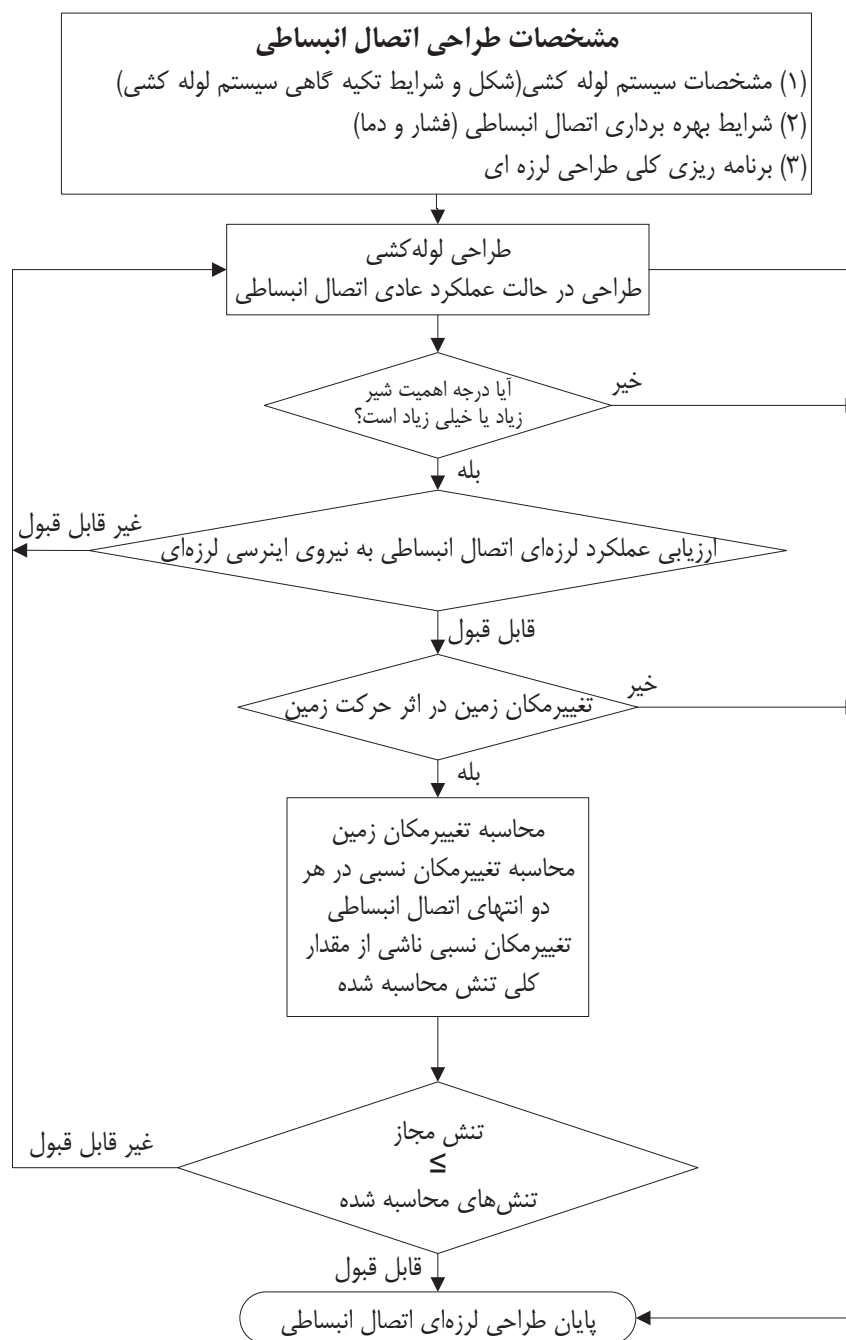
در جدول ۳۶ ارتباط بین زاویه مجاز (لوله خمیده با زاویه قائمه) و مقدار مشخصه تغییر شکل خمشی در زانویی بازو بلند ۹۰ درجه با ضخامت اسمی فهرست ۴۰، ارائه شده است.

