

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب

نشریه شماره ۶۰۵

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

nezamfanni.ir



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

شماره:	۱۰۰/۶۵۴۵۶	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۱/۰۸/۱۰	
موضوع: راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب		
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 ۶۰۵ امور نظام فنی، با عنوان «راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب» 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.  بهر روز 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/

بسمه تعالی

پیشگفتار

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

معاونت نظارت راهبردی (امور نظام فنی) در راستای وظایف و مسوولیت‌های قانونی براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) و برنامه مقاوم‌سازی ساختمانهای دولتی مهم، تأسیسات زیربنایی و شریانهای حیاتی کشور، اقدام به تهیه و تدوین این نشریه با عنوان «راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب» 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 مهندسين مشاور پارس‌آیندآب که مسوولیت انجام این پروژه را به عهده داشته است و همچنین تمامی افرادی که در تهیه، تدوین و پیشبرد این نشریه اهتمام ورزیده‌اند، جناب آقای مهندس حمزه مصطفوی رییس امور نظام فنی، سرکار خانم مهندس پورسید، کارشناسان محترم امور نظام فنی و نیز نهادها و کارشناسانی که با اظهارنظرهای اصلاحی و ارشادی، این معاونت را در جهت تکمیل آن یاری نموده‌اند، سپاسگذاری و قدردانی می‌نماید. امید است که اینگونه حمایت‌ها و همکاری‌ها ادامه یافته و در آینده نیز ما را در جهت افزایش غنای فنی این نشریه مساعدت نمایید.

معاون نظارت راهبردی

پاییز ۱۳۹۱

تهیه و کنترل راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب (نشریه شماره ۶۰۵)

مجری: مهندسین مشاور پارس آیند آب

اعضای کارگروه اصلی تهیه‌کننده:

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

اعضای کارگروه همکار از کشور ژاپن در تهیه پیش‌نویس اولیه:

دانشگاه کوبه	پرفسور شیرو تاکادا
موسسه تحقیقاتی شریانهای حیاتی (RILE)	دکتر جونیچی ونو
شرکت مهندسی گاز اوزاکا	دکتر یاسئو اوگاوا
مرکز تحقیقات برق مرکزی ژاپن	دکتر کیزو اوتومو
دانشگاه کوبه	دکتر یاسوکو کواتا
شرکت مهندسی مشاور نفتی چبودای ژاپن (chas)	مهندس ماسامی اوشیما
شرکت مهندسی مشاور نفتی چبودای 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 کارگروه ترجمه و ویرایش فنی:

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

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه:

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی
فرزانه آقارمضانعلی	رئیس 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

عنوان	صفحه
فصل اول - کلیات	
۱- کلیات.....	۳
۱-۱- هدف.....	۳
۱-۲- گستره کاربرد این راهنما.....	۳
۱-۲-۱- سازماندهی این راهنما.....	۶
۱-۲-۲- نکاتی در کاربرد این راهنما.....	۷
۱-۳- قوانین و مقررات مربوطه.....	۷
۱-۳-۱- مراجع اصلی این راهنما.....	۷
۱-۳-۲- مخفف آیین نامه ها.....	۸
فصل دوم- مبانی	
۲- مبانی.....	۱۱
۲-۱- زلزله طراحی.....	۱۱
۲-۱-۱- سطوح خطر زلزله و دوره بازگشت آن ها.....	۱۱
۲-۱-۲- طیف های طراحی لرزه ای.....	۱۲
۲-۱-۳- شدت لرزه ای قائم طرح.....	۱۳
۲-۲- عملکردهای مورد انتظار در این راهنما.....	۱۴
فصل سوم- بارگذاری لرزه ای مؤلفه های سامانه فاضلاب	
۳-۱- انواع بار.....	۱۹
۳-۲- محاسبه وزن ها.....	۱۹
۳-۳- ترکیب بارها.....	۱۹
۳-۴- انواع تجهیزات از نظر محل استقرار.....	۲۰
۳-۵- روش های محاسبه بارهای لرزه ای.....	۲۰
۳-۶- آثار زلزله بر تأسیسات سامانه فاضلاب.....	۲۰
۳-۷- نحوه اعمال اثرات زلزله بر تأسیسات فاضلاب.....	۲۱
۳-۸- روش های محاسبه بارهای ناشی از زلزله.....	۲۱
۳-۸-۱- تراز زمین برای نیروی اینرسی.....	۲۲
۳-۸-۱- ضریب اهمیت مؤلفه های فاضلاب.....	۲۳
۳-۸-۲- نسبت شتاب مبانی طرح.....	۲۴

۳-۸-۳- ضریب بزرگنمایی لایه‌های خاک	۲۴
۴-۸-۳- محاسبه ضریب زلزله	۲۵
۱-۴-۸-۳- روش شبه استاتیکی	۲۵
۲-۴-۸-۳- نیروی زلزله افقی	۲۵
۵-۸-۳- روش شبه استاتیکی اصلاح شده	۲۵
۱-۵-۸-۳- ضریب زلزله افقی اصلاح شده	۲۵
۲-۵-۸-۳- ضریب زلزله قائم اصلاح شده	۲۶
۳-۵-۸-۳- نیروی زلزله اصلاح شده	۲۶
۶-۸-۳- روش دینامیکی	۲۶
۱-۶-۸-۳- روش طیفی	۲۶
۲-۶-۸-۳- روش تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی	۲۷
۳-۶-۸-۳- روش پاسخ تغییر مکان (برای سازه‌های مدفون)	۲۷
۹-۳- بارگذاری ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله بر تجهیزات	۲۷
۱-۹-۳- روان‌گرایی	۲۷
۲-۹-۳- زمین لغزه	۲۸
۳-۹-۳- گسلش	۲۹
۱۰-۳- طبقه‌بندی خاک	۲۹
۱۱-۳- ملاحظات روش بارگذاری و محاسبات نیروهای لرزه‌ای	۲۹
فصل چهارم- روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی	
۱-۴- روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی	۳۳
۱-۱-۴- اصول مراحل طراحی لرزه‌ای	۳۳
۲-۱-۴- محاسبه تنش طراحی	۳۳
۳-۱-۴- تنش‌های مجاز	۳۳
۴-۱-۴- ارزیابی تنش محاسبه شده	۳۳
۵-۱-۴- مراحل طراحی روش طراحی شکل‌پذیر	۳۳
۱-۵-۱-۴- تراز زلزله برای طراحی	۳۳
۲-۵-۱-۴- تحلیل پاسخ لرزه‌ای	۳۳
۳-۵-۱-۴- ضریب شکل‌پذیری	۳۸
۴-۵-۱-۴- ضریب شکل‌پذیری مجاز	۳۸
۵-۵-۱-۴- ارزیابی ضریب شکل‌پذیری	۳۸

۳۸.....	۲-۴- روند طراحی تأسیسات مجرا.....
۳۹.....	۳-۴- روند طراحی تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه.....
۴۱.....	۴-۴- مصالح.....
۴۱.....	۵-۴- مقادیر مجاز.....
	فصل پنجم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه
۴۵.....	۱-۵- تفکر پایه در طراحی.....
۴۵.....	۲-۵- ترکیب بارها برای طراحی.....
۴۶.....	۳-۵- مخازن در داخل ساختمان.....
۴۶.....	۴-۵- سازه مرکب.....
۴۷.....	۵-۵- تأسیسات الکتریکی، تأسیسات (ماشین‌آلات) تلمبه و لوله‌کشی.....
۴۷.....	۱-۵-۵- تعریف تأسیسات.....
۴۸.....	۲-۵-۵- مهار تأسیسات.....
۴۸.....	۱-۲-۵-۵- مهار و تکیه‌گاه ماشین‌آلات.....
۴۸.....	۲-۲-۵-۵- پایه و تکیه‌گاه مهاری برای لوله‌کشی.....
۵۱.....	۳-۲-۵-۵- پیچ مهار.....
۵۱.....	۳-۵-۵- ماشین‌آلات.....
۵۱.....	۱-۳-۵-۵- ملاحظات کلی.....
۵۱.....	۲-۳-۵-۵- تأسیسات اصلی تلمبه‌خانه.....
۵۲.....	۳-۳-۵-۵- تأسیسات حوضچه ماسه.....
۵۲.....	۴-۳-۵-۵- تأسیسات تصفیه.....
۵۲.....	۵-۳-۵-۵- تأسیسات آبرسانی و سوخت رسانی.....
۵۲.....	۶-۳-۵-۵- تأسیسات فراوری لجن.....
۵۲.....	۷-۳-۵-۵- تأسیسات فراوری لجن با ظرفیت بالا.....
۵۳.....	۴-۵-۵- تأسیسات برق.....
۵۳.....	۱-۴-۵-۵- ملاحظات عمومی.....
۵۴.....	۲-۴-۵-۵- تأسیسات انتقال.....
۵۴.....	۳-۴-۵-۵- تأسیسات توزیع.....
۵۵.....	۴-۴-۵-۵- تأسیسات نظارت و کنترل عملیات.....
۵۶.....	۵-۴-۵-۵- ملاحظات در مورد ژنراتور برق اختصاصی.....
۵۷.....	۶-۴-۵-۵- تأسیسات منبع تأمین برق ویژه.....

فصل ششم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی لوله کالورت‌های فاضلاب

۶-۱- روند طراحی لرزه‌ای.....	۶۱
۶-۲- لوله با اتصال سرتویی (نر و ماده).....	۶۴
۶-۳- روند طراحی.....	۶۵
۶-۴- روند محاسبات (روشها، مدل محاسباتی و پی).....	۷۳
۶-۴-۱- طراحی لرزه‌ای اتصالات.....	۷۳
۶-۴-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه لوله.....	۸۰
۶-۵- مقادیر مجاز.....	۸۹

فصل هفتم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی کالورت مستطیلی

۷-۱- سطح عملکرد.....	۹۵
۷-۲- روند طراحی.....	۹۵
۷-۳- روند محاسبات (روشها، مدل محاسباتی و پی).....	۹۸
۷-۳-۱- طراحی لرزه‌ای اتصالات.....	۹۸
۷-۳-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه کالورت مستطیلی.....	۱۰۱
۷-۴- معیارهای پذیرش.....	۱۰۴
۷-۵- مجاری پیوسته.....	۱۰۵
۷-۵-۱- روند طراحی.....	۱۰۶
۷-۵-۲- روند محاسبات.....	۱۰۹
۷-۵-۲-۱- طراحی اتصال.....	۱۰۹
۷-۵-۲-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه مجاری پیوسته.....	۱۱۱
۷-۵-۳- مقادیر مجاز.....	۱۱۱
۷-۵-۴- معیارهای پذیرش.....	۱۱۱

فصل هشتم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی تونل‌های سپری فاضلاب

۸-۱- تونل‌های سپری و عملکرد آنها.....	۱۱۵
۸-۲- روند طراحی.....	۱۱۵
۸-۳- مراحل محاسبات.....	۱۲۷
۸-۳-۱- طراحی لرزه‌ای اتصالات.....	۱۲۷
۸-۳-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه تونل سپری.....	۱۲۹
۸-۴- مقادیر مجاز.....	۱۳۰
۸-۵- معیارهای پذیرش.....	۱۳۰

فصل نهم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی آد مرو فاضلاب

۱۳۵	۱-۹- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی آد مرو
۱۳۵	۲-۹- ورودی طراحی لرزه‌ای
۱۳۵	۳-۹- روند طراحی
۱۳۸	۴-۹- روند محاسبه
۱۳۸	۱-۴-۹- طراحی لرزه‌ای اتصال بین بلوکها
۱۳۹	۲-۴-۹- طراحی لرزه‌ای بدنه آد مرو
۱۳۹	۵-۹- مقادیر مجاز
۱۳۹	۶-۹- معیارهای پذیرش
۱۴۰	۷-۹- طراحی لرزه‌ای سایر تأسیسات مجرای
۱۴۰	۱-۷-۹- مجراهای متقاطع (سیفون وارونه) و اطاقک یا محفظه انحراف
۱۴۱	۲-۷-۹- لوله فاضلاب تحت فشار و لوله انتقال لجن
۱۴۲	۳-۷-۹- لوله عرضی
۱۴۳	۴-۷-۹- لوله پل گذر

فصل دهم- مثالهایی از طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب شهری

۱۴۷	۱-۱۰- طراحی لرزه‌ای مجرا
۱۴۷	۱-۱-۱۰- شمای کلی
۱۴۷	۲-۱-۱۰- طراحی برای مقطع عمودی بدنه لوله
۱۴۷	۱-۲-۱-۱۰- شرایط سازه‌ای
۱۴۹	۲-۲-۱-۱۰- شرایط بارگذاری (حالت سکون)
۱۴۹	۱-۲-۲-۱-۱۰- فشار قائم خاک
۱۴۹	۲-۲-۲-۱-۱۰- فشار افقی خاک
۱۵۰	۳-۲-۲-۱-۱۰- عکس العمل بستر پایینی
۱۵۰	۳-۲-۱-۱۰- شرایط بارگذاری (حالت لرزه‌ای)
۱۵۰	۱-۳-۲-۱-۱۰- خصوصیت زمین
۱۵۱	۲-۳-۲-۱-۱۰- طیف سرعت طراحی
۱۵۲	۴-۳-۲-۱-۱۰- دامنه تغییر مکان زمین
۱۵۳	۵-۳-۲-۱-۱۰- ثابت فنریت زمین
۱۵۳	۱-۵-۳-۲-۱-۱۰- ثابت فنریت افقی زمین
۱۵۴	۲-۵-۳-۲-۱-۱۰- ثابت فنریت برشی خاک

- ۱۵۵ ۱-۱-۲-۳-۶ نیروی لرزه‌ای افقی ناشی از تغییر مکان زمین
- ۱۵۷ ۱-۱-۲-۴ نیروی‌های مقطعی
- ۱۵۷ ۱-۱-۲-۴-۱ نیروی مقطع در حالت سکون +
- ۱۶۰ ۱-۱-۲-۴-۲ نیروی مقطع ناشی از نیروی لرزه‌ای افقی
- ۱۶۴ ۱-۱-۲-۴-۳ نیرو مقطع در هنگام زلزله (در حالت ساکن + نیروی لرزه‌ای افقی)
- ۱۶۷ ۱-۱-۲-۵ ظرفیت باربری خط لوله مدفون
- ۱۶۸ ۱-۱-۲-۶ ارزیابی ایمنی
- ۱۶۸ ۱-۱-۳ طراحی اتصال بین آدرو و مجرا
- ۱۶۸ ۱-۱-۳-۱ مشخصات سازه‌ای
- ۱۶۹ ۱-۱-۳-۲ زاویه انحناء ناشی از زلزله
- ۱۷۰ ۱-۱-۳-۳ طول بیرون آمدگی
- ۱۷۰ ۱-۱-۳-۳-۱ سرعت موج برشی لایه سطحی
- ۱۷۰ ۱-۱-۳-۳-۲ طول موج جنبش لرزه‌ای زمین
- ۱۷۱ ۱-۱-۳-۳-۳ حداکثر دامنه تغییر مکان در نقطه مورد ارزیابی
- ۱۷۱ ۱-۱-۳-۳-۴ کرنش خاک ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین
- ۱۷۱ ۱-۱-۳-۳-۵ طول بیرون زدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین
- ۱۷۱ ۱-۱-۳-۴ ارزیابی برای ایمنی
- ۱۷۲ ۱-۱-۴ طراحی برای اتصال بین دو مجرا
- ۱۷۲ ۱-۱-۴-۱ وضعیت سازه‌ای
- ۱۷۲ ۱-۱-۴-۲ زاویه انحنا و طول بیرون کشیدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین
- ۱۷۳ ۱-۱-۴-۲-۱ زاویه انحنا ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین
- ۱۷۳ ۱-۱-۴-۲-۲ طول بیرون کشیدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین (مانند بند ۱-۱-۳-۳-۵)
- ۱۷۳ ۱-۱-۴-۳ زاویه انحنا و طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست زمین
- ۱۷۴ ۱-۱-۴-۳-۱ زاویه انحنا ناشی از نشست زمین
- ۱۷۴ ۱-۱-۴-۳-۲ طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست زمین
- ۱۷۴ ۱-۱-۴-۴ طول بیرون کشیدگی ناشی از لایه سنگ بستر ناهموار
- ۱۷۴ ۱-۱-۴-۴-۱ نوع لایه سطحی
- ۱۷۵ ۱-۱-۴-۴-۲ ضریب لرزه‌ای طراحی
- ۱۷۵ ۱-۱-۴-۴-۳ حداکثر دامنه تغییر مکان در نقطه مورد ارزیابی
- ۱۷۶ ۱-۱-۴-۴-۴ کرنش یکنواخت خاک در ساختگاه مورد ارزیابی بر روی سنگ بستر ناهموار

۱۷۶	 ۵-۴-۴-۱-۱۰ کرنش زمین ناشی از سنگ بستر ناهموار در ساختگاه مورد ارزیابی
۱۷۶	 ۶-۴-۴-۱-۱۰ کرنش کلی زمین ناشی از سنگ بستر ناهموار
۱۷۶	 ۷-۴-۴-۱-۱۰ طول بیرون کشیدگی ناشی از لایه سنگ بستر ناهموار
۱۷۶	 ۵-۴-۱-۱۰ ارزیابی برای ایمنی
۱۷۷	 ۵-۴-۱-۱۰ ارزیابی برای ایمنی
۱۷۷	 ۲-۱۰ طراحی لرزه‌ای کالورت
۱۷۷	 ۱-۲-۱۰ شمای کلی
۱۷۷	 ۲-۲-۱۰ شرایط طراحی
۱۷۷	 ۱-۲-۲-۱۰ مشخصات سازه‌ای
۱۷۸	 ۲-۲-۲-۱۰ شرایط زمین
۱۷۸	 ۳-۲-۲-۱۰ وزن مخصوص مصالح
۱۷۸	 ۴-۲-۲-۱۰ مقاومت مصالح و تنش مجاز
۱۸۰	 ۳-۲-۱۰ شرایط تحلیلی
۱۸۰	 ۱-۳-۲-۱۰ حالت ساکن
۱۸۰	 ۲-۳-۲-۱۰ روند طراحی لرزه‌ای
۱۸۰	 ۱-۲-۳-۲-۱۰ تفکر پایه
۱۸۰	 ۲-۲-۳-۲-۱۰ عناوین ارزیابی
۱۸۱	 ۳-۲-۳-۲-۱۰ مراحل طراحی
۱۸۱	 ۴-۲-۱۰ طبقه‌بندی زمین و کنترل روانگرایی
۱۸۱	 ۱-۴-۲-۱۰ طبقه بندی زمین برای طراحی لرزه‌ای
۱۸۲	 ۲-۴-۲-۱۰ نتایج قضاوت درباره وقوع روانگرایی
۱۸۴	 ۵-۲-۱۰ مدل سازه‌ای
۱۸۴	 ۱-۵-۲-۱۰ ابعاد
۱۸۴	 ۲-۵-۲-۱۰ محور قاب صلب و مشخصات
۱۸۵	 ۶-۲-۱۰ تنش در حالت سکون
۱۸۵	 ۱-۶-۲-۱۰ ثابت فنریت زمین در جهت قائم
۱۸۶	 ۲-۶-۲-۱۰ بارگذاری
۱۸۶	 ۱-۲-۶-۲-۱۰ بار مرده
۱۸۷	 ۲-۲-۶-۲-۱۰ بار زنده
۱۸۸	 ۳-۲-۶-۲-۱۰ شناوری

- ۱۸۹ ۴-۲-۶-۲-۱۰ ترکیب بارگذاری
- ۱۹۰ ۳-۶-۲-۱۰ نیروی برآیند طراحی
- ۱۹۷ ۷-۲-۱۰ تنش در حالت لرزه‌ای
- ۱۹۷ ۱-۷-۲-۱۰ تغییرمکان پاسخ (به بخش ۵-۱ رجوع شود)
- ۱۹۷ ۲-۷-۲-۱۰ ثابت فنریت زمین
- ۱۹۷ ۱-۲-۷-۲-۱۰ ثابت فنریت در جهت افقی برای دیوار جانبی
- ۱۹۸ ۲-۲-۷-۲-۱۰ ثابت فنریت در جهت قائم برای کف کالورت
- ۱۹۸ ۳-۷-۲-۱۰ بارگذاری در شرایط لرزه‌ای
- ۱۹۸ ۱-۳-۷-۲-۱۰ فشار خاک در شرایط لرزه‌ای (بارگذاری ناشی از تغییرمکان پاسخ)
- ۱۹۹ ۲-۳-۷-۲-۱۰ نیروی اینرسی
- ۱۹۹ ۳-۳-۷-۲-۱۰ نیروی برشی پوسته
- ۲۰۰ ۴-۳-۷-۲-۱۰ ترکیب بارگذاری
- ۲۰۱ ۴-۷-۲-۱۰ نیروی برآیند طراحی
- ۲۰۴ ۸-۲-۱۰ محاسبه سطح مقطع RC
- ۲۰۴ ۱-۸-۲-۱۰ حالت سکون
- ۲۰۴ ۲-۸-۲-۱۰ وضعیت لرزه‌ای
- ۲۰۸ ۹-۲-۱۰ طراحی در جهت محوری
- ۲۰۸ ۱-۹-۲-۱۰ محاسبه تنش
- ۲۰۸ ۱-۱-۹-۲-۱۰ تنش مقطع در جهت محوری
- ۲۱۰ ۲-۱-۹-۲-۱۰ برآیند تنش مقطع برای محاسبه شدت تنش
- ۲۱۰ ۲-۹-۲-۱۰ کنترل سطح مقطع
- ۲۱۲ ۱۰-۲-۱۰ میزان جنبش تلسکوپی اتصال در جهت محوری
- ۲۱۲ ۱-۱۰-۲-۱۰ تغییرمکان نسبی در جهت محوری
- ۲۱۲ ۲-۱۰-۲-۱۰ تمهیدات برای اتصال
- ۲۱۳ ۱۱-۲-۱۰ کنترل برکنش ناشی از روانگرایی

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ الف: دسته‌بندی سازه‌های سامانه فاضلاب شهری.....	۴
جدول ۱-۱ ب: دسته‌بندی سازه‌های سامانه فاضلاب شهری.....	۵
جدول ۲-۱ دسته بندی مولفه های هدف در سامانه فاضلاب شهری.....	۶
جدول ۱-۲ عملکرد مورد نیاز خطوط فاضلاب.....	۱۵
جدول ۱-۳ ضریب اهمیت β_1	۲۳
جدول ۲-۳ تعریف رده‌های مختلف اهمیت.....	۲۳
جدول ۳-۳ اصلاح ضریب اهمیت با توجه به منطقه اجرای تأسیسات.....	۲۴
جدول ۴-۳ نسبت شتاب مبنای طرح (β_2).....	۲۴
جدول ۵-۳ ضریب بزرگنمایی ساختگاه (β_3).....	۲۴
جدول ۶-۳ روش‌های بارگذاری و محاسبه لرزه‌ای مؤلفه‌های سامانه فاضلاب.....	۳۰
جدول ۱-۵ ترکیبات بار و نوع تنش حاصله.....	۴۶
جدول ۲-۵ ضرایب لرزه محلی برای مخازن درون سازه ساختمانی.....	۴۶
جدول ۳-۵ نمونه تأسیسات نیازمند ژنراتور اختصاصی.....	۵۶
جدول ۱-۶ وضعیت مناسب هر بخش از لوله با سرتویی برای سطح خطر ۲-.....	۶۵
جدول ۲-۶ مواردی که باید کنترل شوند.....	۶۷
جدول ۳-۶ موارد نیازمند کنترل برای لوله با اتصال سرتویی (نر و ماده) در سایر خطوط.....	۶۸
جدول ۴-۶ الف اقدامات ضد لرزه‌ای و روش طراحی لوله با اتصال سرتویی (لوله با اتصال نر و مادگی).....	۷۱
جدول ۴-۶ ب اقدامات ضد لرزه‌ای و روش طراحی لوله با اتصال سرتویی (لوله با اتصال نر و مادگی).....	۷۲
جدول ۵-۶ کرنش دائمی زمین بر حسب شرایط توپوگرافی.....	۷۶
جدول ۶-۶ مقدار میانگین ضریب پواسون دینامیکی.....	۸۳
جدول ۷-۶ الف فرمولهای تقریبی (در شرایط متداول).....	۸۴
جدول ۷-۶ ب فرمولهای تقریبی (در شرایط متداول).....	۸۵
جدول ۸-۶ روابط برای محاسبه ضرایب رابطه‌های ۶-۳۴ و ۶-۳۵.....	۸۸
جدول ۱-۷ وضعیت مورد نیاز هر بخش از کالورت مستطیلی برای زلزله طراحی.....	۹۵
جدول ۲-۷ موارد لازم برای کنترل کالورت مستطیلی در خطوط انتقال اصلی.....	۹۶
جدول ۳-۷ موارد لازم برای کنترل کالورت مستطیلی در سایر خطوط.....	۹۶
جدول ۴-۷ اقدامات ضد لرزه‌ای و روش طراحی لرزه‌ای (کالورت مستطیلی).....	۹۸
جدول ۵-۷ موارد لازم برای کنترل در لوله‌های پیوسته در خطوط انتقال اصلی.....	۱۰۷

جدول ۶-۷ موارد لازم برای کنترل در لوله‌های پیوسته در سایر خطوط.....	۱۰۸
جدول ۸-۱ وضعیت مورد نیاز اجزای تونل سپری.....	۱۱۵
جدول ۸-۲ موارد لازم برای کنترل در تونل سپری خطوط انتقال اصلی.....	۱۱۶
جدول ۸-۳ موارد لازم برای کنترل در تونل سپری سایر خطوط.....	۱۱۷
جدول ۸-۴ لیست روش‌های تحلیلی برای تونل سپری.....	۱۱۷
جدول ۸-۵ رفتار تونل سپری و برآورد سختی.....	۱۱۹
جدول ۸-۶ اقدامات پیشگیرانه و روش طراحی (تونل سپری).....	۱۲۴
جدول ۹-۱ حالت مورد نیاز در اجزای آدمرو.....	۱۳۵
جدول ۹-۲ موارد لازم برای بررسی در آدمرو واقع در خطوط اصلی.....	۱۳۶
جدول ۹-۳ موارد لازم برای بررسی در آدمرو واقع در سایر خطوط.....	۱۳۶
جدول ۱۰-۱-۱ مشخصات سازه‌ای.....	۱۴۷
جدول ۱۰-۲-۱ پروفیل خاک بکار برده شده برای مدل.....	۱۴۸
جدول ۱۰-۳-۱ فشار قائم خاک.....	۱۴۹
جدول ۱۰-۴-۱ فشار افقی خاک.....	۱۵۰
جدول ۱۰-۵-۱ سرعت موج برشی هر لایه.....	۱۵۰
جدول ۱۰-۶-۱ تغییر مکان افقی هر لایه.....	۱۵۲
جدول ۱۰-۷-۱ معیارهای تخمین مدول تغییر شکل.....	۱۵۳
جدول ۱۰-۸-۱ نیروی لرزه‌ای در گره.....	۱۵۵
جدول ۱۰-۹-۱ حداکثر نیروی مقطع.....	۱۵۶
جدول ۱۰-۱۰-۱ لیست نیروی مقطع.....	۱۵۸
جدول ۱۰-۱۱-۱ لیست تغییر مکان.....	۱۵۸
جدول ۱۰-۱۲-۱ حداکثر نیروی مقطع ناشی از نیروی لرزه‌ای افقی.....	۱۵۹
جدول ۱۰-۱۳-۱ لیست نیروی مقطع.....	۱۶۰
جدول ۱۰-۱۴-۱ لیست تغییر مکان.....	۱۶۱
جدول ۱۰-۱۵-۱ حداکثر نیروی مقطع در شرایط لرزه‌ای.....	۱۶۲
جدول ۱۰-۱۶-۱ لیست نیروی مقطع.....	۱۶۴
جدول ۱۰-۱۷-۱ لیست تغییر مکان.....	۱۶۵
جدول ۱۰-۱۸-۱ ممان مجاز.....	۱۶۵
جدول ۱۰-۱۹-۱ نتیجه ارزیابی.....	۱۶۶
جدول ۱۰-۲۰-۱ مشخصات سازه‌ای.....	۱۶۶

جدول ۱۰-۲۱- نتایج ارزیابی	۱۶۹
جدول ۱۰-۲۲- مشخصات سازه‌ای	۱۶۹
جدول ۱۰-۲۳- طبقه‌بندی زمین برای مقدار مشخصه	۱۷۲
جدول ۱۰-۲۴- ضریب لرزه‌ای طراحی	۱۷۳
جدول ۱۰-۲۵- نتایج ارزیابی	۱۷۵
جدول ۱۰-۲۶- تنش مجاز بتن	۱۷۶
جدول ۱۰-۲۷- مقاومت فشاری طراحی بتن	۱۷۶
جدول ۱۰-۲۸- تنش مجاز آرماتور	۱۷۷
جدول ۱۰-۲۹- مقاومت کششی تسلیم طراحی آرماتور کششی و برشی	۱۷۷
جدول ۱۰-۳۰- پوشش آرماتور	۱۷۷
جدول ۱۰-۳۱- نتایج قضاوت وقوع روانگرایی	۱۸۰
جدول ۱۰-۳۲- سطح مقطع و ممان دوم اعضاء	۱۸۲
جدول ۱۰-۳۳- فشار افقی	۱۸۴
جدول ۱۰-۳۴- نوع ترکیب بارگذاری	۱۸۵
جدول ۱۰-۳۵- ترکیب بارگذاری	۱۸۶
جدول ۱۰-۳۶- نیروی برآیند طراحی	۱۸۶
جدول ۱۰-۳۷- توزیع بارگذاری ناشی از تغییر مکان پاسخ	۱۹۵
جدول ۱۰-۳۸- انواع حالات ترکیبات بارگذاری	۱۹۶
جدول ۱۰-۳۹- ترکیب بارگذاری	۱۹۶
جدول ۱۰-۴۰- نیروی برآیند طراحی (مقدار حداکثر)	۱۹۶
جدول ۱۰-۴۱- نتایج محاسبات	۲۰۱
جدول ۱۰-۴۲- نتایج محاسبات	۲۰۲
جدول ۱۰-۴۳- نتایج محاسبات	۲۰۳
جدول ۱۰-۴۴- نتایج محاسبات	۲۰۷
جدول ۱۰-۴۵- پروفیل خاک	۲۰۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۳ مثال تعیین تراز زمین در طراحی لرزه‌ای.....	۲۲
شکل ۱-۵ طبقه‌بندی تأسیسات.....	۴۷
شکل ۲-۵ مثال تکیه‌گاه مهاری در پی بتنی.....	۴۸
شکل ۳-۵ مثال اتصال انعطاف‌پذیر.....	۴۹
شکل ۴-۵ مثال مهار کردن اعضای تکیه‌گاهی.....	۴۹
شکل ۵-۵ مثال نفوذ به دیوار مخزن/منبع.....	۵۰
شکل ۶-۵ مثال تکیه‌گاه بار قائم.....	۵۰
شکل ۷-۵ نحوه نشست نامتقارن.....	۵۱
شکل ۱-۶ اتصال در کشش.....	۶۱
شکل ۲-۶ اتصال در فشار.....	۶۲
شکل ۳-۶ رفتار خمشی در اتصال.....	۶۳
شکل ۴-۶ قسمت‌های تحت اثر نیروی برشی.....	۶۴
شکل ۵-۶ قسمت‌های تحت اثر نیروی شناوری.....	۶۴
شکل ۶-۶ اتصال انعطاف‌پذیر.....	۷۴
شکل ۷-۶ بارگذاری بخش اتصال.....	۷۴
شکل ۸-۶ زمین شیب‌دار.....	۷۶
شکل ۹-۶ شکل شماتیک زمین در محل تغییر لایه‌های زمین.....	۷۷
شکل ۱۰-۶ اتصال با عملکرد مقاوم در برابر زلزله.....	۷۷
شکل ۱۱-۶ طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست.....	۷۹
شکل ۱۲-۶ شرایط ساخت گاه سنگ بستر شیب‌دار.....	۸۰
شکل ۱۳-۶ مثالی از مدل محاسباتی قاب در لوله‌ی دایره‌ای که با ۲۴ قاب مدل‌سازی شده است.....	۸۱
شکل ۱۴-۶ (مرجع) نیروی برشی سطحی (پوسته‌ای) و تغییر شکل لوله.....	۸۳
شکل ۱۵-۶ شرایط بارگذاری در وضعیت پایدار (مطابق جدول ۶-۷).....	۸۶
شکل ۱-۷ نیروهایی که بر مقطع قائم کالورت مستطیلی اثر می‌کنند.....	۱۰۲
شکل ۲-۷ مثال مدل محاسبات قاب کالورت مستطیلی.....	۱۰۳
شکل ۳-۷ اقدامات ضد لرزه‌ای برای کالورت مستطیلی.....	۱۰۵
شکل ۴-۷ طول بیرون کشیدگی اتصال لوله و آدمرو ناشی از روان‌گرایی (برای لوله PVC با اتصالات چسبی).....	۱۱۰
شکل ۵-۷ طول بیرون کشیدگی و نشست زمین ناشی از روان‌گرایی (برای لوله PVC با اتصالات چسبی).....	۱۱۰

شکل ۸-۱ روند محاسبه ثابت فنر مجرا.....	۱۱۸
شکل ۸-۲ مفهوم تبدیل سختی معادل.....	۱۱۹
شکل ۸-۳ نمایی از طول مؤثر وقتی که قطعات به صورت سازه یکپارچه رفتار میکنند.....	۱۲۸
شکل ۸-۴ تأثیر تغییر مکان زمین در تونل سپری هنگام زلزله.....	۱۲۹
شکل ۹-۱ بار در نظر گرفته شده در مقطع جانبی (آدمرو درجا با مقطع مستطیلی).....	۱۳۹
شکل ۹-۲ تغییر نوع آدمرو.....	۱۴۰
شکل ۹-۳ مثالی از تسلیح اطاقک انحراف.....	۱۴۱
شکل ۹-۴ نمونه ایی از مجرای اضافه شده به پل.....	۱۴۲
شکل ۹-۵ مثالی از نصب لوله (انشعاب) خانگی.....	۱۴۳
شکل ۱۰-۱-۱ مشخصات سازه‌ای.....	۱۴۸
شکل ۱۰-۲-۱ مدل تحلیلی.....	۱۴۸
شکل ۱۰-۳-۱ بارها در شرایط تعادل.....	۱۴۹
شکل ۱۰-۵-۱ پروفیل خاک.....	۱۵۲
شکل ۱۰-۶-۱ توزیع تغییر مکان زمین.....	۱۵۲
شکل ۱۰-۷-۱ توزیع و جهت نیروی لرزه‌ای.....	۱۵۴
شکل ۱۰-۸-۱ توزیع نیرو.....	۱۵۶
شکل ۱۰-۹-۱ نیروهای مقطع بدست آمده از SAP.....	۱۵۷
شکل ۱۰-۱۰-۱ توزیع نیروی لرزه‌ای.....	۱۵۹
شکل ۱۰-۱۱-۱ توزیع نیروی مقطع.....	۱۶۰
شکل ۱۰-۱۲-۱ توزیع نیروی مقطع.....	۱۶۳
شکل ۱۰-۱۳-۱ مشخصات سازه‌ای.....	۱۶۷
شکل ۱۰-۱۴-۱ زاویه انحنای.....	۱۶۷
شکل ۱۰-۱۵-۱ مشخصات سازه‌ای.....	۱۷۰
شکل ۱۰-۱۶-۱ سطح مقطع کالورت.....	۱۷۵
شکل ۱۰-۱۷-۱ موقعیت کالورت و پروفیل خاک.....	۱۷۶
شکل ۱۰-۱۸-۱ فلوچارت طراحی برای تراز MCE.....	۱۷۹
شکل ۱۰-۱۹-۱ ابعاد سطح مقطع.....	۱۸۱
شکل ۱۰-۲۰-۱ محور قاب صلب.....	۱۸۱
شکل ۱۰-۲۱-۱ فنریت قائم در حالت سکون.....	۱۸۲
شکل ۱۰-۲۲-۱ وزن کالورت.....	۱۸۳

- شکل ۱۰-۲۳- فشار خاک و آب در حالت سکون..... ۱۸۳
- شکل ۱۰-۲۴- بار زنده (فشار لرزه‌ای قائم)..... ۱۸۴
- شکل ۱۰-۲۵- بار زنده (فشار افقی زمین)..... ۱۸۵
- شکل ۱۰-۲۶- شناوری..... ۱۸۵
- شکل ۱۰-۲۹- دیاگرام تنش در حالت سکون..... ۱۸۷
- شکل ۱۰-۳۰- دیاگرام تنش در حالت سکون..... ۱۸۸
- شکل ۱۰-۳۱- دیاگرام تنشی در حالت سکون..... ۱۸۹
- شکل ۱۰-۳۲- دیاگرام تنش در حالت سکون..... ۱۹۰
- شکل ۱۰-۳۳- دیاگرام تنش در حالت سکون..... ۱۹۱
- شکل ۱۰-۳۴- دیاگرام تنش در حالت سکون..... ۱۹۲
- شکل ۱۰-۳۵- توزیع تغییرمکان پاسخ..... ۱۹۳
- شکل ۱۰-۳۶- فنریت زمین..... ۱۹۴
- شکل ۱۰-۳۷- توزیع بارگذاری ناشی از تغییرمکان پاسخ..... ۱۹۵
- شکل ۱۰-۳۸- نیروی برشی پوسته..... ۱۹۶
- شکل ۱۰-۳۹- دیاگرام تنش در شرایط لرزه‌ای..... ۱۹۸
- شکل ۱۰-۴۰- دیاگرام تنش در شرایط لرزه‌ای..... ۱۹۹
- شکل ۱۰-۴۱- مقطع طراحی شده در حالت سکون..... ۲۰۰
- شکل ۱۰-۴۲- مقطع طراحی شده در شرایط لرزه‌ای..... ۲۰۰

علائم

فصل دوم

ضریب ضرب شده در ضریب طراحی لرزه‌ای بر روی پی سازه برای بدست آوردن شدت لرزه در طبقه i ام.	A_i
ارتفاع کل طبقات	H
شدت لرزه‌ای طراحی در جهت افقی	K_H
شدت لرزه‌ای طراحی در جهت قائم	K_V
بزرگی زلزله	M
حداکثر زلزله بهره‌برداری	MCE
تغییر شکل ماندگار زمین	PGD
فاصله از گسل	R
ارتفاع طبقات فوقانی طبقه i	x

فصل سوم

شتاب پاسخ قائم در پریود طبیعی $(cm/s^2)T$	$A_V(T)$
روش تحلیل دینامیکی	DAM
نیروی زلزله افقی اصلاح شده (N)	F_{MH}
نیروی زلزله قائم اصلاح شده (N)	F_{MV}
نیروی زلزله افقی طراحی (N)	F_{SH}
مقدار ارتفاع سازه از سطح زمین (m)	h
ضریب شدت زلزله افقی در سطح زمین	K_H
ضریب زلزله افقی اصلاح شده	K_{MH}
ضریب زلزله قائم اصلاح شده	K_{MV}
ضریب زلزله افقی طراحی cm/s^2	K_{SH}
روش پاسخ تغییر مکان	RDM
روش شبه استاتیکی	SCM
وزن سازه+بار مرده و زنده (N)	W_H
شتاب افقی در سطح زمین (cm/s^2)	α_H
شتاب افقی حداکثر روی سنگ بستر (cm/s^2)	α'_H
شتاب قائم در سطح زمین (cm/s^2)	α_V

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 سازه
β_5	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی
β_6	ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم

فصل چهارم

D_s	ضریب مشخصه سازه‌ای
K_{MH}	ضریب زلزله افقی اصلاح شده
K_y	ضریب زلزله افقی در نقطه آغاز جاری شدن عضو آسیب دیده
f_c	مقاومت فشاری بتن
Q_u	ظرفیت لرزه‌ای
Q_{un}	ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز
R	مقادیر پاسخ
R_i	اندازه پاسخ مود i ام
W_H	وزن بهره‌برداری سازه
μ_p	ضریب شکل پذیری عضو در معرض خرابی
μ_{pa}	ضریب شکل پذیری مجاز

فصل ششم

$b \alpha_{HT}$	واحد طول لوله در راستای محوری
B	طول مؤثر مجاری (m)،
B_h	عرض معادل پی
C_u	ضریب اصلاح بر اساس بزرگی کرنش زمین
C_1	ثابت برای مدول سختی زمین در واحد طول در راستای محوری
C_2	ثابت‌ها برای مدول سختی زمین در واحد طول در راستای محیطی
C	ضریب مربوط به v_s
D	قطر در مرکز سطح (m)

D_{outer}	قطر بیرونی (m)
E_0	ضریب تغییر شکل زمین (kN / m^2)
f_s	تنش برشی مجاز بولت ناشی از نیروی برشی
f_t	تنش کششی مجاز بولت ناشی از نیروی برشی
f_{ts}	تنش کششی مجاز بولت ناشی از اثر توأم نیروی برشی و کششی
g_0	وزن واحد طول در راستای محوری و در واحد طول محیط بیرونی
g	شتاب ثقل بر حسب m / s^2
G_s	مدول برشی (kN / m^2)
h	نشست زمین ناشی از روان‌گرایی (m)
$h_{manhole}$	عمق آدم‌رو (m)
h_1	عمق در بالای لوله (m)
h_2	عمق نگه‌دارنده لوله از پی (m)
H	ضخامت لایه سطحی (m)
H_c	عمق در مرکز لوله (m)
H_{FL}	فاصله از کف لوله تا سطح حفاری
H_i	ضخامت لایه i ام (m)
H_u	عمق سر بار (پوشش خاک) در تاج لوله (m)
H_w	عمق سر بار آب در تاج لوله
I	گشتاور دوم سطح لوله بر واحد طول محوری (m^4 / m)
K_{g1}	ضریب سختی زمین در واحد طول در راستای محوری (kN / m^2)
K_{g2}	ضریب سختی زمین در واحد طول در راستای محیطی (kN / m^2)
k_h	ضریب عکس‌العمل افقی لایه زیرین
k_{ho}	ضریب عکس‌العمل خاک که از آزمایش بارگذاری با صفحه صلب دایره‌ای به قطر ۳۰ سانتی‌متر بدست می‌آید.
ℓ	طول مؤثر لوله (m)
L	طول موج در حالت هارمونیک (m)
L'	طول موج ظاهری
$M(\theta)$	لنگر خمشی در مقطع لوله ($kN.m / m$)
n	تعداد لوله‌ها در دهانه آدم‌روها
$N(\theta)$	نیروی محوری در مقطع لوله (kN / m)
N_i	مقدار میانگین N لایه i ام ناشی از SPT

p_0	سربار در سطح
p	شدت بارگذاری در راستای قائم (kN / m^2)
p_r	حرکت زمین
p_h, p_v	فشار آب + فشار خاک
q	شدت بارگذاری در راستای افقی (kN / m^2)
$Q(\theta)$	نیروی برشی در مقطع لوله (kN / m)
Q_h	نیروی لرزه‌ای
R	قطر لوله (متوسط) (m)
R_C	قطر لوله مجرا مرکز سطح (m)
R_i	قطر لوله مجرا محیط بیرونی (m)
R_0	قطر لوله مجرا محیط داخلی (m)
S_v	طیف‌های سرعت طراحی (m / s)
T_s	پریود طبیعی لایه سطحی (sec)
$U_z(z)$	حداکثر تغییر مکان در عمق $Z(\text{m})$
U_h	دامنه جابه‌جایی سطح زمین (m)
V_p	سرعت موج انبساطی
V_s	سرعت موج برشی (m / s)
V_{SD}	سرعت موج برشی لایه سطحی (m/s)
V_{si}	سرعت موج برشی میانگین لایه i ام (m / s)
Z	عمق مرکز لوله (m)
$\sum W$	جمع بار مرده
α_1	ثابت انتقال در راستای محوری
α_2	ثابت انتقال در راستای محیطی
β	ضریب تصحیح دقت
δ	طول بیرون کشیدگی (m)، تغییر مکان لوله ناشی از فشار مقاوم خاک
$\delta_{s\max}$	حداکثر طول بیرون کشیدگی (m)
ε_g	کرنش دائمی زمین
ε_{gd}	کرنش زمین ناشی از اثر موج
ε_{gd2}	کرنش زمین در مرز $(0.05) = (0.5\%)$
ε_{G1}	کرنش زمین معمولی (یکنواخت)

ε_{G2}	کرنش زمین واقع بر سنگ بستر مهندسی شیب دار
ε_{G3}	کرنش زمین ناشی از سنگ بستر شیب دار
γ	ضریب جمع آثار قوا
γ_t	وزن مخصوص خاک مرطوب (kN / m^3)
γ_{teq}	وزن مخصوص تبدیل یافته لایه سطحی (kN / m^3)
γ_{ti}	وزن مخصوص زمین در لایه i ام (kN / m^3)
η	ضریب فشار خاک در راستای افقی
λ	ضریب فشار خاک در راستای افقی
ν_s	ضریب پواسون دینامیکی لایه سطحی
σ	تنش کششی بولت
σ_B	تنش خمشی (kN / m^2)
σ_L	تنش محوری (kN / m^2)
σ_X	تنش راستای محوری و محیطی در فاصله x(m) از اتصال انعطاف پذیر (kN / m^2)
τ	تنش برشی بولت
θ	زاویه دوران بین آد مرو و لوله، زاویه دوران اتصال (rad)
κ	ضریب عکس العمل لایه زیرین (MN / m^3)
ξ_1	ضریب اصلاحی برای تنش لوله با اتصالات انعطاف پذیر
ξ_2	ضریب اصلاحی برای تنش لوله با اتصالات غیر انعطاف پذیر

فصل هفتم

A	سطح مقطع کالورت (m^2)
C_1	ضریب سختی در امتداد لوله، انبساط لوله طویل
D	قطر خارجی لوله (m)
h	نشست زمین (m)
K_1	ضریب سختی زمین در واحد طول کالورت در راستای محوری
l	طول قالب کالورت مستطیلی (m)، طول لوله با اتصال چسبی بین آد مروها (m)
P	نیروی اینرسی بدنه کالورت (N)
P_h	فشار آب+فشار خاک در جهت افقی
P_v	فشار آب+فشار خاک در جهت قائم
P_w	وزن خالص

نیروی لرزه‌ای	Q_h
تغییر مکان نسبی در راستای محوری	u_0
ضریب تغییر مکان اتصال	$\overline{u_j}$
جابه‌جایی افقی زمین در راستای محوری (m)	U_a
جابه‌جایی افقی زمین در مرکز کالورت مستطیلی (m)	U_h
طول تلسکوپی (m) (انبساط و انقباض)	U_j
نیروی شناوری	U_p
وزن کالورت مستطیلی (kg)	W_b
طول بیرون کشیدگی اتصال آدمرو و لوله (m)	δ
نسبت سختی نسبی (1 / m)	λ_1
نسبت سختی نسبی (1 / m)	λ_2
نیروی برش سطحی (پوسته) بر روی طبقات بالایی	τ_a
نیروی برش سطحی (پوسته) بر روی طبقات پایینی	τ_b
نیروی برش سطحی (پوسته) بر روی دیوار کناری	τ_s
تنش اصطکاکی زمین در حالت روان‌گرایی (Pa)	τ'
ضریب اصلاح نیروی مقطع محوری	ζ_1
ضریب اصلاح نیروی مقطع محوری در صفحه افقی	ζ_2
ضریب اصلاح نیروی مقطع محوری در صفحه قائم	ζ_3

فصل هشتم

سطح مقطع یک رینگ قطعه (m^2)	A_s
طول مؤثر مجرا (m)	B
عرض بار تبدیل یافته پی در امتداد عمود بر بارگذاری (m)	B_h
قطر مجرا (m)	D
سختی معادل خمشی (تن - نیرو در متر)	$(EI)_{eq}$
سختی معادل فشار محوری (تن - نیرو)	$(EA)_{eq}^C$
سختی معادل کشش محوری (تن - نیرو)	$(EA)_{eq}^T$
مدول الاستیسیته قطعه (تن - نیرو بر متر مربع)	E_s
سختی محوری یک رینگ اتصال (تن - نیرو بر متر)	k_j
ضریب عکس‌العمل زمین در امتداد محوری	K_{g1}
ضریب عکس‌العمل زمین در امتداد صفحه عمود بر امتداد افق	K_{g2}

K_{g3}	ضریب عکس‌العمل زمین در امتداد قائم
K_S	سختی محوری یک رینگ قطعه (تن - نیرو بر متر)
l_s	طول یک رینگ (m)
M_h	لنگر خمشی ناشی از انتشار موج در صفحه افقی (تن - نیرو در متر)
M_v	لنگر خمشی ناشی از انتشار موج در صفحه قائم (تن - نیرو در متر)
n	تعداد رینگ اتصالات به ازای هر اتصال
Q_h	نیروی برشی ناشی از انتشار موج در صفحه افقی (تن - نیرو)
Q_v	نیروی برشی ناشی از انتشار موج در صفحه قائم (تن - نیرو)
P_h^C	نیروی محوری فشاری ناشی از انتشار موج در صفحه افقی (تن - نیرو)
P_h^T	نیروی محوری کششی ناشی از انتشار موج در صفحه افقی (تن - نیرو)
P_v^C	نیروی محوری فشاری ناشی از انتشار موج در صفحه قائم (تن - نیرو)
P_v^T	نیروی محوری کششی ناشی از انتشار موج در صفحه قائم (تن - نیرو)
S_v	طیف پاسخ سرعت
u_h	جابه‌جایی زمین در امتداد افقی در عمق مرکز سپری به دست آمده از روش جابه‌جایی پاسخ (m)
u_v	جابه‌جایی زمین در امتداد قائم در عمق مرکز سپری (m)
$U_h(z)$	تغییر مکان زمین در تراز کف آدمرو (m)
α_1^C	نرخ انتقال کرنش از زمین به سازه

فصل نهم

A_h	مساحت ناحیه بارگذاری شده در امتداد جانبی (m^2)
A_v	مساحت ناحیه بارگذاری شده در امتداد قائم (m^2)
B_v	عرض معادل پی عمود بر امتداد بارگذاری (m)
k_{hi}	ضریب واکنش خاک در جهت افقی در گره i (kN/m^3)
k_s	ثابت فنریت برشی خاک (kN / m^3)
k_v	
k_θ	ثابت فنریت پیچشی خاک ($kN \times m / rad$)
α	ضریب سرباز زنده در بارگذاری کوتاه مدت
$\delta(z)$	تغییر مکان اعضاء (m) در عمق $z(m)$
λ	نسبت ضریب عکس‌العمل خاک در امتداد جانبی به امتداد قائم
ω_b	بار اضافی ناشی از زمین‌لرزه

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 حتی الامکان به مسئله بومی سازی توجه و مطالب، ساده و کاربردی‌تر ارائه شود.