جدول ۳۶ زاویه مجاز زانویی بازو بلند ۹۰ درجه (ضخامت اسمی فهرست ۴۰)

قطر اسمی (A)	قطر خارجی (mm)	ضخامت جداره (mm)	مقدار مشخصه تغییر شکل خمشی	زاویه مجاز (درجه)
۴۰	۴۸/۶	۳/۷	۰/۴۲۰	۳/۶۲
۵۰	۶۰/۵	۳/۹	۰/۳۷۱	۳/۸۳
۶۵	۷۶/۳	۵/۲	۰/۳۹۲	۳/۷۴
۸۰	۸۹/۱	۵/۵	۰/۳۶۰	۳/۸۹
۹۰	۱۰۱/۶	۵/۷	۰/۳۳۱	۴/۰۴
۱۰۰	۱۱۴/۳	۶/۰	۰/۳۱۲	۴/۱۵
۱۲۳	۱۳۹/۸	۶/۶	۰/۲۸۳	۴/۳۴
۱۵۰	۱۶۵/۲	۷/۱	۰/۲۶۰	۴/۵۲
۲۰۰	۲۱۶/۳	۸/۲	۰/۲۳۱	۴/۷۷
۲۵۰	۲۶۷/۴	۹/۳	۰/۲۱۳	۴/۹۵
۳۰۰	۳۱۸/۵	۱۰/۳	۰/۱۹۸	۵/۱۱
۳۵۰	۳۵۵/۶	۱۱/۱	۰/۲۰۰	۵/۱۰
۴۰۰	۴۰۶/۴	۱۲/۷	۰/۲۰۰	۵/۱۰
۴۵۰	۴۵۷/۲	۱۴/۳	۰/۲۰۰	۵/۱۰
۵۰۰	۵۰۸/۰	۱۵/۱	۰/۱۸۹	۵/۲۲
۵۵۰	۵۵۸/۸	۱۵/۹	۰/۱۸۱	۵/۳۴
۶۰۰	۶۰۹/۶	۱۷/۵	۰/۱۸۳	۵/۳۱
۶۵۰	۶۶۰/۴	۱۸/۹	۰/۱۸۲	۵/۳۲

۳-۱۹- 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 بخش ۸-۵-۴-۱-۵ استفاده می‌گردد. شکل ۳۷ روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای در اتصال فلنج را نشان می‌دهد.



شکل ۳۷ روند ارزیابی عملکرد لرزه ای اتصال فلنج

۳-۲۰- جزئیات روند ارزیابی اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین

تغییر مکان نسبی در هر دو انتهای اتصال انبساطی باید کمتر 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 نمی دهد، ضروری است که اتصال دارای مقاومت کافی در مقابل عکس العمل 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 ۶-۱ همان‌طور که در شکل ۳۸ نشان داده شده است، می‌باشد.

۱-۱- پس از تأیید شدن 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 بر طبق بخش ۸-۵-۴-۲ 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 ۸-۵-۴-۱-۶ 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.

۱-۳- تنش مجاز σ_{allow} برای طراحی لرزه‌ای تنش محوری بوجود آمده در قسمت آکاردئون اتصال انبساطی از جنس فولاد سخت (کربن‌دار)، فولاد با آلیاژ پائین، فولاد ضد زنگ فریتی (آهن‌دار) و فولاد با مقاومت کششی بالا، برابر با مقادیر زیر می‌باشد.

الف) حالتی که حداقل مقاومت کششی 551.6 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.

۲-۳- تنش مجاز در طراحی لرزه‌ای تنش محوری بوجود آمده در آکاردئون اتصال انبساطی از جنس فولاد ضدزنگ آستنیتی، 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.