۱-۱- هدف

هدف این راهنما اطمینان از عملکرد و پیشگیری از آسیب جدی ناشی از زلزله به سامانه فاضلاب شهری است.

- در این راهنما، طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب ارائه گردیده است.
- سامانه فاضلاب در این راهنما از انشعاب مشترکین تا تصفیه خانه را شامل می‌گردد.
- 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 فاضلاب می‌باشد.
- این راهنما بر آن است تا با رعایت مفاد آن آسیب جدی و مخل ایمنی عمومی به ویژه آلودگی آب و مشکلات بهداشتی پیش نیاید.

۱-۲- گستره کاربرد این راهنما

تأسیسات هدف این راهنما، تأسیسات سامانه فاضلاب شامل مؤلفه‌های جمع‌آوری، انتقال و تصفیه می‌باشد.

گستره این راهنما به طور عمده شامل موارد زیر می‌باشد:

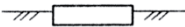
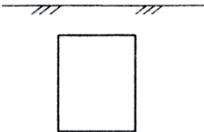
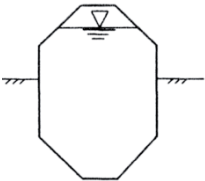
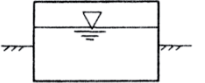
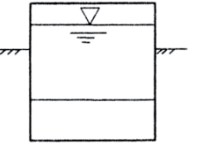
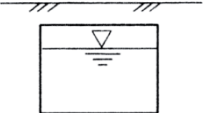
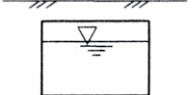
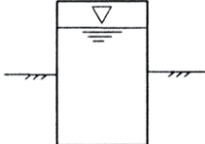
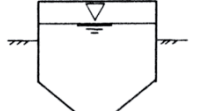
- تصفیه‌خانه
- تلمبه‌خانه
- لوله کالورت
- کالورت مستطیلی
- مجاری (تونل) سپری
- آدمرو

سازه‌های سامانه فاضلاب شهری را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

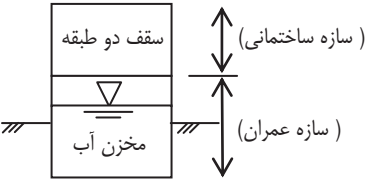
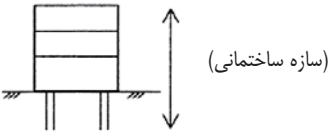
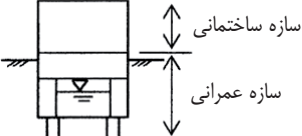
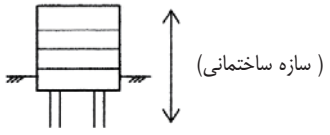
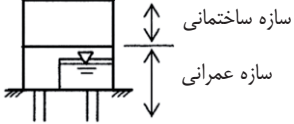
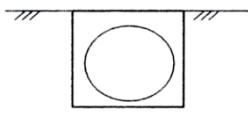
- سازه‌های عمرانی شامل مخازن، خطوط مدفون و پی‌ها (جدول ۱-۱-الف)
- سازه‌های ترکیبی از مخازن در سازه ساختمانی (جدول ۱-۱-ب)
- سازه‌های ساختمانی (جدول ۱-۱-ب)

مؤلفه‌های هدف در سامانه فاضلاب شهری نیز در جدول ۱-۲ دسته بندی شده است.

جدول ۱-۱-الف: دسته‌بندی سازه‌های سامانه فاضلاب شهری

سازه عمرانی			
نوع III (سازه صفحه‌ای شکل)	نوع II (سازه خطی شکل مدفون) سازه مانند خط‌لوله زیرزمینی	نوع I (سازه منبع / مخزن) سازه حاوی فاضلاب یا لجن مانند حوضچه ماسه، حوضچه ته‌نشینی، حوضچه تغلیظ لجن، مخزن جذب لجن و غیره	
		۱-I مخزن آب مستطیلی و دایره‌ای	۲-I مخزن آب استوانه‌ای
پی صفحه‌ای برای ماشین‌آلات 	خط‌لوله زیرزمینی 	مخزن جذب لجن 	مخزن مستطیلی  حوضچه دو طبقه ماسه ته‌نشینی 
	کانال آب زیرزمینی 	مخزن زیرزمینی  کانال سطحی 	حوضچه دایره‌ای 

جدول ۱-۱-ب: دسته‌بندی سازه‌های سامانه فاضلاب شهری

سازه مرکب	سازه ساختمان
نوع IV (سازه مرکب) سازه مرکب که قسمت زیرزمینی آن سازه عمرانی است همچون مخزن، و قسمت روزمینی آن سازه ساختمانی است، مانند تلمبه خانه همراه مخزن ماسه و مخزن آب با طاق دویل و غیره	نوع V (سازه ساختمان) ساختمان اداری، ساختمان دفع لجن و غیره اگر یک مخزن آب در زیرزمین باشد، حتماً نوع IV است.
مخزن آب با طاق دویل (سقف دو لایه) 	ساختمان بدون زیرزمین 
تلمبه‌خانه با مخزن ماسه 	ساختمان با زیرزمین 
مخزن آب سطحی 	مخزن سوخت زیرزمینی 

جدول ۱-۲ دسته بندی مولفه های هدف در سامانه فاضلاب شهری

طیقه بندی سازه	معیارهای طبقه بندی	سازه های هدف
ساز ه عمرانی	نوع-I (سازه منبع/ مخزن) مخزن آب استوانه ای	۱. مخزن با طاق دویل (سقف دولایه) جز این دسته نیست. ۲. مخزن آب به طور کامل دفن شده جز این طبقه بندی است. ۳. مخزن یا کانالی که طاق آن همسطح زمین باشد در این دسته طبقه بندی می شود.
		a. حوضچه ته نشینی b. مخزن راکتور c. مخزن غلیظ کننده d. مخزن ذخیره e. مخزن زیرزمینی
	نوع-II (سازه خطی شکل مدفون)	f. مخزن جذب لجن
		۱. مجرا، آدمرو و دریچه ورودی در این دسته طبقه بندی نمی شود. ۲. مجاری خطی شکل و لوله کشی زیرزمینی در این دسته طبقه بندی می شوند. (خروجی مجرای فاضلاب بالای سطح زمین از نوع-I است)
ساز ه ترکیبی	نوع-III (سازه صفحه ای شکل)	g. خطلوله زیرزمینی h. آبگذر ناوهای i. کانال خروجی
		j. پی بتنی و برج گوگرد زدائی k. پی بتنی و کوره مخصوص سوزاندن لجن
	نوع-IV (سازه مرکب)	l. تصفیه خانه با طاق دویل m. مخزن غلیظ سازی لجن با سرپناه و غیره
		n. تلمبه خانه با سرپناه o. ساختمان اداری ترکیب شده با حوضچه ماسه p. ساختمان لجن با مخزن آب در زیرزمین یا در سطح
ساز ه ساختمانی	نوع-V (سازه ساختمان)	q. ساختمان برای مدیریت، تصفیه خانه، ضد عفونی، ماشین آلات، تأسیسات برق r. مخزن سوخت مدفون
		این دسته شامل سازه های ساختمانی است. اما آن دسته که حاوی مخزن آب در زیرزمین می باشند باید در دسته-IV قرار گیرند.

- برای طراحی لرزه ای ساختمان های این سامانه از آخرین ویرایش استاندارد ۲۸۰۰ و مجموعه مقررات ملی ساختمان ایران استفاده می گردد.

- برای طراحی لرزه ای پی تجهیزات از مباحث مربوطه در مقررات ملی ساختمان، فصل چهارم نشریه ۳۶۰ و نشریه ۱۲۳ با استفاده از نتایج مستخرجه از طراحی لرزه ای تجهیز مربوطه از این راهنما می توان 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 مؤلفه‌های سامانه فاضلاب

فصل چهارم: روش شناسی طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

فصل پنجم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه

فصل ششم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی لوله کالورت‌های فاضلاب

فصل هفتم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی کالورت مستطیلی

فصل هشتم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی تونل‌های سپری فاضلاب

فصل نهم: طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی آدم رو و فاضلاب

فصل دهم: مثالها

۱-۲-۲- نکاتی در کاربرد این راهنما

با توجه به اینکه این اولین روایت راهنمای مربوطه در کشور می‌باشد به طور طبیعی دارای ابهامات و اشکالاتی نظیر سایر راهنماها و آئین‌نامه‌های 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 مؤثر و مفید است:

- ۱- سعی شده است ضوابط این راهنما با استاندارد ۲۸۰۰ تناقضی نداشته باشد.
- ۲- در صورت کمبود اطلاعات برای بارگذاری مؤلفه‌های سامانه فاضلاب شهری در این راهنما، از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می‌توان استفاده نمود.
- ۳- در موارد طراحی مؤلفه‌های بتنی تأسیسات فاضلاب در این راهنما به ویژه 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 مؤلفه‌های فولادی تأسیسات می‌باشد.
- ۵- سایر راهنماها و مدارک مشابه‌ای که به صورت موردی برای طراحی لرزه‌ای مؤلفه‌های سامانه فاضلاب توسط مراجع ذیصلاح خارجی و داخلی تهیه و تدوین شده باشد می‌تواند در هماهنگی با این راهنما مورد استفاده قرار گیرد.
- ۶- از تمامی استفاده کنندگان 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 تدوین کنندگان قرار گیرد.

۱-۳-۱- قوانین و مقررات مربوطه

۱-۳-۱- مراجع اصلی این راهنما

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

- ✓ JWWA1997 : مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات فاضلاب، انجمن فاضلاب ژاپن، ۱۹۹۷
- ✓ JWWA1997 : مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات آب‌رسانی، انجمن آب شهری ژاپن، ۱۹۹۷

- ✓ 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
- ✓ BCJ1997: مشخصات طراحی لرزه‌ای تجهیزات ساختمانی، مرکز ساختمان ژاپن، ۱۹۹۷
- ✓ کمیته گاز ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای خط لوله گاز فشار قوی برای روان‌گرایی، JGA-207-01، ۲۰۰۱
- ✓ کمیته راه ژاپن: مشخصات پل‌های بزرگراهی، بخش ۵ طراحی لرزه‌ای، ۲۰۰۲
- ✓ انجمن ایمنی گاز فشار قوی ژاپن (KHK): آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازی فشار قوی، ۲۰۰۶
- ✓ مرکز ساختمان ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای و ساخت تجهیزات ساختمانی، ۱۹۹۷

۱-۳-۲- مخفف آیین‌نامه‌ها

مخفف	نام کامل
آبا	آیین‌نامه ملی ساختمان ایران - طراحی و ساخت ساختمان‌های بتنی
	مقررات ملی ساختمان ایران - مبحث ۱۰، طراحی و ساخت ساختمان‌های فولادی
ALA2005	راهنماهای لرزه‌ای خطوط لوله‌ی آب، ALA، ۲۰۰۵
ASCE7	حداقل بارهای طراحی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها، ASCE، ۲۰۰۶
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 ساختمان‌ها، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۴
BS EN1998-4	یوروکد ۸: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۴: سیلوها، مخازن و خطوط لوله، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۶
JIS B8501	استاندارد B8501 صنعتی ژاپن، مخازن فولادی جوش شده 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
JSWA2006	مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات فاضلاب، شرکت فاضلاب ژاپن، ۲۰۰۶
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 سطوح خطر زلزله، بارگذاری لرزه‌ای و سطوح عملکردهای مورد انتظار در این راهنما به طور خلاصه در این فصل ارائه شده‌اند.

اهم این مبانی عبارتند از:

۱- در نظر گرفتن دو سطح خطر زلزله

توجه به دو طیف شتاب و سرعت سازگار با شرایط ایران و تطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰

۲- در نظر گرفتن بار زلزله به دو صورت نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب در جرم که در مرکز یا مراکز جرم وارد می‌شود و نیروی ناشی از جابه‌جایی زمین و اعمال آن از طریق اندرکنش خاک و سازه مدفون در آن به بدنه در محدوده تماس با خاک.

۳- استفاده از دو روش طراحی و کنترل ایمنی شامل روش تنش مجاز در محدوده ارتجاعی رفتار مصالح برای سطح خطر-۱ زلزله و روش شکل‌پذیر در محدوده غیر ارتجاعی رفتار مصالح برای سطح خطر-۲ زلزله.

۴- استفاده از دو سطح عملکرد به صورت حد آسیب و حد نهایی که در اولی استفاده بی‌وقفه و در دومی حداقل وقفه تضمین می‌شود. از نظر رفتار مؤلفه‌های سازه‌ای در اولی رفتار در محدوده ارتجاعی و بدون آسیب می‌ماند، در حالی که در دومی رفتار از مرز تسلیم عبور نموده ولی به حد مجاز تغییر شکل خمیری مشخصی محدود می‌گردد. این محدوده مجاز بعد از تسلیم را شکل‌پذیری قابل قبول راهنما، بر اساس آزمایشات یا تجربیات حاصله تعیین می‌نماید. موارد فوق در زیر به طور خلاصه شرح داده شده است.

۱-۲- زلزله طراحی

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

۱- دو سطح خطر زلزله که در ذیل آمده است باید برای طراحی لرزه‌ای تجهیزات سامانه‌های فاضلاب در نظر گرفته شود:

سطح خطر-۱ زلزله: حداکثر زلزله بهره‌برداری (MOE که مخفف Maximum Operational Earthquake می‌باشد).

(احتمال وقوع ۵۰٪ در ظرف ۵۰ سال عمر مفید مفروض).

سطح خطر-۲ زلزله: حداکثر زلزله طرح (MCE که مخفف Maximum Considerable Earthquake می‌باشد).

(احتمال وقوع ۱۰٪ در ظرف ۵۰ سال عمر مفید مفروض).

۲- بزرگا (بزرگای لنگر) و فاصله از گسل بر اساس احتمال وقوع MOE و MCE باید در محل ساخت تأسیسات در ایران مدنظر قرار گیرد.

۱- در این راهنما عمر مفید مؤلفه‌های شریان‌های حیاتی هدف به طور نسبی حدود ۵۰ سال در نظر گرفته شده است. حداکثر زلزله بهره‌برداری ممکن است یک یا دو بار در طول مدت سرویس‌دهی تأسیسات اتفاق بیفتد. حالات خرابی غیر قابل پذیرش در بهره‌برداری از تأسیسات به این سطح خطر-۱ محدود گردیده و بهره‌برداری از سامانه با اطمینان ادامه می‌یابد. در این سطح خطر احتمال وقوع ۵۰٪ در ظرف مدت ۵۰ سال، مطابق با دوره بازگشت ۷۵ ساله می‌باشد. حداکثر زلزله طرح زلزله‌ای

است که احتمال وقوع کمتر و دوره بازگشت بیشتری نسبت به زلزله بهره برداری دارد. رفتار مؤلفه‌های سامانه فاضلاب در سطح خطر-۲ در حالت حد نهایی بوده و کل سیستم، حتی اگر عضو صدمه ببیند، باید پایداری خود را حفظ نماید. احتمال ۱۰٪ وقوع زلزله‌ای بزرگ‌تر از چنین زلزله‌ای در 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.

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

۲-۱-۲- طیف‌های طراحی لرزه‌ای

- ۱- طیف‌های پاسخ لرزه‌ای برای تجهیزات باید با توجه به پیوند طبیعی و خصوصیات میرایی سیستم‌های سازه‌ای آن‌ها محاسبه گردند. بار ناشی از زلزله 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 به کار رود:
 - الف- طیف پاسخ شتاب برای محاسبه نیروی اینرسی ناشی از جرم مؤلفه‌های روزمینی و هوایی
 - ب- طیف پاسخ سرعت برای محاسبه نیروی اندرکنشی ناشی از تغییر مکان خاک بر بدنه مؤلفه‌های مدفون

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

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

۲-۱- طیف پاسخ لرزه‌ای برای طراحی 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 بر اساس ثبت زلزله‌های نیرومند

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

به طور کلی در تعیین طیف‌های طراحی، احتمال وقوع زلزله بر اساس حرکت‌های قوی زمین در نظر گرفته شده است. طیف‌های تعینی اغلب برای طراحی محافظه‌کارانه و مدیریت بحران 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 مد نظر داشت:

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

۳-۲- طیف‌های پاسخ سرعت برای تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی از قبیل مجاری مدفون شامل خطوط لوله، تونل‌ها، مجاری مشترک، شافت‌ها و همچنین آدم‌روها که عملکرد آن‌ها با رفتار لرزه‌ای خاک اطراف کنترل می‌شود، به‌کار می‌رود. بارگذاری لرزه‌ای چنین سازه‌هایی بر مبنای پاسخ تغییر مکان صورت می‌گیرد که در آن ابتدا تغییر شکل خاک در موقعیت سازه مدفون با به‌کارگیری طیف سرعت محاسبه و سپس برهم‌کنش بین زمین و سازه مدفون با روش‌های شبه استاتیکی تعیین می‌شود.

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

۲-۱-۳- توزیع شدت لرزه‌ای در طبقات

برای تجهیزات برقی 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 در نظر گرفته شود. شدت لرزه‌ای قائم K_V توسط رابطه ۲-۲ بدست می‌آید:

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

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

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

۲-۲- عملکردهای مورد انتظار در این راهنما

دو حالت حدی به عنوان سطوح عملکرد مؤلفه‌های در مقابل سطح خطرهای لرزه‌ای داده شده در این راهنما در نظر گرفته شده است:

- بهره‌برداری بدون وقفه یا حالت حدی آسیب (تا قبل از تسلیم مصالح)
برای سطح خطر-۱ زلزله، مؤلفه‌های طراحی شده نباید دچار هیچ آسیب مؤثری بر عملکرد سامانه فاضلاب شده و عملکرد آن‌ها بدون وقفه ادامه یابد.
- بهره‌برداری با حداقل وقفه یا حالت حد نهایی (بعد از تسلیم مصالح)
برای سطح خطر-۲ زلزله، مؤلفه‌های طراحی شده ممکن است بدون اثر بر زندگی افراد، محیط زیست و پایداری سامانه مخابرات دچار آسیبی فیزیکی مختصری گردد. آسیب وارده باید هر چه زودتر قابل رفع بوده و عملکرد مختل شده به حالت اولیه باز گردد.

الف) در سطح خطر-۱

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

ب) در سطح خطر-۲

اعضای سیستم سازه‌ای می‌توانند آسیب فیزیکی محدودی ببینند، اما پایداری سامانه سازه‌ای نباید از بین رود. این سطح عملکرد با حداقل وقفه یا «وضعیت یا حالت حد نهایی» سامانه مخابرات نامیده می‌شود. در این حالت تغییر شکل‌های غیر ارتجاعی (بعد از تسلیم مصالح) ممکن است رخ دهد.
جدول ۱-۲ عملکرد مورد نیاز خطوط فاضلاب را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲ عملکرد مورد نیاز خطوط فاضلاب

عملکرد مورد نیاز		تعریف خط فاضلاب	
سطح خطر-۲	سطح خطر-۱		
تأمین حداقل جریان مورد نیاز	تأمین جریان طرح	خط اصلی حوضچه فاضلاب خط اصلی اتصال دهنده تلمبه خانه و تصفیه خانه خط لوله متقاطع با رودخانه یا راه آهن که تعمیر آن سخت و احتمال حادثه ثانوی دارد. خط لوله اتصال دهنده دهانه خروجی سطح زه کشی وسیع خط لوله در اسکان اضطراری یا عملیات مقابله با حادثه طبیعی که کارایی فاضلاب را دارد. دیگر خطوط اصلی که سهمی حیاتی در سیستم عملکرد فاضلاب منطقه را دارند.	خطوط اصلی
تأمین حداقل جریان مورد نیاز	تأمین جریان طرح	خط اصلی مدفون در زیر جاده که نقشی اساسی داشته و در ترافیک بعد از زلزله ایمنی کافی دارد.	
تأمین عملکرد جاده در جایی که خط در زیر آن مدفون است.	تأمین عملکرد جاده در جایی که خط در زیر آن مدفون است.		
-	تأمین جریان طرح	سایر خطوط	

در حالت «قابلیت تأمین جریان طرح»، از بیرون آمدن مجرا باید جلوگیری شده، مقطع در حالت حد بهره برداری بوده و تنش مقطع از تنش مجاز کمتر باشد. حالت «تأمین حداقل جریان» به معنای غیر ممکن بودن تأمین جریان طرح، به دلیل ترک خوردگی یا نشست ولی عدم قطع جریان فاضلاب می باشد. به بیانی دیگر، در حالت حد نهایی مجرا نباید فرو ریزد و با وجود ترک خوردگی از نفوذ خاک و ماسه باید جلوگیری شود.

فصل ۳

بارگذاری لرزه‌ای

مؤلفه‌های سامانه فاضلاب

۳-۱- انواع بار

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

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

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

- ✓ بار باد بر روی سازه‌های مدفون اثری ندارد.
- ✓ برخلاف ساختمان‌ها، سازه‌های تأسیسات فاضلاب دارای بار زنده انسانی نیستند اما بارگذاری‌های موقت در ترازهای مختلف سازه باید از نوع بار زنده در طراحی لرزه‌ای لحاظ شود.
- ✓ مؤلفه‌هایی نظیر حوضچه، خطوط لوله و کالورت و تونل‌های سپری و سایر مجاری به طور عمده تحت اثر فشار مواد و فراورده‌های داخل خود هستند.
- ✓ دودکش و لوله کشی بین تجهیزات، تحت اثر بارهای ناشی از حرارت‌های زیاد قرار دارند.

۳-۲- محاسبه وزن‌ها

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

۳-۳- ترکیب بارها

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

ترکیبات بار زیر باید بکار برده شوند:

- ۱- در حالت بهره‌برداری عادی
بارهای ثابت، بارهای متحرک، بار برف (سطح پوشیده شده از برف)، فشار آب داخلی، فشار خاک و غیره
- ۲- در حالت زلزله

سطح خطر-۱: در شرایط بهره‌برداری و شرایطی که فشار آب و خاک در دو طرف متعادل نباشد، مثل حالت خاک‌برداری در یک طرف سازه

سطح خطر-۲: در شرایط بهره‌برداری

اختلاف شرایط بارگذاری در فازهای مختلف هنگام ساخت، باید مورد ملاحظه قرار گیرد.

در مورد مخازن و منابع، تمامی ترکیبات بار در شرایط پر و خالی باید با حداکثر زلزله بهره‌برداری، MOE در نظر گرفته شود.

حالت کاملاً خالی باید برای فاضلاب بهداشتی و حالت کاملاً پر باید برای نزولات جوی در حداکثر زلزله طراحی، MCE در نظر گرفته شود.

۳-۴- انواع تجهیزات از نظر محل استقرار

تجهیزات سامانه‌های فاضلاب به طور کلی به صورت زیر استقرار می‌یابند:

- تجهیزات روی زمین
- تجهیزات زیرزمینی و مدفون

۳-۵- روش‌های محاسبه بارهای لرزه‌ای

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

- ۱- نیروی اینرسی ناشی از جرم تجهیزات که حرکت آن‌ها مقید در خاک نشده باشد. این نیرو به طور عمده در سازه‌های هوایی و روزمینی ایجاد و محاسبه می‌گردد.
- ۲- نیروی ناشی از تغییر مکان خاک بستر که بر روی سازه‌های مدفون اعمال می‌گردد. در این حالت تغییر مکان خاک در ضریب فنری بین خاک و سازه ضرب شده و نیروی خود را بر تجهیز اعمال می‌نماید.
- ۳- در بعضی از موارد برای سازه‌هایی که در زمین مدفون هستند ولی وضعیت آن‌ها طوری ست که جرم آن‌ها 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 تأسیسات سامانه فاضلاب

آثار زلزله بر تأسیسات سامانه فاضلاب 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 (برای سازه‌های روزمینی و ایستگاهی ایجاد نیروی اینرسی می‌نماید)
 - سرعت (در سازه‌های مدفون به ویژه خطوط جمع‌آوری و انتقال بیش از شتاب تأثیر گذار است).

- جابه‌جایی (برای کلیه سازه‌ها به ویژه خطوط مدفون باعث آسیب جدی می‌گردد).
 - ۲- اثر استاتیکی یا مخاطرات ژئوتکنیکی که تغییر مکان‌های ماندگار در زمین ایجاد می‌کنند شامل:
 - روان‌گرایی (و گسترش جانبی به ویژه در سواحل دریاها و رودخانه‌ها)
 - زمین لغزه (در مناطق کوهپایه ای که شیب آن‌ها تند می‌باشد).
 - گسلش (برای سازه‌های ایستگاهی واقع بر محدوده گسل‌ها و یا خطوط مدفون مار بر آن‌ها)
- چگونگی اعمال بارهای لرزه‌ای ناشی از آثار فوق بر اساس روش‌های مختلف در راهنمای روش‌های بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی داده شده است.

۳-۷- نحوه اعمال اثرات زلزله بر تأسیسات فاضلاب

- ۱- برای محاسبه بار وارد بر مؤلفه‌های هوایی و روزمینی باید نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب زلزله بر جرم تجهیز محاسبه گردد. در این روش از طیف شتاب مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می‌شود.
- ۲- برای انجام محاسبات نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب از «روش شبه استاتیکی» استفاده می‌گردد. برای مواردی که پی‌رود تجهیز بلند و یا دارای پیچیدگی سازه‌ای باشد (عدم حاکمیت مود اول ارتعاش سازه) از «روش شبه استاتیکی اصلاح شده» استفاده می‌شود.
- ۳- برای محاسبه نیروی ناشی از جابه‌جایی زمین بر سازه‌های مدفون، «روش پاسخ تغییر مکان» بکار می‌رود. در این روش پس از محاسبه جابه‌جایی زمین در نقاط مورد نظر، با تعیین ضریب فنریت خاک اطراف سازه، نیروی وارد به آن محاسبه می‌گردد. در این روش از طیف سرعت سازگار با طیف شتاب ۲۸۰۰ و یا طیف سرعت ویژه ساخت‌گاه استفاده می‌شود.
- ۴- در روش پاسخ تغییر مکان می‌توان با محاسبه کرنش خاک اطراف سازه، با توجه به میزان چسبندگی بین سازه مدفون و خاک اطراف آن، کرنش سازه مدفون را از روی کرنش خاک محاسبه نمود. توضیحات بیشتر مربوط به این روش در راهنمای روش‌های بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی داده شده است.

۳-۸- روش‌های محاسبه بارهای ناشی از زلزله

- برای تعیین نیروی لرزه‌ای وارد بر مؤلفه‌های هوایی و روزمینی سامانه فاضلاب، اغلب «روش شبه استاتیکی» بکار می‌رود. در صورت لزوم می‌توان با توجه به شکل، مشخصات ارتعاشی، اهمیت تأسیسات و مود خرابی سازه، از روش‌های زیر نیز استفاده کرد:
- روش شبه استاتیکی اصلاح شده
 - روش تحلیل دینامیکی (طیفی یا تاریخچه زمانی)
- روش شبه استاتیکی برای بدست آوردن تغییر مکان و تنش در یک سازه با صلبیت زیاد و با اعمال بار زلزله به صورت یک بار استاتیکی معادل، استفاده می‌شود. بار استاتیکی معادل به صورت حاصل ضرب ضریب زلزله در جرم سازه به دست می‌آید.
- در روش شبه استاتیکی اصلاح شده، پی‌رود طبیعی، میرایی سازه و نیروی اینرسی ناشی از زلزله را در نظر گرفته شده و از ضریب

اصلاحی در مقایسه با روش شبه استاتیکی استفاده می‌گردد.

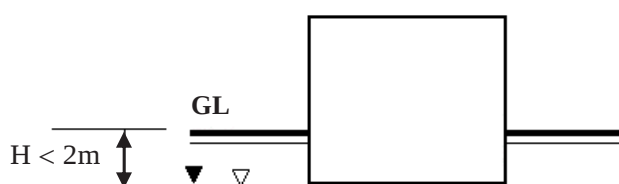
علاوه بر این روش‌ها، برای کنترل روش‌های ساده استاتیکی و درک دقیق‌تر رفتار لرزه‌ای مؤلفه‌ها و اطمینان از طراحی صورت گرفته، از روش تحلیل دینامیکی طیفی یا تاریخچه زمانی استفاده می‌شود. در این‌گونه روش‌ها میزان قابلیت اعتماد نتایج به مناسب بودن شتاب‌های ورودی و ضرایب انتخاب شده برای میرایی بستگی دارد.

۱- تراز زمین برای نیروی اینرسی

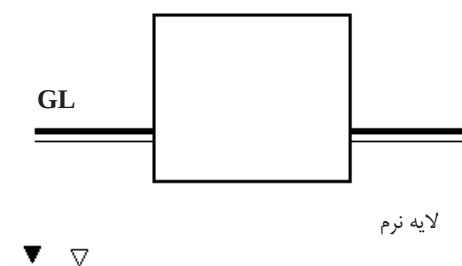
تراز زمین برای نیروی اینرسی، مرز بین سازه بالایی که نیروی لرزه‌ای بر آن در نظر گرفته می‌شود و سازه پایینی که نیروی لرزه‌ای برای آن در نظر گرفته نمی‌شود، می‌باشد. در مواردی که یافتن تراز پایه برای ارتعاش لرزه‌ای مبهم است، می‌توان آن را زیر پی یا پائین‌ترین مرز تماس سازه با خاک در نظر گرفت.

۲- سطح زمین

سطح زمین مهندسی، تراز است که شدت طراحی لرزه‌ای قسمت تحتانی در آن در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که امکان تعیین آن وجود نداشته باشد، باید مانند شکل ۳-۱ تراز زمین به سمت پایین انتقال یابد.



حالتی که تعیین شدت لرزه طراحی قسمت تحتانی به علت شرایط سازه‌ای نظیر عمق کم پی، مشکل باشد.



حالتی که تعیین شدت لرزه طراحی قسمت تحتانی به علت شرایط زمین شناختی نظیر قابلیت روانگرایی لایه مشکل باشد.

▽: سطح زمین مهندسی:

▼: تراز نیروی اینرسی زمین:

شکل ۳-۱ مثال تعیین تراز زمین در طراحی لرزه‌ای

۳-۸-۱- ضریب اهمیت مؤلفه‌های فاضلاب

ضریب اهمیت سازه بر اساس 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 مؤلفه مورد طراحی و ضرورت ایمنی آن بعد از زلزله نقش مهمی در بالا بردن ضریب اهمیت آن مؤلفه در سامانه فاضلاب دارد. تعاریف رده‌های مختلف اهمیت در جدول ۳-۲ و نیز طبقه‌بندی اهمیتی تجهیزات مختلف در جدول ۳-۳ داده شده است. لازم به ذکر است در تمامی مؤلفه‌هایی که بنحوی از انحاء، فاضلاب جریان داشته و بیم نشت آن ناشی از آسیب آن مؤلفه وجود دارد (حتی به مقدار بسیار ناچیز)، نباید ضریب اهمیت را کمتر از یک در نظر نگرفت. در مواردی که دو سطح اهمیت متصور باشد، قضاوت کارفرما سطح اهمیت نهایی را مشخص می‌نماید.

جدول ۳-۲ تعریف رده‌های مختلف اهمیت

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

در تعیین ضریب اهمیت مؤلفه‌های فاضلاب شهری باید به نکات زیر توجه و ضریب اهمیت زیاد یا خیلی زیاد برای آن‌ها منظور نمود:

- تأسیساتی که پتانسیل تولید حوادث جدی ثانویه را دارند.
- تأسیسات قرار گرفته در پایین دست سیستم‌های فاضلاب
- تأسیسات اصلی که تأسیسات پشتیبانی ندارند.
- خطوط اصلی جمع‌آوری فاضلاب تأسیسات مهم
- تأسیسات اصلی که تعمیر آن‌ها در صورت آسیب مشکل می‌باشد.

ضرایب اهمیت را در نهایت با توجه به منطقه تأسیسات فاضلاب و با توجه به مقادیر جدول ۳-۳ باید اصلاح نمود:

جدول ۳-۳ اصلاح ضریب اهمیت با توجه به منطقه اجرای تأسیسات

منطقه	ضریب اصلاح اهمیت
مناطق کوهستانی	۱
مناطق معمولی	۱/۱
سطح شهر	۱/۵

۳-۸-۲- 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)

نسبت شتاب مبنای طرح	۴	۳	۲	۱
(شتاب مبنای A در استاندارد ۲۸۰۰ به صورت درصدی از شتاب ثقل)	(خیلی زیاد)	(زیاد)	(متوسط)	(کم)
β_2	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۲۰

۳-۸-۳- 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 بر حسب لایه‌های خاک با ضریب بزرگنمایی β_3 معین می‌گردد.

جدول ۳-۵ ضریب بزرگنمایی را برای انواع زمین (تیپ خاک) ارائه می‌دهد.

جدول ۳-۵ ضریب بزرگنمایی ساختگاه (β_3)

نوع خاک	I	II	III	IV
نسبت شتاب مبنای طرح				
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 بدست می‌آید در ادامه محاسبه می‌گردد.

۳-۸-۴- محاسبه ضریب زلزله

۳-۸-۴-۱- روش شبه استاتیکی

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

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (۱-۳)$$

K_{SH} : ضریب زلزله افقی طراحی است. در صورتی که K_{SH} کمتر از ۰/۲ باشد آنگاه برابر ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود.

K_H : ضریب شدت زلزله افقی در سطح زمین

$$K_H = 0.3 \cdot \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (۲-۳)$$

β_4 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی سازه است. مقدار این ضریب بستگی به ارتفاع سازه از روی زمین دارد:

برای ارتفاع کوچک‌تر و 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.

β_0 : پارامتر سطح زلزله. مقدار ۰/۵ برای سطح خطر ۱ و مقدار ۱ برای سطح خطر ۲

۳-۸-۴-۲- نیروی زلزله افقی

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

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \quad (۳-۳)$$

F_{SH} : نیروی زلزله افقی طراحی (N)

K_{SH} : ضریب زلزله افقی طراحی

W_H : وزن سازه+ بار مرده و زنده (N)

۳-۸-۵- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

در مورد سازه‌هایی که پریود 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 این ضریب را در وزن سازه (تجهیز) مربوطه ضرب گردد.

۳-۸-۵-۱- ضریب زلزله افقی اصلاح شده

ضریب زلزله افقی اصلاح شده با استفاده از رابطه (۴-۳) بدست می‌آید:

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (۴-۳)$$

K_{MH} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده است. در صورتی که K_{MH} از ۰/۲ کمتر شود مقدار آن برابر ۰/۲ اختیار می‌گردد.

β_5 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی که در پیوست این راهنما تحت عنوان بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی داده شده است.

۳-۸-۵-۲- 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 کم اهمیت قرار می‌گیرد، اعمال شتاب قائم لازم نیست. مقدار β_6 با استفاده از مقادیر ارائه شده در فصول مختلف و فاز ۲ تعیین می‌شود.

۳-۸-۵-۳- نیروی زلزله اصلاح شده

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

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

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

K_{MH} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده با استفاده از رابطه (۴-۳)

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

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

W_H : وزن سازه + بار مرده و زنده (N).

۳-۸-۶- روش دینامیکی

روش دینامیکی معمولاً برای کنترل روش‌های شبه استاتیکی 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.

۳-۸-۶-۱- روش طیفی

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

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

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

β_5 : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی (برای سهولت و با محافظه کاری، در پریودهای کمتر از 0.3 ثانیه، $1/5$ و برای پریودهای بزرگ‌تر از 0.3 ثانیه، 0.75 در نظر گرفته می‌شود).

α_H : شتاب افقی (cm/s^2) در سطح زمین که از رابطه (۹-۳) بدست می‌آید:

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

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

$$A_v(T) = \beta_6 \cdot \alpha_v \quad (۱۰-۳)$$

$A_v(T)$: شتاب پاسخ قائم در پی‌رود طبیعی T (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 (cm/s^2) در سطح زمین که از رابطه (۱۱-۳) بدست می‌آید:

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

۳-۸-۶-۲- روش تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی

در تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی، باید موج‌های مناسبی را انتخاب کرد که حداکثر شتاب افقی آن بر اساس محل به یکی از روش‌های زیر بدست می‌آید:

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 (cm/s^2)

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 (cm/s^2)

α'_H : شتاب افقی حداکثر روی سطح زمین در تحلیل تاریخچه زمانی (cm/s^2)

۳-۸-۶-۳- روش پاسخ تغییر مکان (برای سازه‌های مدفون)

این روش بر اساس تئوری تیر روی بستر الاستیک تدوین شده است. در این روش با استفاده از طیف پاسخ سرعت زلزله و با در نظر گرفتن مود اول ارتعاش برشی خاک مقدار تغییر مکان محاسبه شده و با توجه به فنریت خاک به نیروی مؤثر به سازه تبدیل می‌گردد. در فصول بعدی، بارگذاری لرزه‌ای هر تجهیز با استفاده از روش‌های فوق برای آن تجهیز داده شده است.

۳-۹-۹-۳- بارگذاری ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله بر تجهیزات

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

۳-۹-۱- روان‌گرایی

گرچه در ایران پتانسیل روان‌گرایی زیاد نمی‌باشد لیکن در مناطق ساحلی دریاها و رودخانه‌ها و در قسمت‌هایی که بافت ماسه ریزدانه همراه با سطح آب زیرزمینی بالا باشد این مخاطره تجهیزات مختلف از جمله انواع مدفون آن‌را تهدید می‌نماید. طراحی لرزه‌ای در مقابل روان‌گرایی باید با بررسی عملکرد لرزه‌ای در اثر تغییر مکان ماندگار زمین، ناشی از روان‌گرایی و با توجه به شرایط زمین انجام شود، به ویژه:

- مناطقی که نیاز به طراحی لرزه‌ای در مقابل روان‌گرایی دارند، باید بر اساس زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، وضعیت زمین و موقعیت نصب و اجرای تأسیسات فاضلاب انتخاب شوند.
 - انتخاب منطقه مورد ارزیابی اثر روان‌گرایی از نواحی منتخب فوق بر طبق شرایط، وضعیت زمین محل نصب تأسیسات فاضلاب و شرایط محل و روش ساخت تأسیسات فاضلاب.
 - در منطقه‌ای با شیب سطح ۱٪ و بیشتر، زمین باید برای اثر گسترش جانبی ارزیابی گردد.
 - منطقه‌ای در حدود ۱۰۰ متر دورتر از دیوار ساحلی با ارتفاع ۵ متر و بیشتر باید برای اثر گسترش جانبی ارزیابی شود.
 - در منطقه‌ای که تأسیسات فاضلاب توسط سازه‌ای بزرگ‌تر مانند پایه پل مهار شده است، باید اثر نشست ارزیابی شود.
 - اگر تأسیسات فاضلاب مانند خطوط لوله، بر روی سازه‌ها نصب شده باشند، نیازی به در نظر گرفتن نشست زمین نمی‌باشد.
- تغییر مکان ماندگار زمین ناشی از روان‌گرایی باید به صورت‌های زیر در نظر گرفته شود.
- تغییر مکان افقی ناشی از گسترش جانبی زمین بر سطح شیب‌دار زمین
 - تغییر مکان افقی ناشی از گسترش جانبی زمین پشت دیوار ساحلی
 - نشست زمین
- اثر روان‌گرایی مطابق با راهنمای روش‌های بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی به صورت جابه‌جایی قائم و افقی محاسبه شده و مطابق با توزیع داده شده روی سازه مدفون اعمال می‌گردد.

اگر کرنش ایجاد شده در زمین در سطح خطر-۲، حدود ۰/۲۵٪ (که کوچک‌تر از کرنش مجاز ۳٪ می‌باشد) باشد، تغییر مکان پاسخ زمین در نظر گرفته نمی‌شود.

در صورت تراکم خاک مطابق آیین‌نامه‌های راه‌سازی، خاکریز روان‌گرا نمی‌شود، بنابراین در نظر گرفتن شناوری لازم نخواهد بود. در صورت وقوع یا عدم وقوع روان‌گرایی، لغزش شیب و خاکریز در هر صورت رخ می‌دهد. هنگامی که تأسیسات فاضلاب در چنین مکان‌هایی ساخته می‌شوند، باید در انجام طراحی دقت کافی شود.

۳-۹-۲- زمین لغزه

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

۳-۹-۳- گسلش

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

- وجود گسل فعال باید توسط مشخصات زمین‌شناختی شکل گسل فعال تعیین شود.

- منطقه‌ای که ممکن است گسل فعال از آن عبور کند باید بر اساس بازرسی زمین‌شناسی، اکتشافات ژئوفیزیکی، اکتشافات گمانه زنی و بازرسی ترانشه تأیید شود.

- چنانچه تأسیسات فاضلاب گسل فعالی را قطع نمایند، باید برای تحقق عملکرد لرزه‌ای، با در نظر گرفتن تغییر مکان ماندگار زمین ناشی از جابه‌جایی گسل، طراحی شوند.

- چنانچه اثر جابه‌جایی گسل در سطح زمین نمایان شود، تأسیسات فاضلاب باید برای جابه‌جایی گسل، طراحی لرزه‌ای شوند.