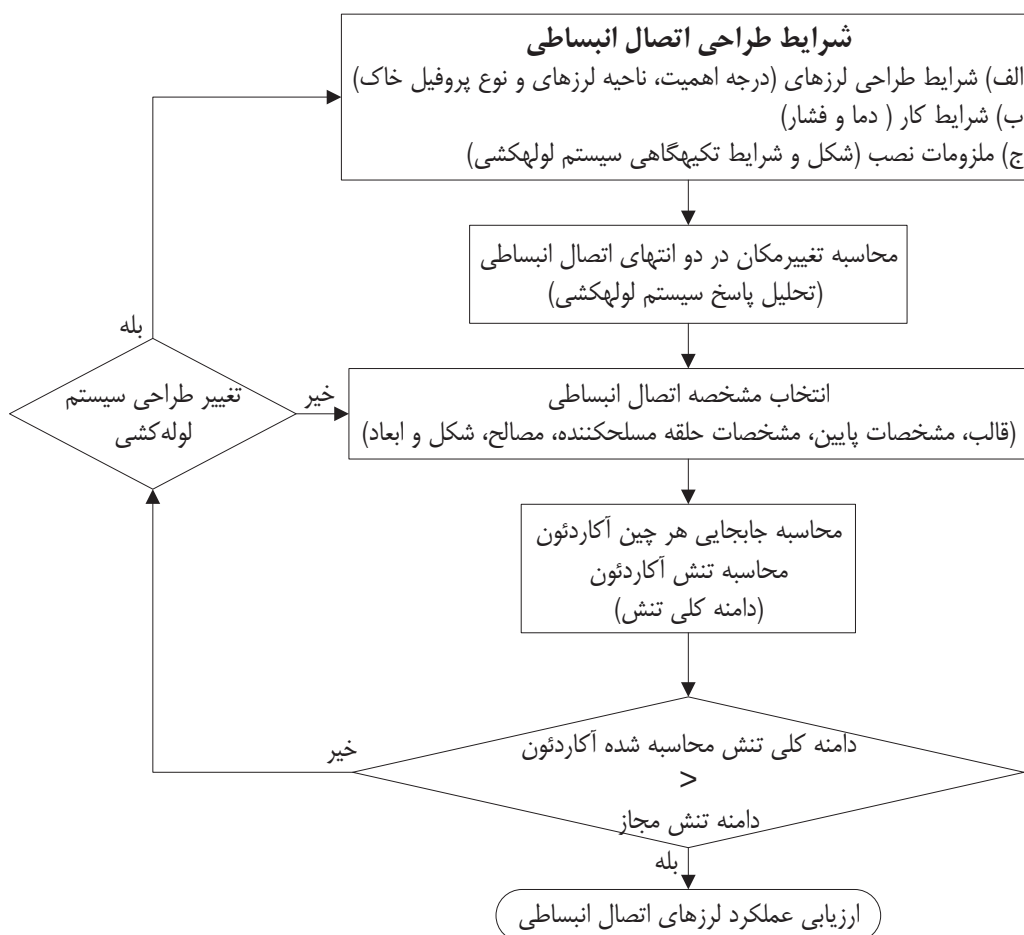
۴- برآورد عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر حرکت زمین

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 جهتی 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