نحوه محاسبه و اعمال بارهای اعمال شده توسط مخاطرات ژئوتکنیکی ناشی از زلزله در راهنمای روش‌های بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ارائه شده است.

۳-۱۰- طبقه‌بندی خاک

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

۳-۱۱- ملاحظات روش بارگذاری و محاسبات نیروهای لرزه‌ای

شاخص‌های مؤثر بر پاسخ ارتعاشی سازه‌ها را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

- مشخصات زمین
- جرم، میرایی و سختی سازه
- خصوصیات لرزه‌ای ورودی

با توجه به موارد فوق روش مناسب می‌باید اتخاذ شود.

جدول ۳-۶ روش‌های مناسب هر یک از تجهیزات را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۶ روش‌های بارگذاری و محاسبه لوزه‌ای مؤلفه‌های سامانه فاضلاب

روش بارگذاری محاسبه لرزه‌ای	سازه		
DAM و RDM	مجاری		
SCM	سازه مخزن آب	تصفیه‌خانه و ایستگاه پمپاژ	
RDM	سازه زیرزمینی خطی شکل		
SCM	سازه صفحه‌ای		
SCM	مخزن آب با طاقی دوبل (سقف دولایه)		سازه پیچیده یا مرکب
سازه ساختمانی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰			
SCM	سازه ساختمان که شامل سازه حوضچه یا مخزن می‌شود.		
سازه ساختمانی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰			
سازه ساختمانی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰	سازه ساختمان		

SCM : روش شبه استاتیکی، RDM : روش پاسخ تغییر مکان، و DAM: روش تحلیل دینامیکی

فصل ۴

روش‌شناسی طراحی لرزه‌ای

و کنترل ایمنی

۴-۱- روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

۴-۱-۱- اصول مراحل طراحی لرزه‌ای

مؤلفه‌های سامانه فاضلاب شهری بسته به نوع سطح خطر مربوطه به یکی از روش‌های تنش مجاز یا شکل‌پذیر طراحی می‌گردد. روش تنش مجاز وقتی استفاده می‌شود که از سطح خطر-۱ در استفاده شود. برای حالتی که از طرح خطر-۲ استفاده می‌شود، طراحی لرزه‌ای به روش شکل‌پذیر انجام می‌گردد.

۱- در روش تنش مجاز، تنش‌ها در اعضا نباید از مقادیر مجاز، تجاوز کند. در غیر این صورت تغییرشکل‌های بازگشت‌ناپذیر بعد از زلزله در اعضاء باقی می‌ماند.

۲- در طراحی به روش شکل‌پذیر، تغییرشکل‌های 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.

۴-۱-۲- محاسبه تنش طراحی

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

۴-۱-۳- تنش‌های مجاز

تنش‌های مجاز طراحی لرزه‌ای تأسیسات بر اساس مباحث مربوطه در مقررات ملی ساختمان ایران بدست می‌آید. در مواردی که مقررات ملی ساختمان تنش مجاز مربوط به رفتار مؤلفه‌ای را نداده باشد می‌توان حسب مورد از آئین نامه‌های معتبر استفاده نمود.

۴-۱-۴- ارزیابی تنش محاسبه شده

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

۴-۱-۵- مراحل طراحی روش طراحی شکل‌پذیر

برای طراحی لرزه‌ای مؤلفه‌های سامانه فاضلاب به روش شکل‌پذیر مطابق با روند داده شده برای هر یک از مؤلفه‌ها عمل می‌شود.

۴-۱-۵-۱- تراز زلزله برای طراحی

روش طراحی شکل‌پذیر برای مواردی که از سطح خطر-۲ در طراحی استفاده شود. سازه‌هایی که طراحی لرزه‌ای شده‌اند باید عملکردی متناسب با نیروی زلزله طراحی و روان گرای و جابه‌جایی زمین داشته باشند.

۴-۱-۵-۲- تحلیل پاسخ لرزه‌ای

تغییر شکل پاسخ الاستو پلاستیک با تحلیل پاسخ برای زلزله محاسبه می‌گردد.

مشابه روش تحلیل پاسخ، که رفتار غیر خطی را مانند تغییر شکل الاستو پلاستیک در نظر می‌گیرد، روش‌های شبه استاتیکی اصلاح شده با مدل جرم متمرکز غیر خطی، تحلیل مودال با مدل عضو خطی معادل و تحلیل تاریخچه زمانی با مدل عضو الاستو پلاستیک نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

از بین این تحلیل‌ها، روش تحلیل پاسخ مناسب، با توجه به مشخصات دینامیکی غیر خطی سازه انتخاب می‌شود.

برای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها به روش تحلیل پاسخ، ضریب شکل پذیری همان‌طور که در زیر اشاره شده است، مورد محاسبه قرار

می‌گیرد:

۱- روش انرژی

۲- روش پاسخ خطی معادل

۳- روش تحلیل پاسخ غیر خطی

هر یک از این روش‌ها در زیر تشریح شده است.

۱- روش انرژی

۱-۱- روش طراحی تغییر شکل پلاستیک نهایی

در سازه‌هایی که تحت طراحی لرزه‌ای قرار گرفته و اولین مد ارتعاش آن‌ها غالب است، ضریب شکل پذیری را می‌توان

از قانون بقای انرژی هر مد خرابی محاسبه نمود.

الف) ضریب زلزله اصلاح شده طراحی

ضریب زلزله اصلاح شده مورد استفاده در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها از ضریب بزرگنمایی پاسخ نرمال شده بدست

می‌آید.

ب) ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری μ_p بخش‌های آسیب دیده سازه از رابطه (۱-۴) محاسبه می‌شود.

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

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

K_{MH} : ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی سازه

K_y : ضریب زلزله افقی تسلیم عضو در شروع تسلیم مربوط به مد خرابی. در چنین مواردی، ضریب زلزله قائم باید

در بحرانی‌ترین شرایط به کار رود.

C: ثابتی که طبق مد خرابی تعیین می‌شود.

ج) ارزیابی تغییر شکل پلاستیک

رابطه (۲-۴) باید برقرار باشد:

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

μ_p : ضریب شکل پذیری عضو وابسته به مد خرابی

μ_{pa} : ضریب شکل پذیری مجاز

۱-۲- روش طراحی مقاومت تسلیم

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

الف) ضریب زلزله اصلاح شده طراحی

مشابه روش ارائه شده در ۱-۱-الف

ب) ضریب مشخصه سازه‌ای

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

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

D_s : ضریب مشخصه سازه‌ای

C : ثابت وابسته به خصوصیات مد خرابی

μ_{pa} : ضریب شکل پذیری مجاز عضو مطابق با مد خرابی

ج) ظرفیت لرزه‌ای

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

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

Q_u : ظرفیت لرزه‌ای

K_y : ضریب زلزله افقی تسلیم در نقطه شروع تسلیم عضو آسیب دیده. در چنین مواردی، ضریب زلزله قائم باید در

بحرانی‌ترین شرایط به کار رود.

W_H : وزن بهره‌برداری سازه

د) ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

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

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

Q_{un} : ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

W_H : وزن بهره‌برداری سازه

ه) ارزیابی ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

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

۲- ارزیابی تحلیل پاسخ خطی

در مورد عضوی با رفتار غیر خطی، که ظرفیت آن از ظرفیت تسلیم تجاوز کرده است، تحلیل پاسخ خطی، با کاهش

سختی از سختی الاستیک، بسته به میزان غیر خطی بودن و ضریب میرایی معادل، می‌تواند انجام می‌شود.

۱-۲- تحلیل پاسخ مودال خطی

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

الف) طیف شتاب افقی و قائم طراحی از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

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

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

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

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

β_1 : ضریب اهمیت

β_2 : نسبت شتاب مبنای طرح

β_3 : ضریب بزرگ‌نمایی لایه‌های خاک

β_5 : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی

β_6 : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ قائم

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

ج) می‌توان از ضریب میرایی معادل با انرژی کرنشی پلاستیک که از پاسخ غیر خطی سازه بدست آمده، استفاده نمود.

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

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

در اینجا R_i مقدار پاسخ مد i ام است.

ه) باید از مقدار پاسخ عضو محاسبه گردد.

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

۲-۲- تحلیل پاسخ به روش بار معادل

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

الف) بار معادل برای تحلیل از روش مناسبی تعیین می‌شود. اگر بتوان سازه را به صورت یک سیستم یک درجه

آزادی مدل نمود، بار معادل از ضرب وزن عضو در ضریب زلزله اصلاح شده طراحی محاسبه می‌گردد.

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

ج) می‌توان از ضریب میرایی معادل انرژی کرنشی پلاستیک که از پاسخ غیر خطی سازه بدست آمده، استفاده نمود.

د) تغییر مکان پاسخ باید از مقدار پاسخ عضو محاسبه گردد.

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

۳-۲- روش تغییر مکان معادل

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

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

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

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

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

۳- تحلیل پاسخ غیر خطی

۳-۱- تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی

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

الف) مشخصات بار- تغییر شکل باید به صورت مدل چرخه‌ای غیر خطی تعریف و نتایج نیز مستقیماً از تحلیل تاریخچه زمانی حاصل گردد.

ب) اعمال موج زلزله با حداکثر شتاب مشخص شده در نقطه وقوع

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

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

۳-۲- تحلیل پاسخ استاتیکی در روش بار معادل

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

الف) بار معادل از روش مناسب تعیین می‌شود. اگر بتوان سازه را به صورت یک سیستم یک درجه آزادی مدل کرد،

بار معادل از ضرب وزن عضو در ضریب زلزله اصلاح شده طراحی محاسبه می‌گردد.

ب) ضریب زلزله اصلاح شده طراحی را می‌توان با استفاده از ضریب میرایی که معادل با انرژی کرنشی پلاستیک

است و از پاسخ غیر خطی سازه بدست آمده، استفاده نمود.

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

د) نسبت تغییر مکان پلاستیک از تغییر مکان عضو بدست می‌آید.

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

۳-۳- روش تغییر مکان پاسخ

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

الف) تغییر مکان اجباری در قید (تکیه‌گاه) باید برابر تغییر مکان پاسخ سازه تکیه‌گاهی یا تغییر مکان ایجاد شده در

پی، ناشی از حرکت زمین باشد.

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

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

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

۴-۱-۵-۳- ضریب شکل پذیری

ضریب شکل پذیری از تغییر شکل پلاستیک که از تحلیل پاسخ مربوط به مد خرابی تجهیز مربوطه، برای زلزله (حرکت افقی و قائم)، بدست می‌آید، محاسبه می‌گردد. نیروی در راستای قائم برای قسمتی از خرابی که امکان تشدید آن بر اساس شرایط سازه‌ای و مد خرابی تأسیسات مختلف وجود دارد، در نظر گرفته می‌شود.

۴-۱-۵-۴- ضریب شکل پذیری مجاز

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

۴-۱-۵-۵- ارزیابی ضریب شکل پذیری

در صورتی که ضریب شکل پذیری مجاز تمام اعضای اصلی برابر یا بزرگ‌تر از ضریب شکل پذیری مورد نظر باشد، در این صورت برآورد عملکرد لرزه‌ای مورد قبول می‌باشد.
مد خرابی و ضریب شکل پذیری مجاز برای هر تجهیز مشخص شده است.

۴-۲- روند طراحی تأسیسات مجرا

طراحی لرزه‌ای تأسیسات مجرا باید طبق مراحل زیر و با توجه به میزان اهمیت آن‌ها انجام شود.

۱- خط انتقال مهم

۱-۱- بررسی ساخت گاه

۲-۱- آماده‌سازی شرایط زمین

۳-۱- بازرسی اتصال بین آدرو و مجرا و اتصال بین مجراها

۴-۱- بازرسی بدنه‌ی آدرو و مجرا

۵-۱- بررسی روان‌گرایی

۲- سایر خطوط

۱-۲- بررسی ساخت گاه

۲-۲- آماده‌سازی شرایط زمین

۳-۲- بازرسی اتصال بین آدرو و مجرا و اتصال بین مجاری

۴-۲- بازرسی بدنه‌ی آدرو و مجرا

۵-۲- بازرسی روان‌گرایی (قضاوت در مورد رخداد و تمهیدات پیشگیرانه در مقابل برکنش و غیره)

۱- علاوه بر ویژگی تأسیسات هدف، شرایط ساخت‌گاه، همچون لرزه‌خیزی، وضعیت پستی و بلندی زمین، زمین‌شناسی،

ویژگی خاک و سایر عوامل باید مورد بررسی قرار گیرد.

۲- در سطح خطر-۱، جریان طرح فاضلاب باید برقرار باشد. در سطح خطر-۲ حداقل جریان مورد نیاز فاضلاب، باید تأمین گردد.

۳- برای حداکثر زلزله بهره‌برداری، طراحی باید به روش تنش مجاز یا حالت حد بهره‌برداری انجام شود.

۴- برای سطح خطر-۲ طراحی باید در حالت حد نهایی انجام شود.

۵- در مناطق روان‌گرا شده، خطربرکنش در تأسیسات مجراها وجود دارد، بنابراین اقدامات پیشگیرانه مناسبی باید برای آن‌ها به کار گرفته شود.

طراحی لرزه‌ای «سایر خطوط» باید برای سطح خطر-۱، با توجه به هزینه و بهره‌وری انجام شود.

۱- قابلیت جریان طرح فاضلاب باید در سطح خطر-۱ تأمین گردد.

۲- برای سطح خطر-۱ طراحی باید به روش تنش مجاز انجام شود.

۳- سطح خطر-۱ در منطقه روان‌گرا شده، با توجه به وجود خطر برکنش در تأسیسات و مجراها اقدامات پیشگیرانه مناسب، مانند تراکم خاک، خاکریز شنی، بهسازی با ماسه و غیره، باید به کار گرفته شود.

۳-۴- روند طراحی تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه

طراحی لرزه‌ای تأسیسات تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه باید برای امواج لرزه‌ای و جابه‌جایی‌های زمین صورت پذیرد. به طور کلی طراحی لرزه‌ای تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه باید با در نظر گرفتن، شکل، ابعاد، عملکرد تأسیسات و شرایط ساخت‌گاه از مراحل زیر پیروی نماید:

۱- بررسی و جمع‌آوری اطلاعات

۲- مشخص نمودن شرایط

۳- کنترل پایداری

۴- کنترل مقاومت مقاطع

۵- کنترل جزئیات سازه‌ای

روش طراحی باید با توجه به نوع سازه انتخاب شود.

محتویات هر فرایند شامل مراحل زیر است.

۱- بررسی و جمع‌آوری اطلاعات

- بررسی منطقه‌ی سازه مورد نظر

- بررسی شرایط طبیعی و اجتماعی و زیست محیطی

۲- تعیین شرایط

- دریافت نتایج بررسی و جمع‌آوری اطلاعات

- تعیین مواردی که باید برای طراحی لرزه‌ای کنترل شوند.

- انتخاب شرایط طراحی از نتایج بررسی‌های اولیه و بررسی‌های تکمیلی

- برآورد بارگذاری لرزه‌ای و پیش‌بینی رفتار در حین زلزله

۳- کنترل پایداری

- کنترل پایداری زمین
- کنترل پایداری بدنه اصلی و پی
- ملاحظه اقدامات پیشگیرانه مورد نیاز و تغییرات شرایط متعاقب

۴- ترکیب بارگذاری

در خصوص ترکیب بارگذاری، بحرانی‌ترین ترکیب برای کنترل تنش اعضای مورد نظر باید اعمال شود.

۵- کنترل شرایط سازه‌ای

حتی‌الامکان باید از ایجاد نقاط ضعیف سازه‌ای در فاز طراحی اجتناب شود. چنانچه این امر امکان‌ناپذیر نباشد، باید به نحوی طراحی انجام گیرد که جابه‌جایی یا سایر اقدامات مشابه، تأثیری در عملکرد سازه نگذارد. از به‌کارگیری اتصالات به ویژه در مخزن باید اجتناب شود.

الف) ملاحظات برای کف پی

برای جلوگیری از تمرکز تنش و به دنبال آن آسیب‌های وارده به بدنه پی و شمع، سطح زیرین پی باید هموار باشد.

ب) اتصال بین سازه‌ها

- شکل قسمت اتصال هر دو طرف باید کاملاً مشابه باشد.
- توصیه می‌شود که از اتصال انعطاف‌پذیر استفاده شود.

ج) درز انبساط

- در تالار ورودی گالری لوله همچون کالورت یا مخزن آب، حتی‌الامکان نباید از اتصال استفاده شود. اگر امکان‌پذیر نبود، از اتصالی باید استفاده شود که طول کششی مجاز زیادی داشته و در برابر آب مقاوم باشد.
- در سازه با سطح مستطیلی شکل، در جهت طولی نباید استفاده شود.
- در سازه خطی مدفون طول انبساط باید با روش تغییر مکان پاسخ محاسبه گردد.
- اتصال در راستای محوری نباید در تالار ورودی لوله‌ها استفاده شود. اگر امکان‌پذیر نبود، اتصال انعطاف‌پذیر در قسمت انشعاب یا اتصال مخزن باید نصب شود.
- محل اتصال انبساطی باید با در نظر گرفتن محل ماشین‌آلات و تأسیسات الکتریکی انتخاب شود.
- برای لوله‌های عبوری از درز انبساط، اتصال انعطاف‌پذیر و قابل انبساط باید استفاده شود.

د) میل‌گرد تقویتی

- جهت جلوگیری از ترک‌های وسیع دهانه، باید تعدادی میل‌گرد اضافی با قطر کوچک برای تقویت استفاده شود.
- اطراف دهانه‌ها، باید آرماتورگذاری شود.

در کنج‌ها یا محل اتصال، باید تسلیح مناسب همچون میل‌گرد قطری کششی نصب شود.

ه) پی ماشین‌آلات و تأسیسات الکتریکی

- روش ثابت نمودن ماشین‌آلات و نوع پی باید توسط طراحان در نظر گرفته شود.
- بارهای لرزه‌ای باید به شکل مناسب در نظر گرفته شوند.

- از بتن ساده (غیر مسلح) نباید استفاده شود.
- (و) سایر موارد:
- باید تأسیسات برای توقف اضطرابی نصب شود.
- تأمین امنیت با استفاده از سیستم جایگزین ارجحیت دارد.
- توصیه می‌شود، برای کانال تهویه یا کانال مکش بو، پیچ‌مهره آویزان جذب‌کننده ارتعاش یا نوسان گیر استفاده شود..
- همچنین، نصب مصالح انعطاف‌پذیر برای کنج‌ها و اتصال آن به یک سازه توصیه می‌شود.
- اقدامات پیشگیرانه برای آب‌گرفتگی ماشین‌آلات و تأسیسات الکتریکی باید در نظر گرفته شده باشد.

۴-۴- مصالح

مصالح بتن و فولاد باید مطابق با مباحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان و یا سایر آئین نامه‌های معتبری نظیر ACI، AISC، ASTM، و سایر مشخصات اشاره شده در طراحی اولیه و این راهنما باشد.

۴-۵- مقادیر مجاز

- ۱- مقادیر پاسخ مجاز مؤلفه‌ها باید مطابق این راهنما و یا مقادیر مجاز مشخص شده توسط تولیدکننده قطعات و آیین نامه‌های مرتبط باشد. در زیر حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز بتن برای موارد مرتبط آورده شده است:
 - برای حوضچه‌های آب $f_c \geq 28.1 \text{ N/mm}^2$
 - برای قطعات بتنی پیش‌ساخته تکیه‌گاه لوله $f_c \geq 25 \text{ N/mm}^2$
 - برای سازه‌ها، پی‌ها، پیاده‌رو، حوضچه‌ها و برای سایر سازه‌های بتنی $f_c \geq 21.1 \text{ N/mm}^2$
 - برای داکت‌ها و بتن مقاوم در برابر آتش $f_c \geq 18 \text{ N/mm}^2$
 - برای بتن سبک $f_c \geq 18 \text{ N/mm}^2$
 - در سیمان‌های ضد سولفات، حداقل مقدار سیمان نباید کمتر از 310 kg/m^3 باشد و در مورد سیمان عادی نباید کمتر از 350 kg/m^3 باشد.
- ۲- زمانی که ترکیبات بار در نظر گرفته می‌شود، تنش مجاز را می‌توان مطابق جدول ۵-۱ افزایش داد.

فصل ۵

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه

۵-۱- تفکر پایه در طراحی

طراحی لرزه‌ای ساختمان در تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه باید مطابق با موارد ذکر شده در این فصل و آخرین ویرایش استاندارد ۲۸۰۰ صورت گیرد.

در طراحی تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه بایستی به جایگاه آن در سامانه مربوطه و ویژگی‌های کلی این سامانه‌ها توجه گردد. در بارگذاری لرزه‌ای، اهمیت این تأسیسات با توجه به نقش آن‌ها در سامانه و بحران‌های احتمالی ناشی از آسیب آن‌ها تعیین می‌گردد.

- سازه ساختمانی در تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه باید به «ساختمان‌های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد» طبقه‌بندی شوند.
- ساختمان‌های مورد استفاده برای ترمیم اضطراری یا نگهداری مواد شیمیایی خطرناک، باید به «ساختمان‌های با اهمیت بسیار زیاد» طبقه‌بندی شوند.
- سازه‌هایی ساده از قبیل گاراژ، انبار، پله مجزا از بدنه اصلی، باید به «ساختمان‌های با اهمیت متوسط و کم» طبقه‌بندی شوند.

۵-۲- ترکیب بارها برای طراحی

مشخصات فنی مصالح و مواد مورد استفاده در طراحی بایستی مطابق مباحث مربوطه در مجموعه مقررات ملی ساختمان کشور و سایر نشریات مربوطه معتبر در ایران باشد.

اهم مصالح بکار رفته، بتنی و فولادی می‌باشد که از مباحث نهم و دهم مقررات ملی ساختمان ایران برای آن‌ها استفاده می‌گردد. استفاده از استانداردها و آئین نامه‌های مربوطه خارجی مندرج در این راهنما و یا سایر موارد با موافقت کارفرما بلامانع می‌باشد.

مقاومت و تنش مجاز مناسب باید بر اساس نوع ترکیب بار تعیین شود.

جدول (۵-۱) ترکیب بار و نوع تنش را نشان می‌دهد.

در طراحی، بدترین حالت ترکیب بار باید در نظر گرفته شود.

جدول ۵-۱ ترکیبات بار و نوع تنش حاصله

نوع تنش مجاز	ترکیب بار		
	مناطق برفی	مناطق معمولی	شرایط
تنش مجاز معمول	بار ثابت + بار زنده	بار ثابت + بار زنده	معمولی
	بار ثابت + بار زنده + 0.7 بار برف		
۱۵۰ درصد تنش مجاز معمول	بار ثابت + بار زنده + بار برف	بار ثابت + بار زنده + بار برف	برف
	بار ثابت + بار زنده + بار باد	بار ثابت + بار زنده + بار باد	طوفانی
	بار ثابت + بار زنده + بار باد + 0.35 بار برف		
	بار ثابت + بار زنده + بار لرزه‌ای + 0.35 بار برف	بار ثابت + بار زنده + بار لرزه‌ای	زلزله

۳-۵- مخازن در داخل ساختمان

در تصفیه خانه‌ها، مخازن متنوع ممکن است در داخل ساختمان آنها و حسب مورد در طبقات مختلف قرار گرفته باشند. با توجه به پیچیدگی بارگذاری لرزه‌ای مخازن داخل ساختمانی و پرهیز از عواقب آسیب آن‌ها در داخل ساختمان از ضرایب لرزه سختگیرانه و بسیار محافظه کارانه‌ای استفاده می‌شود. به این روش محافظه کارانه که در مخازن داخل ساختمان‌ها استفاده می‌شود روش ضریب لرزه محلی گفته می‌شود. این ضرایب مستقیماً در وزن مخزن ضرب شده و نیروی لرزه‌ای طراحی آن را بدست می‌دهد. ضرایب ویژه طراحی لرزه‌ای مخزن درون یک سازه ساختمانی در جدول (۵-۲) نشان داده شده است.

جدول ۵-۲ ضرایب لرزه محلی برای مخازن درون سازه ساختمانی

ساختمان ویژه		ساختمان عمومی		محل مخزن در ساختمان
مخازن مهم	مخازن معمولی	مخازن مهم	مخازن معمولی	
$2/0$	$1/5$	$1/5$	$1/0$	طبقات بالایی و پشت بام
$1/5$	$1/0$	$1/0$	$0/6$	طبقات میانی
$1/5$	$1/0$	$1/0$	$0/6$	طبقه همکف و زیرزمین

ساختمان ویژه، ساختمانی است که برای مقاصد ویژه و حساس استفاده شده و در صورت آسیب، احتمال تلفات زیاد و آلودگی زیست محیطی وجود داشته باشد.

۴-۵- سازه مرکب

سازه مرکب، متشکل از شبه‌سازه و سازه ساختمان است. سازه مرکب در تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه باید شرایط سازه عمرانی و آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای سازه ساختمانی را ارضا کند.

ساختمان تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه نسبت به مخازن مرتبط با خود می‌تواند یکی از حالات زیر را داشته باشد:

۱- سازه مخزن با طاق دویل

۱-۱- سازه ساختمانی بر روی سازه (شبه سازه) منبع/ مخزن گذاشته می‌شود.

۱-۲- سازه منبع/ مخزن با سقف دو لایه

۲- ساختمان شامل تأسیسات مخزن در درون خود.

۱-۲- تأسیساتی که حاوی سازه مخزن هستند، نظیر حوضچه ماسه در بالای زمین یا در زیرزمین طبقه

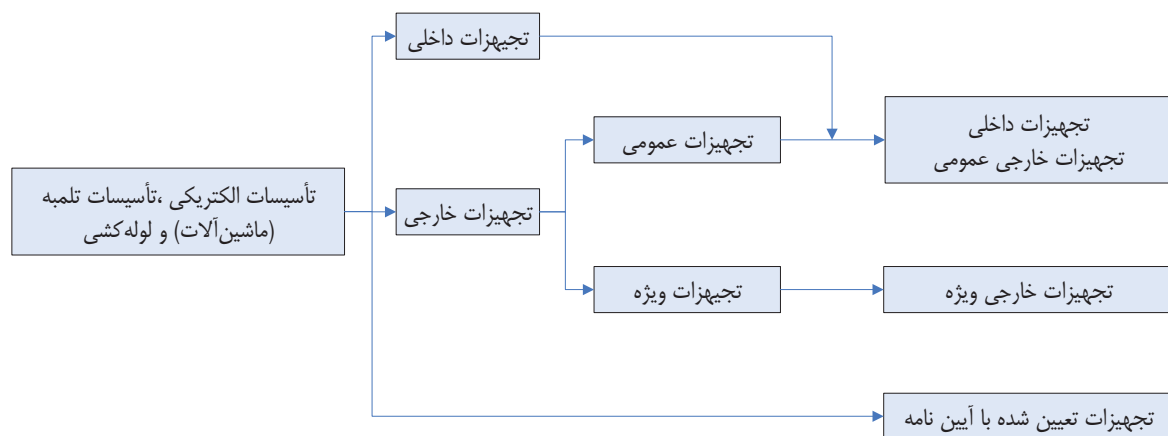
۲-۲- ساختمان حاوی مخازن (اگر مخزن کوچک باشد، می‌تواند به سازه ساختمان طبقه‌بندی شود)

۵-۵- تأسیسات الکتریکی، تأسیسات (ماشین‌آلات) تلمبه و لوله‌کشی

۵-۵-۱- تعریف تأسیسات

عملکرد تأسیسات الکتریکی، (ماشین‌آلات) تلمبه‌خانه و لوله‌کشی باید با سازه‌های شبکه فاضلابی که به آن متصل هستند سازگاری داشته باشد.

طبقه‌بندی تأسیسات مطابق با شکل (۵-۱) می‌باشد.



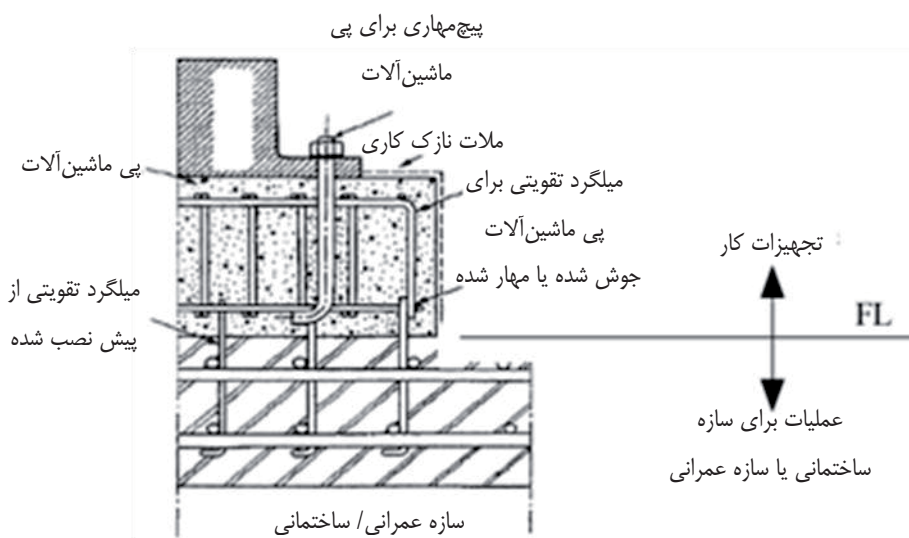
شکل ۵-۱ طبقه‌بندی تأسیسات

- برای «تجهیزات داخلی و تجهیزات خارجی عمومی»، روش شبه استاتیکی به کار برده می‌شود.
- «تجهیزات خارجی ویژه»، برای سطح خطر ۲- زلزله، باید طراحی شکل‌پذیر به کار برده شود و مراحل آن سازگار با سازه عمرانی، سازه ساختمان و سازه مرکب باشد.
- در طراحی لرزه‌ای، به عنوان یک شرط اولیه فرض شده که ساختمان عمرانی و سازه مرکب، عملکرد مورد نیاز را برآورده می‌کند.
- به غیر از ارتعاش ناشی از انتشار موج، روان‌گرایی و تلاطم مایع داخلی باید در نظر گرفته شود.

۵-۵-۲- مه‌ار تأسیسات

۵-۵-۲-۱- مه‌ار و تکیه‌گاه ماشین‌آلات

- ۱- تجهیزات باید به طور مناسبی به سازه یا پی، ثابت یا محکم شوند.
 - ۲- ملاحظات مربوط به لغزش، واژگونی یا شکست به انضمام اقدامات پیشگیرانه مرتبط باید در مراحل طراحی و ساخت در نظر گرفته شود.
 - ۳- پی تجهیزات باید بار را به شکل مطمئن از تجهیزات داخلی و خارجی به زمین انتقال دهد.
- پی بتنی ماشین‌آلات باید به سازه عمرانی / ساختمانی با استفاده از پیچ‌مه‌اری، میل‌گرد و سایر موارد، مه‌ار شود. (به شکل (۵-۲) مراجعه شود)



شکل ۵-۲ مثال تکیه‌گاه مه‌اری در پی بتنی

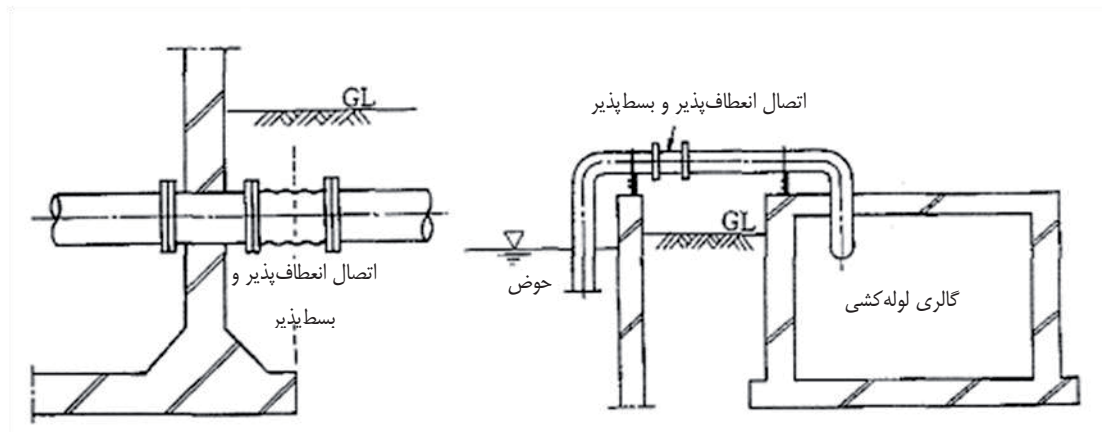
دستگاه عایق ارتعاش نصب شده در سازه نگهدارنده، باید به مانع حرکتی برای جلوگیری از لغزش تجهیز شود. پی ماشین‌آلات سنگین، نظیر ژنراتور بهتر است که با سازه عمرانی / ساختمانی هم‌زمان ساخته شود.

۵-۵-۲-۲- پایه و تکیه‌گاه مه‌اری برای لوله‌کشی

- در مورد لوله‌های تأسیساتی در تصفیه و تلمبه‌خانه بایستی موارد زیر مورد توجه قرار گرفته و در طراحی ملحوظ شوند:
- از شکست، یا ترک خوردگی لوله‌کشی جلوگیری شود.
 - از به وجود آمدن بار بر روی لوله‌کشی ناشی از تغییر مکان نسبی تأسیسات باید ممانعت گردد.
 - از به وجود آمدن بار ناشی از نشست پی اجتناب شود.

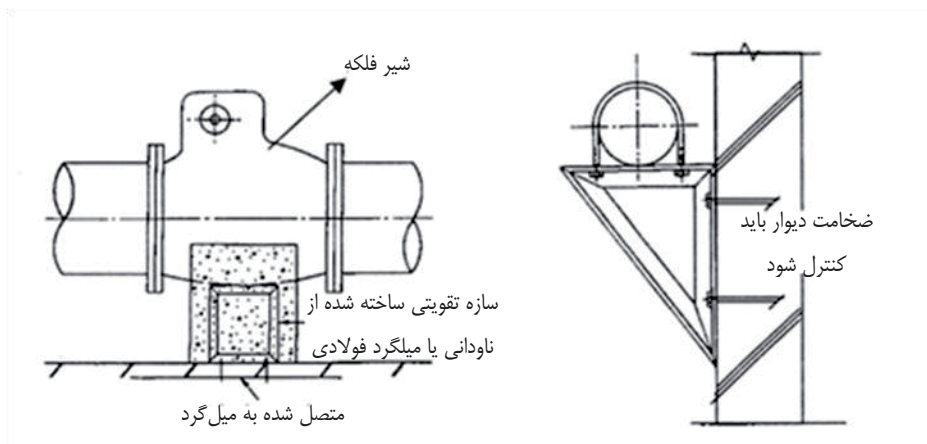
۱- قسمت نگهداری شده توسط پی‌های مختلف

برای لوله‌کشی واقع بر پی‌های مختلف یا منتهی به قسمت مدفون باید از اتصال انعطاف‌پذیر و انبساطی استفاده شود (شکل ۵-۳).



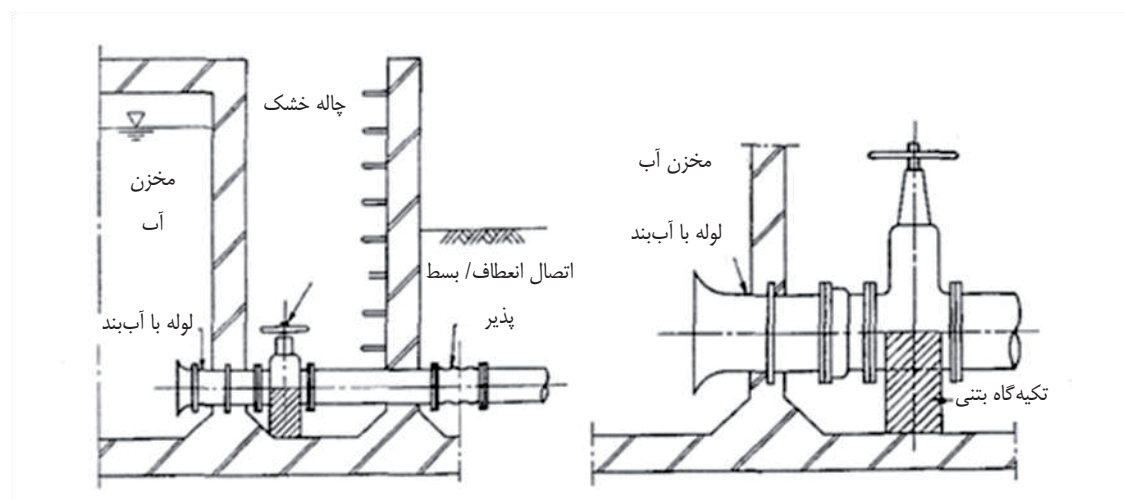
شکل ۵-۳ مثال اتصال انعطاف پذیر

- ۲- بهتر است لوله کشی بجای مهار توسط یک پی مجزا، به سازه اصلی متصل شود.
 برای قسمت‌های سنگین نظیر شیرفلکه بهتر است که از پی مجزا استفاده شود.
 ۳- از آسیب اعضای اصلی باید جلوگیری شود.



شکل ۵-۴ مثال مهار کردن اعضای تکیه گاهی

- ۴- در مواردی که لوله کشی از دیوار منبع یا مخزن عبور می‌کند، باید از لوله آببندی شده برای جلوگیری از نشت استفاده شود. توصیه می‌شود در قسمت بیرونی دیوار برای جلوگیری از نشت، شیرفلکه متصل به منبع در یک چاهک خشک نصب شود (شکل ۵-۵).

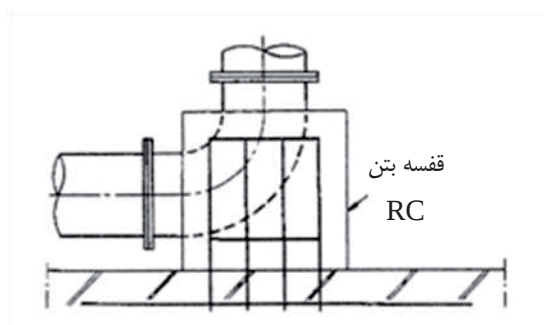


شکل ۵-۵ مثال نفوذ به دیوار مخزن/منبع

۵- در مورد لوله‌های چدن نشکن، توصیه می‌شود در قسمت‌های مستقیم لوله برای جذب جابه‌جائی‌ها از اتصالات مکانیکی و در نزدیکی تجهیزات یا قسمت‌های خمیده به منظور جلوگیری از بیرون زدن لوله از اتصال فلنجی و آب‌بند مخصوص، استفاده گردد.

۶- لوله‌های قطور بهتر است حتی‌الامکان در قسمت پایین نصب و در راستای افقی مهار شوند.

۷- تکیه‌گاه‌ها در جهت محوری باید در نظر گرفته شود. در لوله نصب شده به سمت بالا، در محل انحناء، باید مقاومت لوله در برابر تحمل بارهای قائم کافی باشد (شکل ۵-۶).



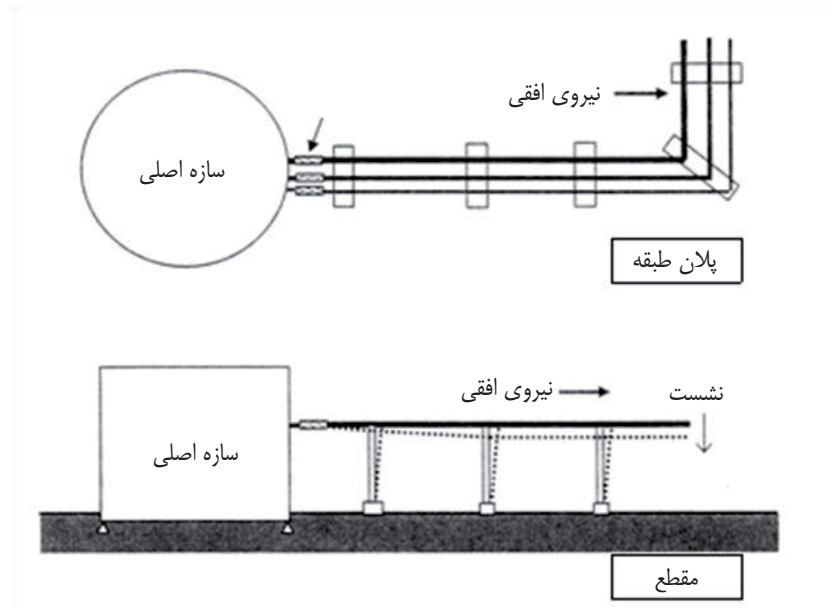
شکل ۵-۶ مثال تکیه‌گاه بار قائم

۸- لوله‌کشی هوایی به وسیله قاب فولادی و پی بتنی آن نگهداری می‌شود.

ممکن است به علت نشست نامتقارن بین سازه اصلی و تکیه‌گاه لوله، لوله‌کشی دچار آسیب شود.

برای مقابله با جابه‌جایی نسبی ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی در زمان زلزله استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر و انبساطی اجتناب‌ناپذیر است.

در طراحی لرزه‌ای، باید تمرکز تنش در قسمت کنج لوله‌کشی در راستای افقی در نظر گرفته شود (شکل ۵-۷)



شکل ۵-۷ نحوه نشست نامتقارن

۵-۳-۲-۵- پیچ مهار

- ۱- تمامی تجهیزات باید توسط پیچ مهار یا دیگر وسایل به سازه متصل و مهار شوند.
- ۲- در صورت استفاده از جداساز لرزه‌ای نظیر فنر یا لاستیک، باید متوقف کننده لرزه‌ای نصب شود.

۵-۳-۵- ماشین‌آلات

۵-۳-۱- ملاحظات کلی

- در طراحی لرزه‌ای تراز ایمنی ماشین‌آلات باید با سازه‌های عمرانی و ساختمانی سازگار باشد.
- با توجه به احتمال آسیب به عملکرد ماشین‌آلات در اثر قطع برق یا از کار افتادن منبع خنک کننده، سیستم پشتیبان باید در نظر گرفته شود.
- باید خطرات ثانویه برای محیط زیست در اثر نشت مواد خطرناک ذخیره شده، مد نظر طراح قرار گیرد.

۵-۳-۲- تأسیسات اصلی تلمبه‌خانه

- تراز ایمنی تأسیسات اصلی تلمبه‌خانه و تجهیزات وابسته به آن، باید برای حفظ عملکرد لازم، در نظر گرفته شود.
- محل تأسیسات اصلی تلمبه‌خانه باید با در نظر گرفتن عمق آب و اقدامات پیشگیرانه آن نظیر پمپ زه‌کشی کف، طراحی شود.
- برای حفظ عملکرد باید روند طراحی با در نظر گرفتن حجم کارایی دو برابر حاضر انجام شود.

۱- تأسیسات اصلی تلمبه باید عملکرد خود را در زمان قطع برق و از کار افتادن منبع آب همراه با تجهیزات پشتیبان برق نظیر ژنراتور برق اختصاصی حفظ نمایند.

۲- معمولاً اتاق تلمبه در تراز پایینی سامانه فاضلاب قرار دارد.

۳- در اتاق، تلمبه و تجهیزات الکتریکی متصل به آن باید در بالاترین تراز ممکن نصب شوند.

۵-۳-۳- تأسیسات حوضچه ماسه

- ۱- موتورها و توربین‌ها برای حفظ عملکرد در شرایط بالا آمدن تراز آب هنگام سیل، باید در بالاترین وضعیت نصب شوند.
- ۲- باید برای جلوگیری از خرابی دستگاه‌هایی نظیر قفسه شن‌کش، چرخ بالاکش و تلمبه ماسه و غیره، تجهیزات قطع اضطراری با لرزه‌نگار و پیشگیری از خارج شدن از خط، نصب شوند.
- ۳- پی قسمت نقاله و قیف باید برای بارهای لرزه‌ای و متحرک طراحی شود.

۵-۳-۴- تأسیسات تصفیه

- ۱- جابه‌جایی درز انبساطی سازه عمرانی باید برای تأسیسات تصفیه در نظر گرفته شود.
 - ۲- اثر تلاطم باید در طراحی ملحوظ گردد.
 - ۳- تمهیدات مقابله برای هجوم آب درون گالری لوله، باید پیش بینی شود.
- در لجن‌گیرهای زنجیری، به خاطر تلاطم مایع، انحناء و ضعف زنجیر باید حداقل باشد.
 - از قطع کننده اتوماتیک نیز باید استفاده گردد.
 - پیچ‌های مهار ریل بایستی به آرماتورهای اصلی یا اضافی مهار گردند.
 - لجن‌زدای معلق باید در مقابل ارتعاش و تلاطم، مهار محکمی داشته باشد.
 - از خط خارج شدن لجن‌زدای ریلی باید در نظر گرفته شود.
 - در گالری لوله، حداقل باید دو تلمبه دو طبقه (اصلی و یدکی) نصب و یک گالری به چندین بلوک تقسیم شود.

۵-۳-۵- تأسیسات آبرسانی و سوخت رسانی

در مواقع از کار افتادگی تأسیسات آبرسانی یا قطع برق شبکه شریان‌های حیاتی، باید آب و سوخت برای تلمبه اصلی و ژنراتور برق داخلی تأمین شود.

۵-۳-۶- تأسیسات فراوری لجن

باید از حوادث ثانویه ناشی از نشت گاز قابل اشتعال، از لغزش یا واژگونی تأسیسات جلوگیری شود. برای مقابله با حوادث ثانویه احتمالی باید از لرزه‌نگار و شیر قطع خودکار استفاده نمود.

۵-۳-۷- تأسیسات فراوری لجن با ظرفیت بالا

تأسیسات فراوری لجن با ظرفیت بالا باید، حجم زیادی از لجن که از مجموع چندین تصفیه‌خانه بدست می‌آید، را فرآوری کند. اقدامات پیشگیرانه منظمی باید برای موارد زیر در نظر گرفته شود.

۱- خط انتقال لجن

۲- سیستم حفاظ موقت
۳- سیستم انتقال تصفیه و فرآوری اضطراری

۱- اقدامات لازم برای خط انتقال لجن

۱-۱- ساخت دو خط اصلی

۱-۲- ساخت دوراهی خطه لوله حلقوی

۱-۳- نصب مسافت سنج

۲- اقدامات لازم برای سیستم حفاظ موقت

محل حفاظ موقت باید در تأسیسات زیر ساخته شود.

۲-۱- مخزن راکتور

۲-۲- مخزن ته‌نشینی اولیه

۲-۳- مخزن آب بارندگی

۲-۴- فضای راکد اتاق رسوب

۳- اقدامات لازم برای انتقال اضطراری

برای مواردی که تصفیه‌خانه فاضلاب، عملکرد خود را از دست می‌دهد، باید سیستم‌هایی برای انتقال لجن آماده شود.

۵-۵-۴- تأسیسات برق

۵-۵-۴-۱- ملاحظات عمومی

۱- برای جلوگیری از لغزش، واژگونی یا شکست، تجهیزات باید به طور محکم به سازه اصلی مهار شوند.
۲- باید تمهیدات لازم در مقابل غوطه‌ور شدن در آب برای تأسیسات برقی، در نظر گرفته شود.
۳- باید منابع تأمین برق اضطراری در نظر گرفته شود.
۴- باید از عملکرد نادرست رله حفاظتی در اثر حرکات لرزه‌ای، جلوگیری شود.
۵- اگر احتمال خرابی‌های ثانوی وجود داشته باشد، باید دستگاه‌های قطع اضطراری به همراه لرزه‌سنج نصب شوند.

اگر چنانچه ارتفاع از عرض تجهیز بزرگ‌تر باشد، قسمت‌های فوقانی تجهیز باید به سازه متصل گردند.

تراز محل نصب تأسیسات حمل و نقل، تأسیسات توزیع و تأسیسات مولد برق (در حالت آماده به خدمت) باید در برابر تراز

شناوری آب مد نظر قرار گیرند.

دیوار مقابله با سیل نیز باید در نظر گرفته شود.

این بند شامل مواردی همچون سیستم دریافت برق شامل واحد دریافت، واحد تولید (آماده به خدمت)، تجهیزات برقی با کاربری

بی‌وقفه، منبع تغذیه DC و مانند آن، نوعی از سیستم دریافت برق مانند شبکه دریافت درجا، خط واحد، خط دوتایی و مانند آن

می‌باشد. برای تأسیسات اضطراری، منبع برق باید برای استفاده انحصاری آماده شود. دستگاهی که دستی کار کند بهتر است که

آماده‌سازی شود. خط پشتیبان و اصلی باید از همدیگر مجزا باشند. چنانچه مهیا کردن تأسیسات برق اضطراری مقدور نباشد، باید از مولدهای قابل حمل استفاده گردد.

فروپاشی رله حفاظت ممکن است باعث بالای ثانوی نظیر نشت گاز مضر، گاز قابل اشتعال، آتش‌سوزی و غیره گردد. برای پیشگیری از عملیات کاذب، لازم است به ملاحظات زیر توجه شود.

برای رله مکانیکی؛

- نصب نقطه تماس لرزه‌ای
- افزایش لرزه‌بین
- افزایش زمان تأخیری برای عملیات رله
- ملاحظات برای ویژگی‌های ارتعاش

برای رله الکتریکی؛

- افزایش انواع مختلف رله
- نصب اتصال قطبی نوع لرزه‌ای
- نصب رله بدون حرکت

لرزه‌بین واحد کنترل معمولاً دارای شتاب سنج است. شتاب سنج حداقل در دو جهت توصیه می‌شود. منبع برق اضطراری نیز توصیه می‌شود.

۵-۴-۲- تأسیسات انتقال

در واحد فاضلاب، تأسیسات ترانسفورماتور ولتاژ بالا باید بر اساس مشخصات تأسیسات ولتاژ بالا طراحی شوند.

در این رابطه موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- فروپاشی باس ناشی از جابه‌جایی تأسیسات
- سازه تأسیسات و پی آن به صورت یکپارچه ساخته شود.
- اثر شل شدن برای سیم‌های هوایی ملحوظ گردد.
- برای فواصل کوتاه‌تر، میله هادی انعطاف پذیر استفاده شود.
- وسیله جذب پیچش از ایزولاتور به باس تکیه‌گاه

۵-۴-۳- تأسیسات توزیع

۱- در سیستم فاضلاب صفحه کلید برق در محفظه باید به کار برده شود.

۲- داخل صفحه کلید، انواع گوناگون وسایل با خاصیت ارتعاشی قرار داده شده که مقاومت کافی برای آن‌ها باید در نظر گرفته شود.

۳- در تأسیسات با ولتاژ بالا صفحه کلید با مقاومت لرزه‌ای باید استفاده شود.

۴- برای غلاف لوله یا تکیه‌گاه کابل برق طراحی لرزه‌ای باید انجام شود.

-۱

- ۱-۱- صفحه سوئیچ ضد زلزله باید دارای صفحه و قاب مقاوم همراه با رله ثابت باشد.
- ۱-۲- جعبه صفحه کلید برق باید توسط پیچ مهارى به شکل مناسب و به طور محکم به سازه متصل شود.
- ۱-۳- خازن‌ها باید به طور محکم به دستگاه‌های نگه‌دارنده در درون جعبه مهار شوند.
- ۱-۴- زمانی که یک رله، کلید و غیره، به در صفحه کلید متصل است، باید کاملاً محکم شود.
- ۱-۵- کابل درون جعبه باید به طور محکم و با حداقل دهانه به قاب مهار شود.
- ۱-۶- تجهیزات کشویی باید متوقف‌کننده مناسبی داشته باشند.
- ۱-۷- در طبقات با دسترسی آزاد، قاب صفحه کلید باید به بتن کف مهار شود. اگر بر روی طبقه با دسترسی آزاد قرار داشت، باید با تکیه‌گاه مهارى تقویت گردد.
- ۱-۸- تجهیزات توزیع باید ضوابط بخش برق را رعایت کند.

-۲

- ۲-۱- تغییر مکان زمین در کابل زیرزمینی باید به وسیله لوله انعطاف‌پذیر PE، لوله فولادی محافظ تلسکوپی، اتصال انبساطی و غیره جذب شود.
- ۲-۲- باید در دسترسی‌ها و انتهای کابل، خم در نظر گرفته شود.
- ۲-۳- برای جلوگیری از تنش باید انتهای کابل به طور محکم مهار شود.
- ۲-۴- برای جلوگیری از ارتعاشات آزاد، فاصله بین تکیه‌گاه‌ها باید تا جای ممکن کوتاه باشد.
- ۲-۵- برای قفسه کابل باید مهاربند یا اتصال انبساطی در فاصله‌های مناسب نصب شود. کابل نباید به دور از ساختمان یا انتهای لوله متصل شده باشد.
- ۲-۶- طول اضافی برای اتصال به زمین باید تدارک دیده شود. قسمت اتصال برای الکتروود زمینی باید مقاومت کافی در مقابل برش را داشته باشد.

۵-۵-۴- تأسیسات نظارت و کنترل عملیات

- ۱- نوع تأسیسات برای نظارت و کنترل عملیات، به تصفیه‌خانه و تلمبه‌خانه (مقیاس، روند عملیات و نوع ماشین‌آلات) بستگی دارد.
- ۲- در نظارت و عملیات کنترل، دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری حیاتی هستند، بنابراین باید ملاحظاتى برای زلزله در فازهای برنامه‌ریزی و ساخت در نظر گرفته شود.

-۱

- ۱-۱- بهتر است سامانه کنترل اتوماتیک به صورت محلی در تمام قسمت‌های سامانه استفاده شود. لیکن همه به کنترل مرکزی مرتبط بوده و قضاوت و صدور دستور نهایی بایستی توسط مرکز کنترل صورت پذیرد.
- ۱-۲- در موارد نظارت متمرکز، تأسیسات با اهمیت نظیر پمپ اصلی باید دارای تأسیسات پشتیبانی باشند.

۲-

۱-۲- بهتر است از وسایل اندازه گیری پایشی یک یا چندمنظوره با انواع متنوع، برای پایش متغیرها در تأسیسات مهم نظیر سطح آب پمپ استفاده نمود.

۲-۲- بدنه تأسیسات باید صلب بوده و به طور محکم مهار شده باشد.

۳-۲- زمانی که ترانسدوکتور روی لوله نصب شد، باید از لوله صلب استفاده و آن را به سنگ کف یا سازه به طور محکم مهار نمود.

۴-۲- باید برای کابل‌ها، طول اضافی تدارک دیده شود. قسمت متصل باید مقاومت کافی داشته باشد.

۵-۲- در صورت شکست حسگر، برای جلوگیری از حوادث ثانوی، باید اقدامات ایمن در نظر گرفته شود.

۵-۵-۴-۵- ملاحظات در مورد ژنراتور برق اختصاصی

۱- برای ژنراتورها، از محصولات قابل اطمینان و سازگار با مقررات باید استفاده شود.

۲- قبل از استفاده، باید ظرفیت باربری، نوع بار (سیستم روشنایی، موتور و غیره)، روش بهره‌برداری مشخص گردد.

۳- بهتر است از هر دو سیستم قطع خودکار و قطع دستی منبع برق استفاده نمود.

۱-۱- برای بارهای ضروری در حین زلزله، بار تأسیسات تصفیه ساده و برق تأسیسات ضدغفونی باید احتساب شود.

کاهش یا توقف دور موتور و اضافه بار موقت نیز باید لحاظ گردد.

۲-۱- در حالت کلی، ژنراتورهای متعدد ترجیح داده می‌شوند. نوع ژنراتور (توربین گازی یا دیزلی) باید از نظر قیمت،

اندازه، وزن، نوسان، گاز خروجی و غیره در نظر گرفته شود.

۳-۱- برای لوله سوخت باید از لوله انعطاف‌پذیر استفاده شود تا بتواند در مقابل جابه‌جایی بین سازه و زمین یا نشست

زمین مقاومت کند.

جدول ۳-۵ نمونه تأسیسات نیازمند ژنراتور اختصاصی

تأسیسات	وسیله مربوطه
حوضچه ماسه	دریچه درون‌ریز، دستگاه‌های شن‌کشی و تخلیه و بارگیری نخاله سنگ.
تأسیسات تلمبه	تلمبه فاضلاب، تلمبه فاضلاب ناشی از بارندگی، تجهیزات کمکی تلمبه
حوضچه ته‌نشینی	وسیله شن‌کشی و جمع‌آوری لجن. تلمبه بازگردان لجن
تجهیزات گندزدایی	تأسیسات تزریق هیپروکلریت سدیم
تأسیسات دفع لجن	کمپرسور هوا برای تجهیزات- تلمبه انتقال لجن
تأسیسات استفاده مجدد از آب عمل‌آوری شده	پمپ آب عمل‌آوری شده، پمپ فیلتراسیون ماسه، میکروصفی
ژنراتور اختصاصی	تجهیزات کمکی ژنراتور، هواکش
دیگر تأسیسات	روشنایی اضطراری، برق برای عملیات کمکی، منبع تأمین برق DC، تأسیسات آتش‌نشانی، تلمبه ذخیره، تلمبه زه‌کش کف، دستگاه تهویه مطبوع

۵-۵-۴-۶- تأسیسات منبع تأمین برق ویژه

سیستم تأمین برق DC (جریان مستقیم) و تجهیزات برق بدون وقفه دو نوع از تأسیسات تأمین برق ویژه هستند. در مورد باتری ذخیره آن‌ها، باید از فروپاشی، افتادن، نشت الکترولیت باتری، آسیب ترمینال و غیره، جلوگیری شود.

نکات زیر باید برای باتری ذخیره در نظر گرفته شود:

- ۱- از باتری آب‌بندی شده باید استفاده شود.
- ۲- جداکننده لاستیکی بین باتری‌ها و بین باتری و قالب نگه‌دارنده جاسازی گردد.
- ۳- دسته باتری چندلایه برای پایداری در هنگام زلزله مناسب نمی‌باشد.
- ۴- قالب نگه‌دارنده باید به طور محکم به سازه مهار شود.
- ۵- اگر باتری درون محفظه صفحه کلید باشد، باید از مانع حرکتی مناسب استفاده شود.
- ۶- در بیشتر مسیرهای مستقیم کابل بالا آمده از کف باید به قفسه با طول اضافی و سپس به ترمینال باتری مهار گردد.

فصل ۶

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

لوله کالورت‌های فاضلاب

۱-۶- روند طراحی لرزه‌ای

۱- طراحی و کنترل تأسیسات لوله کالورت باید به صورت زیر انجام شوند.

۱-۱- در طراحی لرزه‌ای خطوط، روش تنش مجاز باید برای سطح خطر-۱ به کار برده شود.

۱-۲- روش طراحی شکل پذیر نیز برای سطح خطر-۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- مبانی طراحی تأسیسات لوله کالورت

برای تأمین عملکرد مورد نیاز در برابر زلزله، بدنه مجرا باید انعطاف‌پذیر بوده تا بتواند نیروی لرزه‌ای را تا حد امکان در طول بدنه به شرح زیر پخش کند:

۲-۱- در قسمتی که نیروی کششی اعمال می‌شود، سازه باید انعطاف‌پذیر بوده و یا اجازه لغزش داشته باشد.

۲-۲- در قسمتی که نیروی فشاری اعمال می‌شود، ظرفیت جذب ضربات ناشی از حرکات فشاری تأمین شود.

۲-۳- قسمتی که لنگر خمشی اعمال می‌شود باید انعطاف‌پذیر باشد.

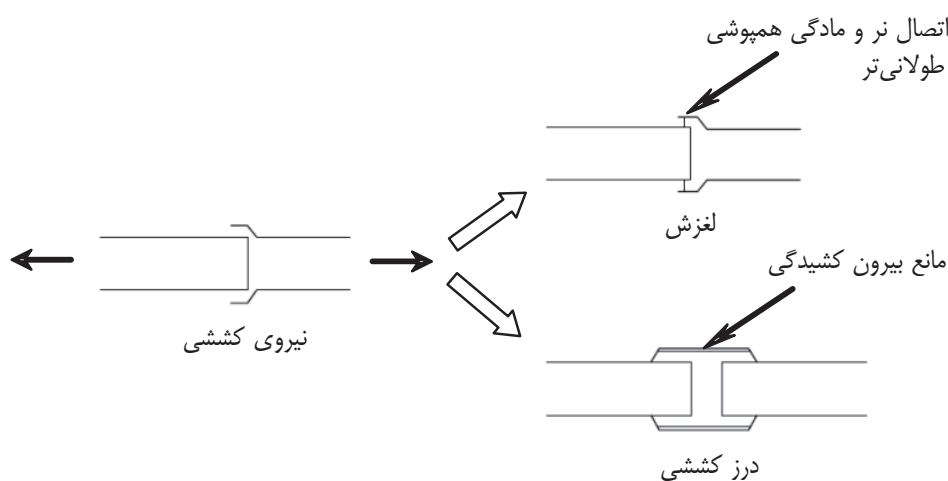
۲-۴- قسمتی که نیروی برشی اعمال می‌شود باید به طور محکم متصل بوده و یا اجازه لغزش داشته باشد.

۲-۵- در برابر نیروی شناوری، نشست یا گسترش جانبی در اثر روان گرایي باشد، باید انعطاف‌پذیری لازم تأمین و تمهیدات مقابله در برابر روان گرایي در آن به کار برده شود.

۱- برای بهره برداری بدون وقفه، تأسیسات لوله کالورت باید برای واکنشی تقریباً الاستیک در سطح خطر-۱ طراحی شوند. در حالت بهره برداری با حداقل وقفه، کالورت باید بتواند به سرعت بعد از عملیات ترمیم به کار خود ادامه دهد. برای این منظور، سیستم لوله کالورت باید طوری طراحی گردد تا در سطح خطر-۲ زلزله گسیخته نگردد.

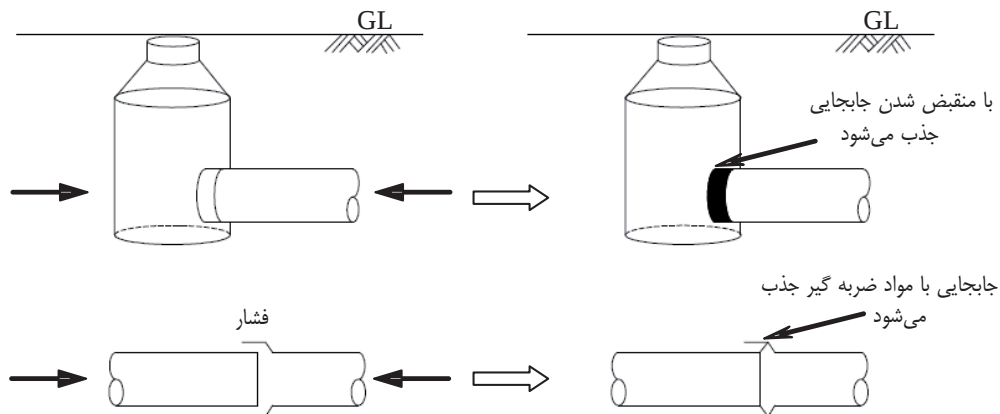
۲- در رابطه با مقابله با اثر زلزله در اتصالات کالورت و منهول

۲-۱- در قسمت اتصال که نیروی کششی عمل می‌کند، باید اجازه لغزش تا حد لازم داده شود تا برای برقراری جریان مشکلی پیش نیاید.



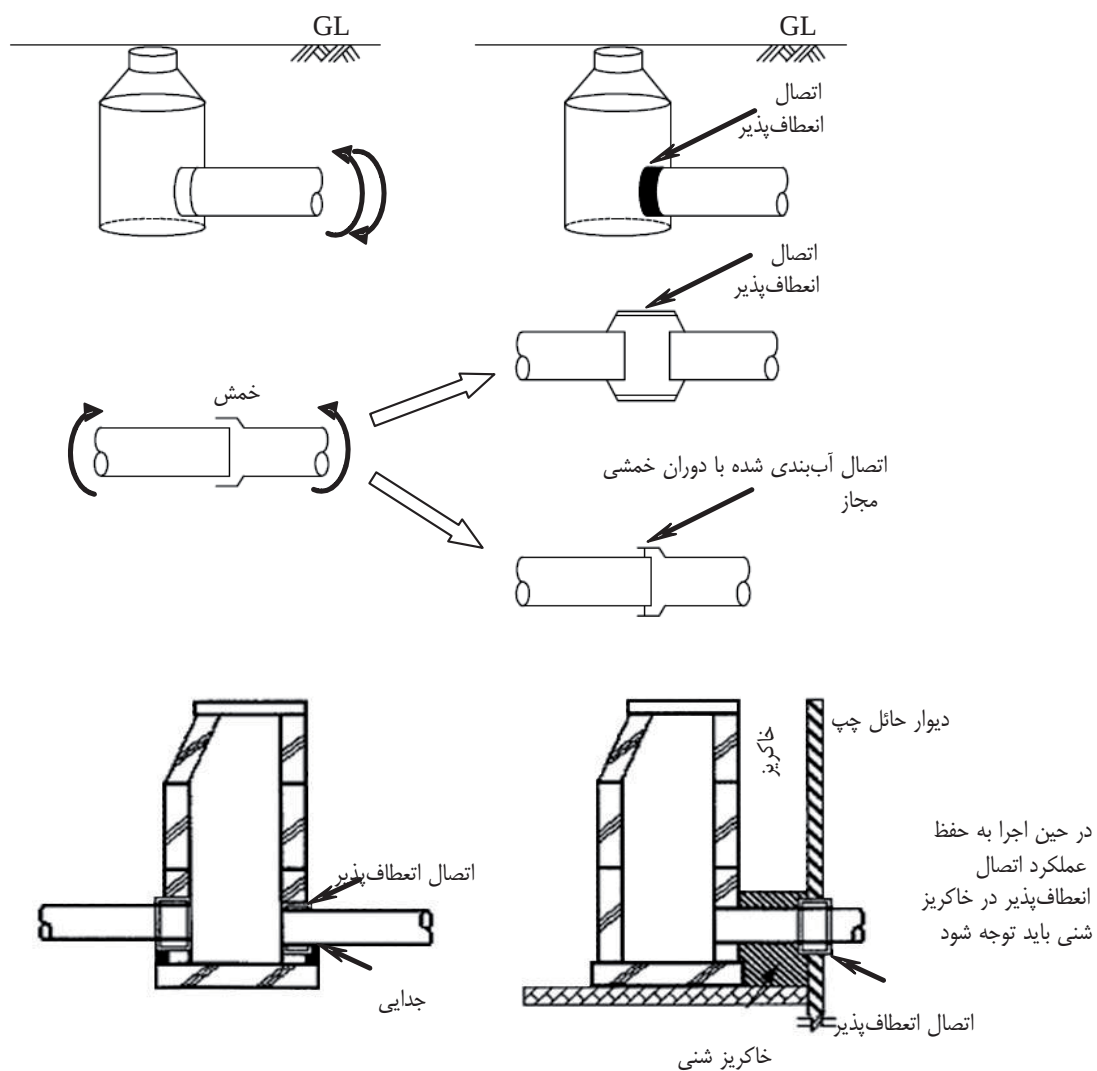
شکل ۱-۶ اتصال در کشش

۲-۲- قسمتی که نیروی فشاری عمل می‌کند باید دارای مصالح یا ساختاری باشد که ظرفیت باربری و مقاومت کافی داشته باشد.



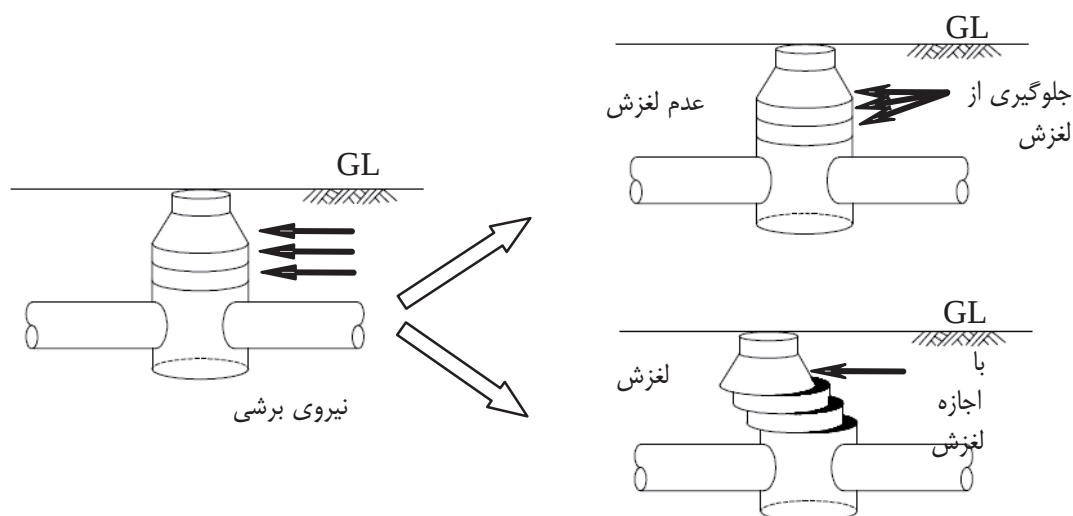
شکل ۶-۲ اتصال در فشار

۳-۲- قسمتی که لنگر خمشی عمل می‌کند باید دارای مصالح یا ساختاری باشد که انعطاف‌پذیری کافی داشته باشد.



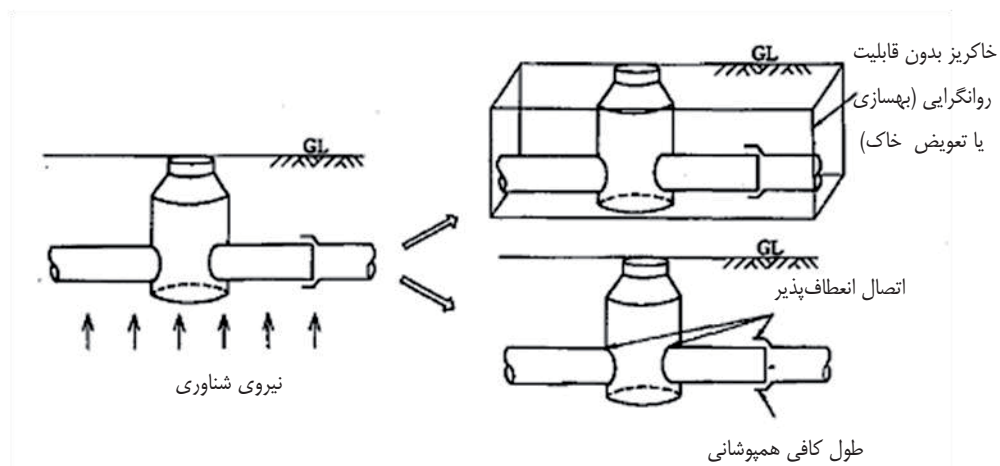
شکل ۶-۳ رفتار خمشی در اتصال

۴-۲- در محلی که نیروی برشی اعمال می‌شود سازه باید به گونه‌ای باشد که از لغزش پیشگیری نموده و یا آن را محدود کند، به‌طوری‌که از نفوذ ماسه به درون آدمرو جلوگیری شود.



شکل ۶-۴ قسمت‌های تحت اثر نیروی برشی

۵-۲- در مقابل برکنش (بالا آمدگی)، نشست یا گسترش جانبی ناشی از روان گرایی، باید از اتصال انعطاف‌پذیر و یا اتصال با طول همپوشانی زیاد و یا از بهسازی خاکریز، برای تأمین برقراری جریان مورد نیاز، استفاده نمود.



شکل ۶-۵ قسمت‌های تحت اثر نیروی شناوری

۶-۲- لوله با اتصال سرتوپی (نر و ماده)

وضعیت لوله با سرتوپی برای سطح خطر ۲- در جدول (۶-۱) توضیح داده شده است.

جدول ۶-۱ وضعیت مناسب هر بخش از لوله با سرتویی برای سطح خطر-۲

قسمت لوله	وضعیت مناسب
اتصال بین لوله و آدمرو	زاویه دوران و طول بیرون کشیدگی باید در محدوده‌ای باشد تا درون‌ریزش خاک و ماسه اتفاق نی‌افتد.
اتصال بین لوله‌ها	زاویه دوران و طول بیرون کشیدگی باید در محدوده‌ای باشد تا درون‌ریزش خاک و ماسه روی ندهد.
بدنه اصلی لوله	شدت تنش کلیه مصالح لوله باید در محدوده حالت حد نهایی باشد، تا لوله فرو نریزد. بایستی تدابیری اتخاذ گردد تا روان گرایشی باعث اعمال خساراتی نگردد که باعث مختل شدن ترافیک در خیابان‌ها شود.

۶-۳- روند طراحی

۱- موارد محاسبات لرزه‌ای - اتصال بین آدمرو و لوله - اتصال بین مجاری - مقطع عرضی (صفحه عمود بر محور لوله) - مقطع طولی محوری (صفحه شامل محور لوله) - بال‌آمدگی و نشست بدنه لوله ۲- تمهیدات مقابله در برابر زلزله
--

متداول‌ترین لوله‌های مورد استفاده با اتصال‌ها سرتویی (نر و ماده) عبارتند از:

- لوله‌های بتن مسلح سانتریفوژ، لوله‌های سفالی (سرامیکی)، لوله‌های کامپوزیت پلاستیک مسلح
- لوله PVC با اتصال حلقه لاستیکی
- لوله‌های چدنی برای خطوط جریان ثقیلی با اتصالات با قابلیت حرکت (جک مانند)

جدول (۶-۲) مواردی که باید کنترل شوند را نشان می‌دهد.

بر اساس جدول (۶-۳) برای سایر خطوط، بخش طراحی شکل‌پذیر می‌تواند حذف شود.

برای محاسبه طول بیرون کشیدگی قسمت اتصال، بار زنده، تغییرات دما، نشست و سایر موارد باید به عنوان عوامل ایجاد نیروی کششی به حساب آیند.

روندنامه‌هایی که در ادامه آمده‌اند، برای لوله‌های بتن مسلح تهیه شده‌اند.

روند طراحی لرزه‌ای برای لوله سفالی (سرامیکی) شبیه لوله بتن مسلح است.

برای لوله PVC، تنش در راستای محوری (طولی) باید در بدنه کنترل شود. برای لوله‌های پلاستیکی مسلح شده با الیاف شیشه و

DCIP، تنش مقطع باید در بدنه کنترل گردد.

ضریب انتقال با توجه به جنس لوله، حرکت نسبی زمین، لوله و سطح خطر زلزله تعیین می‌گردد.

ضریب تصحیح تنش لوله باید برای اتصالات لرزه‌ای (اتصال انعطاف‌پذیر و تلسکوپی) به کار رود.

با توجه به مصالح لوله، نظیر PVC، لوله فولادی، لوله‌های پلاستیکی مسلح شده با الیاف شیشه، باید ضریب ایمنی مناسبی برای کنترل به‌کار برده شود. جدول (۴-۶) (الف و ب)) موارد لازم برای کنترل لوله با اتصال سرتوپی (نر و ماده) در خطوط انتقال اصلی را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۲ مواردی که باید کنترل شوند

موردی که باید کنترل شوند	زمین مستعد روان گرای		قضاوت		تغییرات		مقاومت در راستای محوری		مقاومت مقطع عرضی		اتصال بین لوله‌ها		اتصال بین لوله و آدم رو	
	ناشی از نشست (زمین)	ناشی از کرنش (ناشی از کرنش دائمی)	طول برون لغزش	طول برون لغزش	تند و غیره	زمین، خم و تند	طول برون لغزش	شدت تنش	ظرفیت باربری	زاویه خمیدگی	طول برون لغزش	زاویه خمیدگی	ناشی از حرکت ورودی)	ناشی از حرکت ورودی)
	طول برون لغزش	زاویه خمیدگی	طول برون لغزش	طول برون لغزش	شدت تنش	شدت تنش	کرنش لوله	شدت تنش	شدت تنش	زاویه خمیدگی	طول برون لغزش	زاویه خمیدگی	ناشی از حرکت ورودی)	ناشی از حرکت ورودی)
نوع سازه	D	D	D	A/D	D	D	D		A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	لوله بتن مسلح با فن آوری سائریفیور
	D	D	D	A/D	D	D	D		A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	لوله بتن مسلح با فن آوری سائریفیور
	D	D	D	A/D	D	D	D		A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	لوله سفالی (برای حفاری روباز)
	D	D	D	A/D	D	D	D	A/D(+)		A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	لوله PVC (حلقه لاستیکی)
	D	D	D	A/D	D	D	D			A/D(+)(x)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	لوله کامپوزیت پلاستیکی مسلح
می تواند به شرایط حذف شود.	D	D	D	A/D	D	D	D			A/D(+)(x)	A/D(+)	A/D(+)	A/D(+)	DCPI

(+): می تواند بسته به شرایط حذف شود.

(x): طراحی با فرمول‌های تقریبی

A: طراحی تنش مجاز D: طراحی شکل‌پذیر A/D: هر دو طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر باید انجام شود.

جدول ۳-۶ موارد نیازمند کنترل برای لوله با اتصال سر تویی (نر و ماده) در سایر خطوط

زمین مستعد روان گرایی $(FL \leq ۱/۰)$		قضاوت در مورد روان گرایی (مقدار FL)		تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	زمین شیب‌دار (ناشی از کرنش دائمی)	مقاومت در راستای محوری		مقاومت مقطع عرضی		اتصال بین لوله‌ها		اتصال بین لوله و آدرو	مواردی که باید کنترل شوند
						شدت تنش	کرنش لوله	شدت تنش	ظرفیت باربری	طول لغزش برون	زاویه خمیدگی برون		
طول لغزش برون	زاویه خمیدگی	طول لغزش برون	شدت تنش	کرنش لوله	شدت تنش	ظرفیت باربری	طول لغزش برون	زاویه خمیدگی برون	طول لغزش برون	زاویه خمیدگی	اتصال بین لوله و آدرو (ناشی از حرکت ورودی)		لوله بتن مسلح ساخته شده به واسطه فن‌آوری سانتریفیوژ (برای حفاری روباز)
			A								A(+) A(+)		لوله بتن مسلح با فن‌آوری سانتریفیوژ (برای فرورودن لوله در زمین با فشار هیدرونیامیکی)
			A								A(+) A(+)		لوله سفالی (برای حفاری روباز)
			A								A(+) A(+)		لوله PVC (حلقه لاستیکی)
			A								A(+) A(+)		لوله کامپوزیت پلاستیکی مسلح
			A								A(+) A(+)		DCPI

(+): می‌تواند بسته به شرایط حذف شود.

A: طراحی تنش مجاز D: طراحی شکل‌پذیر A/D: هر دو طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر باید انجام شود.

در لوله‌های با قطر کوچک مطابق با شرایط زیر، امکان حذف مراحل کنترل لرزه‌ای وجود دارد:

۱- قطر کمتر از ۷۰۰ میلی‌متر باشد.

۲- امتداد لوله در راستای افقی خطی بوده و خمیدگی تند نداشته باشد.

۳- زمین نباید دارای شرایط ویژه از قبیل شیب جغرافیایی یا مرز بین زمین نرم و سخت باشد.
توجه:

- اساساً برای طراحی لرزه‌ای، باید مقطع خاک محل مورد استفاده قرار گیرد.

- زمانی که در روش پاسخ تغییر مکان، جابه‌جایی زمین به نیروی خارجی تبدیل می‌شود، لازم است از ضریب عکس العمل افقی لایه زیرین k_h استفاده شود. این ضریب باید مطابق شرایط زمین و اندازه لوله باشد.
 k_h از روابط ۶-۱ تا ۶-۳ باید محاسبه شود (این روابط برای آدرو نیز به کار برده می‌شود).

$$k_h = k_{h0} \left(\frac{B_h}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (۱-۶)$$

$$k_{h0} = \frac{1}{0.3} \alpha \cdot E_0 \quad (۲-۶)$$

عرض معادل پی B_h برای محاسبه k_h از رابطه (۶-۳) باید تعیین شود.

$$B_h = \sqrt{B \times D} \quad (۳-۶)$$

k_{h0} : به ضریب عکس‌العمل خاک بستگی دارد که از آزمایش بارگذاری با صفحه صلب دایره‌ای به قطر ۳۰ سانتی‌متر بدست می‌آید.

E_0 : ضریب تغییر شکل زمین می‌باشد (kN / m^2)

α : اگر از مقدار N (آزمایش SPT) برای E_0 استفاده شود (مثل $E_0 = 2800N \text{ kN} / \text{m}^2$) $\alpha = 1.0$

اگر از آزمایش فشار ساده، آزمایش سه محوری برای محاسبه E_0 انجام شود $\alpha = 4.0$

B_h : عرض معادل پی (m)، عمود بر راستای بارگذاری

D : قطر در مرکز سطح (m)

B : طول مؤثر مجاری (m)، قسمتی که در آن تغییر شکل به صورت یکنواخت رخ می‌دهد.

۴- در استفاده از روش پاسخ تغییر مکان، میزان افزایش α ، برای بارگذاری کوتاه مدت نباید شامل k_h شود.

همچنین کاهش بارگذاری زمین روان گرا شده نیز نباید برای تعیین k_h در نظر گرفته شود.

۵- در مقطع قائم، شدت تنش باید برای هر دو حالت معمولی و لرزه‌ای کنترل شود.

۶- بارگذاری ناشی از فشار خاک در شرایط معمولی مطابق زیر است:

- بار زنده در نظر گرفته نمی‌شود. (هر دو روش حفاری روباز و لوله گذاری با جک هیدرولیکی)

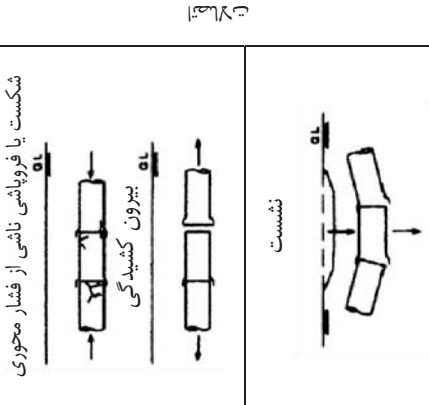
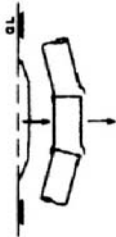
- کاهش فشار خاک ناشی از بیرون کشیدن سپر فولادی در روش حفاری روباز در نظر گرفته نمی‌شود.

- فشار خاک مربوط به تمام عرض لوله باید در نظر گرفته شود (روش حفاری روباز).
- کاهش فشار خاک باید برای روش لوله گذاری با جک هیدرولیک ملحوظ گردد.
- ۷- از فشار داخلی در جهت اطمینان صرف نظر می شود.
- ۸- پس از کنترل تنش در مقطع قائم، ضریب اطمینان مجاز باید بر اساس گشتاور موجود به وسیله مقدار استاندارد بدست آمده از مصالح مشخص گردد.
- ۹- در اتصال خمها در لوله گذاری با جک (طول برون لغزش ناشی از اجرا در قسمت خمیده) + (طول برون لغزش ناشی از زلزله) باید در محدوده مقدار مجاز باشد.
- ۱۰- در صورت وقوع روان گرایی در زمین اطراف، لوله در معرض نیروی شناوری قرار می گیرد. بنابراین لازم است که تمهیدات مقابله در برابر روان گرایی اندیشیده شود.

جدول ۶-۴-الف اقدامات ضد لرزه‌ای و روش طراحی لوله با اتصال سرتویی (لوله با اتصال نر و مادگی)

روش طراحی لرزه‌ای				نمونه‌های آسیب	محل
به وسیله نشست تعیین می‌شود	به کرنش دائمی زمین تعیین می‌شود	روش پاسخ تغییر مکان			
		طول موج	طیف‌های پاسخ سرعت		
-	-	-	0		اتصال و آرمیچر و بتن
-	-	-	-		
-	0	0	0		
-	فقط برای گسترش جانبی	-	0		
-	-	0	0		

جدول ۶-۴-ب اقدامات ضد لرزهای و روش طراحی لوله با اتصال سرتوبی (لوله با اتصال نر و مادگی)

روش طراحی لرزه‌ای					نیروی لرزه‌ای طراحی و مثال تمهیدات مقابله	نمونه‌های آسیب	محل
تعیین می‌شود	به وسیله کرنش	دائمی زمین تعیین می‌شود	روش پاسخ تغییر مکان				
			طول موج	طیف‌های پاسخ سرعت			
-	-	-	-	-	مقدار فشار محوری		نشست
-	0	0	0	0	مقدار برون‌رفت		
نشست لایه روان گرا شده	-	-	-	-	مقدار نشست	پهنسازی خاک یا اتصال نرو طول برون کشیدگی مادگی طولانی‌تر به عنوان تمهیدات مقابله	

۶-۴- روند محاسبات (روش‌ها، مدل محاسباتی و پی)

۶-۴-۱- طراحی لرزه‌ای اتصالات

طراحی لرزه‌ای اتصال باید به طور جداگانه برای اتصال آدم رو و لوله، یا اتصال لوله‌ها انجام شود. در مواردی که ساخت‌گاه شرایط خاصی از قبیل، زمین مستعد به روان گرایی، زمین بدون قابلیت روان گرایی ولی دارای شیب، خم تند در امتداد مسیر باشد، در طراحی لرزه‌ای موارد زیر کنترل می‌شود:

۱- اثراتی که باید ملحوظ شوند:

۱-۱- اثر حرکت لرزه‌ای زمین

۱-۲- اثر روان گرایی

۱-۳- اثر شیب

۱-۴- اثر خم تند

۲- اتصالاتی که باید کنترل شوند:

۲-۱- اتصال آدم‌رو و لوله

۲-۲- اتصال لوله‌ها

۱-

۱-۱- برای کنترل اثر موج، زاویه دوران و طول بیرون کشیدگی باید بررسی شوند.

۱-۲- برای کنترل اتصال لوله و آدم‌رو در برابر روان گرایی، طول بیرون کشیدگی ناشی از روان گرایی باید بررسی شود.

۱-۳- برای اتصال لوله‌ها، زاویه دوران و طول بیرون کشیدگی ناشی از روان گرایی باید کنترل گردد.

۱-۴- در زمین‌های شیب‌دار طول بیرون کشیدگی ایجاد شده به واسطه تغییر مکان دائمی زمین باید برای هر دو اتصال آدم‌رو و لوله و اتصال لوله‌ها بررسی شود.

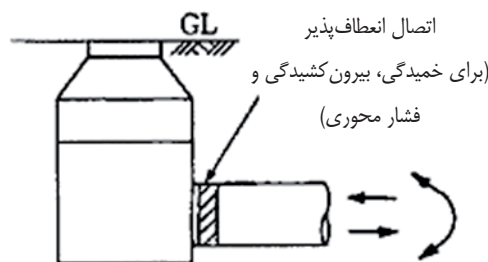
۱-۵- در امتداد مسیر با خم تند که به روش لوله گذاری با جک اجرا شده، طول بیرون کشیدگی ناشی از اثر موج باید بعد از تخمین طول آن در حین اجرا، بررسی گردد.

۲-

۲-۱- اتصال لوله و آدم رو

برای کاهش آسیب، باید از اتصالات انعطاف‌پذیر استفاده نمود.

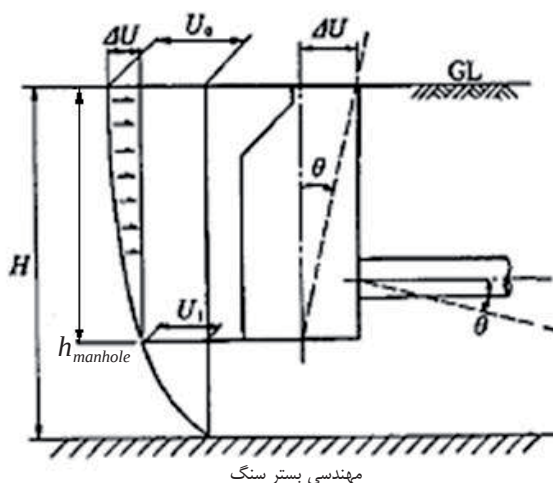
به دلیل کم بودن تغییر مکان ناشی از فشار محوری، فرض می‌شود قابلیت جریان آسیب جدی نمی‌بینید.



شکل ۶-۶ اتصال انعطاف‌پذیر

الف) زاویه دوران ناشی از اثر موج

برای تعیین زاویه دوران، صرف‌نظر از اثرات زمین، فرض می‌شود زاویه دوران آدرو و لوله با هم برابرند. زاویه دوران از روابط زیر باید محاسبه شود. (به شکل ۷-۶ مراجعه شود)



شکل ۷-۶ بارگذاری بخش اتصال

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta U}{h} \right) \quad (۴-۶)$$

$$U_h(Z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot Z}{2H}\right) \quad (۵-۶)$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(h) = U_0 - U_1$$

θ : زاویه دوران بین آدرو و لوله (زاویه دوران اتصال انعطاف‌پذیر) (rad)

$U_z(z)$: حداکثر تغییر مکان در عمق $Z(m)$

$h_{manhole}$: عمق آدرو (m)

S_v : طیف‌های سرعت طراحی (m/s)

T_s : پریود طبیعی لایه سطحی (sec)

$$T_s = 1.25 \cdot T_G$$

$$T_G = \sum_{i=1}^n \frac{4H_i}{V_{si}} \quad (6-6)$$

T_G : مقدار مشخصه زمین (sec)

H_i : ضخامت لایه i ام (m)

V_{si} : سرعت موج برشی میانگین لایه i ام (m/s). این پارامتر را می‌توان از روابط ۶-۷ و ۶-۸ نیز تعیین کرد.
برای لایه ماسه‌ای

$$V_{si} = 100 \cdot N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \quad (7-6)$$

برای لایه رسی

$$V_{si} = 80 \cdot N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \quad (8-6)$$

N_i : مقدار میانگین N لایه i ام ناشی از SPT. اگر مقدار $N_i = 0$ در نتیجه $V_{si} = 50 \text{ m/s}$

(ب) طول بیرون کشیدگی ناشی از اثر موج

طول بیرون کشیدگی لوله از آدمرو از رابطه (۶-۹) باید محاسبه شود.

$$\delta = \varepsilon_{gd} \cdot \ell \quad (9-6)$$

δ : طول بیرون کشیدگی (m)

ε_{gd} : کرنش زمین ناشی از اثر موج

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} U_h(Z) \quad (10-6)$$

L : طول موج در حالت هارمونیک (m)

$U_h(Z)$: حداکثر جابه‌جایی زمین در عمق لوله مجرا (m)

Z : عمق مرکز لوله (m)

ℓ : طول مؤثر لوله (m)

(ج) اثر روان گرایی (طول بیرون کشیدگی به علت کرنش دائمی زمین)

طول بیرون کشیدگی لوله از آدمرو از رابطه (۶-۱۱) باید محاسبه شود، که بر اساس کرنش زمین است.

$$\delta = \varepsilon_g \cdot \ell \quad (11-6)$$

ε_g : کرنش دائمی زمین مشخص شده در جدول (۶-۵)

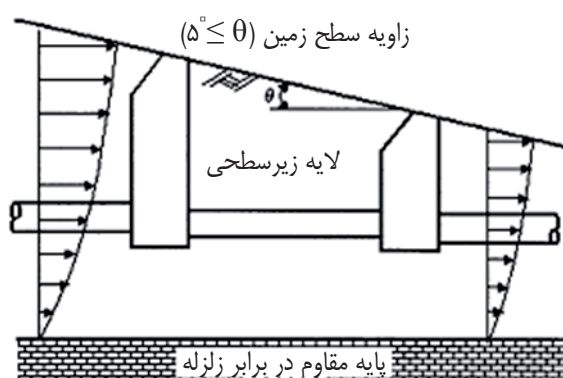
(د) اثر زمین شیب‌دار (طول بیرون کشیدگی به علت کرنش دائمی زمین)

در صورتی که لوله روی زمین شیب‌دار بدون پتانسیل روان گرایی (زمین با شیب بیش از ۵٪) و یا خاکریز نصب شده باشد باید با استفاده از رابطه (۱۱-۶) طول بیرون کشیدگی با کرنش دائمی ε_g مشخص شده در جدول (۵-۶) را بدست آورد.