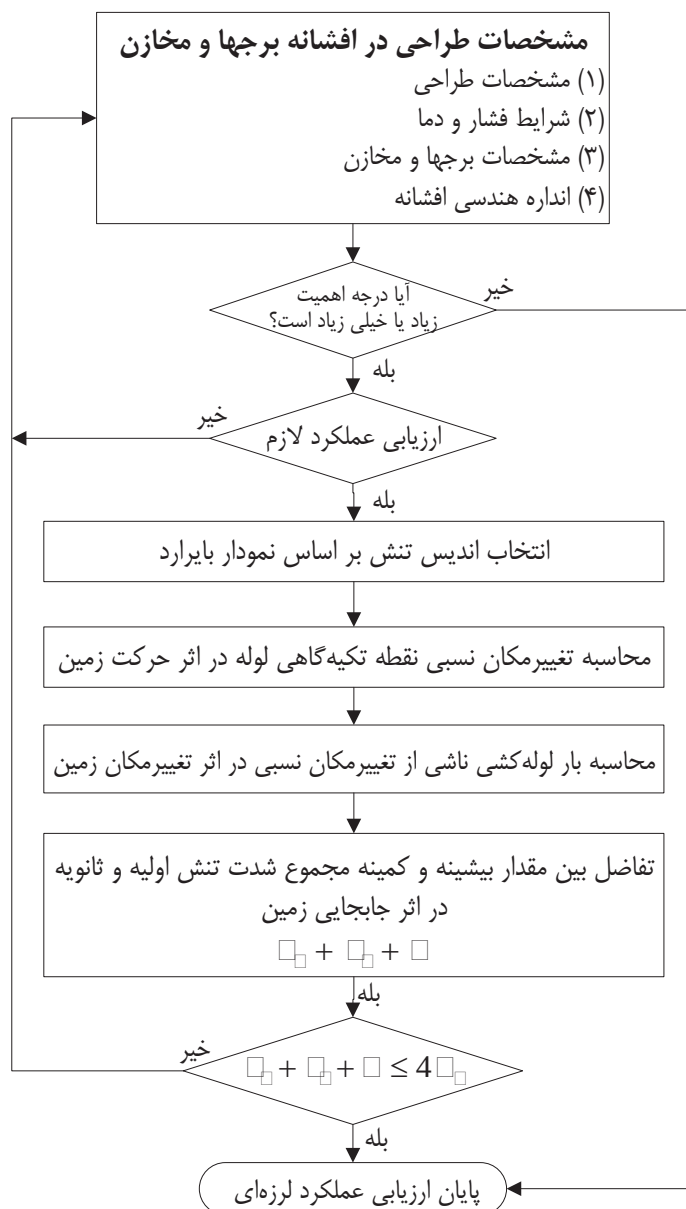
برای طراحی اتصال انبساطی برای مقاصدی به غیر از تغییر مکان زمین، تکیه‌گاه لوله باید طوری طراحی شود که تغییر مکان متجاوز از حد تolerانس ناشی از حرکت لرزه‌ای به اتصال انبساطی وارد نشود یا تکیه‌گاه دارای مقاومت کافی برای حفظ کارکرد عضو مهارکننده تغییر مکان اتصال باشد. این کارکرد شامل تحمل عکس‌العمل محاسبه شده از تحلیل پاسخ سیستم لوله‌کشی ناشی از تغییر مکان زمین، می‌باشد.



شکل ۳۸ روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای اتصال انبساطی در اثر تغییر مکان زمین

۳-۲۱- جزئیات روند ارزیابی افشانه مخازن و برج‌ها در اثر تغییر مکان زمین

- ۱- در طراحی لرزه‌ای، 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 ۸-۵-۴-۱-۷ در باب تحلیل پاسخ شتاب، انجام می‌شود.
- ۳- در شکل ۳۹ روندنمای ارزیابی تغییر مکان نسبی نقطه تکیه‌گاهی لوله در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای 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 ۳۹ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای افشانه برج‌ها و مخازن در اثر جابجایی زمین

۳-۲۲- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله به جابجایی زمین

۱- روند ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله به جابجایی زمین

روند ارزیابی تکیه‌گاه لوله ناشی از جابجایی زمین به صورت زیر می‌باشد و در شکل ۴۰ نشان داده شده است.

۱-۱- پس از تأیید قابل قبول بودن ارزیابی سیستم به نیروی اینرسی لرزه‌ای، ارزیابی سیستم لوله کشی به جابجایی زمین انجام می‌شود.

۲-۱- با تعیین امکان وقوع روانگرایی یا تغییر مکان زمین (حرکت زمین)، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله کشی واقع بر پی، به جابجایی 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 جابجایی 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 جابجایی 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 جابجایی 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 جابجایی زمین در لوله‌کشی، بایستی 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 خمیری کامل لوله‌کشی، جایگزین گردد.