ه) در صورتی که آدم‌رو در محلی با خم تند واقع شده باشد، ابتدا باید طول بیرون کشیدگی در هنگام اجرا، محاسبه شود. سپس با کم کردن آن از طول بیرون کشیدگی مجاز، کنترل بیرون کشیدگی انجام شود.

جدول ۵-۶ کرنش دائمی زمین بر حسب شرایط توپوگرافی

کرنش دائمی ε_g [%]	شرایط توپوگرافی
۱/۵	الف) زمین روان گرا شده نزدیک دیوار ساحلی (کمتر از ۱۰۰ متر از دیوار ساحلی)
۱/۲	ب) زمین روان گرا شده (۱۰۰ متر یا بیشتر از دیوار ساحلی)
۱/۳	ج) زمین شیب‌دار روان گرا نشده (خاکریز، شیب سطحی $\geq 5\%$)

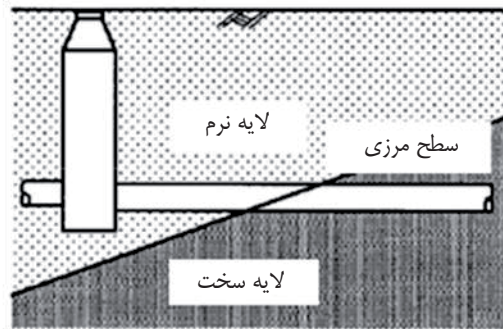


شکل ۶-۸ زمین شیب‌دار

در صورتی که یک لوله مطابق شکل (۹-۶) با روش لوله گذاری با جک اجرا شده و مرز بین دو لایه سخت و نرم را قطع کند، طول بیرون کشیدگی اضافی باید در نظر گرفته شود.

$$\delta = \varepsilon_{gd2} \ell \quad (۱۲-۶)$$

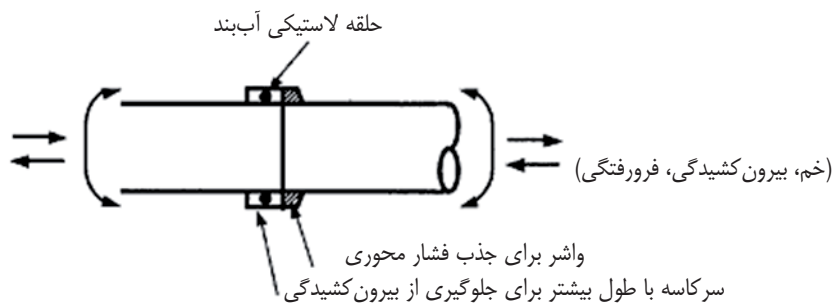
ε_{gd2} : کرنش زمین در مرز $(0.005) = (0.5\%)$



شکل ۶-۹ شکل شماتیک زمین در محل تغییر لایه‌های زمین

۲-۲- اتصال لوله‌ها

تغییر مکان در اتصال به علت کرنش دائمی زمین، در زمین‌های روان گرا شده یا زمین‌های شیب‌دار و یا به دلیل تنش کششی ناشی از اثرات موج به وجود می‌آید. همچنین نشست ناشی از سستی خاک نیز باعث تغییر مکان در مفصل می‌شود. احتمال ترک پیرامونی در لوله به علت برگشت از حالت خمیدگی که به دلیل از بین رفتن فشار است، وجود خواهد داشت. بنابراین، در طراحی لرزه‌ای باید خمیدگی و بیرون کشیدگی در مفصل در نظر گرفته شود. در صورت لزوم اتصال باید همان‌طور که در شکل (۶-۱۰) نشان داده شده است، انعطاف‌پذیر باشد و سرکاسه لوله نیز طولانی‌تر باشد. برای فشار، می‌توان در راستای جلوگیری از تخریب انتهای لوله از حلقه لاستیک یا واشر برای جذب شوک ناشی از ضربه استفاده نمود.



شکل ۶-۱۰ اتصال با عملکرد مقاوم در برابر زلزله

شرایط لازم برای اتصال باید به صورت زیر باشد:

الف) زاویه دوران ناشی از اثر موج

زاویه دوران اتصال برای جلوگیری از ترک بدنه لوله، از رابطه (۶-۱۳) محاسبه می‌شود.

$$\theta = \left(\frac{2\pi}{T_s}\right)^2 \times \frac{U_h(Z)}{V_s^2} \ell \quad (۶-۱۳)$$

θ : زاویه دوران اتصال (rad)

(ب) طول بیرون کشیدگی ناشی از اثر موج

طول بیرون کشیدگی همان‌طور که در بخش ۱-ب) توضیح داده شد، محاسبه می‌شود.

(ج) اثر روان گرایی (طول بیرون کشیدگی در اثر کرنش دائمی زمین)

بر اساس کرنش دائمی زمین که در جدول (۵-۶) مشخص شده، طول بیرون کشیدگی در اثر کرنش دائمی زمین از رابطه (۱۱-۶) که قبلاً توضیح داده شده، بدست می‌آید.

(د) اثر روان گرایی (زاویه دوران و نشست زمین)

با شبیه‌سازی لوله نشست کرده در بین آدم‌روها با استفاده از منحنی درجه ۲، زاویه دوران ایجاد شده در اثر نشست زمین ناشی از روان گرایی باید از رابطه (۱۴-۶) محاسبه شود.

$$\theta = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{4h}{L_{\text{manhole}}^2} \cdot \ell \right) \quad (۱۴-۶)$$

h : نشست زمین ناشی از روان گرایی (m). در صورت روان گرا شدن زمین مورد نظر در ساخت‌گاه، مقدار h برابر با

$H_{FL} 5\%$ در نظر گرفته می‌شود، که H_{FL} ضخامت کل لایه‌های روان گرا شده می‌باشد.

اگر خاکریز فقط روان شود، h از $7/5\%$ تا 10% H_{FL} در نظر گرفته می‌شود، که H_{FL} فاصله از کف لوله تا سطح حفاری می‌باشد.

(ه) اثر روان گرایی (طول بیرون کشیدگی در اثر نشست زمین)

طول بیرون کشیدگی در اثر نشست زمین ناشی از روان گرایی که از رابطه (۱۵-۶) بدست می‌آید (به شکل ۱۱-۶ مراجعه شود)

$$\delta_{s\max} = \frac{\ell}{\cos\left(\frac{n-1}{2}\right) \cdot \theta} - \ell \quad (۱۵-۶)$$

$\delta_{s\max}$: حداکثر طول بیرون کشیدگی (m)

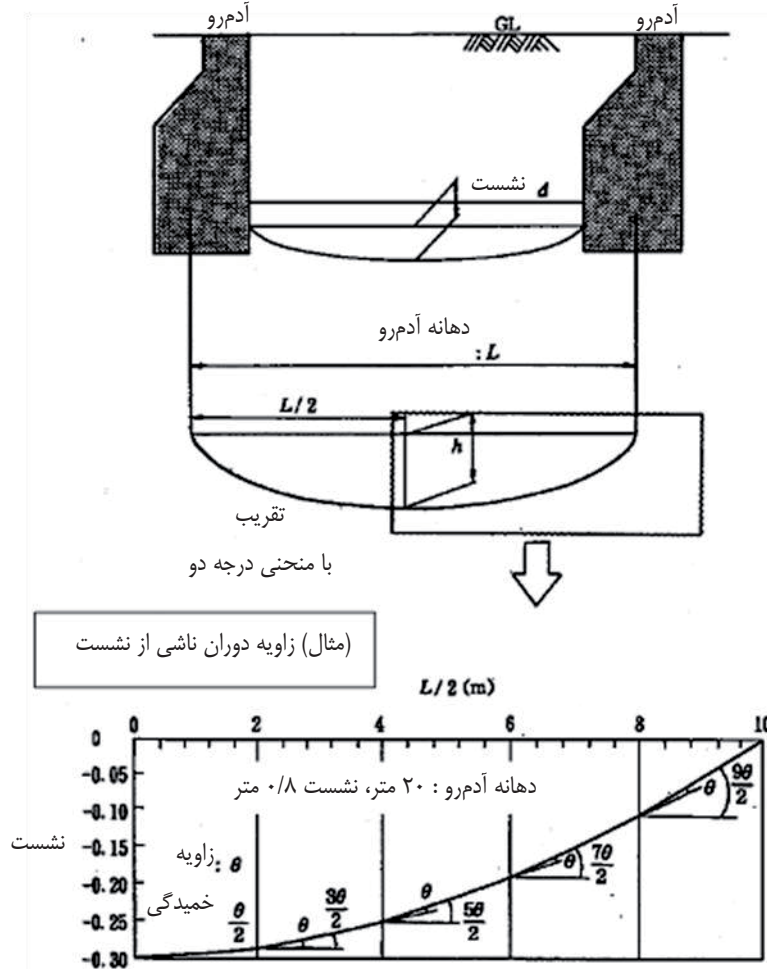
n : تعداد لوله‌ها در دهانه آدم‌روها

(و) اثر زمین شیب‌دار (طول بیرون کشیدگی در اثر کرنش دائمی زمین)

در صورتی که لوله بر روی زمین شیب‌دار (با شیب بیش از 5%) و بدون پتانسیل روان گرایی نصب شود، باید با استفاده از رابطه (۱۱-۶) طول بیرون کشیدگی با کرنش دائمی ε_g مشخص شده در جدول (۵-۶) را بدست آورد.

(ز) اثر خم تند (طول بیرون کشیدگی)

اگر لوله در مرز بین زمین نرم و سخت واقع شده باشد، طول بیرون کشیدگی بدست آمده از رابطه (۱۲-۶) نیز باید در نظر گرفته شود.



شکل ۶-۱۱ طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست

نکته) اگر لوله بر روی زمینی که سنگ بستر آن شیب‌دار است، واقع شده باشد، کرنش زمین افزایش پیدا می‌کند. این کرنش از رابطه (۶-۱۶) و (۶-۱۷) باید محاسبه شود.

$$\varepsilon_{G2} = \sqrt{\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G2}^2} \quad (۶-۱۶)$$

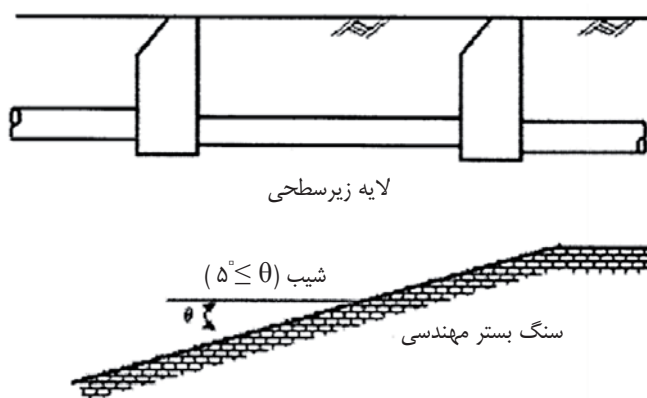
$$\delta = \varepsilon_{G2} \cdot \ell \quad (۶-۱۷)$$

ε_{G2} : کرنش زمین واقع بر سنگ بستر مهندسی شیب دار

ε_{G1} : کرنش زمین معمولی (یکنواخت) که همانند کرنش رابطه (۶-۱۰) است.

ε_{G3} : کرنش زمین ناشی از سنگ بستر شیب‌دار (زمانی که $\theta \geq 5^\circ$ ، $\varepsilon_{G3} = 0.35$)

این اثر در جایی کنترل می‌شود که حاشیه ایمنی برای طول بیرون کشیدگی کوچک باشد. طول بیرون کشیدگی با استفاده از بند ۲-ب) باید ارزیابی گردد.



شکل ۶-۱۲ شرایط ساخت گاه سنگ بستر شیب‌دار

۶-۴-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه لوله

بررسی‌های زیر باید برای بدنه لوله در طراحی لرزه‌ای انجام شود.

۱- بررسی مقطع عرضی (عمود بر محور)

۲- بررسی مقطع طولی

۱-

اکثر ترک‌ها در راستای محوری بدنه لوله، در اثر کرنش برشی ناشی از انتشار موج، ایجاد می‌شوند.

برای ارزیابی لرزه‌ای علاوه بر بار قائم، جابه‌جایی نسبی زمین در اثر زلزله در راستای عمق نیز باید به بار تبدیل و به بار عمودی اضافه گردد.

بر حسب شرایط می‌توان از کنترل لرزه‌ای برای لوله‌ها با قطر کوچک که اتصال بین آن‌ها و نر و مادگی است صرف نظر کرد.

۱-۱- بار قائم P_h ، بار افقی P_v ، و ضریب عکس‌العمل خاک P_r در شرایط معمولی باید محاسبه شوند.

۱-۲- نیروی لرزه‌ای از تبدیل تغییر مکان نسبی ΔU به نیروی خارجی، از طریق فنریت زمین بدست می‌آید.

ضریب عکس‌العمل خاک زیرین k_h به عنوان فنریت زمین استفاده می‌شود.

$$\Delta U = U_h(h_1) - U_h(h_2) \quad (6-18)$$

h_1 : عمق در بالای لوله (m)

h_2 : عمق نگه‌دارنده لوله از پی (m)

$$Q_h = \Delta U \times k_h \quad (6-19)$$

k_h : ضریب عکس‌العمل لایه زیرین در راستای افقی (kN / m^3)

۱-۳- بر اساس شرایط بارگذاری بالا، نیروی مقطعی لوله به وسیله مدل قاب محاسبه می‌شود.

روش محاسبات تقریبی نمی‌تواند برای لوله‌های کامپوزیت پلاستیک مسلح و DCIP به کار برده شود.

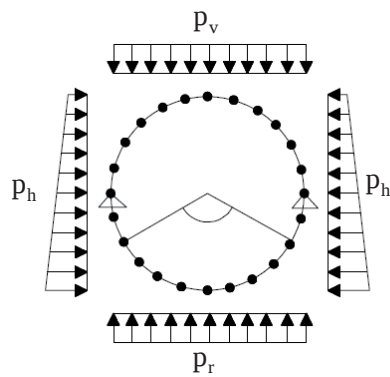
شرایط موردنیاز برای روش محاسبات تقریبی به صورت زیر است:

- ویژگی‌های لایه سطحی ثابت است.
- پاسخ لایه سطحی با مد اولیه است.
- رفتار لوله و لایه سطحی، خطی است.
- اثر نیروی اینرسی برای لوله در نظر گرفته نشود.
- عمق سربار از قطر لوله بزرگتر است و لوله خیلی نزدیک به سنگ بستر قرار ندارد.

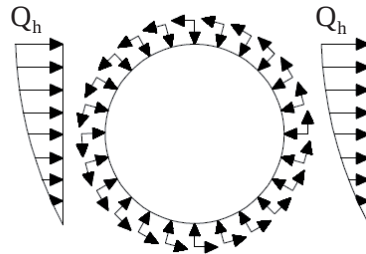
p_h, p_v : فشار آب + فشار خاک

p_r : حرکت زمین

Q_h : نیروی لرزه‌ای



(در شرایط معمولی)



(در شرایط لرزه‌ای)

شکل ۶-۱۳ مثالی از مدل محاسباتی قاب در لوله‌ی دایره‌ای که با ۲۴ قاب مدل‌سازی شده است

$$M(\theta) = \beta \cdot \frac{3\pi \cdot EI}{2R \cdot H} \cdot U_h \times \sin\left(\frac{\pi \cdot H_c}{2H}\right) \times C \times \sin(2\theta)$$

$$Q(\theta) = -\beta \cdot \frac{3\pi \cdot EI}{R^2 \cdot H} \cdot U_h \times \sin\left(\frac{\pi \cdot H_c}{2H}\right) \times C \times \cos(2\theta) \quad (۶-۲۰)$$

$$N(\theta) = -\beta \cdot \frac{3\pi \cdot EI}{R^2 \cdot H} \cdot U_h \times \sin\left(\frac{\pi \cdot H_c}{2H}\right) \times \left(1 + \frac{G_s \cdot R^3}{6 \cdot EI}\right) \times C \times \sin(2\theta)$$

$M(\theta)$: لنگر خمشی در مقطع لوله (kN.m / m)

$Q(\theta)$: نیروی برشی در مقطع لوله (kN / m)

$N(\theta)$: نیروی محوری در مقطع لوله (kN / m)

θ : زاویه از تاج لوله تا نقطه‌ای که تنش در آنجا محاسبه می‌شود (deg)

H : ضخامت لایه سطحی (m)

H_c : عمق در مرکز لوله (m)

R : قطر لوله (متوسط) (m)

I : گشتاور دوم سطح لوله بر واحد طول محوری (m^4 / m)

E: مدول الاستیسیته لوله (kN / m^2)

G_s : مدول برشی (kN / m^2)

β : ضریب تصحیح دقت در رابطه فوق (معمولاً $\beta = 1/3$)

U_h : دامنه جابه‌جایی سطح زمین (m)

$$I = \frac{b \cdot t^3}{12} \quad (21-6)$$

$$G_s = \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_{SD} \quad (22-6)$$

b: واحد طول لوله در راستای محوری ($1.0 = \text{m} / \text{m}$)

t: ضخامت لوله (m)

γ_t : وزن مخصوص خاک مرطوب (kN / m^3)

g: شتاب ثقل ($9.8 \text{m} / \text{s}^2$)

V_{SD} : سرعت موج برشی لایه سطحی (m/s). V_{SD} لایه نام از رابطه (23-6) محاسبه می‌شود و مقدار V_{si} از آزمایش موج الاستیک و آزمایش درجای PS بدست می‌آید.

$$V_{SDi} = C_u \times V_{si} \quad (23-6)$$

C_u : ضریب اصلاح بر اساس بزرگی کرنش زمین. اگر $V_{si} < 300 \text{m} / \text{s}$ باشد $C_u = 0.8$ و در غیر این صورت $C_u = 1.0$

v_s : ضریب پواسون دینامیکی لایه سطحی

$$v_s = \frac{2 - (V_s / V_p)^2}{2 - 2(V_s / V_p)^2} \quad (24-6)$$

V_s : سرعت موج برشی (m / s)

V_p : سرعت موج انبساطی

مقدار میانگین ضریب پواسون دینامیکی در جدول (6-6) نشان داده شده است.

جدول ۶-۶ مقدار میانگین ضریب پواسون دینامیکی

مشخصات جغرافیایی	ν_s	ملاحظات
آبرفت / آبرفت کهن	۰/۴۵	بالای تراز آب زیرزمینی
آبرفت / آبرفت کهن	۰/۵۰	زیر تراز آب زیرزمینی
سنگ نرم	۰/۴۰	
سنگ سخت	۰/۳۰	

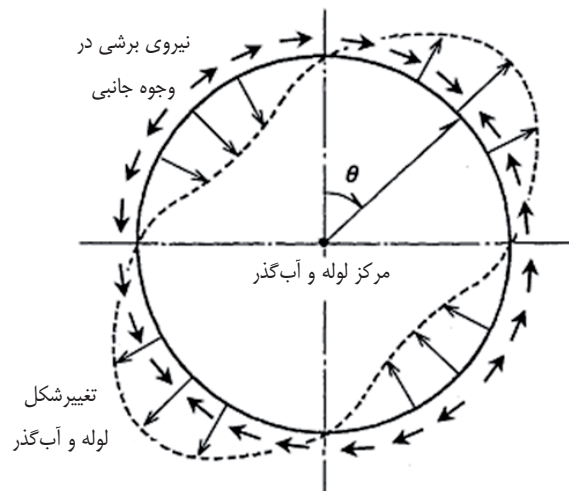
C: ضریب مربوط به ν_s

$$C = \frac{4(1-\nu_s) \cdot G_s \cdot R^3}{(3-2 \cdot \nu_s) \cdot G_s \cdot R^3 + 6(3-4 \cdot \nu_s) \cdot EI} \quad (۲۵-۶)$$

(توجه)

رابطه فوق برای لوله‌های با قطر بزرگ استفاده می‌شود.

نتایج به دست آمده از مدل قاب اندکی محافظه‌کارانه است، اما نتیجه بدست آمده از روابط لوله کامپوزیت پلاستیک مسلح و DCIP به هیچ وجه محافظه‌کارانه نمی‌باشد.



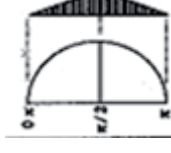
شکل ۶-۱۴ (مرجع) نیروی برشی سطحی (پوسته‌ای) و تغییر شکل لوله

جدول ۶-۷-الف فرمول‌های تقریبی (در شرایط متداول)

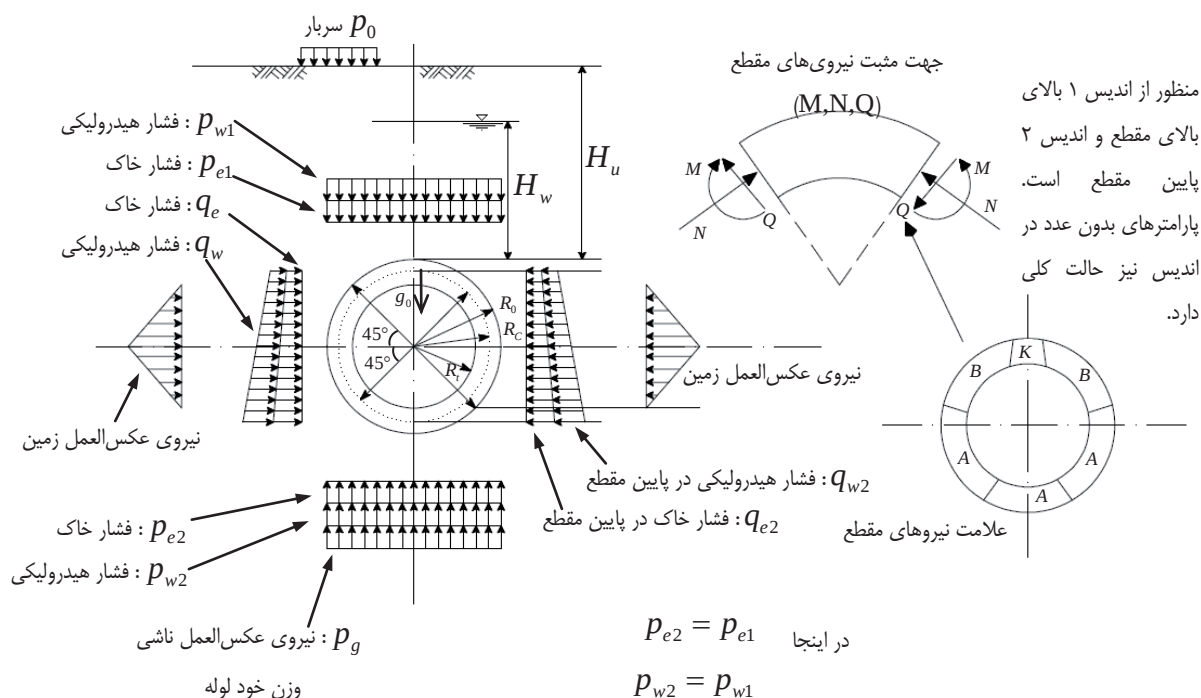
بارگذاری ممتلی	بارگذاری جانبی	بارگذاری قائم	بارگذاری
$q_t = q_{e2} + q_{w2} - q_1$	$q_1 = q_{e1} + q_{w1}$	$P_1 = P_{e1} + P_{w1}$	بارگذاری
$M = \frac{(6-3y-12y^2+4y^3)}{48} \times q_1 \times R_c^2$	$M = \frac{1}{4} \times (1-2y^2) \times q_1 \times R_c^2$	$M = \frac{1}{4} \times (1-2x^2) \times P_1 \times R_c^2$	لنگر خمشی M (KN · m / m)
$N = \frac{y+\delta y^2-4y^2}{16} \times q_1 \times R_c^2$	$N = q_1 \times R_c \times y^2$	$N = P_1 \times R_c \times x^2$	نیروی محوری N (KN / m)
$Q = \frac{(x+\delta x^2 \cdot y-4x \cdot y^2)}{16} \times q_1 \times R_c$	$Q = q_1 \times R_c \times x \times y$	$Q = -P_1 \times R_c \times x \times y$	نیروی برشی Q (KN / m)
		D_0 در طراحی لرزه‌ای اثر داده نمی‌شود	ملاحظات

جدول ۶-۷-ب فرمول های تقریبی (در شرایط متداول)

وزن خود مقطع $P_{g1} = \pi \cdot g$		عکس العمل لایه زیرین $q_r = k \cdot \delta$		بارگذاری
$(\frac{\pi}{2}) \leq \theta \leq \pi$	$0 \leq \theta \leq (\frac{\pi}{2})$	$(\frac{\pi}{4}) \leq \theta \leq (\frac{\pi}{2})$	$0 \leq \theta \leq (\frac{\pi}{4})$	
$M = \left\{ \begin{array}{l} -\frac{\pi}{8} + (\pi - \theta)x \\ -(\frac{5}{6})y - \frac{\pi}{2}x^2 \end{array} \right\} \times g \times R_c^2$	$M = \left\{ \left(\frac{3}{8} \right) \pi - \theta x - \left(\frac{5}{6} \right) y \right\} \times g \times R_c^2$	$M = (0.1513 - 0.2643y^2) \times q_r \times R_c^2$	$M = (0.2346 - 0.354y^2) \times q_r \times R_c^2$	لنگر خمشی M (KN · m / m)
$N = ((\theta - \pi)x + \pi \cdot x^2 - \frac{y}{6}) \times g \times R_c$	$N = \left\{ \theta x - \frac{y}{6} \right\} \times g \times R_c$	$N = (-0.7071 + y + 0.707x^2)y \times q_r \times R_c$	$N = 0.3536y \times q_r \times R_c$	نیروی محوری N (KN / m)
$Q = \{ (\pi - \theta) \cdot y - \pi \cdot xy - \frac{x}{6} \} \times g \times R_c$	$Q = -(\theta \cdot y + \frac{x}{6}) \times g \times R_c$	$Q = (1 - 0.7071y)xy \times q_r \times R_c$	$Q = 0.3536x \times q_r \times R_c$	نیروی برشی Q (KN / m)
		تنظیمات متقارن $\pi / 2 \leq \theta$		ملاحظات



در جداول فوق $y = \cos \theta$ و $x = \sin \theta$ است.



شکل ۶-۱۵ شرایط بارگذاری در وضعیت پایدار (مطابق جدول ۶-۷)

R_0, R_C, R_i : قطر لوله مجرا (از چپ به راست، محیط بیرونی، مرکز سطح، محیط داخلی) (m)

θ : زاویه از تاج لوله تا نقطه‌ای که در آن تنش محاسبه می‌شود (deg)

H_u : عمق سرشار (پوشش خاک) در تاج لوله (m)

H_w : عمق سرشار آب در تاج لوله

p_0 : سرشار در سطح (در طراحی لرزه‌ای می‌توان صرف نظر کرد)

g_0 : وزن واحد طول در راستای محوری و در واحد طول محیط بیرونی (kN/m)

p و q : شدت بارگذاری در راستای قائم و افقی (kN/m^2)

δ : تغییر مکان لوله ناشی از فشار مقاوم خاک

$$\delta = \{2p_{ew} - q_{ew} - (q_{e2} + q_{w2})\} \times \frac{R_C^4}{24(\eta \cdot EI + 0.0454\kappa \cdot R_C^4)} \quad (۶-۲۶)$$

η : نرخ سرشار ناشی از سختی خمشی (EI) (که در آن $\eta = 1.0$ فرض می‌شود)

κ : ضریب عکس‌العمل لایه زیرین (MN/m^3)

λ : ضریب فشار خاک در راستای افقی

-۲

در مجاری پیوسته، کرنش لوله در راستای محوری از راستای محیطی بزرگ‌تر است.

در لوله‌های PVC، تنش کششی در مقطع محوری کنترل می‌شود.

$$\sigma_X = \sqrt{\gamma \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \quad (27-6)$$

$$\sigma_L = \alpha_1 \times \xi_1 \times \frac{\pi \cdot U_h(z)}{L} \times E \quad (28-6)$$

$$\sigma_B = \alpha_2 \times \xi_2 \times \frac{2\pi^2 \cdot D_{outer} \cdot U_h(z)}{L^2} \times E \quad (29-6)$$

σ_X : تنش راستای محوری و محیطی در فاصله $x(m)$ از اتصال انعطاف پذیر (kN / m^2)

σ_L و σ_B : تنش محوری (kN / m^2) و تنش خمشی (kN / m^2)

$U_h(z)$: جابه جایی زمین در راستای افقی و عمق z از مرکز لوله (به رابطه ۵-۶ مراجعه شود).

L : طول موج (m)

E : مدول الاستیسیته لوله (kN / m^2)

D_{outer} : قطر بیرونی (m)

γ : ضریب جمع آثار قوا (مقدار γ از ۱/۰۰ تا ۳/۱۲ بر حسب اهمیت لوله، متغیر می باشد)

α_1, α_2 : ثابت انتقال در راستای محوری و محیطی

ξ_1, ξ_2 : ضرایب اصلاحی برای تنش لوله با اتصالات انعطاف پذیر، اگر اتصال انعطاف پذیر وجود نداشته باشد،

$$\xi_1 = \xi_2 = 1$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 L}\right)^4} \quad \alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 L'}\right)^2} \quad (30-6)$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{EI}} \quad \lambda_1 = \sqrt{\frac{K_{g1}}{EA}}$$

L' : طول موج ظاهری

$$L' = \sqrt{2} \times L \quad (31-6)$$

K_{g1}, K_{g2} : ضریب سختی زمین در واحد طول در راستای محوری و محیطی (kN / m^2)

$$K_{g2} = C_2 \frac{\gamma_{teq}}{g} V_{DS}^2 \quad K_{g1} = C_1 \frac{\gamma_{teq}}{g} V_{DS}^2 \quad (32-6)$$

γ_{teq} : وزن مخصوص تبدیل یافته لایه سطحی (kN / m^3)

$$\gamma_{teq} = \frac{\sum \gamma_{ti} \cdot H_i}{H} \quad (33-6)$$

γ_{ti} : وزن مخصوص زمین در لایه i ام (kN / m^3)

H_i : ضخامت لایه i ام (m)

H : ضخامت لایه سطحی (m)

V_{DS} : سرعت موج برشی در لایه سطحی

C_1, C_2 : ثابت‌ها برای مدول سختی زمین در واحد طول در راستای محوری و محیطی $C_1 = 1.5$, $C_2 = 3.0$
 ξ_1, ξ_2 : ضرایب اصلاحی برای تنش لوله‌ها با اتصال انعطاف‌پذیر، اگر اتصال انعطاف‌پذیر وجود نداشته باشد،
 $\xi_1 = \xi_2 = 1$

$$\xi_2 = \sqrt{\varphi_3^2 + \varphi_4^2} \quad \xi_1 = \frac{\sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2}}{\exp(v' \cdot \lambda_1 \cdot L') - \exp(-v' \cdot \lambda_1 L')} \quad (۳۴-۶)$$

$$v = \ell_{\text{joint}} / L$$

$$v' = \ell_{\text{joint}} / L'$$

$$\begin{aligned} \varphi_1 = & \{ \exp(-v' \cdot \lambda_1 \cdot L') - \cos(2\pi \cdot v') \} \exp(\mu' \cdot \lambda_1 \cdot L') \\ & - \{ \exp(v' \cdot \lambda_1 L') - \cos(2\pi \cdot v') \} \exp(-\mu' \cdot \lambda_1 \cdot L') \\ & + 2 \sinh(v' \cdot \lambda_1 \cdot L') \cdot \cos(2\pi \cdot \mu') \end{aligned} \quad (۳۵-۶)$$

$$\varphi_2 = 2 \sin(2\pi \cdot v') \cdot \sinh(\mu' \cdot \lambda_1 \cdot L')$$

$$-2 \sin(2\pi \cdot \mu') \cdot \sinh(v' \cdot \lambda_1 \cdot L')$$

$$\varphi_3 = f_3 e_3 - f_1 e_2 - f_4 e_1 - \sin(2\pi \cdot \mu)$$

$$\varphi_4 = e_4 + f_2 e_3 - f_2 e_2 - f_5 e_1 - \cos(2\pi \cdot \mu)$$

جدول ۶-۸ روابط برای محاسبه ضرایب رابطه‌های ۳۴-۶ و ۳۵-۶

$f_1 =$	$\frac{1}{\Delta} \left[\{ C_1(C_4 - C_1) - C_3(C_3 + C_2) - C_1 \cos(2\pi v) \} \frac{2\pi}{\beta L} + (C_3 + C_2) \sin(2\pi v) \right]$
$f_2 =$	$\frac{1}{\Delta} \left[C_1(C_3 - C_2) - C_4(C_3 + C_2) + (C_3 + C_2) \cos(2\pi v) + C_1 \frac{2\pi}{\beta L} \sin(2\pi v) \right]$
$f_3 =$	$\frac{1}{\Delta} \left[\{ C_1(C_4 + C_1) - C_2(C_3 + C_2) - C_1 \cos(2\pi v) \} \frac{2\pi}{\beta L} + (C_3 + C_2) \sin(2\pi v) \right]$
$f_4 =$	$\frac{1}{\Delta} \left[\{ C_3(C_4 + C_1) - C_2(C_4 - C_1) + (C_2 - C_3) \cos(2\pi v) \} \frac{2\pi}{\beta L} - 2C_1 \sin(2\pi v) \right]$

$f_5 =$	$\frac{1}{\Delta} \left[(C_3 + C_2)^2 + C_1 C_4 - 2C_1 \cos(2\pi v) - (C_2 - C_3) \frac{2\pi}{\beta L} \sin(2\pi v) \right]$				
$\Delta =$	$(C_3 + C_2)(C_3 + C_2)2C_1^2$	$\beta =$	$\sqrt[4]{K_{g2} / 4EI}$	$e_3 =$	$\cos(\mu\beta L) \sinh(\mu\beta L)$
$C_1 =$	$\sin(v\beta L) \sinh(v\beta L)$	$C_2 =$	$\sin(v\beta L) \cosh(v\beta L)$	$e_4 =$	$\cos(\mu\beta L) \cosh(\mu\beta L)$
$C_3 =$	$\cos(v\beta L) \sinh(v\beta L)$	$C_4 =$	$\cos(v\beta L) \cosh(v\beta L)$	$\mu =$	X / L
$e_1 =$	$\sin(\mu\beta L) \sinh(\mu\beta L)$	$e_2 =$	$\sin(\mu\beta L) \cosh(\mu\beta L)$	$v =$	ℓ / L

۶-۵- مقادیر مجاز

معیارهای پذیرش رفتار مواد و مصالح مختلف در طراحی و کنترل ایمنی بصورت زیر می باشد:

۱- فولاد سازه ای

تنش های مجاز فولاد سازه ای باید منطبق با مبحث نهم مقررات ملی ساختمان یا آیین نامه AISC باشد.

تغییر مکان ها و انحناء مجاز

۱-۱- خیز طراحی اعضا نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:

- تیرهای سقف های شیب دار $L / 200$
- تیر کف $L / 300$
- تیرهای پایه لوله $L / 300$
- تیرهای کف نگه دارنده تجهیزات $L / 450$ (توصیه های تولید کننده باید لحاظ شود)
- تیرهای طره $L / 400$
- تیرهای تکیه گاه جراثقال سقفی (عمودی، در اثر حداکثر بار چرخ) $L / 800$
- تیرهای تکیه گاه جراثقال سقفی (افقی، در اثر حداکثر بار چرخ) $L / 1600$
- قاب های (افقی $H / 300$ که در آن L : دهانه تیر و H : ارتفاع قاب)
- خیز اعضای سازه های فولادی، باید در هر حالت مطابق با "UBC" (جدول D-۱۶) و "AISC" (بخش ۱.۱۳) باشد.

۱-۲- اتصال

- اتصالات فولادی کارخانه ای باید پیچ و مهره یا جوش باشد.
- صفحات لچکی اتصال نباید کمتر از ۸ میلی متر ضخامت داشته باشند.

۲- بتن مسلح

تنش‌های مجاز میل گردها و بتن باید بر اساس آئین نامه آبا یا ACI 318 باشد.

۲-۱- مقاومت بتن

حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز

- برای حوضچه‌های آب $f_c \geq 28.1 \text{ N/mm}^2$
- برای قطعات بتنی پیش ساخته تکیه‌گاه لوله $f_c \geq 25 \text{ N/mm}^2$
- برای سازه‌ها، پی‌ها، پیاده رو، حوضچه‌ها و برای سایر سازه‌های بتنی $f_c \geq 21.1 \text{ N/mm}^2$
- برای داکت‌ها و بتن ضد آتش $f_c \geq 18 \text{ N/mm}^2$
- برای بتن سبک $f_c \geq 18 \text{ N/mm}^2$
- در سیمان‌های ضد سولفات حداقل سیمان نباید کمتر از 310 kg/m^3 باشد.
- در مورد سیمان عادی حداقل سیمان نباید کمتر از 350 kg/m^3 باشد.

۲-۲- فولاد تقویتی

الف) میل گردهای آج‌دار

میل گردهای آج‌دار باید از رده ۶۰ (حداقل تنش جاری شدن $f_y = 414 \text{ N/mm}^2$) بر طبق ASTM 615 یا دیگر استانداردها باشد.

ب) میل گردهای فولادی ساده

میل گردهای ساده باید از رده ۴۰ (حداقل تنش جاری شدن $f_y = 276 \text{ N/mm}^2$) بر طبق ASTM 615 یا دیگر استانداردها باشد.

ج) مفتول جوش شده

مفتول جوش شده باید از رده ۷۰ (حداقل تنش جاری شدن $f_y = 485 \text{ N/mm}^2$) بر طبق استاندارد ASTM A 496 و A 497 یا مصالح جایگزین با موافقت کارفرما باشد.

۲-۳- پیچ‌های مهری، صفحه‌ها و اشکال فولادی برای جاگذاری

جنس بولت‌های مهری، صفحه‌ها و اشکال فولادی برای جاگذاری باید بر طبق ASTM A 36 از نوع جوش پذیر بر طبق استاندارد ASTM یا مصالح جایگزین معادل آن‌ها با موافقت کارفرما باشد.

۲-۴- پیچ‌ها

- پیچ‌ها در اتصالات سازه‌ای باید مطابق ASTM A325 یا دیگر استانداردها باشد.
- پیچ‌ها در اتصالات ثانویه باید مطابق ASTM A307 رده A یا دیگر استانداردها باشد.
- مهره‌ها از نوع عادی و مقاومت بالا باید مطابق ASTM A563 یا دیگر استانداردها باشد.
- واشرها باید مطابق با ASTM F436 یا دیگر استانداردها باشد.
- تنش مجاز سایر اعضا باید بر اساس استاندارد مورد استفاده کارفرما باشد.

توجه:

- برای بررسی تنش کششی بولت از مقدار f_t استفاده شود.
- کنترل ایمنی بولت تحت تأثیر همزمان کشش و برش، باید به صورت زیر انجام شود.

$$\tau \leq f_s \text{ (الف)}$$

$$f_{ts} = 1.4f_t - 1.6\tau \text{ و } \sigma \leq \text{Minimum}(f_t, f_{ts}) \text{ (ب)}$$

τ : تنش برشی بولت

σ : تنش کششی بولت ($\sigma = R_b / A_t$)

f_s : تنش برشی مجاز بولت ناشی از نیروی برشی

f_t : تنش کششی مجاز بولت ناشی از نیروی برشی

f_{ts} : تنش کششی مجاز بولت ناشی از اثر توأم نیروی برشی و کششی، $f_{ts} \leq f_t$

۳- نیروی برشی در پیچ از حاصل ضرب مساحت سطح مقطع در f_s در ۰/۷۵ به دست می آید.

فصل ۷

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

کالورت مستطیلی

۱-۷- سطح عملکرد

وضعیت کالورت برای حداکثر زلزله طراحی در جدول (۱-۷) توضیح داده شده است.

جدول ۱-۷ وضعیت مورد نیاز هر بخش از کالورت مستطیلی برای زلزله طراحی

قسمت کالورت	وضعیت مورد نیاز
اتصال کالورت و آدمرو	زاویه خمیدگی و طول بیرون کشیدگی باید در حدی باشد که نفوذ خاک و ماسه رخ ندهد.
اتصال کالورت ها	زاویه خمیدگی و طول بیرون کشیدگی باید در حدی باشد که نفوذ خاک و ماسه رخ ندهد. برای کالورتی که با اتصال پیش‌ساخته و محکم متصل شده است، کالورت باید حداقل قابلیت جریان مورد نیاز را با وجود باز شدن اتصال و تغییر شکل ناشی از نشست نامتقارن حفظ نماید.
بدنه اصلی کالورت‌ها	شدت تنش کلیه مصالح کالورت باید در محدوده حالت حد نهایی باشد تا فرو نریزد. هنگامی که از روش حفاری روباز استفاده می‌شود، از انسداد جریان ناشی از روان گرای خاک خاکریز باید جلوگیری شود.

۲-۷- روند طراحی

۱- نکاتی که در محاسبات لرزه‌ای باید ملاحظه شود: ۱-۱- اتصال آدمرو و کالورت ۲-۱- اتصال کالورت‌ها ۳-۱- مقطع عرضی (صفحه عمود بر محور لوله) ۴-۱- مقطع محوری (مقطع شامل محور لوله) ۵-۱- بال‌آمدگی و نشست بدنه لوله ۲- تمهیدات مقابله در برابر زلزله
--

در این بخش، «کالورت مستطیلی» به معنای کالورتی است که مقطع مربعی یا مستطیلی شکل دارد و با بتن مسلح درجا و یا از قطعات پیش‌ساخته که با پیچ مهره‌ها یا انواع دیگر اتصالات به یکدیگر متصل شده‌اند ساخته می‌شود. کالورت باز نیز شامل این بخش می‌شود.

موارد کنترل در خطوط انتقال اصلی، مطابق جدول (۲-۷) می‌باشد.

جدول (۳-۷) نشان می‌دهد که بخش طراحی شکل‌پذیر برای سایر خطوط الزامی نیست.

جدول ۳-۷ موارد لازم برای کنترل کالورت مستطیلی در خطوط انتقال اصلی

مواردی که باید کنترل شوند:	اتصال کالورت و آدمرو		اتصال کالورت‌ها		مقاومت مقطع عرضی		مقاومت محوری		زمین شیب‌دار		تغییرات زمین، ختم تند و غیره		قضاوت در مورد روان گرای		زمین مستعد روان گرای ($\leq 1/10$)		زمین مستعد روان گرای ($\leq 1/10$)		زمین مستعد روان گرای ($\leq 1/10$)	
	(ناشی از حرکت ورودی)		(ناشی از حرکت ورودی)		(ناشی از حرکت ورودی)		(ناشی از حرکت ورودی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)	
نوع سازه	زاویه خمیدگی		زاویه خمیدگی		زاویه خمیدگی		زاویه خمیدگی		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش	
	A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D	
کالورت مستطیلی	درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا	
	A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D	

(۱*) : تحلیل قاب باید بکار برده شود. (۲*) : در مواقعی که اتصال هیچ‌گونه مهار محوری ندارد. (۳*) : در این راهنما روشی برای تحلیل تعیین نشده، لذا باید از تحلیل دیگری نظیر دینامیکی استفاده شود.

(۴*) : برای مواقعی که در اتصال، مهار محوری وجود دارد به علت اینکه در این راهنما روشی برای تحلیل تعیین نشده، لذا باید از تحلیل دیگری نظیر دینامیکی استفاده شود.

(۵*) : تنش کششی در مهار محوری باید کنترل شود.

(۶*) : بجای کنترل زاویه خمیدگی یا طول برون لغزش باید مقدار بازشدگی و تنش محوری مهارها کنترل شود.

A: طراحی تنش مجاز D: طراحی شکل‌پذیر A/D: هر دو روش طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر باید انجام شوند.

جدول ۳-۷ موارد لازم برای کنترل کالورت مستطیلی در سایر خطوط

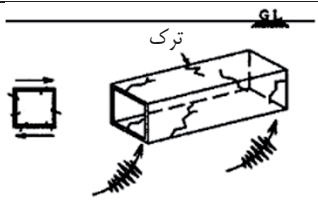
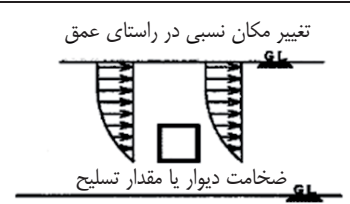
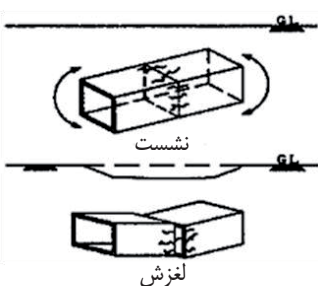
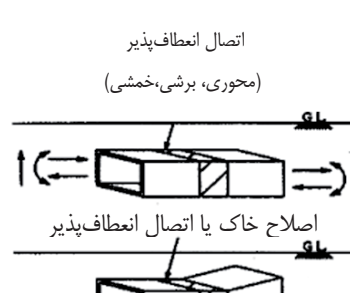
مواردی که باید کنترل شوند	اتصال کالورت و آدمرو		اتصال کالورت‌ها		مقطع عرضی		مقاومت محوری		زمین شیب‌دار		تغییرات زمین		قضاوت در مورد روان گرای		زمین مستعد روان گرای ($\leq 1/10$)		زمین مستعد روان گرای ($\leq 1/10$)		زمین مستعد روان گرای ($\leq 1/10$)	
	(ناشی از حرکت ورودی)		(ناشی از حرکت ورودی)		(ناشی از حرکت ورودی)		(ناشی از حرکت ورودی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)		(کرنش دائمی)	
نوع سازه	زاویه خمیدگی		زاویه خمیدگی		زاویه خمیدگی		زاویه خمیدگی		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش		طول برون لغزش	
	A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D		A/D	
کالورت مستطیلی	درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا		درجا	
	A		A		A		A		A		A		A		A		A		A	

A: طراحی تنش مجاز D: طراحی شکل‌پذیر A/D: هر دو طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر باید انجام شود.