۳- ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه تقویتی لوله

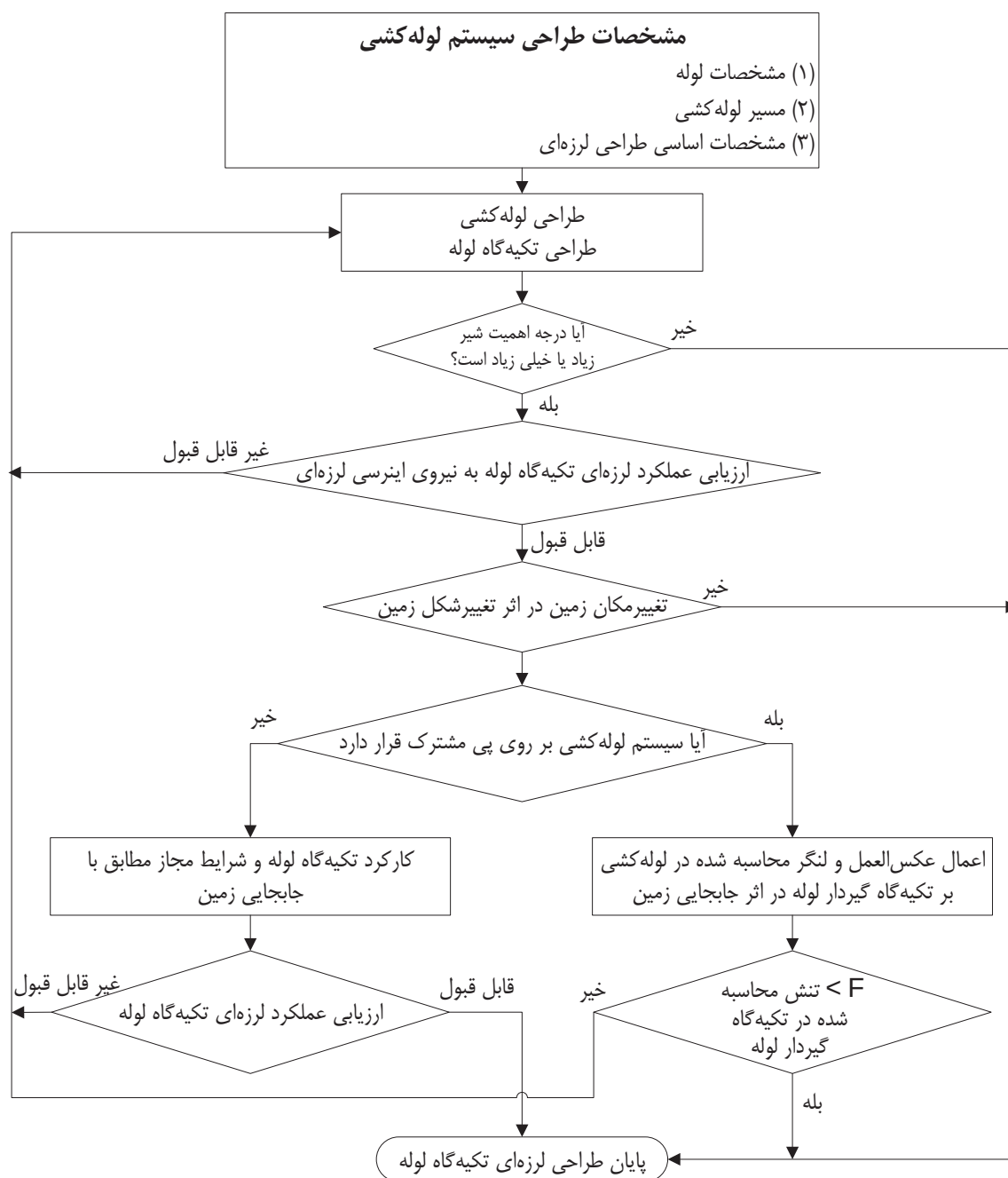
ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه تقویتی لوله نسبت به روانگرایی ناشی از تغییر مکان زمین به منظور عدم ایجاد گسیختگی، بدین صورت است که تغییر شکل خمیری ایجاد شده ناشی از عکس‌العمل لوله‌کشی در تکیه‌گاه، باید کمتر از تغییر شکل خمیری مجاز باشد.

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 اینکه 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. در پیوست ۳ بند ۳-۱۶ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سیستم لوله‌کشی با تکیه‌گاه آزاد در اثر تغییر مکان زمین، نشان داده شده است.

۵- تنظیم شرایط مجاز



شکل ۴۰ روندنمای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای تکیه‌گاه لوله در اثر تغییر مکان زمین

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Guideline for Seismic Design of Power supply systems

No. 602

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

2012

این نشریه

با عنوان "راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه برق‌رسانی" با هدف تأمین ایمنی عمومی و پیشگیری از آسیب جدی به سامانه برق‌رسانی 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 برق‌رسانی در فصل‌های پنجم تا دهم و در نهایت مثال‌های کاربردی در فصل یازدهم ارائه شده‌است که می‌تواند راهنمای مناسبی برای مشاوران و طراحان باشد.