توجه:

- ۱- اساساً، مقطع خاک ساخت‌گاه مورد نظر باید برای طراحی لرزه‌ای مورد استفاده قرار گیرد.
- ۲- زمانی که در روش تغییر مکان پاسخ، جابه‌جایی زمین به یک نیروی خارجی تبدیل می‌شود، لازم است از ضریب عکس‌العمل لایه زیرین در جهت افقی، k_h استفاده شود. برای محاسبه ضریب عکس‌العمل لایه زیرین باید به روش‌شناسی که در فصل مربوط به آدم‌رو توضیح داده شده است، مراجعه شود. عرض معادل پی، B برای محاسبه k_h ، مشابه موارد گفته شده در رابطه (۳-۶) می‌باشد. در مورد کالورت پیش‌ساخته، B باید در واحد طول باشد. در مورد کالورت درجا، می‌تواند تا ۱۰ متر باشد.
- ۳- در زمان استفاده از روش تغییر مکان پاسخ، میزان افزایش α برای بارگذاری کوتاه مدت نباید برای k_h در نظر گرفته شود. همچنین کاهش بارگذاری زمین روان گرا شده نیز نباید برای k_h در نظر گرفته شود.
- ۴- در مقطع قائم، شدت تنش برای هر دو حالت معمولی و لرزه‌ای باید کنترل و کاهش بار در زمین روان گرا شده نباید برای k_h در نظر گرفته شود.
- ۵- برای کالورت مستطیلی، برای محاسبه ضخامت اعضاء و میلگردگذاری، ابتدا باید روش تغییر مکان پاسخ در مقطع قائم برای زلزله سطح خطر-۱ و ۲ انجام شود و پس از آن توزیع میل‌گرد در مقطع محوری باید معین گردد. در مورد کالورت پیش‌ساخته، اگر مانعی در جهت محوری نصب شود، اعضای مانع باید کنترل شوند. در مورد کنترل تنش در مقطع محوری، تصحیح (کاهش) باید در نظر گرفته شود.
- ۶- طراحی لرزه‌ای کالورت باز، باید همچون کالورت بدون عضو فوقانی انجام شود.
- ۷- مجاری مستطیلی در برابر روان‌گرایی آسیب‌پذیر هستند اگر تمهیدات لازم برای مقابله با روان‌گرایی اندیشیده شود می‌توان در محاسبات از احتمال روان‌گرایی صرف نظر نمود.

جدول ۷-۴ اقدامات ضد لرزه‌ای و روش طراحی لرزه‌ای (کالورت مستطیلی)

نوع آسیب	شکل کلی آسیب	نمونه اقدامات ضد لرزه‌ای و نیروی طراحی		روش طراحی لرزه‌ای			
				پاسخ تغییر مکان	گرنش دائمی زمین	نشست زمین	
				S_v	طول موج		
کالورت			تغییر مکان نسبی در راستای عمق	0	-	-	-
			ضخامت دیوار یا مقدار تسلیح سطح مقطع یا مقدار تسلیح	-	0	0	(باید کنترل شود)
اتصال			نیروی برشی	0	0	-	-
			خمش	0	0	-	-
			نشست	-	-	-	0

۷-۳- روندها محاسبات (روش‌ها، مدل محاسباتی و پی)

۷-۳-۱- طراحی لرزه‌ای اتصالات

طراحی لرزه‌ای اتصال باید به طور جداگانه برای اتصال آدمرو و کالورت یا اتصال کالورت‌ها انجام شود. در مواردی که ساخت‌گاه شرایط خاصی از قبیل، زمین مستعد روان گرای، زمین بدون پتانسیل روان گرای ولی دارای شیب، خم تند در امتداد مسیر و سایر موارد باشد، طراحی لرزه‌ای بر طبق شرایط زیر باید انجام شود. ۱- مواردی که در محاسبات باید ملحوظ شود: ۱-۱ اثر حرکت زمین ۲-۱ اثر روان گرای ۳-۱ اثر شیب ۴-۱ اثر خم تند ۲- اتصالاتی که باید طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی شوند: ۲-۱- اتصال آدمرو و کالورت
--

۲-۲- اتصال کالورت‌ها

۱- در اینجا، «اتصال آدرو و کالورت» به معنای اتصال با آدروی است که از کالورت عریض‌تر است. بنابراین، دسترسی به آدرو که در بالای کالورت نصب شده، منظور نمی‌باشد. زمانی که کالورت در زمین مستعد روان‌گرایی ساخته شده، برای مقابله با نشست نامتقارن، طول قالب برای وضعیت درجا باید طولانی‌تر باشد.

۱-۱- برای کنترل اثر موج، زاویه خمیدگی و طول بیرون کشیدگی باید برای اتصال آدرو و کالورت بررسی شود. در مورد اتصال کالورت‌ها، از کنترل زاویه خمیدگی برای حالت درجا و پیش‌ساخته می‌توان صرف‌نظر نمود.

۲-۱- در مورد اثر روان‌گرایی، طول بیرون کشیدگی ناشی از کرنش دائمی زمین برای اتصال آدرو و کالورت باید کنترل شود. در اتصال کالورت‌ها، موارد زیر باید کنترل شوند:

- طول بیرون کشیدگی ناشی از کرنش دائمی زمین
- زاویه خمیدگی ناشی از نشست
- طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست

۳-۱- طول بیرون کشیدگی باید برای هر دو اتصال کالورت و آدرو و اتصال کالورت‌ها کنترل شود.

۴-۱- زمانی که یک اتصال در قسمتی با خم تند قرار دارد، طول بیرون کشیدگی باید برای هر دو حالت اتصال آدرو و کالورت و اتصال کالورت‌ها کنترل شود.

-۲-

۱-۲- اتصال مجرا و آدرو

الف) زاویه خمیدگی ناشی از اثر موج

زاویه خمیدگی باید از رابطه (۴-۶) مشابه لوله با اتصال نر و مادگی بدست آید.

ب) طول بیرون کشیدگی ناشی از اثر موج

در مورد حالت درجا، طول بیرون کشیدگی مجرا از آدرو باید با در نظر گرفتن طول بلوک باشد.

$$|U_j| = u_0 \times \bar{u}_j \quad (۱-۷)$$

$|U_j|$: طول تلسکوپی (m) (انبساط و انقباض)

u_0 : تغییر مکان نسبی در راستای محوری زمانی که تیر پیوسته و نامحدود فرض شود.

$$u_0 = \alpha_1 \times U_a \quad (۲-۷)$$

U_a : جابه‌جایی افقی زمین در راستای محوری (m)

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} \times U_h \quad (۳-۷)$$

U_h : جابه‌جایی افقی زمین در مرکز کالورت مستطیلی (m)

$\bar{u}_j$: ضریب تغییر مکان اتصال

$$\bar{u}_j = \frac{2\gamma_1 \times |\cosh \beta_1 - \cos \gamma_1|}{\beta_1 \times \sinh \beta_1} \quad (۴-۷)$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma_1}{\beta_1}\right)^2} \quad (۵-۷)$$

$$\beta_1 = \ell \times \sqrt{\frac{K_{g1}}{E \cdot A}} \quad (۶-۷)$$

$$\gamma_1 = \frac{2\pi\ell}{L'} \quad (۷-۷)$$

E: ضریب الاستیسیته کالورت مستطیلی (kN / m²)

A: سطح مقطع کالورت (m²)

ℓ: طول قالب کالورت مستطیلی (m)

K₁: ضریب سختی زمین در واحد طول کالورت در راستای محوری

γ_{req}: وزن مخصوص تبدیل یافته در لایه سطحی

زمانی که در کالورت پیش‌ساخته مهار محوری در نظر گرفته نشده باشد، باید از رابطه (۶-۹) در اتصال نر و مادگی و با در نظر گرفتن طول مؤثر کالورت پیش‌ساخته، استفاده شود.

ج) اثر روان‌گرایی (طول بیرون کشیدگی به علت کرنش دائمی زمین)

رفتار کالورت پیوسته از نوع درجا یا پیش‌ساخته با مهار محوری، در زمین روان گرا شده قابل پیش‌بینی نمی‌باشد. بنابراین، طول بیرون کشیدگی ناشی از کرنش دائمی زمین باید با تحلیل دینامیکی یا سایر روش‌ها بررسی شود. در مورد نوع پیش‌ساخته بدون مهار محوری باید از رابطه (۴-۱۱) استفاده شود.

د) اثر زمین شیب‌دار (طول بیرون کشیدگی ناشی از کرنش دائمی زمین)

زمانی که کالورت پیش‌ساخته بدون مهار محوری در زمین شیب‌دار بدون قابلیت روان‌گرایی نصب شده باشد، طول بیرون کشیدگی از جانشینی کرنش دائمی زمین (قسمت «ج» در جدول (۶-۵) در رابطه (۴-۱۱) بدست می‌آید. در مورد نوع درجا یا نوع بلوک پیش‌ساخته با مهار محوری تا زمانی که به عنوان یک سازه یکپارچه در برابر نشست رفتار می‌کند، از اثر ناشی از شیب زمین می‌توان صرف‌نظر کرد.

ه) اثر خم تند (طول بیرون کشیدگی)

زمانی که آد مرو در ناحیه‌ای با خم تند قرار گرفته باشد، طول بیرون کشیدگی ایجاد شده به واسطه ساخت، باید در ابتدا محاسبه شود. سپس پس از کم کردن آن از طول مجاز بیرون کشیدگی، باید کنترل بیرون کشیدگی انجام شود.

۲-۲- اتصال کالورت‌ها

الف) طول بیرون کشیدگی ناشی از اثر موج

زمانی که اتصال مجرای درجا در دهانه آدرو واقع شده باشد، از رابطه (۷-۱) و برای کالورت پیش‌ساخته بدون مهار جانبی نیز از رابطه (۶-۹) مشابه لوله با اتصال نر و مادگی محاسبه می‌شود.

ب) اثر زمین شیب‌دار (طول بیرون کشیدگی به علت کرنش دائمی زمین)

مشابه قسمت ۲-۱-د، زمانی که کالورت پیش‌ساخته که مهار محوری ندارد بر روی زمین شیب‌دار بدون قابلیت روان‌گرایی نصب شده باشد، طول بیرون کشیدگی از جانشینی کرنش دائمی زمین (قسمت ج) در جدول (۶-۵) از رابطه (۶-۱۱) بدست می‌آید. در مورد نوع درجا یا نوع بلوک پیش‌ساخته با مهار محوری، تا زمانی که به عنوان یک سازه یکپارچه در برابر نشست رفتار می‌کند، از اثر ناشی از شیب زمین می‌توان صرف‌نظر کرد.

ج) اثر خم تند (طول بیرون کشیدگی)

به قسمت ۲-۱-ه مراجعه شود.

توجه)

زمانی که کالورت با بلوک‌های پیش‌ساخته و بدون مهار محوری به روش حفاری در فضای باز ساخته شود و از مرز بین لایه‌های نرم و سخت عبور کند، اثر مرزی به دلیل وجود خاکریز کوچک می‌باشد. بنابراین، می‌توان از کنترل صرف‌نظر کرد. در مورد نوع پیوسته (نوع درجا یا نوع پیش‌ساخته با مهار محوری)، در حال حاضر چگونگی در نظر گرفتن طول مؤثر l مشخص نشده است. بنابراین، باید تحلیل دینامیکی یا روش‌های دیگری بکار برده شود.

۷-۳-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه کالورت مستطیلی

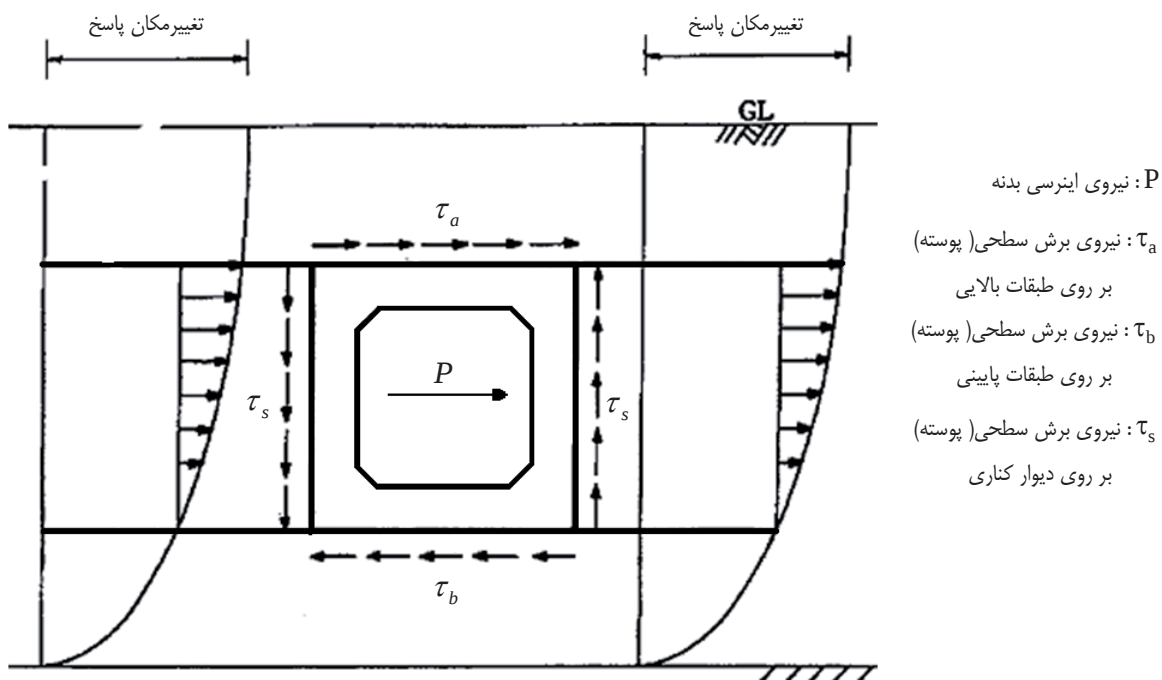
بررسی‌های زیر باید برای طراحی لرزه‌ای بدنه مجرا انجام شود.

۱- بررسی مقطع قائم (عمود بر محور)

۲- بررسی مقطع محوری

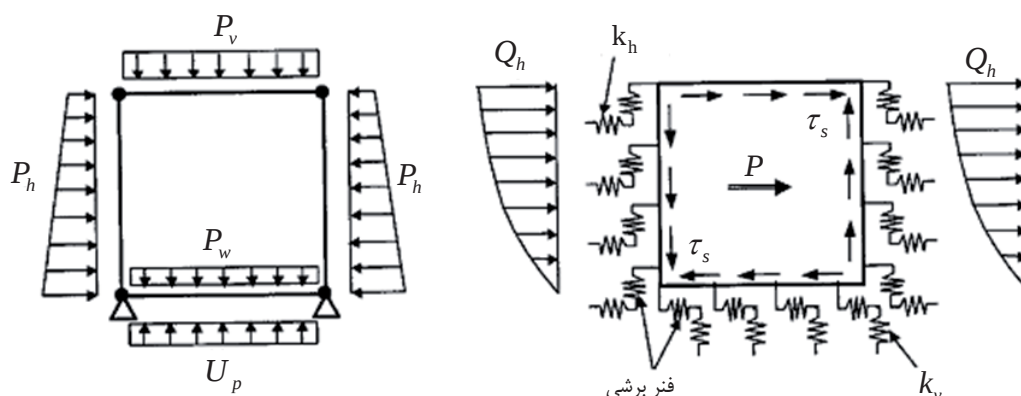
۱- بررسی مقطع قائم (عمود بر محور)

برای کالورت مستطیلی با مقطع نسبتاً کوچک اثر مقطع قائم (عمود بر محور) ناچیز است. بنابراین، می‌توان از کنترل مقطع قائم صرف‌نظر کرد. برای کالورت با مقطع نسبتاً بزرگ اثر نیروی برش سطحی (پوسته) نسبتاً بزرگ است، بنابراین کنترل مقطع قائم باید انجام شود. برای مدل تحلیلی نشان داده شده در شکل (۷-۱)، جابه‌جایی نسبی در عمق و همچنین نیروی برش سطحی برای طبقات بالایی و پایینی و دیوار کناری باید در نظر گرفته شود.



شکل ۷-۱ نیروهایی که بر مقطع قائم کالورت مستطیلی اثر می‌کنند

مثالی از مدل محاسباتی در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. بار ثابت در شرایط معمولی (فشار آب و فشار خاک)، نیروی لرزه‌ای و نیروی برش سطحی باید در مدل تحلیلی با هم ترکیب شوند.

 U_p : نیروی شناوری k_h : فنریت زمین در جهت افقی Q_h : نیروی لرزه‌ای k_v : فنریت زمین در جهت قائم τ_s : نیروی برش سطحی P_h : فشار آب+فشار خاک در جهت افقی P : نیروی اینرسی برای سازه P_v : فشار آب+فشار خاک در جهت قائم P_w : وزن خالص

شکل ۷-۲ مثال مدل محاسبات قاب کالورت مستطیلی

در صورتی که وزن سازه تقریباً برابر وزن خاک معادل باشد، می‌توان از نیروی اینرسی (P) برای بدنه کالورت صرف‌نظر کرد. در صورتی که نیروی اینرسی در نظر گرفته شود، از رابطه (۷-۸) باید استفاده شود.

$$P = K_H \times W_b \quad (۷-۸)$$

 K_H : ضریب لرزه طراحی در راستای افقی بر اساس سطح خطر W_b : وزن کالورت مستطیلی (kg) P : نیروی اینرسی بدنه کالورت (N)

۲- بررسی مقطع محوری

نیروی محوری مقطع باید با استفاده از روش تغییر مکان پاسخ محاسبه شود. بر اساس نتایج آن، توزیع میل‌گرد باید تنظیم شود. نیروی داخلی در مقطع محوری باید به دلیل کاهش اثر نیرو، اصلاح گردد. اگر طول بلوک استاندارد ۳۰ متر باشد، روابط زیر نحوه اصلاح را نشان می‌دهند.

$$\xi_1 = 900 \cdot L^{-1.8}$$

$$\xi_2 = 1.16 \cdot L^{-3.8} \times 10^6 + 890 \cdot \lambda_2^{3.7} \quad (۷-۹)$$

$$\xi_3 = 5.31 \cdot L^{-3.7} \times 10^5 + 145 \cdot \lambda_3^{2.9}$$

ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 : ضریب اصلاح نیروی مقطع. اندیس ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب به معنای مقطع محوری، مقطع محوری در صفحه افقی و صفحه قائم است.

λ_1, λ_2 : نسبت سختی نسبی ($1/m$)

اگر طول بلوک کاهش یابد، ضریب افزایش داده می‌شود. در طراحی برای زلزله سطح خطر-۱، اگر ضریب اصلاح کمتر از $0/1$ باشد، باید مقدار $1/0$ برای آن در نظر گرفته شود. در طراحی برای زلزله سطح خطر-۲، از همان مقدار بدست آمده باید استفاده شود.

در مورد نوع پیش‌ساخته با مهار محوری، طول بلوک معادل بزرگ‌تر می‌شود و طول بیرون کشیدگی در اتصال به آدرو تمایل به بزرگ شدن دارد. تعیین مهارهای محوری باید با توجه به خرابی‌های احتمالی نظیر نشست‌های نامتقارن کالورت در اثر تحکیم یا روان‌گرایی، نشست‌های بعدی و مسائل اجرایی و اقتصادی معین گردد. اگر طول بلوک یا طول بلوک‌های پیش‌ساخته که در راستای محوری با هم ترکیب شده‌اند به طول موج زمین نزدیک باشد، احتمال وقوع تشدید وجود دارد. بنابراین بهتر است طول موج کالورت مستطیلی مشابه طول موج زمین نباشد.

۷-۴- معیارهای پذیرش

نتایج محاسبه طراحی لرزه‌ای برای کالورت مستطیلی باید به روش زیر کنترل شود. در این کنترل‌ها بایستی تنش‌ها و کرنش‌های حاصل از ترکیبات مختلف بارگذاری مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱- معیار طراحی برای سطح خطر-۱: معیار طراحی باید تنش مجاز باشد.

۲- معیار طراحی برای سطح خطر-۲: معیار طراحی باید حالت حد نهایی باشد.

۳- اقدامات ضد لرزه‌ای

۳-۱- جذب تغییر مکان

۳-۲- برای تأمین مقاومت در مقطع قائم (ضخامت دیوار، میلگردگذاری اصلی)

۳-۳- برای تأمین مقاومت در راستای قائم (توزیع میل‌گردها، طول بلوک، مهار محوری)

۱- عملکرد ایمن در مقابل سطح خطر-۱ باید به صورت زیر باشد:

۱-۱- آب بند بودن، شرط لازم اتصال است. مقدار معیار طراحی با افزایش حاشیه ایمنی در مقابل حداکثر مقدار مجاز مصالح تعیین می‌شود. به عنوان حاشیه ایمنی، مراحل باید همچون مجرا با اتصال نر و مادگی در نظر گرفته شود.

۱-۲- همچنین برای بدنه کالورت، تنش مجاز مصالح باید برابر مقدار معیار طراحی باشد تا از نشست ناشی از ترک جلوگیری کند.

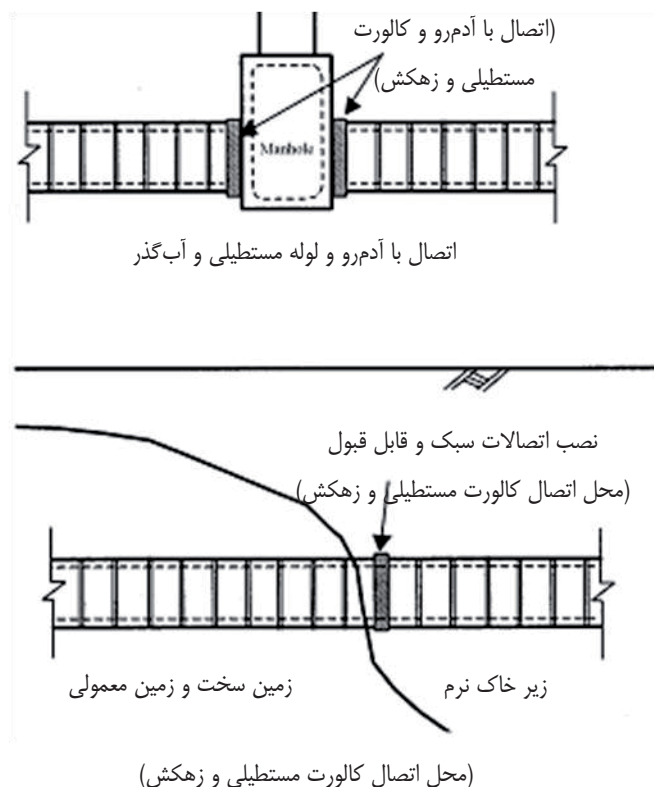
۲- عملکرد مورد انتظار در مقابل سطح خطر-۲ باید به صورت زیر باشد:

۲-۱- شرط لازم برای اتصال، پیشگیری از ورود خاک و ماسه است. حداکثر مجاز مصالح، باید متناسب با معیار طراحی باشد.

۲-۲- برای بدنه کالورت، مقاومت گسیختگی مصالح باید برای جلوگیری از فروپاشی مقطع مجرا، مقدار معیار طراحی باشد.

۳- اقدامات ضد لرزه‌ای

۳-۱- جذب تغییر مکان برای اتصال کالورت، آدرو و اتصالات بین مجاری و در مناطقی که شرایط محیطی نظیر لغزش یا خم تند دشوار است، باید در نظر گرفته شود. در جهت کاهش تنش محوری در اثر جابه‌جایی زمین، برای اتصال آدرو و کالورت و اتصال کالورت‌ها باید از اتصال انعطاف‌پذیر استفاده شود.



شکل ۷-۳ اقدامات ضد لرزه‌ای برای کالورت مستطیلی

۳-۲- در مقطع قائم، ضخامت دیوار و تسلیح آن باید بررسی شده و مقاومت کافی داشته باشد. اصولاً ساختار اصلی (ضخامت دیوار و تسلیح)، از محاسبات مقطع قائم استنباط می‌شود. اما اگر مقاومت در مقطع محوری کافی نباشد، طراحی اولیه باید تغییر کند.

۳-۳- در مقطع محوری، مقدار مقاومت لازم باید از طریق افزایش توزیع میل‌گرد یا تعیین طول بلوک‌ها با در نظر گرفتن طول مهار محوری تأمین شود. زیاد شدن توزیع میل‌گرد ممکن است که غیر اقتصادی باشد، بنابراین بهتر است که روند طراحی در مقطع قائم مجدداً انجام و ضخامت دیوار و تسلیح بار دیگر محاسبه شود. اگر طول بلوک‌ها یا مهار زیاد باشد، تنش یا تغییر مکان ممکن است بیشتر شود. در این مورد، برای جذب تغییر مکان و کاهش تنش محوری، استفاده از بلوک‌های کوتاه‌تر توصیه می‌گردد.

۷-۵- مجاری پیوسته

- مجرای پیوسته، مجرای است که با اتصال یا بدون اتصال به طور یکپارچه (یک قطعه) رفتار می‌کند.

– عملکرد لازم مجرای پیوسته، مشابه لوله با اتصال نر و مادگی است.

۷-۵-۱- روند طراحی

در طراحی لرزه‌ای مجاری پیوسته موارد زیر با توجه به ویژگی مصالح لوله، باید در نظر گرفته شود.

۱- نقاطی که در محاسبات لرزه‌ای باید در نظر گرفته شود عبارتند از:

۱-۱- اتصال آدرو و لوله

۲-۱- اتصال لوله‌ها

۳-۱- مقطع (صفحه عمود بر محور لوله)

۴-۱- مقطع محوری (مقطع شامل محور لوله)

۵-۱- برکنش و نشست بدنه لوله

۲- تمهیدات مقابله در برابر زلزله

در این قسمت، «مجرای پیوسته» به معنای لوله‌ای است که دارای اتصالی نظیر اتصال چسبی، فلنج با پیچ، یا اتصال پیچی همان‌طور که در زیر ذکر شده، باشد.

در این نوع لوله‌ها، دهانه بین آدروها به شکل خط پیوسته رفتار می‌کند.

۱- لوله PVC با اتصال چسب

۲- DCIP مورد استفاده برای مؤلفه‌های تحت فشار، با اتصالی که به وسیله طراح تأیید می‌شود.

۳- لوله فولادی با اتصال صلب، مانند اتصال جوشی یا اتصال صفحه‌ای (فلنجی).

– ۱

موارد کنترلی در طراحی، خطوط انتقال اصلی، در جدول (۷-۵) و برای سایر خطوط در جدول (۷-۶) داده شده است.

– اگر احتمال تأثیر روان‌گرایی بر لوله وجود داشته باشد، اقدامات ضد لرزه‌ای باید اجرا شود.

– برای محاسبه طول بیرون کشیدگی قسمت اتصال، بار زنده، فشار داخلی، تغییرات دما، نشست موجود و سایر موارد به

علت ایجاد نیروی کششی، باید در نظر گرفته شود.

مواردی که باید برای DCIP و لوله فولادی کنترل شوند در جدول (۷-۵) اشاره شده است.

جدول ۵-۷ موارد لازم برای کنترل در لوله‌های پیوسته در خطوط انتقال اصلی

زمین مستعد روان گرای		فشار در مورد روان گرای (مقدار F_L)		تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره		زمین پشتیبان	مقاومت در راستای محوری		مقاومت مقطع عرضی		اتصال مجاری		اتصال مجرا و آدم‌رو		مواردی که باید کنترل شوند نوع سازه	
ناشی از نشست	ناشی از کرنش دائمی)	طول برون طول برون		طول برون طول برون			شدت تنش کرنش لوله		شدت تنش		طول برون طول برون		طول برون طول برون			
طول برون	رابطه جابجایی	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	لوله PVC با اتصال چسبی
طول برون	رابطه جابجایی	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	طول برون	تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره	لوله فولادی

A: طراحی تنش مجاز D: طراحی شکل‌پذیر A/D: هر دو طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر باید انجام شود.

جدول ۶-۷ موارد لازم برای کنترل در لوله‌های پیوسته در سایر خطوط

زمین مستعد روان گرای ($F_L \leq ۱/۰$ مقدار F_L)	نشیست (زمینی) (ناشی از)	ناشی از کرنشی (ناشی از)	تفاضوت در مورد روان گرای (F_L مقدار)		تغییرات سختی، خم، تند و غیره	زمینی شیب‌دار (ناشی از)	مقاومت در راستای محوری		مقاومت مقطع عرضی		اتصال مجاری (ناشی از)		اتصال مجرا و آدمرو		نوع سازه
	طول بیرون لیرشی	طول بیرون لیرشی	A		طول بیرون لیرشی	طول بیرون لیرشی	شدت تنش	کرنشی لوله	ظرفیت باربری	ظرفیت باربری	طول بیرون لیرشی	طول بیرون لیرشی	طول بیرون لیرشی	طول بیرون لیرشی	لوله PVC یا اتصال چسب
		زاویه خمیدگی	A				شدت تنش								DCIP
			A												لوله فولادی

A: طراحی تنش مجاز D: طراحی شکل‌پذیر هر دو طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر باید انجام شود.

۷-۵-۲- روند محاسبات

۷-۵-۲-۱- طراحی اتصال

طراحی لرزه‌ای لوله پیوسته باید با در نظر گرفتن ویژگی مصالح لوله، شرایط ساخت‌گاه، روان‌گرایی و با توجه به موارد زیر انجام گیرد.

۱- موارد زیر در محاسبات ملحوظ می‌گردد:

۱-۱- اثر حرکت زمین

۲-۱- اثر روان‌گرایی

۲- اتصالاتی که طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی می‌شوند:

۱-۲- اتصال آدرو و لوله

۲-۲- اتصال لوله‌ها

برای مقابله با اثرات روان‌گرایی، تمهیدات لازم بر روی لوله PVC در ساخت‌گاه مستعد روان‌گرایی و خاکریزها باید در نظر گرفته و در صورت احتمال گسترش جانبی ناشی از روان‌گرایی، طول بیرون‌کشیدگی ناشی از تغییر مکان دائمی زمین و نشست زمین، باید برای اتصال لوله و آدرو در نظر گرفته شود.
در محل اتصال لوله و آدرو:

الف) برای لوله PVC، زاویه خمیدگی اتصال لوله و آدرو همانند بخش لوله با اتصال نر و مادگی باید محاسبه شود.

ب) برای لوله PVC، طول بیرون‌کشیدگی لوله از آدرو، در اثر حرکت زمین، باید همانند کالورت مستطیلی محاسبه شود.
(رابطه (۷-۱))

ضریب سختی زمین K_1 با در نظر گرفتن شکل لوله، از رابطه (۷-۱۰) باید محاسبه شود.

$$K_1 = C_1 \cdot G_s \quad (۷-۱۰)$$

K_1 : ضریب سختی زمین

C_1 : برای لوله PVC از مقدار ۱/۵ می‌توان استفاده کرد.

G_s : مدول سختی برشی (kN / m^2) (به رابطه (۶-۲۲) مراجعه شود)

ج) برای لوله PVC، طول بیرون‌کشیدگی لوله از آدرو ناشی از تغییر مکان دائمی زمین، از رابطه (۷-۱۱) باید محاسبه شود.

$$\delta = \frac{\tau' \cdot \pi D \ell}{2EA} \quad (۷-۱۱)$$

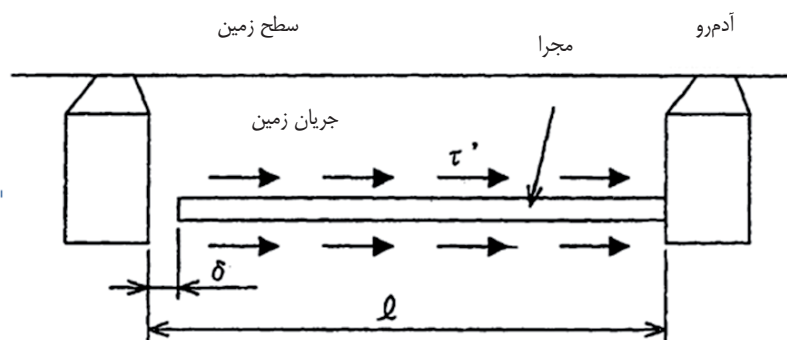
δ : طول بیرون‌کشیدگی اتصال آدرو و لوله (m)

τ' : تنش اصطکاکی حداکثر زمین روان گرا شده ($0.001 \text{N} / \text{mm}^2 = 1.0 \text{kN} / \text{m}^2$)

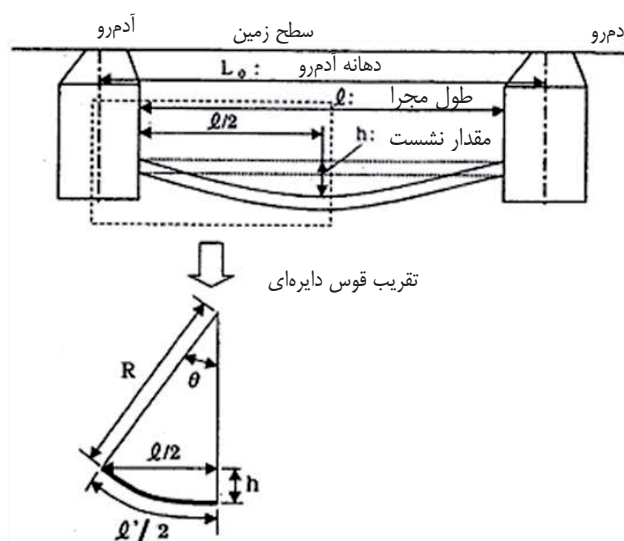
D : قطر (بیرونی) لوله (m)

ℓ : طول لوله با اتصال چسبی بین آد مروها (m)

E : مدول الاستیسیته لوله (kN/m^2)



شکل ۷-۴ طول بیرون کشیدگی اتصال لوله و آد مرو ناشی از روان گرای (برای لوله PVC با اتصالات چسبی)



شکل ۷-۵ طول بیرون کشیدگی و نشست زمین ناشی از روان گرای (برای لوله PVC با اتصالات چسبی)

برای لوله PVC، طول بیرون کشیدگی لوله از آد مرو در اثر نشست ناشی از روان گرای، از رابطه (۷-۱۲) باید محاسبه شود.

$$\delta = \frac{\ell'}{2} + \frac{\ell}{2}$$

$$\frac{\ell'}{2} = R \cdot \theta \quad (7-12)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\ell/2}{R}\right)$$

$$R = \frac{h^2 + (\ell/2)^2}{2h}$$

δ : طول بیرون کشیدگی اتصال آد مرو و لوله (m)

ℓ : طول لوله با اتصال چسبی بین آد مروها (m) (تقریباً معادل دهانه آد مرو L_0)

h : نشست زمین (m) (برای بدست آوردن h به توضیحات مربوط به رابطه (۶-۱۴) مراجعه شود)

۷-۲-۵-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه مجاری پیوسته

کنترل بدنه لوله باید در راستای محوری و با در نظر گرفتن ویژگی مصالح بدنه لوله انجام شود.

از کنترل مقطع قائم (عمود بر محور) می‌توان صرف‌نظر نمود.

۱- نحوه محاسبه تنش در راستای محوری لوله PVC با اتصال چسبی، مانند روند محاسبه تنش لوله با اتصال نر و مادگی از

جنس PVC با اتصال حلقه لاستیکی، می‌باشد.

۲- روند محاسبه تنش در راستای محوری لوله DCIP تحت فشار و لوله فولادی مانند روند محاسبه تنش در اتصال لوله سیستم

آبرسانی شهری می‌باشد.

۷-۳-۵-۳- مقادیر مجاز

مقادیر پاسخ مجاز مؤلفه‌ها باید مطابق ضوابط طراحی اولیه باشد که شامل ضوابط استفاده برای انواع سازه‌ها و راهنماهای تعیین شده توسط تولید کننده‌های مؤلفه‌ها می‌باشد.

۷-۴-۵-۴- معیارهای پذیرش

نتیجه محاسبات لرزه‌ای مجرای پیوسته باید به صورت زیر کنترل شود.

۱- مقدار معیار طراحی برای زلزله سطح خطر-۱: مقدار معیار طراحی باید تنش مجاز یا حالت حد بهره‌برداری باشد.

۲- مقدار معیار طراحی برای زلزله سطح خطر-۲: مقدار معیار طراحی باید حالت حد نهایی باشد.

۳- اقدامات ضد لرزه‌ای

اقدامات ضد لرزه‌ای باید از نقطه‌نظرهای زیر در نظر گرفته شود.

۱-۳- جذب تغییر مکان

۲-۳- برای تأمین مقاومت در مقطع قائم

۱- عملکرد ایمن در مقابل سطح خطر-۱ باید به صورت زیر باشد:

در این حالت، شرط لازم، آب‌بندی اتصال می‌باشد. مقدار معیار طراحی با افزودن حاشیه ایمنی بر حداکثر مقدار مجاز مصالح

تعیین می‌شود. برای حاشیه ایمنی، مراحل طراحی باید مانند لوله با اتصال نر و مادگی در نظر گرفته شود. همچنین برای بدنه

لوله، تنش مجاز مصالح باید برابر با مقدار معیار طراحی باشد تا از نشت ناشی از ترک جلوگیری کند.

۲- عملکرد ایمن در مقابل سطح خطر-۲ باید به صورت زیر باشد:

در این حالت، شرط لازم اتصال، پیشگیری از درون‌ریزی خاک و ماسه به داخل لوله می‌باشد. در این حالت حداکثر مقدار مجاز مصالح باید برابر با مقدار معیار طراحی در نظر گرفته شود. برای بدنه لوله، مقاومت گسیختگی باید برای جلوگیری از انهدام مقطع لوله، برابر با مقدار معیار طراحی در نظر گرفته شود. جذب تغییر مکان باید برای اتصال با طول مجاز بیشتر در نظر گرفته شود، تا حتی‌الامکان مقدار بیشتری را جذب کند. برای تأمین ایمنی در راستای محوری، مقاومت مصالح و نوع لوله، باید در نظر گرفته شوند.

فصل ۸

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

تونل‌های سپری فاضلاب

۸-۱- تونل‌های سپری و عملکرد آن‌ها

- در زمین‌های سست استفاده از تونل سپری برای انتقال فاضلاب از گزینه‌های طراحی این سامانه است.
 - بدنه این تونل‌ها که دارای اتصالات طولی و شعاعی می‌باشد باید پاسخ گوی سطوح عملکردی مورد انتظار در سطوح مربوطه خطر باشد.
 - اتصالات تونل با آدم رو نیز بایستی مورد طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی قرار گیرد.
- عملکرد مطلوب اجزای مختلف تونل‌های سپری در جدول (۸-۱) داده شده است.

جدول ۸-۱ وضعیت مورد نیاز اجزای تونل سپری

اجزای تونل سپری	وضعیت مورد نیاز
اتصال بین مجرا و آدم‌رو	زاویه خمیدگی و طول بیرون کشیدگی باید در محدوده‌ای باشد که درون ریزی خاک و ماسه رخ ندهد.
پوشش اولیه	اعضای اتصال حلقه‌ای نباید شکسته شوند و بازشدگی بین اتصالات باید در محدوده‌ای باشد که ترمیم آب‌بندی امکان‌پذیر باشد.
پوشش ثانویه	پوشش با میل‌گرد تقویتی یا بدون آن، حتی با وجود ترک هم نباید مانعی در برابر قابلیت جریان باشد.

۸-۲- روند طراحی

طراحی لرزه‌ای تونل سپری باید برای موارد زیر با در نظر گرفتن ویژگی مصالح لوله انجام شود.
۱- مواردی که در محاسبات لرزه‌ای باید در نظر گرفته شود.
۱-۱- فشردگی لوله در راستای محوری
۲-۱- کشش لوله در راستای محوری
۳-۱- مقطع (صفحه عمود بر محور لوله)
۴-۱- اتصال بین آدم‌رو و مجرا
۵-۱- برکنش بدنه اصلی (مجرا)
۲- تمهیدات لرزه‌ای

طراحی تونل پوشش‌دار باید برای موارد زیر انجام شود:

- ۱- قطعات (بتن مسلح، فولاد، مواد مرکب) و پوشش آن‌ها
- ۲- اتصال (بین اتصالات، اتصال به سازه)

خط مشی اصلی در طراحی لرزه‌ای تونل سپری این است که هر قسمت از پوشش قطعه باید در محدوده الاستیک در سطح خطر-۱ قرار گیرد و علاوه بر آن اعضای از قبیل رینگ اتصال گسیخته نشوند و بازشدگی اتصال بین رینگ‌ها باید در محدوده‌ای قرار گیرد که تعمیرات اضطراری برای جلوگیری از تراوش در سطح خطر-۲ زلزله امکان‌پذیر باشد.

در طراحی خطوط لوله اصلی مهم، موارد ذکر شده در جدول (۸-۲) و برای سایر خطوط موارد جدول (۸-۳) باید کنترل شوند.

در تونل سپری، قطعات با پیچ مهره به یکدیگر وصل شده‌اند، بنابراین زمانی که قطعه تحت نیروی فشاری محوری قرار دارد، سختی مجرا برابر با سختی قطعه می‌باشد. در ضمن، زمانی که تونل سپری تحت نیروی کششی محوری قرار دارد، بار در روی قسمت اتصال متمرکز می‌شود. بنابراین، طراحی بایستی برای هر دو امتداد محوری انجام شود. همچنین برای مجاری پوشش‌دار ویژه، نظیر مجرا با خم تند در طول مسیر یا مجرا بدون پوشش ثانوی، استفاده از روش‌های تحلیلی نشان داده شده در جدول (۸-۴) امکان‌پذیر می‌باشد.

جدول ۸-۲ موارد لازم برای کنترل در تونل سپری خطوط انتقال اصلی

مواردی که باید کنترل شوند		اتصال بین مجرا و آدم‌رو		اتصال بین مجاری		مقاومت عرضی		مقاومت در راستای محوری		زمین شیب‌دار		تغییرات سختی		قضاوت در مورد روان‌گرایی (مقدار F_L)		زمین مستعد روان‌گرایی ($F_L \leq 1/0$)	
		(ناشی از حرکت ورودی)		(ناشی از حرکت ورودی)						(ناشی از کرنش دائمی)		سختی زمین، خم تند و غیره		روان‌گرایی (مقدار F_L)		(ناشی از نشست زمین)	
نوع سازه		زاویه خمیدگی	طول برون لغزش	زاویه خمیدگی	طول برون لغزش	طرفیت باربری	شدت تنش	کرنش مجرا	شدت تنش	طول برون لغزش	طول برون لغزش					طول برون لغزش	زاویه خمیدگی
نوع تونل	قطعه فولادی	A/D	A/D				A/D (تحلیل قاب)		A/D		A/D*		D	A/D*	A/D*	A/D*	A/D*
	قطعه بتنی	A/D	A/D				A/D (تحلیل قاب)		A/D		A/D*		D	A/D*	A/D*	A/D*	A/D*

* روند طراحی مشخص نشده، بنابراین باید از روندی استفاده شود که شامل تحلیل دینامیکی باشد.

A: طراحی تنش مجاز D: طراحی شکل‌پذیر A/D: هر دو طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر باید انجام شود.

جدول ۸-۳ موارد لازم برای کنترل در تونل سپری سایر خطوط

نوع سازه	مواردی که باید کنترل شوند	اتصال بین مجرا و آدرو			اتصال بین مجاری			مقاومت مقطع عرضی		مقاومت در راستای محوری		زمین شیب‌دار		تغییرات سختی زمین، خم تند و غیره		قضاوت در مورد روان گرای (مقدار FL)		زمین مستعد روان گرای ($FL \leq 10$)	
		ناشی از حرکت ورودی			ناشی از حرکت ورودی			ناشی از حرکت ورودی		ناشی از حرکت ورودی		ناشی از کرنش دائمی		ناشی از کرنش دائمی، خم تند و غیره		قضاوت در مورد روان گرای (مقدار FL)		ناشی از نشست زمین	
		زاویه خمیدگی	طول برون	طول برون	زاویه خمیدگی	طول برون	طول برون	شدت تنش	ظرفیت باربری	شدت تنش	کرنش مجرا	شدت تنش	طول برون	طول برون	طول برون	طول برون	طول برون	زاویه خمیدگی	طول برون
نوع	قطعه	A	A													A			
قطعه سپری	قطعه																		
ی	بتنی	A	A													A			

A: طراحی تنش مجاز

جدول ۸-۴ لیست روش‌های تحلیلی برای تونل سپری

روش تحلیلی	نوع مدل تحلیلی	طبقه‌بندی روش‌های تحلیل
تحلیل دینامیکی	مدل تیر-فنر	تحلیل سه بعدی (محوری) افقی، قائم)
تحلیل دینامیکی	روش سه بعدی FEM	
روش پاسخ تغییر مکان	مدل تیر با سختی معادل	محوری (افقی)
روش پاسخ تغییر مکان یا تحلیل دینامیکی	مدل تیر-فنر	
تحلیل دینامیکی	روش دوبعدی FEM	
روش پاسخ تغییر مکان	روابط تقریبی	قائم
روش پاسخ تغییر مکان	مدل قاب با حلقه همگن	
روش پاسخ تغییر مکان یا تحلیل دینامیکی	مدل تیر-فنر	
تحلیل دینامیکی	روش دوبعدی FEM	

چند نکته برای یادآوری در مورد محاسبه استاندارد تونل سپری (مجرای مستقیم در زمین همگن) در ادامه ارائه شده است.

همچنین در شکل ۸-۱ روند محاسبه ثابت فنر مجرا نشان داده شده است.

۱- قطعه استاندارد تونل سپری در طراحی اولیه در شرایط عادی/ ثابت انتخاب می‌گردد. بررسی لرزه‌ای باید برای قطعات آن

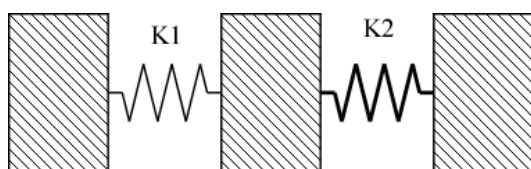
انجام و سپس اگر لازم باشد، اقدامات پیشگیرانه لرزه‌ای باید در نظر گرفته شود.

۲- ابتدا در امتداد محور بررسی لرزه‌ای باید انجام شود چرا که بیشترین تأثیر را در معیار طراحی خواهد داشت.

۳- اگر اصلاحات قابل توجه سازه‌ای برای قطعات لازم باشد، محاسبه طراحی لرزه‌ای بایستی از شرایط عادی/ثابت دوباره آغاز شود.

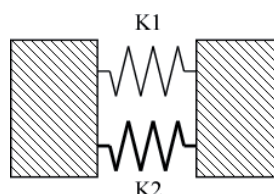
در هنگام بررسی امتداد محوری، سختی معادل مجرا، از سختی هر یک از قسمت‌ها از قبیل قطعات، پیچ اتصال و غیره، باید به دست آید. مقدار این سختی معادل با توجه به امتداد مجرا متغیر می‌باشد (فشاری یا کششی). با در نظر گرفتن هر یک از مؤلفه‌های پوشش قطعه (قطعه، پیچ اتصال، و اشر صفحه اتصال و غیره) به عنوان یک فنر، سختی معادل همانند ثابت فنر کل، از معکوس ثوابت هر یک از فنرهای این مؤلفه‌های به دست می‌آید. شکل ۸-۱ فرآیند تبدیل فنر هر یک از مؤلفه‌ها به کل مدل را نشان می‌دهد.

فنر سری



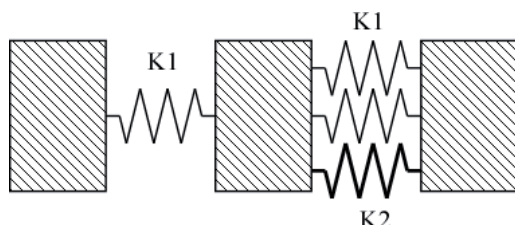
$$K = \frac{1}{\frac{1}{K1} + \frac{1}{K2}}$$

فنر موازی



$$K = K1 + K2$$

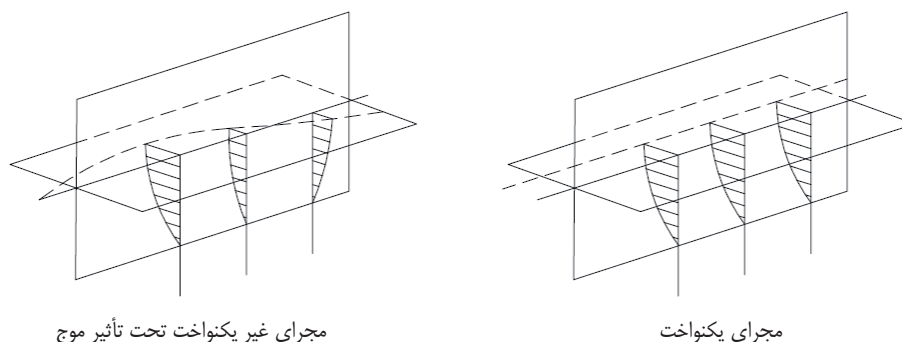
ترکیبی از فنر سری و موازی



$$K = \frac{1}{\frac{1}{K1} + \left(\frac{1}{2 \cdot K1 + K2} \right)}$$

شکل ۸-۱ روند محاسبه ثابت فنر مجرا

مفهوم سختی معادل تبدیل یافته در شکل (۸-۲) و جدول (۸-۵) نشان داده شده است.



مجرای غیر یکنواخت تحت تأثیر موج

مجرای یکنواخت

شکل ۸-۲ مفهوم تبدیل سختی معادل

جدول ۸-۵ رفتار تونل سپری و برآورد سختی

	(الف) حالتی که فشار محوری اعمال می‌شود	(ب) حالتی که کشش محوری اعمال می‌شود
تغییر شکل مجرای پوشش دار ناشی از نیروی محوری	وقتی که نیروی ورودی لرزه‌ای P در راستای محوری اثر می‌کند، همزمان نیروی $P/2$ باید در راستای قائم اعمال شود، سپس خمش ارزیابی گردد.	ازدیاد طول پیچ
انتقال نیروی محوری به هر یک از مولفه‌ها	فشار در قطعه	ازدیاد طول قطعه
نحوه مدل کردن	سری فنرها با قطعه‌ها	سری فنرها با قطعه، پیچ و صفحه اتصال

- ۱- اگر پوشش ثانویه، بتن غیر مسلح باشد، سختی آن در محاسبه در نظر گرفته نمی‌شود و اگر پوشش ثانویه از جنس بتن مسلح باشد، باید آن را تبدیل کرد و به ضخامت قطعه، بسته به ضریب سختی آن، افزود.
- ۲- پدیده‌هایی از قبیل تفرق امواج ورودی از یک مجرا به داخل زمین، قطع انتشار موج به علت ناهمگنی زمین، اصطکاک بین وجه پیرامونی و زمین اطراف، هنوز در فرآیند محاسبه در نظر گرفته نشده است. ولی اگر روش محاسبه برای این پدیده‌ها ارائه گردد، نیروی مقطعی مخصوصاً نیروی کششی محوری، باید کاهش داده شود.
- ۳- محاسبه مقطع قائم بایستی با مدل قاب انجام و بارهای بهره‌برداری و زلزله باید با هم ترکیب شود. در مورد مجراهای با قطر نسبتاً بزرگ از قبیل تونل سپری، اثر نیروی برشی در امتداد وجه پیرامونی نیز باید در نظر گرفته شود.
- ۴- در فرآیند محاسبه مقطع عرضی در روش پاسخ تغییر مکان، ضریب عکس‌العمل لایه زیرین در جهت افقی، k_h باید از رابطه (۱-۸) تعیین گردد.

$$k_h = k_{ho} \left(\frac{B_h}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (1-8)$$

$$B_h = \sqrt{B * D} \quad (2-8)$$

B_h : عرض بار تبدیل یافته پی در امتداد عمود بر بارگذاری (m)

D: قطر مجرا (m)

B: طول مؤثر مجرا (m) که متناظر با طولی است که تغییر شکل یکنواخت اتفاق می‌افتد.

زمانی که از قطعه استاندارد استفاده می‌شود B را می‌توان ۱۰ متر در نظر گرفت.

- ۵- روند طراحی لرزه‌ای مقطع قائم قطعه فولادی در سطح خطر-۲ و روند بررسی پوشش بتنی مسلح، در روش طراحی حالت حدی نهایی هنوز ارائه نگردیده است. بنابراین طراح بایستی از روشی که برای مثال در آن لنگر، حالت پلاستیکی کامل را در مقطع مؤثر در نظر می‌گیرد، تعریف کند.

- ۶- عمق تونل سپری معمولاً از سایر انواع مجراها بیشتر می‌باشد. بنابراین این نوع مجرا دارای مقاومت کافی در مقابل شناوری ناشی از روان‌گرایی می‌باشد. اگر بررسی شناوری در مورد تونل سپری مطرح باشد، از روش مجراهای مستطیلی و تحلیل مدل تیر-فنر می‌توان استفاده کرد.

نیروی مقطع و سختی معادل، باید از روابطی که در ادامه آمده است محاسبه گردد.

$$P_h^C = \alpha_1^C \frac{\pi u_h}{L} (EA)_{eq}^C \quad (3-8)$$

$$P_h^T = \alpha_1^T \frac{\pi u_h}{L} (EA)_{eq}^T \quad (4-8)$$

$$P_v^C = \alpha_1^C \frac{\pi(u_h + u_v)}{L} (EA)_{eq}^C \quad (5-8)$$

$$P_v^T = \alpha_1^T \frac{\pi(u_h + u_v)}{L} (EA)_{eq}^T \quad (۶-۸)$$

$$M_h = \alpha_2 \frac{4\pi^2 u_h}{L^2} (EI)_{eq} \quad (۷-۸)$$

$$M_v = \alpha_3 \frac{4\pi^2 u_h}{L^2} (EI)_{eq} \quad (۸-۸)$$

$$Q_h = \alpha_2 \frac{8\pi^3 u_h}{L^3} (EI)_{eq} \quad (۹-۸)$$

$$Q_v = \alpha_3 \frac{8\pi u_h}{L^3} (EI)_{eq} \quad (۱۰-۸)$$

P_h^C, P_h^T : نیروی محوری فشاری و کششی ناشی از انتشار موج در صفحه افقی (تن - نیرو)

P_v^T, P_v^C : نیروی محوری فشاری و کششی ناشی از انتشار موج در صفحه قائم (تن - نیرو)

M_v, M_h : لنگر خمشی ناشی از انتشار موج در صفحه افقی و قائم (تن - نیرو در متر)

Q_v, Q_h : نیروی برشی ناشی از انتشار موج در صفحه افقی و قائم (تن - نیرو)

$(EA)_{eq}^T, (EA)_{eq}^C$: سختی معادل کشش و فشار محوری (تن - نیرو) به دست آمده از رابطه (۲۰-۸) و رابطه (۲۱-۸)

$(EI)_{eq}$: سختی معادل خمشی (تن - نیرو در متر) به دست آمده از رابطه (۲۴-۸)

u_h : جابه‌جایی زمین در امتداد افقی در عمق مرکز سپری به دست آمده از روش جابه‌جایی پاسخ (m).

u_v : جابه‌جایی زمین در امتداد قائم در عمق مرکز سپری (m) با در نظر گرفتن نصف طول موج راستای افقی زمین‌لرزه

L : طول موج زمین‌لرزه (m) که به صورت متوسط طول موج هارمونیک لایه سطحی و لایه سنگ بستر تعریف می‌گردد.

$\alpha_1^T, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_1^C$: نرخ انتقال کرنش از زمین به سازه، به دست آمده از روابط ۸-۱۱ تا ۸-۱۴

$$\alpha_1^C = \frac{1}{1 + (2\pi / \lambda_1^C L_i)^2} \quad (۱۱-۸)$$

$$\alpha_1^T = \frac{1}{1 + (2\pi / \lambda_1^T L_i)^2} \quad (۱۲-۸)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + (2\pi / \lambda_2 L)^4} \quad (۱۳-۸)$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{1 + (2\pi / \lambda_3^T L)^4} \quad (۱۴-۸)$$

$$\lambda_1^C = \sqrt{\frac{K_{g1}}{(EA)_{eq}^C}} \quad (15-8)$$

$$\lambda_1^T = \sqrt{\frac{K_{g1}}{(EA)_{eq}^T}} \quad (16-8)$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{(EI)_{eq}}} \quad (17-8)$$

$$\lambda_3 = \sqrt[4]{\frac{K_{g3}}{(EI)_{eq}}} \quad (18-8)$$

$$L_i = \sqrt{2 \cdot L} \quad (19-8)$$

K_{g1} , K_{g2} , K_{g3} : ضریب عکس‌العمل زمین در امتداد محوری و صفحه عمود بر امتداد افق و قائم

۷- سختی معادل تونل سپری در امتداد محوری از روابط زیر باید محاسبه شوند:

$$(EA)_{eq}^C = E_S A_S \quad (20-8)$$

$$(EA)_{eq}^T = \frac{1}{(K_S / K_j) + 1} * E_S A_S \quad (21-8)$$

$(EA)_{eq}^C$: سختی معادل فشار محوری (تن - نیرو)

$(EA)_{eq}^T$: سختی معادل کشش محوری (تن - نیرو)

E_S : مدول الاستیسیته قطعه (تن - نیرو بر متر مربع)

A_S : سطح مقطع یک رینگ قطعه (m^2)

l_S : طول یک رینگ (m)

K_S : سختی محوری یک رینگ قطعه (تن - نیرو بر متر) به دست آمده از رابطه (۲۲-۸):

$$K_S = \frac{E_S A_S}{l_S} \quad (22-8)$$

K_j : سختی محوری تمامی رینگ‌های اتصالات (تن - نیرو بر متر) به دست آمده از رابطه (۲۳-۸):

$$K_j = nk_j \quad (23-8)$$

k_j : سختی محوری یک رینگ اتصال (تن - نیرو بر متر)

n : تعداد رینگ اتصالات به ازای هر اتصال

۸- سختی خمشی معادل تونل سپری از رابطه (۲۴-۸) باید محاسبه شود:

$$(EI)_{eq} = \frac{\cos^3 \varphi}{\cos \varphi + (\pi / 2 + \varphi) \sin \varphi} \cdot E_s \cdot I_s \quad (24-8)$$

$(EI)_{eq}$: سختی خمشی معادل (تن - نیرو در متر مربع)

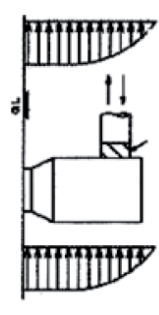
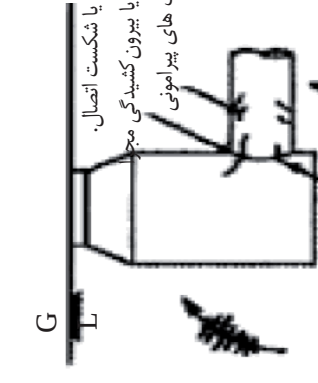
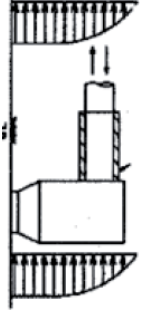
I_s : ممان اینرسی قطعه (m^4)

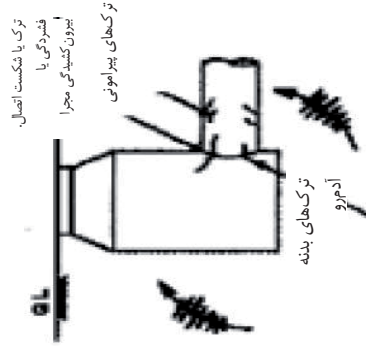
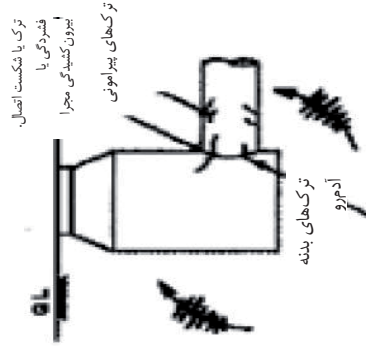
φ : زاویه بین محور مرکز سطح مقطع و محور خنثی که از رابطه (۲۵-۸) به دست می‌آید:

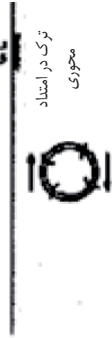
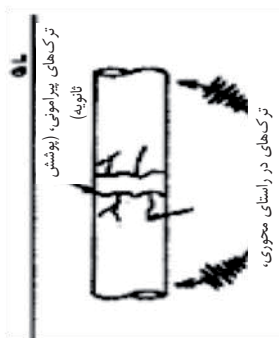
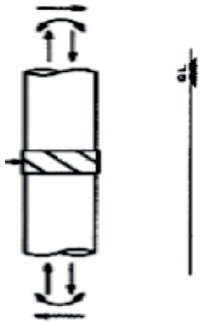
$$\varphi + \cot \varphi = \pi \left(\frac{1}{2} + \frac{K_j}{E_s A_s / I_s} \right) \quad (25-8)$$

اقدامات پیشگیرانه لرزه‌ای مناسب که در جدول (۶-۸) نشان داده شده است در بخش‌هایی که مقدار به دست آمده از مقدار مجاز بیشتر است، باید اعمال گردد.

جدول ۸-۲ اقدامات پیشگیرانه و روش طراحی (تونل سپری)

روش طراحی لوزه‌ای				اقدامات پیشگیرانه و ورودی طراحی	شکل شماتیک آسیب‌دیدگی	توضیحات
وابسته به نشست زمین	وابسته به کرنش ماندگار	روش جابه‌جایی	پاسخ			
		L	S _v			
-	-	-	O	 جاگذاری اتصال انعطاف‌پذیر (خمشی، فشاری، کششی)	 ترک یا شکست اتصال. فشاردهی یا بیرون کشیدگی مجرای ترک‌های پیرامونی	اتصال بین آدم‌رو و مجرا
-	-	-	-	 جاگذاری لایه عایق (تزییق مواد عایق از قبیل، آسفالت، سیلیکون و غیره)		
-	O	O	O	طول فشاری		
-	O	O	O	طول بیرون کشیدگی		

روش طراحی لرزه‌ای				اقدامات پیشگیرانه و ورودی طراحی	توضیحات
وابسته به نشست زمین	وابسته به کرنش ماندگار زمین	روش جابجایی پاسخ			
		L	S _v		
-	-	-	O		شکل شماتیک آسیب دیدگی
-	-	-	-		
-	-	-	-		
-	O	O	O	 چاکلاری لایه عایق (توزیع مواد عایق از قبیل، آسفالت، سلیکون و غیره)	تفصیل اتصال بین آدمرو و محتر

روش طراحی لرزه‌ای				شکل شماتیک آسیب‌دیدگی	نوع آسیب
وابسته به نشست زمین	وابسته به کرنش ماندگار زمین	روش جابه‌جایی پاسخ			
		L	S _v		
-	-	-	O		ترک در امتداد محوری
-	-	O	-		ترک‌های پیرامونی (پوشش ثانویه)
-	-	O	O		ترک‌های در راستای محوری (پوشش ثانویه)
-	-	O	O		ترک‌های در راستای محوری (پوشش ثانویه)

توجه S_v: طیف پاسخ سرعت

L: طول موج

وقتی که از تزریق مواد عایق ساز از قبیل آسفالت، سیلکون و غیره استفاده می‌شود، تحلیل دینامیکی باید انجام شود.

۸-۳- مراحل محاسبات

۸-۳-۱- طراحی لرزه‌ای اتصالات

ارزیابی حرکت ورودی در جهت محوری، باید در محل اتصال بین آدمرو و تونل انجام شود. ملاحظات مناسبی باید در مورد زمین مستعد به روان‌گرایی، زمین با سطح شیب‌دار، حاشیه زمین نرم و سخت، قسمت‌هایی از محور مجرا با انحنای تند و غیره، در نظر گرفته شود.

۱- موارد زیر باید بررسی شوند

۱-۱- تأثیر حرکت موج لرزه‌ای

۲-۱- تأثیر شرایط خاص از قبیل شرایط محلی زمین یا شرایط اجرایی

۲- اتصال بین آدمرو و تونل باید بررسی شود.

گزینه‌های استاندارد اجزای اتصال تونل سپری به صورت زیر می‌باشد:

۱- تأثیر جنبش موج لرزه‌ای

زاویه خمش و طول بیرون کشیدگی باید ارزیابی گردند.

۲- تأثیر شرایط خاص

در موارد خاص که در بالا به صورت خلاصه آورده شده است، انتظار می‌رود که پاسخ‌های نسبتاً بزرگ‌تری (طول کشیدگی، زاویه خمشی) اتفاق بیافتند و لازم است که بررسی گردند. ولی در این حالت روش پاسخ تغییر مکان مناسب نمی‌باشد چرا که دقت این روش برای این قبیل موقعیت‌ها کافی نمی‌باشد. بنابراین طراح باید در صورت لزوم از سایر روش‌های تحلیلی استفاده کند. بخش اصلی اتصال لرزه‌ای، در محل اتصال بین آدمرو و مجرا می‌باشد.

۳- اتصال بین آدمرو و مجرا

۳-۱- زاویه خمش

زاویه خمش بین آدمرو و تونل لوله با اتصال نرو مادگی، بایستی از طریق رابطه (۸-۲۶) به دست آید.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta U}{h} \right) \quad (8-26)$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(h) = U_0 - U_1$$

θ : زاویه خمش بین آدمرو و مجرا (زاویه خمش اتصال انعطاف‌پذیر)

$U_h(Z)$: حداکثر جابه‌جایی افقی در عمق $z(m)$ از روش پاسخ تغییر مکان

۳-۲- طول بیرون کشیدگی

طول بیرون کشیدگی در محل اتصال آدمرو و مجرا مانند لوله با اتصال نرو مادگی، از رابطه (۸-۲۷) به دست می‌آید:

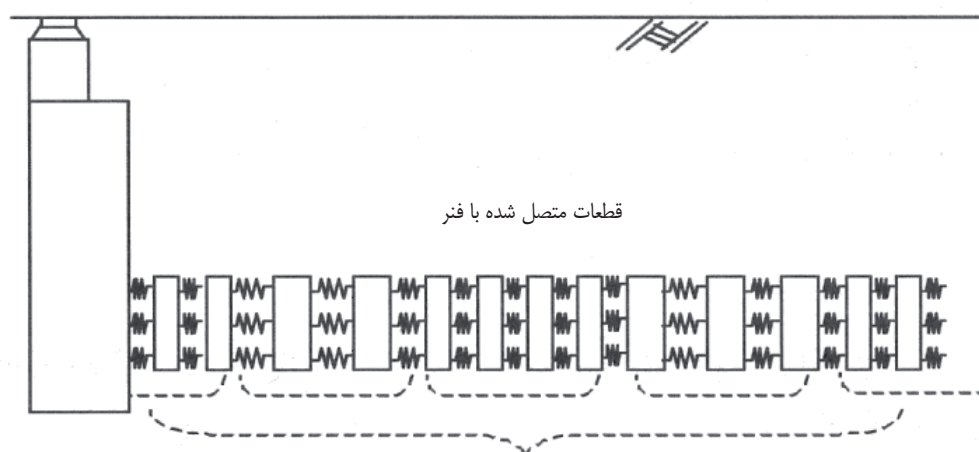
$$\delta = \varepsilon_{gd} \cdot l \quad (8-27)$$

δ : طول بیرون کشیدگی (m)

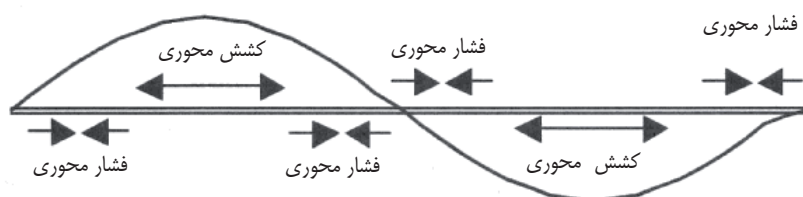
ε_{gd} : کرنش زمین ناشی از انتشار موج که از رابطه (۸-۲۸) به دست می‌آید:

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} U_h(z) \quad (۸-۲۸)$$

طول مؤثر مجرا l ، قسمتی از طول مجرا می‌باشد که در آن قسمت، به طور یکنواخت تغییر شکل داده است. تونل سپری یک سازه یکپارچه می‌باشد و در اثر انتشار موج مانند یک آکاردئون همان‌طور که در شکل ۸-۳ نشان داده شده است، تغییر شکل می‌دهد. طول دهانه تونل سپری معمولاً از طول موج L بزرگ‌تر می‌باشد. بنابراین تخمین صحیح طول مؤثر سخت می‌باشد. اگر طول مؤثر کوچک‌تر تخمین زده شود، در نتیجه طول بیرون کشیدگی کوچک‌تر می‌شود. لازم است که طراح ملاحظات مربوط به اثرات سختی متغیر در طول زمین، اندازه موج، تفرق امواج از مجرا به زمین اطراف را در نظر بگیرد.



طول مؤثر " l " جایی که مجرا بطور یکنواخت تغییر شکل می‌دهد



توجه) محدوده‌ای در طول محور که نیروی کششی ایجاد شده کوتاه‌تر از طول موج L می‌باشد.

زمانی که نیروی کششی رخ می‌دهد، بیرون کشیدگی واقع می‌شود.

شکل ۸-۳ نمایی از طول مؤثر وقتی که قطعات به صورت سازه یکپارچه رفتار می‌کنند.

۸-۳-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه تونل سپری

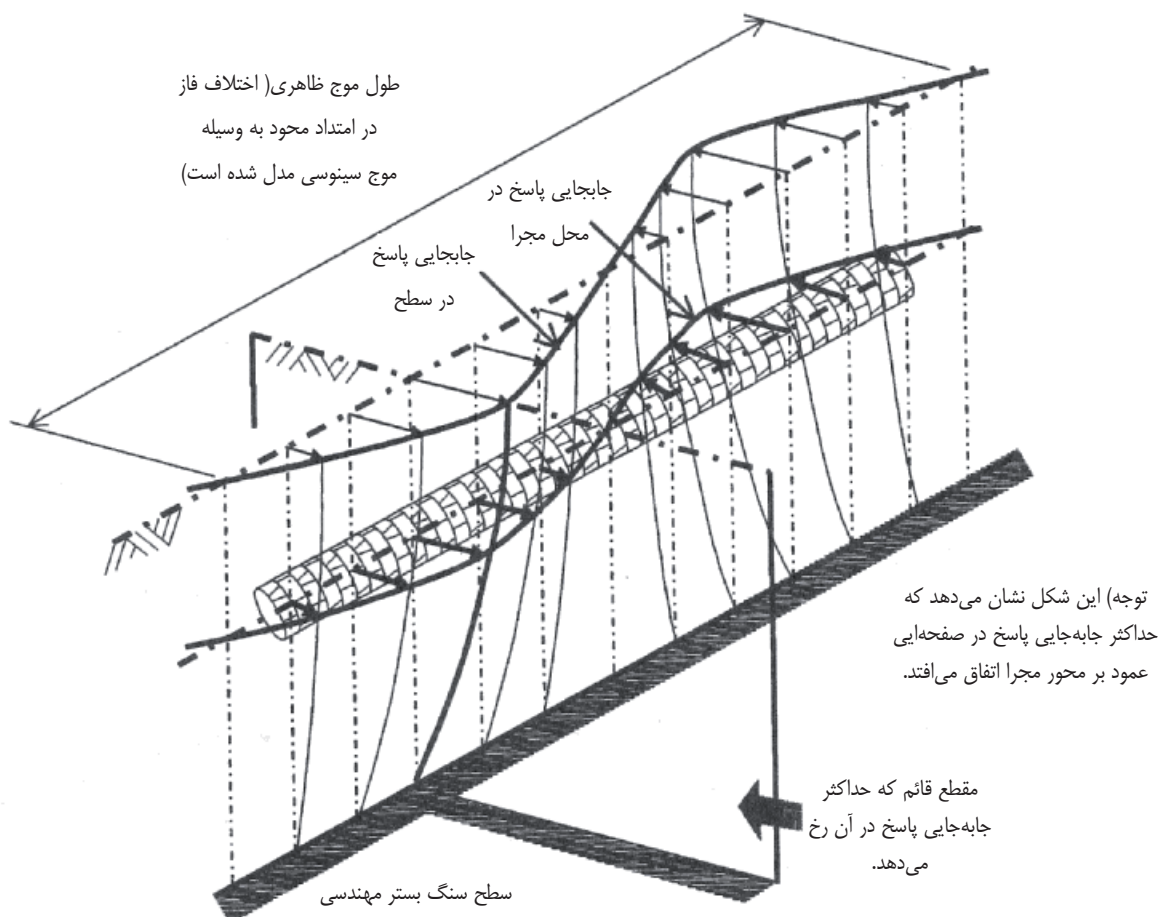
ارزیابی بدنه یک مجرا در مقاطع زیر با در نظر گرفتن جنس مصالح مجرا باید انجام شود.

۱- ارزیابی در مقطع محوری (برای تغییر شکل ناشی از فشار محوری)

۲- ارزیابی در امتداد محوری (برای تغییر شکل ناشی از کشش محوری)

۳- ارزیابی در امتداد قائم

وقتی نیروی فشاری محوری ناشی از حرکت موج در تونل سپری به وجود می‌آید، شدت تنش قطعه و اعضای اتصال بایستی نسبت به سختی وجه فشاری محوری ارزیابی گردد. شکل ۸-۴ تأثیر جابه‌جایی پاسخ زمین را نشان می‌دهد. در این روند سختی فشاری محوری EA_{eq}^C و سختی فشاری پیچشی محوری EI_{eq}^C به عنوان سختی معادل فشاری، لازم می‌باشد. سطح مقطع معادل A_{eq} و ممان اینرسی معادل I_{eq} متناظر با A_{eq} نیز لازم می‌باشد.



شکل ۸-۴ تأثیر تغییر مکان زمین در تونل سپری هنگام زلزله

وقتی که حرکت موج، نیروی کششی محوری در تونل سپری ایجاد می‌کند، شدت تنش قطعه و اعضای اتصال بایستی نسبت به سختی وجه کششی محوری ارزیابی گردند. در قطعه بتنی توزیع تنش بایستی بر اساس نتایج محاسبه تنش ارزیابی گردد. در این

فرآیند، سختی کششی محوری EA_{eq}^t و سختی فشاری پیچشی محوری EI_{eq}^t به عنوان سختی معادل فشاری لازم می‌باشند. این سختی‌ها با تبدیل تونل سپری به یک فنر بر اساس اندازه اعضا، از قبیل قطعه، پیچ اتصال، صفحه اتصال و واشر به دست می‌آیند.

اگر مقادیر به دست آمده از محاسبات از مقادیر مجاز بیشتر باشد، ملاحظات زیر باید در نظر گرفته شود.

- ۱- با توجه به تنش محوری فشاری اگر مقادیر به دست آمده از محاسبات از مقادیر مجاز بیشتر باشد، کرنش دائمی ایجاد می‌شود ولی جریان می‌تواند برقرار باشد. بنابراین شرایطی از قبیل شرایط ساخت، حجم واقعی جریان و غیره، بایستی به طور جامع امتحان گردند. در مورد قطعه بتنی، حجم مسلح‌سازی پس از امکان تأیید، بایستی افزایش یابد. امکان اجرای پوشش ثانویه به عنوان پوشش مسلح کننده وجود دارد ولی باعث ایجاد اثرات منفی با افزایش سختی کششی معادل می‌گردد.
- ۲- اگر تنش کششی محوری از مقدار مجاز تجاوز کند، قبل از تغییر تعداد، طول و قطر پیچ‌ها، محاسبه مجدد با مقاومت افزایش یافته باید انجام شود.

- ۳- در کشش محوری، افزایش طول پیچ مؤثر است، ولی ابتدا باید ابعاد پیچ بررسی گردد تا بتوان آن‌ها را در یک ردیف قرار داد.
- ۴- در مورد کشش محوری جاگذاری واشر ارتجاعی مؤثر خواهد بود. تعیین ثابت فنر آن‌ها باید به دقت انجام شود.
- محاسبه تنش در مقطع قائم در شرایط عادی و لرزه‌ای از طریق روش تحلیل قاب باید جمع زده شود.
- ۴-۱- در قطعه بتنی مقدار آرماتورگذاری (توزیع میل گرد) در وهله اول باید در نظر گرفته شود. در قطعه فولادی ارتفاع قطعه باید در نظر گرفته و محاسبه در امتداد محوری دوباره انجام شود.
- ۴-۲- افزایش ارتفاع قطعه باید در محدوده استاندارد انجام شود.
- ۴-۳- در طراحی تونل با قطر بالا، طراح باید تعداد نقاط گره‌ای مناسب را با توجه به دقت و زمان لازم در تحلیل در نظر بگیرد.

۸-۴- مقادیر مجاز

مقادیر پاسخ مجاز مؤلفه‌ها باید مطابق با مقادیر تعریف شده توسط تولید کنندگان تجهیزات باشند.

۸-۵- معیارهای پذیرش

نتایج محاسبه طراحی لرزه‌ای تونل‌های پوشش دار باید طبق مراحل زیر کنترل گردد.

- ۱- معیار طراحی برای سطح خطر-۱: معیار طراحی باید تنش مجاز یا حالت حدی بهره‌برداری باشد.
- ۲- معیار طراحی برای سطح خطر-۲: معیار طراحی باید حالت نهایی باشد.
- ۳- اقدامات پیشگیرانه لرزه‌ای
- اقدامات ضد لرزه‌ای باید بر اساس نقطه نظرهای زیر باشد.
- ۳-۱- جذب تغییر مکان
- ۳-۲- تأمین مقاومت در امتداد محوری
- ۳-۳- تأمین مقاومت در سطح مقطع قائم

بازشدگی در اتصال باید زیر ۲ میلی‌متر با ملاحظه پهنای ترک در هنگام بهره‌برداری و نگهداری، باشد.

با توجه به مجرا، تنش مجاز مواد باید برابر با مقدار معیار طراحی به منظور جلوگیری از نشت ناشی از ترک باشد.

جلوگیری از درون‌ریزی خاک و ماسه شرط لازم در اتصال می‌باشد. مقدار مجاز حداکثر مواد باید به عنوان مقدار طراحی در نظر گرفته شود. حداکثر مقدار مجاز بازشدگی اتصال از ۲ تا ۵ میلی‌متر می‌باشد.

در مجرا، مقاومت گسیختگی مصالح طراحی به منظور جلوگیری از انهدام مقطع مجرا باید برابر با مقدار معیار باشد.

فصل ۹

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

آدمرو فاضلاب

۹-۱- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی آدَمرو

آدَمرو در سامانه فاضلاب در مقایسه با آدَمرو در سایر شریان‌های حیاتی از ابعاد بزرگ‌تری برخوردار بوده و در مقابل حرکات مختلف زمین در زلزله آسیب پذیرتر می‌باشد.

مؤلفه‌های هدف در این بخش، آدَمروهای درجا با مقطع دایره‌ای، مستطیلی و آدَمروهای پیش‌ساخته بتنی می‌باشد. دو قسمت عمده آدَمرو شامل بدنه و اتصال مجرا با آدَمرو از اهمیت زیادی در طراحی برخوردار است. عملکرد مورد انتظار از این دو قسمت در جدول (۹-۱) آمده است:

جدول ۹-۱ حالت مورد نیاز در اجزای آدَمرو

وضعیت مورد نیاز	اجزای آدَمرو
زاویه خمیدگی و طول بیرون کشیدگی باید در محدوده‌ای باشد که ریزش خاک و ماسه به داخل اتفاق نیافتد.	اتصال مابین مجرا و آدَمرو
شدت تنش هر نوع آدَمرو باید در محدوده حالت حد نهایی باشد. اگر از روش ساخت با حفاری باز استفاده گردد، باید از انسداد ناشی از روانگرایی دیوی خاکریز در مسیر رفت و آمد کارهای اضطراری، جلوگیری شود. عرض بازشو در بین اتصال بلوک پیش‌ساخته باید به حدی باشد که از درون‌ریزی خاک و ماسه جلوگیری شود.	بدنه اصلی آدَمرو

۹-۲- ورودی طراحی لرزه‌ای

دو سطح خطر-۱ و ۲ برای طراحی لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود. آدَمرو به جابجایی‌های نسبی ماندگار زمین در زلزله بیش از تکانهای آن حساس است و لذا مخاطرات ژئوتکنیکی بویژه روانگرایی اثر بیشتری بر آدَمرو و اتصال آن به مجرا دارد.

۹-۳- روند طراحی

طراحی لرزه‌ای آدَمرو باید با توجه به موارد زیر و خواص مصالح انجام شود.

- ۱- تحلیل و طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی برای موارد زیر:
 - مقطع قائم
 - مقطع افقی
 - اتصالات مابین بلوک‌های پیش‌ساخته
 - شناوری بدنه اصلی در اثر روانگرایی
- ۲- اقدامات پیشگیرانه در برابر زلزله

مواردی که در آدَمروهای واقع در خطوط مجرای مهم و سایر خطوط باید بررسی شوند در جدول (۹-۲) و جدول (۹-۳) ارائه شده است.

جدول ۹-۲ موارد لازم برای بررسی در آدمرو واقع در خطوط اصلی

نوع سازه	مواردی که باید بررسی گردند	مقطع قائم		مقطع افقی	پذیرش برای روانگرایی (مقدار FL)
		پهنای بازشو	شدت تنش	شدت تنش	
نوع آدمرو	درجا (مقطع دایره‌ای)		A/D	A/D	D
	درجا (مقطع مستطیلی)		A/D	A/D	D
	پیش‌ساخته (محصول ثانویه)	A/D	A/D	A/D	D

A: طراحی به روش تنش مجاز D: طراحی به روش شکل پذیر A/D: هر دو روش طراحی، مجاز و شکل پذیر باید انجام شود.

جدول ۹-۳ موارد لازم برای بررسی در آدمرو واقع در سایر خطوط

نوع سازه	مواردی که باید بررسی گردند	مقطع قائم		مقطع افقی	پذیرش برای روانگرایی (مقدار FL)
		پهنای بازشو	شدت تنش	شدت تنش	
نوع آدمرو	درجا (مقطع دایره‌ای)		A	A	A
	درجا (مقطع مستطیلی)		A	A	A
	پیش‌ساخته (محصول ثانویه)	A	A	A	A

A: طراحی به روش مجاز D: طراحی به روش شکل پذیر A/D: هر دو روش طراحی، مجاز و شکل پذیر باید انجام شود.

۱- برای تحلیل و طراحی باید موارد زیر را در نظر گرفت:

۱-۱- از پروفیل خاک زمین بکر باید استفاده شود. اگر ناحیه حفاری عریض بوده و پروفیل خاک خاکریز با زمین بکر متفاوت

باشد در این صورت پروفیل خاک خاکریز نیز باید در نظر گرفته شود.

۱-۲- k_h ضریب عکس العمل خاک از رابطه (۹-۱) محاسبه می‌گردد.

$$k_h = k_{h0} \left(\frac{B_h}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (9-1)$$

$$k_{h0} = \frac{1}{0.3} \alpha \cdot E_0 \quad (9-2)$$

k_h : ضریب عکس العمل خاک در امتداد جانبی (kN/m^3)

k_{h0} : k_h متناظر با آزمایش باربری صفحه با صفحه مدور صلب (قطر ۰/۳ متر)

α : ضریب سرباز زنده در بارگذاری کوتاه مدت برای محاسبه k_{h0}

E_0 : مدول تغییر شکل زمین (kN/m^2) به دست آوردن مقدار E_0 از مقدار N آزمایش SPT، به صورت (kN/m^2) $2800 \times N$ می‌باشد.

k_v : از رابطه (۹-۳) باید به دست آید.

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (9-3)$$

$$k_{v0} = \frac{1}{0.3} \alpha \cdot E_0 \quad (۴-۹)$$

k_v : ضریب عکس العمل خاک در امتداد قائم (kN/m^3)
 k_{h0} : k_v متناظر با آزمایش باربری صفحه با صفحه مدور صلب (قطر ۰/۳ متر)
 $E_0 \propto$: مشابه موارد k_h
 ۳-۱- عرض معادل پی B_h برای محاسبه k_h از رابطه (۵-۹) باید تعیین گردد:

$$B_h = \sqrt{A_h} \quad (۵-۹)$$

B_h : عرض معادل پی (m) عمود بر امتداد بارگذاری
 A_h : مساحت ناحیه بارگذاری شده در امتداد جانبی (m^2)
 در آد‌م‌روی با مقطع مستطیلی:
 A_h : (طول دیواره پهلویی H (m) $\times$ عرض آد‌م‌رو D (m))
 در آد‌م‌روی با مقطع دایره‌ای:
 A_h : (طول دیواره پهلویی H (m) $\times$ قطر ۰/۸ (m) D)
 عرض معادل پی B_v برای محاسبه k_v از رابطه (۶-۹) باید تعیین گردد.

$$B_v = \sqrt{A_v} \quad (۶-۹)$$

B_v : عرض معادل پی عمود بر امتداد بارگذاری (m)
 A_v : مساحت ناحیه بارگذاری شده در امتداد قائم (m^2)
 برای آد‌م‌رو با مقطع مستطیلی:
 A_v : مساحت پی آد‌م‌رو (m^2)
 برای آد‌م‌رو با مقطع دایره‌ای:
 B_v : قطر آد‌م‌رو D (m)، استفاده نمی‌شود.
 k_s و k_0 از k_v به صورت زیر باید تعیین گردد.

$$K_s = \lambda \times K_v \quad (۷-۹)$$

k_s : ثابت فنریت برشی خاک (kN / m^3)

λ : نسبت ضریب عکس العمل خاک در امتداد جانبی به امتداد قائم که مقدار آن از $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{4}$ می‌باشد.

$$k_0 = k_v \times I \quad (۸-۹)$$

k_0 : ثابت فنریت پیچشی خاک ($\text{kN} \times \text{m/rad}$)

I : ممان اینرسی پی آد‌م‌رو (m^4/m)

بار زنده در شرایط عادی در نظر گرفته نمی‌شود.

۴-۱ در مورد محاسبه مقطع جانبی (افقی)، شدت تنش ایجاد شده در هر دوشرابط بار عادی و لرزه‌ای باید بررسی گردد. بار اضافی ناشی از زلزله، به صورت زیر باید محاسبه گردد.

$$\omega_b = \{\Delta U(z) - \delta(z)\} \times k_{hi} \quad (9-9)$$

ω_b : بار اضافی ناشی از زمین‌لرزه (ضریب واکنش ناشی از پاسخ تغییرمکان) (kN/m^2)

اگر مقدار ω_b منفی باشد، در جهت مخالف در نظر گرفته می‌شود و مقدار مطلق ω_b باید به بار ω_0 در شرایط عادی اضافه گردد.

$\Delta U(z)$: تغییرمکان نسبی زمین (m) در عمق $z(m)$

$$\Delta U(z) = U_h(z) - U_h(h) \quad (9-10)$$

$U_h(z)$: تغییرمکان زمین (m) در عمق $z(m)$

$U_h(h)$: تغییرمکان زمین در تراز زیر آدمرو (m)

$\delta(z)$: تغییرمکان اعضاء (m) در عمق $z(m)$

k_{hi} : ضریب واکنش خاک در جهت افقی در گره i (kN/m^3)

۵-۱ به علت عدم امکان پیش‌بینی جهت انتشار موج در آدمرو درجا با مقطع مستطیلی، محاسبه آن باید در دو وجه کوتاه و بلند انجام شود.

۲- اقدامات پیشگیرانه در برابر زلزله شامل موارد زیر می‌باشد:

در آدمروهای درجا در ابعاد بزرگ در مجرای خطوط اصلی، ضخامت دیواره و مقدار میلگرد تقویتی برای مقابله با نیروی برشی ناشی از زمین‌لرزه باید افزایش یابد.

در مورد آدمروهای متصل به چند مجرا، باید تقویت پیرامون بازشو به وسیله میلگرد تقویتی (اضافی)، انجام گردد.

در آدمرو پیش‌ساخته از بوجود آمدن بازشدگی اتصال با استفاده از طراحی نقاط اتصال بین بلوک‌ها باید جلوگیری شود.

در صورت عدم برقراری معیار طراحی شدت تنش، از نوع درجا باید استفاده گردد.

در حالتی که مهار تغییرمکان ضروری باشد از اتصال انعطاف‌پذیر یا تجهیزاتی دیگر در اجزای اتصال بایستی استفاده گردد.

در هنگام روانگرایی اقداماتی پیشگیرانه و مناسب در آدمرو و مجرا باید در نظر گرفته شود.

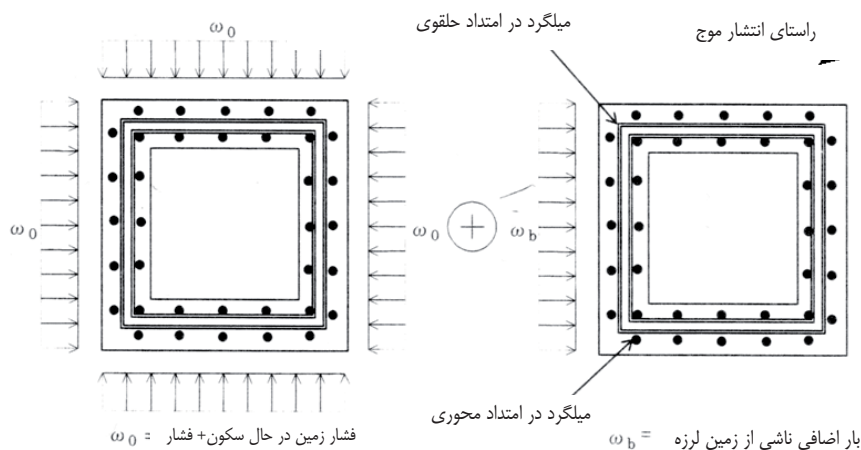
۹-۴- روند محاسبه

۹-۴-۱- طراحی لرزه‌ای اتصال بین بلوک‌ها

میزان بازشدگی اتصال بین بلوک‌ها در طراحی لرزه‌ای مقطع قائم در آدمروی پیش‌ساخته باید در نظر گرفته شود.

۹-۴-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه آدَمرو

بدنه آدَمرو در مقطع قائم و جانبی (افقی) باید طراحی گردد. در طراحی مقطع جانبی، کفایت میلگرد در امتداد حلقوی در مقابل واکنش زمین در عمق دلخواه باید بررسی گردد. (به شکل ۹-۱ مراجعه شود)



شکل ۹-۱ بار در نظر گرفته شده در مقطع جانبی (آدَمرو در جا با مقطع مستطیلی)

- برای محاسبه نیروی برشی آدَمرو با مقطع دایره‌ای، مساحت سطح مقطع باید به سطح مقطع معادل مستطیلی در هر تراز ورودی لرزه‌ای تبدیل شود.

برای طراحی آرایش آرماتورگذاری آدَمرو، می‌توان از روش طراحی در مجرای قوطی شکل یا دیوار حائل استفاده کرد.

۹-۵- مقادیر مجاز

مقادیر مجاز پاسخ مؤلفه‌ها باید بر اساس مشخصات آنها یا مشخصات ارائه شده توسط سازنده باشد.

۹-۶- معیارهای پذیرش

نتایج محاسبه طراحی لرزه‌ای به صورت زیر بررسی می‌شود.

۱- معیار طراحی برای سطح خطر-۱

معیار طراحی باید بر اساس تنش مجاز یا حالت حدی بهره‌برداری باشد.

۲- بررسی معیار برای سطح خطر-۲

طراحی باید بر اساس حالت نهایی باشد.

۳- اقدامات پیشگیرانه لرزه‌ای

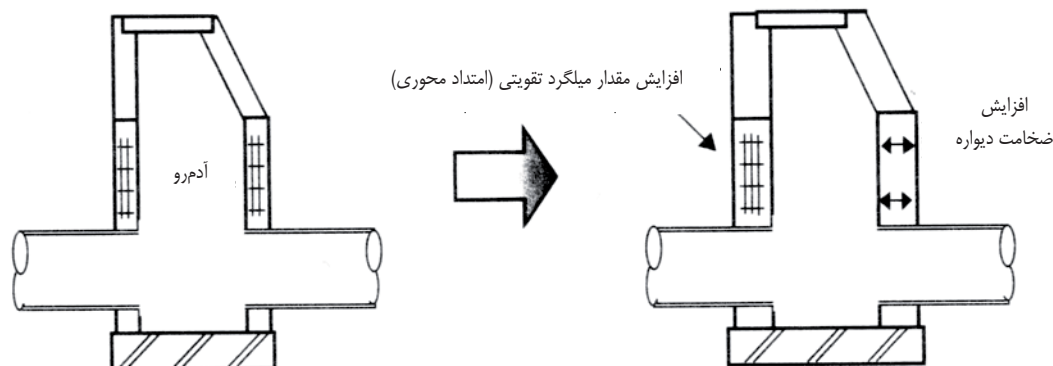
اقدامات پیشگیرانه لرزه‌ای باید بر اساس نقطه نظرهای زیر باشد.

- ۳-۱- تأمین مقاومت در مقطع قائم (ضخامت دیواره، امتداد میلگرد محوری)
- ۳-۲- تأمین مقاومت در مقطع جانبی (ضخامت دیواره، امتداد میلگرد محوری)
- ۳-۳- ساختار متصل کننده بازشدگی اتصال (اتصال آدرووی پیش‌ساخته)
- ۳-۴- جذب تغییر مکان (اتصال برای مجرا)

بند ۱ و ۲ مشابه بخش ۹-۳ می‌باشد با این تفاوت که به منظور جلوگیری از ریزش خاک به درون آدرو، با توجه به درز اتصال آدرو پیش‌ساخته، عرض بازشدگی باید کمتر از ۱۰ میلی‌متر باشد.

۳- اقدامات پیشگیرانه لرزه‌ای

- در طراحی مقطع قائم آدرو، ابتدا باید ضخامت دیواره و آرماتورگذاری در امتداد محوری بررسی گردد. (شکل ۴-۳۹)
- به منظور تأمین مقاومت در مقطع جانبی، در طراحی باید از آرماتورگذاری در امتداد حلقوی استفاده شود.
- در هر تراز از زمین‌لرزه، به منظور برقراری معیار بازشدگی اتصال در آدرووی پیش‌ساخته، نوع اتصال و ارتفاع بلوک باید با هم مطابقت داشته باشند. اگر امکان تطبیق وجود نداشته باشد از آدرو درجا باید استفاده گردد.
- اگر لازم باشد، در محل اتصال با مجرا، باید از اتصال انعطاف‌پذیر استفاده گردد.
- اگر از پی صلب بر روی خاکریز شنی استفاده می‌شود، آدرو و پی صلب باید به منظور جلوگیری از اثر مجرا بر آدرو، از یکدیگر جدا شوند.



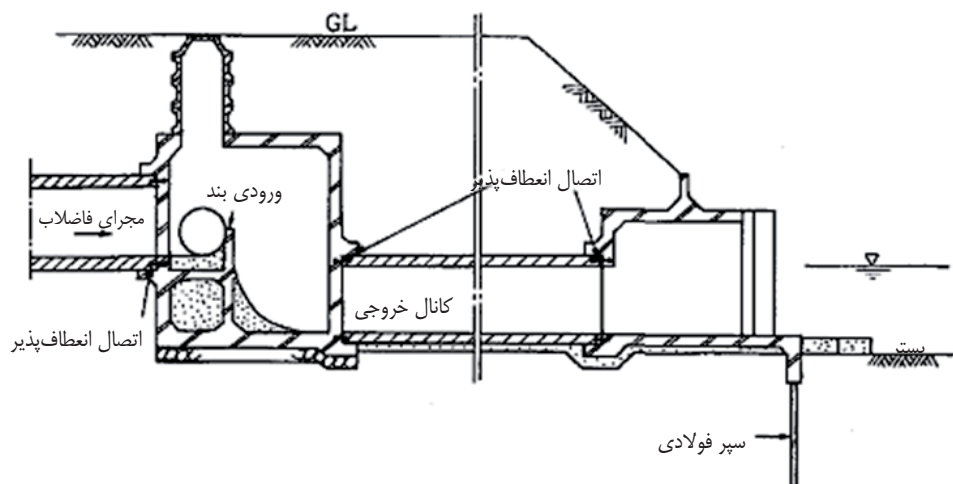
شکل ۹-۲ تغییر نوع آدرو

۹-۷- طراحی لرزه‌ای سایر تأسیسات مجرایی

۹-۷-۱- مجراهای متقاطع (سیفون وارونه) و اطاقک یا محفظه انحراف

- ۱- اگر از لوله پوششی برای مجراهای متقاطع (سیفون وارونه) استفاده شود، لوله بیرونی باید به عنوان مجرا در نظر گرفته و در مقابل زلزله طراحی شود.
- ۲- برای لوله داخلی، در اتصال بین آدرو و مجرا، باید از اتصال انعطاف‌پذیر استفاده شود.
- ۳- برای اطاقک یا محفظه انحراف، اگر جابجایی نسبی زمین بین مجراهای درون‌ریز و برون‌ریز زیاد باشد در صورت لزوم، در کنار میلگردهای تقویتی در ناحیه اتصال باید از وسیله‌ای برای جذب تغییر مکان استفاده شود.

اطاق انحراف باید مطابق شکل ۹-۳ تسلیح گردد.



شکل ۹-۳ مثالی از تسلیح اطاق انحراف

۹-۷-۲- لوله فاضلاب تحت فشار و لوله انتقال لجن

ملاحظات زیر باید برای طراحی لرزه‌ای لوله‌های فاضلاب خانگی تحت فشار و لوله انتقال لجن انجام شود.

- ۱- مسیر باید دوگانه باشد (چند جریانه) و بین آن‌ها لوله‌های رابط قرار داده شود.
- ۲- لوله‌ای که به پل متصل است باید در صورت لزوم دارای اتصال انبساطی باشد.
- ۳- برای روند طراحی لرزه‌ای بدنه لوله و اتصال، باید به راهنمای سامانه آبرسانی شهری مراجعه شود.

برای طراحی لرزه‌ای لوله‌های فاضلاب خانگی تحت فشار و لوله انتقال لجن، می‌توان به مراحل طراحی لرزه‌ای مجاری پیوسته

در این راهنما و راهنمای سامانه آبرسانی شهری مراجعه کرد.

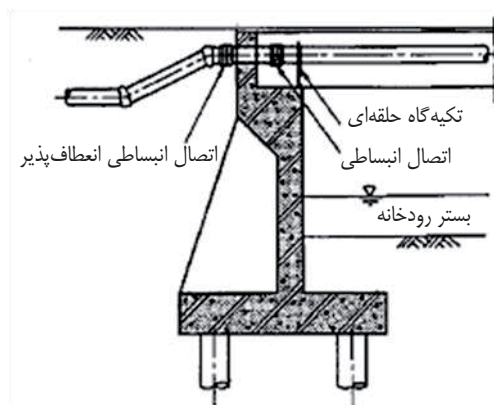
بند ۱:

برای جلوگیری از اثرات مخرب در اینگونه مجاری، باید چندین مسیر اضافه گردد. بهتر است برای کاهش اثرات مخرب از لوله رابط و دریچه کشویی استفاده گردد.

بند ۲:

در پل‌های حاوی لوله، تلمبه خانه و تصفیه‌خانه، که تغییر مکان نسبی بین سازه و مجرا در حین زلزله زیاد باشد، نصب اتصال

انبساطی مؤثر خواهد بود. (شکل ۹-۴)



شکل ۹-۴ نمونه ایی از مجرای اضافه شده به پل

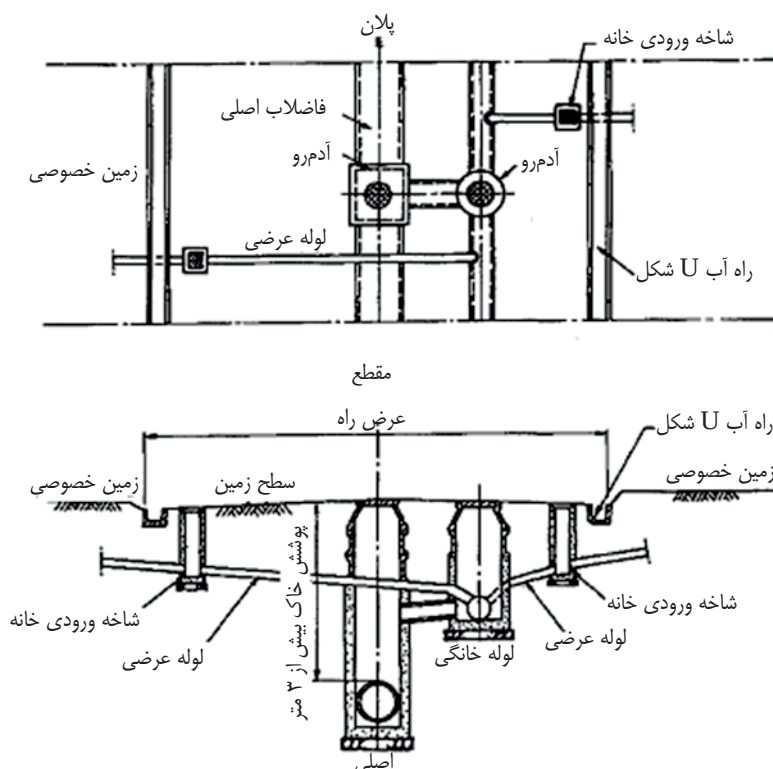
در مقابل نشست‌های نابرابر، تکان‌های لرزه‌ای یا روانگرایی مجراها در زمین نرم یا مرز بین زمین نرم و سخت، نیز نصب اتصال انبساطی، مؤثر می‌باشد.

۹-۷-۳- لوله عرضی

لوله عرضی باید سازه‌ای ساده باشد که بتوان آن را به سرعت ترمیم نمود و قسمتی از آن که مهم تلقی می‌شود، باید مقاومت کافی در مقابل زلزله داشته باشد.

اگر عمق لوله اصلی زیاد بوده و تراز آب زیرزمینی بالا باشد، تعبیه لوله (انشعاب) خانگی بین لوله اصلی و لوله عرضی یا ترکیب کردن چندین لوله عرضی به یک لوله، برای کاهش تعداد اتصالات توصیه می‌شود.

در قسمت‌های مهم خط لوله (نظیر اتصالات قسمت‌های مدیریت و کنترل شبکه یا قسمتی که به دلیل شرایط زمین تعمیر آن زمان‌بر است) باید ملاحظات در طراحی، برای پیشگیری از بیرون کشیدگی لوله عرضی با استفاده از اتصال نر و مادگی طولانی‌تر، یا اتصال انعطاف‌پذیر، در نظر گرفته شوند. (شکل ۹-۵)



شکل ۹-۵ مثالی از نصب لوله (انشعاب) خانگی

هنگامی که که از این جزئیات استفاده می شود، لزومی به طراحی لرزه‌ای این قسمت‌ها نیست.

مراحل طراحی لرزه‌ای لوله عرضی همچون مجرا با اتصال نر، مادگی است.

موارد زیر در طراحی لرزه‌ای باید در نظر گرفته شود.

۱- لوله عرضی متصل به خطوط مجرای مهم (هر دو سطح خطر)

۱-۱- طول بیرون کشیدگی اتصال به لوله اصلی که ناشی از حرکت زمین است.

۲-۱- طول بیرون کشیدگی بین لوله‌های عرضی

۲- لوله عرضی متصل به سایر خطوط (سطح خطر-۱)

۱-۲- طول بیرون کشیدگی اتصال به لوله اصلی که ناشی از حرکت زمین است.

۲-۲- طول بیرون کشیدگی بین لوله‌های عرضی

۹-۷-۴- لوله پل گذر

طراحی لرزه‌ای لوله پل گذر باید بر اساس موارد ذیل انجام شود.

۱- عملکرد

برای طراحی باید به مشخصات ذکر شده در سامانه آبرسانی شهری مراجعه شود.

۲- سازه فوقانی

برای طراحی باید به مشخصات ذکر شده در سامانه آبرسانی شهری و مشخصات پل‌ها مراجعه شود.

۳- سازه تحتانی

برای طراحی باید به مشخصات ذکر شده در پل‌ها و این راهنما مراجعه شود.

۴- اتصال لوله به پل

مقاومت در برابر زلزله باید تأیید شود و از شکست و فروپاشی اتصالات تکیه‌گاهی باید جلوگیری شود.

بند ۱:

برای سازه‌های فوقانی موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

۱- موارد مربوط به طراحی

۱-۱- فشار داخلی آب

۲-۱- انبساط حرارتی عضو

۳-۱- وزن

۴-۱- بار باد

۵-۱- نیروهای حاصل از برخورد تنه درختان، کشتی و غیره

۶-۱- راهروی نگهداری و وزن آن

۷-۱- بار برف و ضد یخ

۲- موارد عمومی

۱-۲- نصب شیر هواگیر

۲-۲- تغییر مکان مجاز

۳-۲- تمهیدات مقابله با خوردگی

۴-۲- محیط عملیات ساخت

۵-۲- هزینه و بهره‌وری

در حین زلزله، تغییر مکان نسبی بین زمین و لوله در اطراف پایه کناری ممکن است بزرگ باشد، بنابراین باید وسایلی برای جذب تغییر مکان در نظر گرفته و وسایل پیشگیری از سقوط نیز در نظر گرفته شود.

بند ۲:

برای سازه‌های تحتانی موارد زیر باید در نظر گرفته و باید به راهنمای سامانه آبرسانی شهری و همچنین راهنمای راه و پل مراجعه شود.

۱- موارد مربوط به طراحی

۱-۱- وزن سازه فوقانی

۲-۱- ساختار لایه‌ای زمین و عمق سنگ بستر مهندسی

۱-۳- نشست نابرابر و گسترش جانبی

۱-۴- فشار خاک، فشار آب زیرزمینی، نیروی شناوری و اصطکاک منفی

۱-۵- سازه کوله، پی کوله و دیوار جناحی (هادی)

۱-۶- سازه پاشنه

۱-۷- نیروهای حاصل از برخورد تنه درختان، کشتی و غیره

۲- موارد مربوط به طراحی

۲-۱- محیط عملیات ساخت

۲-۲- هزینه و بهره‌وری

قضاوت در مورد روانگرایی، تمهیدات مقابله با روانگرایی، تاثیر روانگرایی روی پی و جابجائی پاشنه حین زلزله باید مورد بررسی قرار گیرد.

فصل ۱۰

مثالها

۱-۱۰ طراحی لرزه‌ای مجرا

۱-۱-۱۰ شمای کلی

مثال طراحی لرزه‌ای لوله RC پیش‌ساخته در ادامه نشان داده شده است.

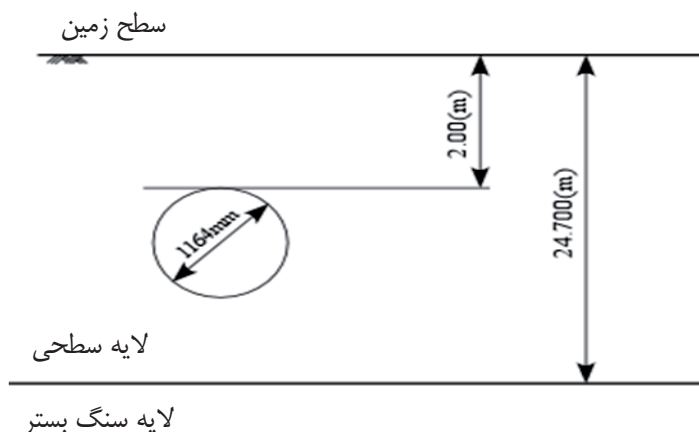
۱-۱-۱۰-۲ طراحی برای مقطع عمودی بدنه لوله

۱-۱-۱۰-۱-۲ شرایط سازه‌ای

در جدول ۱-۱۰ و شکل ۱-۱۰ مشخصات سازه‌ای نشان داده شده است.

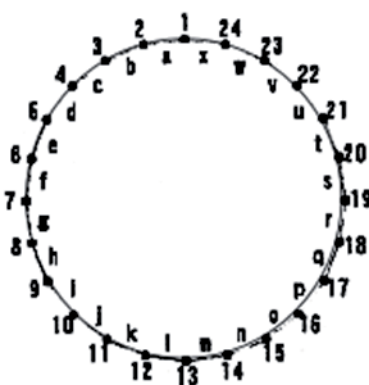
جدول ۱-۱۰-۱- مشخصات سازه‌ای

نوع لوله	لوله پیش‌ساخته RC برای فاضلاب (نوع-B)
قطر اسمی	۱۰۰۰
قطر خارجی B_c	۱۱۶۴ (mm)
ضخامت T	۸۲ (mm)
طول مؤثر ℓ	۲۴۳۰ (mm)
وزن W	۶/۶۹ (kN/m)
مدول یانگ	۳۳۰۰۰ (N/mm ²)
تراز سطح زمین GL	۰/۰۰ (m)
پوشش خاک H	۲/۰۰ (m)
زاویه باربری خاک	۱۲۰ (deg)



شکل ۱۰-۱- مشخصات سازه‌ای

شکل ۱۰-۲- مدل قاب را که با ۲۵ المان برای تحلیل ایجاد شده است را نشان می‌دهد.



شماره المان : a~x شماره گره : 1~24

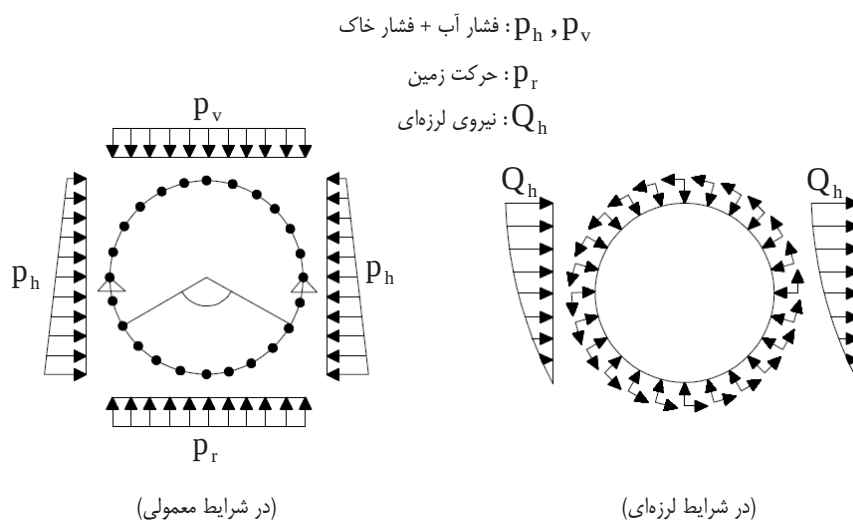
شکل ۱۰-۲- مدل تحلیلی

جدول ۱۰-۲- پروفیل خاک بکار رفته برای مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰-۲- پروفیل خاک بکار برده شده برای مدل

Layer No	Depth (m)	Thickness (m)	Soil classification	Unit weight γ_t (kN/m ³)	Internal friction angle ϕ (°)	Average N-value N	Shear wave velocity V_s (m/s)
1	0.000~ 0.500	0.500	Sand	18.000	20.0	2.000	101.000
2	0.500~ 3.300	2.800	Sand	17.000	24.0	5.000	137.000
3	3.300~ 5.200	1.900	Clay	16.000	0.0	3.000	144.000
4	5.200~ 8.500	3.300	Sand	17.000	27.0	10.000	172.000
5	8.500~20.700	12.200	Clay	16.000	0.0	2.000	126.000
6	20.700~24.700	4.000	Sand	17.000	28.0	12.000	183.000

۱۰-۱-۲-۲ شرایط بارگذاری (حالت سکون)



شکل ۱۰-۳- بارها در شرایط تعادل

۱۰-۱-۲-۱ فشار قائم خاک

$$P_v = \gamma_t h$$

رابطه ۱-۱۰

P_v : فشار قائم خاک (kN/m^2)

γ_t : وزن مخصوص خاک (kN/m^3)

h : ضخامت لایه‌ها (m)

جدول ۱۰-۳- فشار قائم خاک

Layer No	Depth (m)	Thickness h (m)	Soil classification	Unit weight γ_t (kN/m^3)	Vertical earth pressure P_v (kN/m^2)
1	0.000 ~ 0.500	0.500	Sand	18.000	9.000
2	0.500 ~ 2.000	1.500	Sand	17.000	25.500
Σ	—	—	—	—	34.500

۱۰-۱-۲-۲ فشار افقی خاک

$$P_h = K_a \sum (\gamma_t h)$$

رابطه ۲-۱۰

P_h : فشار افقی خاک (kN/m^2)

K_a : ضریب رانکین مربوط به فشار محرک خاک

ϕ : زاویه اصطکاک داخلی خاک

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

γ_t : وزن مخصوص خاک (kN/m^3)

h : ضخامت لایه (m)

جدول ۱۰-۴- فشار افقی خاک

شماره لایه	شماره گره	عمق (m)	ضخامت (m)	طبقه بندی خاک	وزن واحد خاک kN/m^3	فشار افقی (kN/m^2)	ضریب فشار محرک خاک	فشار افقی محرک (kN/m^2)
1		0- 0.5	0.5	sand	18	9	0.49	4.41
2	1	0.5-2.041	1.541	sand	17	35.197	0.422	14.853
	13	2.04-3.123	1.082	sand	17	35.591	0.422	22.615

۱۰-۱-۲-۳- عکس العمل بستر پایینی

$$P_r = P_v$$

رابطه ۱۰-۳

P_r : عکس العمل بستر پایینی (kN/m^2)

P_v : فشار قائم خاک، که در اینجا $P_v = 34.5(\text{kN/m}^2)$ ، پس $P_r = 34.5(\text{kN/m}^2)$

۱۰-۱-۲-۳- شرایط بارگذاری (حالت لرزه‌ای)

۱۰-۱-۲-۳-۱- خصوصیت زمین

$$T_G = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

رابطه ۱۰-۴

T_G : مقدار ویژه زمین (s)

H_i : ضخامت لایه i ام (m)

V_{si} : سرعت موج برشی متوسط لایه i ام (m/s)

جدول ۱۰-۵- سرعت موج برشی هر لایه

شماره لایه	طبقه بندی خاک	ارتفاع	سرعت موج V	H.V	H/V
1	sand	0.5	101.1	50.55	0.00495
2	sand	2.8	137	383.6	0.02044
3	clay	1.9	144	273.6	0.01319
4	sand	3.3	172	567.6	0.01919
5	clay	12.2	126	1537.2	0.09683
6	sand	4	183	732	0.02186
		24.7		3544.55	0.17646

$$\bar{V}_s = \frac{\sum H.V_s}{H} = 143.5$$

$$T_G = 4 \times 0.17646 = 0.706(s)$$

T_s : پریود طبیعی سطح زمین

$$T_s = 1.25 \cdot T_G = 1.25 \times 0.706 = 0.883(s)$$

رابطه ۵-۱۰

۱۰-۱-۲-۳-۲- طیف سرعت طراحی

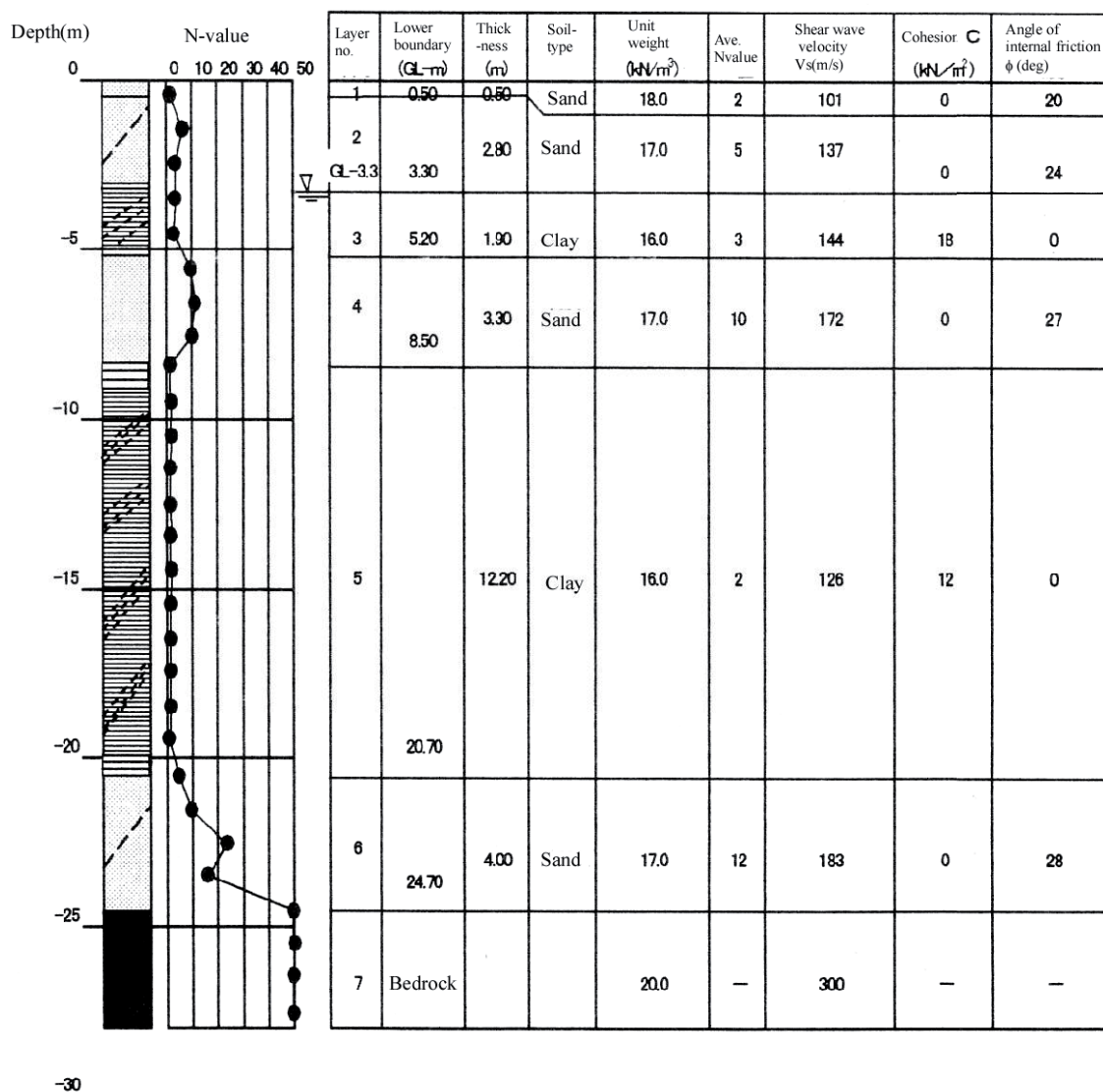
ساختمان در منطقه‌ای با خطر متوسط لرزه‌ای واقع شده است $(\beta_2) = 0.25$ ، و از آنجاییکه سرعت موج در خاک $140m/s$ و با کمک جدول موجود در آئین نامه ۲۸۰۰ متوجه می شویم خاک از نوع IV است و در نتیجه $\beta_3 = 2.25$ بدست می آید.

اهمیت این تأسیسات همانند ساختمان گروه ۲ فرض می گردد بنابراین، ضریب اهمیت I برابر $1/2$ در نظر گرفته می شود و نیز ضریب اصلاح ضریب اهمیت با توجه به شهری بودن سیستم $1/5$ است.

سرعت طیفی به کمک شکل ۳-۴ فاز دو بدست می آید.

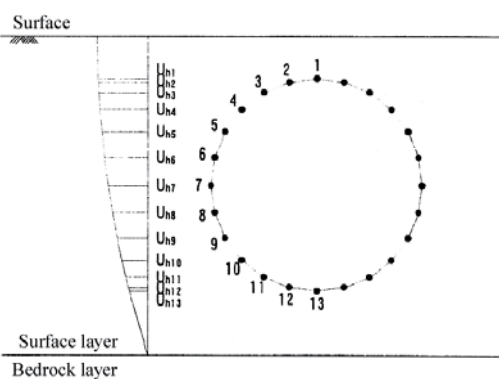
$$S_v = 100(cm/s)$$

شکل ۱۰-۴ پرفیل خاک را نشان می دهد.



شکل ۱۰-۵- پروفیل خاک

۱۰-۱-۲-۳-۴ دامنه تغییر مکان زمین



شکل ۱۰-۶- توزیع تغییر مکان زمین

$$U_h(z) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{2 \cdot H} \quad (\text{رجوع به رابطه ۴-۳-۳-V (۱)})$$

$U_h(z)$: تغییر مکان افقی در عمق $Z(m)$

S_v : پاسخ سرعت طراحی (0.9 (m/s))

T_s : پریود طبیعی لایه سطحی (0.68 (s))

H : ضخامت لایه سطحی $(24.7(m))$

جدول ۱۰-۶- تغییر مکان افقی هر لایه

تغییر مکان $U_h(z)$ (cm)	عمق h (m)	شماره گره
17.911	0	سطح زمین
17.761	2.041	1
17.758	2.05943	2
17.750	2.11348	3
17.737	2.19946	4
17.718	2.3115	5
17.696	2.44198	6
17.671	2.582	7
17.644	2.72202	8
17.618	2.8525	9
17.594	2.9654	10
17.576	3.05052	11
17.564	3.10457	12
17.560	3.123	13
0.014	24.7	سنگ بستر

۱۰-۱-۲-۳-۵ ثابت فنریت زمین

۱۰-۱-۲-۳-۵-۱ ثابت فنریت افقی زمین

$$k_h = k_{ho} \left(\frac{B_h}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (\text{رجوع به رابطه ۲-۴-۲-۴-V (۱)})$$

k_h : ثابت فنریت افقی زمین (kN/m^3)

k_{ho} : ثابت فنریت افقی زمین مطابق با آزمایش بارگذاری صفحه دایره‌ای صلب به قطر ۳۰ cm

$$k_{ho} = \frac{1}{0.3} \alpha \cdot E_0 \quad (\text{رجوع به رابطه ۲-۴-۲-۴-V (۲)})$$

α : ضریب بکار رفته برای تخمین ثابت فنریت زمین

E_0 : مدول تغییر شکل پیش‌بینی شده یا تخمین زده با استفاده از معیارهای جدول زیر:

جدول ۱۰-۷- معیارهای تخمین مدول تغییر شکل

ضریب α بکار رفته برای تخمین	معیارها برای تخمین مدول تغییر شکل
۱	نصف مدول بدست آمده از منحنی‌های مکرر آزمایش بارگذاری صفحه دایره‌ای صلب به قطر ۳۰ cm
۴	مدول بدست آمده از آزمایش بارگذاری گمانه افقی
۴	مدول بدست آمده از آزمایش ساده یا سه محوری
۱	مدول به دست آمده از $E_0 = 2800 \text{ N}$ و با مقدار N آزمایش SPT

B_h : عرض بارگذاری معادل (m)

$$B_h = \sqrt{A_h}$$

A_h : مساحت بارگذاری افقی (m^2)

$$= A_h \text{ طول مؤثر لوله } \times 2 / (\text{قطر داخلی} + \text{قطر خارجی})$$

در اینجا:

$$\alpha = 1, N = 5.0$$

$$k_{h0} = \frac{1}{0.3} \times \alpha \times 2800 \text{ N} = 46667 (\text{kN/m}^3)$$

$$B_h = \sqrt{\frac{1.000 + 1.164}{2}} \times 2.430 = 1.6219 (\text{m})$$

$$k_h = 46667 \times \left(\frac{1.621}{0.3} \right)^{-3/4} = 13168 (\text{kN/m}^3)$$

۱۰-۱-۲-۳-۵- ثابت فنریت برشی خاک

$$k_s = 0.3k_h$$

رابطه ۱۰-۶

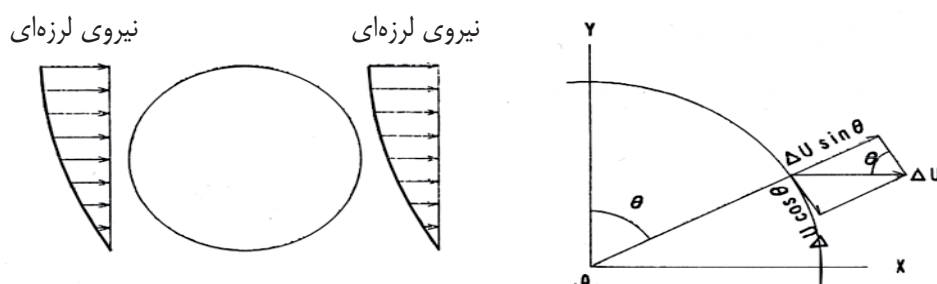
k_s : ثابت فنریت برشی (kN/m^3)

k_h : ثابت فنریت افقی زمین (kN/m^3) ($13168 (\text{kN/m}^3)$)

سپس،

$$k_s = 0.3 \times 13168 = 3950 (\text{kN/m}^3)$$

۱۰-۱-۲-۳-۶ نیروی لرزه‌ای افقی ناشی از تغییر مکان زمین



شکل ۱۰-۷- توزیع و جهت نیروی لرزه‌ای

تغییر مکان پاسخ زمین (تغییر مکان نسبی) باید به مولفه‌های قائم و مماسی تجزیه گردد.

$$\text{مولفه عمودی} = \Delta U \sin \theta (m)$$

$$\text{مولفه مماسی} = \Delta U \cos \theta (m)$$

این دو مؤلفه تحت روابط زیر به نیروهای لرزه‌ای تبدیل می‌گردند:

$$q_k = k_h \Delta U \sin \theta$$

رابطه ۱۰-۷

$$q_j = k_s \Delta U \cos \theta$$

رابطه ۱۰-۸

q_k : نیروی لرزه‌ای در جهت عمود

q_j : نیروی لرزه‌ای در جهت مماسی

k_h : ثابت فنریت خاک در جهت افقی ($13168 \text{ (kN/m}^3\text{)}$)

k_s : ثابت فنریت برشی ($3950 \text{ (kN/m}^3\text{)}$)

ΔU : تغییر مکان نسبی (m)

$$\Delta U = U_h(z) - U_h(z_0)$$

$U_h(z)$: دامنه تغییر مکان هر گره (m)

$U_h(z_0)$: دامنه تغییر مکان لوله پایین (m)

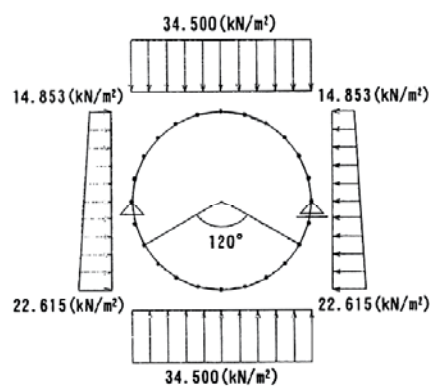
θ : زاویه از قسمت فوقانی لوله تا گره (درجه)

جدول ۱۰-۸- نیروی لرزه‌ای در گره

شماره گره	زاویه (درجه)	عمق z (m)	دامنه تغییر مکان $U_h(z)$ (cm)	تغییر مکان نسبی (cm)	ثابت افقی فنر زمین $K_h(kN/m^2)$	ثابت فنر برشی $k_s(kN/m^2)$	نیروی لرزه‌ای	
							نرمال $q_k(kN/m^2)$	قطری $q_j(kN/m^2)$
1	0	2.04	14.181	0.2014	13168	3950	0.000	7.954
2	15	2.059 43	14.178	0.1985	13168	3950	6.762	7.574
3	30	2.113 48	14.172	0.1904	13168	3950	12.528	6.513
4	45	2.199 46	14.161	0.1770	13168	3950	16.473	4.945
5	60	2.311 5	14.147	0.1588	13168	3950	18.099	3.138
6	75	2.441 98	14.129	0.1364	13168	3950	17.347	1.398
7	90	2.582	14.109	0.1111	13168	3950	14.624	0.003
8	105	2.722 02	14.087	0.0843	13168	3950	10.727	-0.859
9	120	2.852 5	14.066	0.0581	13168	3950	6.634	-1.146
10	135	2.964 52	14.048	0.0347	13168	3950	3.234	-0.968
11	150	3.050 52	14.033	0.0161	13168	3950	1.062	-0.550
12	165	3.104 57	14.023	0.0041	13168	3950	0.141	-0.157
13	180	3.123	14.020	0.0000	13168	3950	0.000	0.000
14	195	3.104 57	14.023	0.0041	13168	3950	-0.140	-0.157
15	210	3.050 52	14.033	0.0161	13168	3950	-1.056	-0.551
16	225	2.964 54	14.048	0.0347	13168	3950	-3.223	-0.971
17	240	2.852 5	14.066	0.0581	13168	3950	-6.621	-1.152
18	255	2.722 02	14.087	0.0843	13168	3950	-10.718	-0.869
19	270	2.582	14.109	0.1111	13168	3950	-14.624	-0.010
20	285	2.441 98	14.129	0.1364	13168	3950	-17.361	1.381
21	300	2.311 5	14.147	0.1588	13168	3950	-18.133	3.121
22	315	2.199 46	14.161	0.1770	13168	3950	-16.525	4.930
23	330	2.113 48	14.172	0.1904	13168	3950	-12.597	6.501
24	345	2.059 43	14.178	0.1985	13168	3950	-6.842	7.567

۱۰-۱-۲-۴ نیروی‌های مقطعی

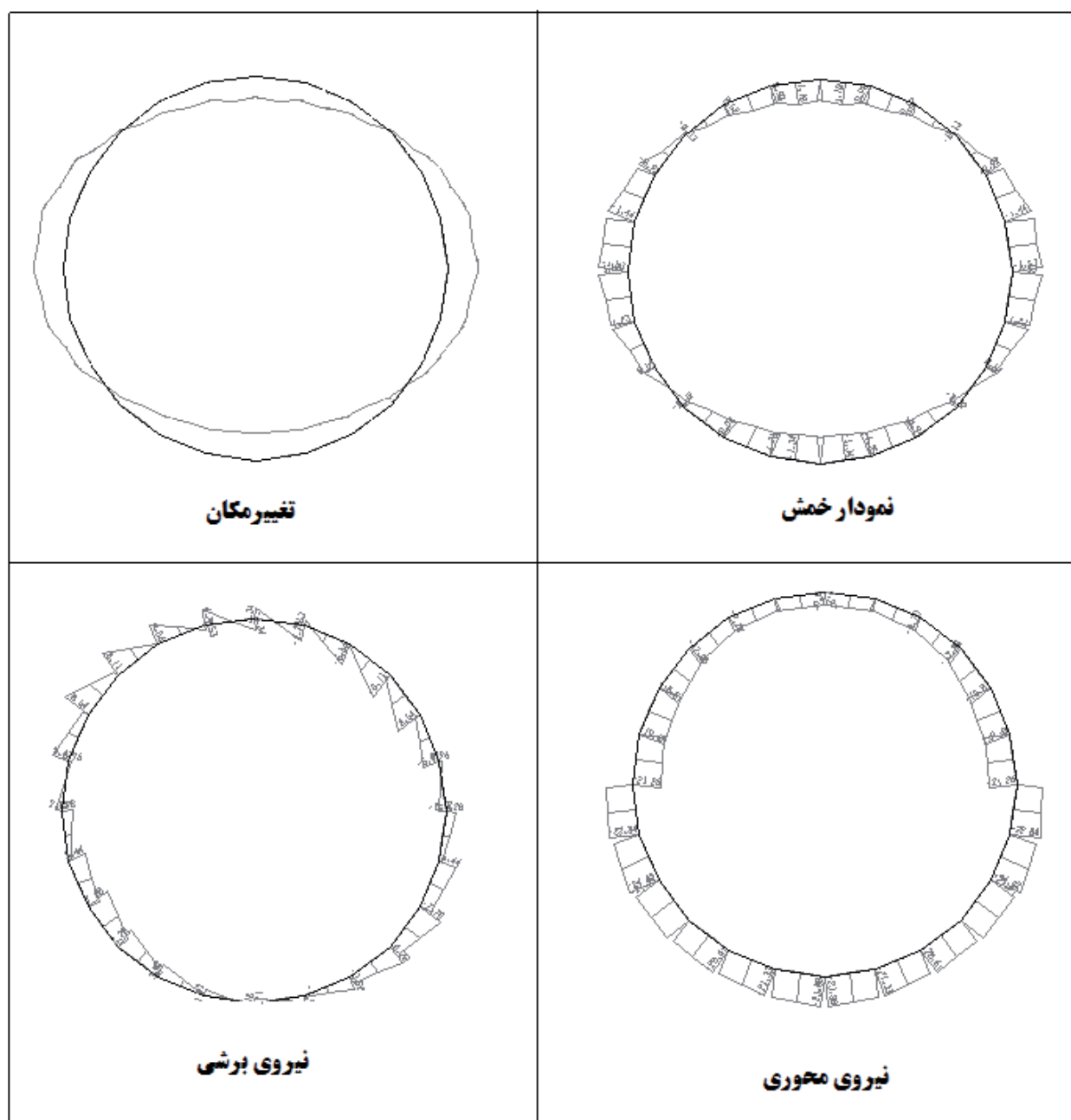
۱۰-۱-۲-۴-۱ نیروی مقطع در حالت سکون +



شکل ۱۰-۸- توزیع نیرو

جدول ۱۰-۹- حداکثر نیروی مقطع

نیروی محوری N(kN)	نیروی برشی Q(kN)	ممان خمشی M(kNm)
۲۱/۸۵	۷/۵۹	۱/۴۵



شکل ۱۰-۹- نیروهای مقطع بدست آمده از SAP

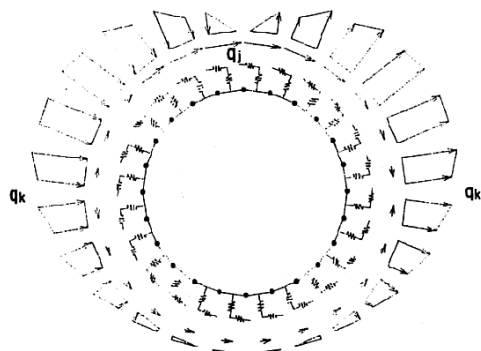
جدول ۱۰-۱۰ - لیست نیروی مقطع

شماره المان	شماره گره		لنگر خمشی M(kN/m)		نیروی برشی Q(kN)		نیروی محوری P(kN)	
a	1	2	0.90	1.00	6.56	-1.53	-8.74	-9.97
b	2	3	0.52	0.90	8.11	0.47	-9.70	-8.84
c	3	4	-0.13	0.52	8.54	1.81	-12.88	-10.02
d	4	5	-0.92	-0.13	5.17	1.76	-18.01	-13.33
e	5	6	-1.44	-0.92	2.12	-0.96	-19.69	-18.32
f	6	7	-1.53	-1.44	0.72	3.28	-21.26	-19.08
g	7	8	1.23	1.53	3.58	5.44	-22.84	-19.92
h	8	9	0.54	1.23	3.53	7.70	-24.42	-20.88
i	9	10	-0.32	0.54	2.06	6.20	-21.73	-21.91
j	10	11	-0.94	-0.32	0.15	3.92	-20.61	-19.61
k	11	12	-1.25	-0.94	-1.18	1.92	-21.33	-19.23
l	12	13	-1.31	-1.25	-1.92	1.18	-23.80	-20.75
m	13	14	-1.25	-1.31	-3.92	-0.15	-20.75	-23.80
n	14	15	-0.94	-1.25	-6.20	-2.06	-19.23	-21.33
o	15	16	-0.32	-0.94	-7.70	-3.53	-19.61	-20.61
p	16	17	0.54	-0.32	-5.44	-3.58	-21.91	-21.73
q	17	18	1.23	0.54	-3.28	-0.72	-20.88	-24.42
r	18	19	1.53	1.23	0.96	-2.12	-19.92	-22.84
s	19	20	-1.44	-1.53	-1.76	-5.17	-19.08	-21.26
t	20	21	-0.92	-1.44	-1.81	-8.54	-18.32	-19.69
u	21	22	-0.14	-0.92	-0.47	-8.11	-13.33	-18.01
v	22	23	0.52	-0.14	1.53	-6.56	-10.02	-12.88
w	23	24	0.90	0.52	3.34	-4.70	-8.84	-9.70
z	24	1	1.00	0.90	6.56	-1.53	-9.97	-8.74

جدول ۱۰-۱۱ - لیست تغییر مکان

شماره گره	تغییر مکان افقی (mm)	تغییر مکان قائم (mm)	دوران °
1	0.063	0.027	0.004
2	0.034	0.024	0.004
3	0.037	0.023	0.004
4	0.023	0.002	-0.001
5	0.028	-0.018	-0.004
6	0.027	-0.039	-0.007
7	0.016	-0.049	-0.008
8	-0.004	-0.045	-0.008
9	-0.023	-0.030	-0.006
10	0.045	-0.020	-0.001
11	0.031	-0.036	-0.004
12	-0.058	0.009	0.003
13	0.004	-0.059	-0.008
14	0.045	0.001	0.004
15	0.021	-0.006	0.002
16	-0.004	-0.011	-0.001
17	-0.015	-0.018	-0.004
18	-0.007	-0.035	-0.007
19	0.016	-0.073	-0.008
20	0.027	0.016	0.004
21	-0.010	0.013	0.002
22	-0.025	0.011	-0.001
23	-0.018	0.000	-0.004
24	0.005	-0.026	-0.007

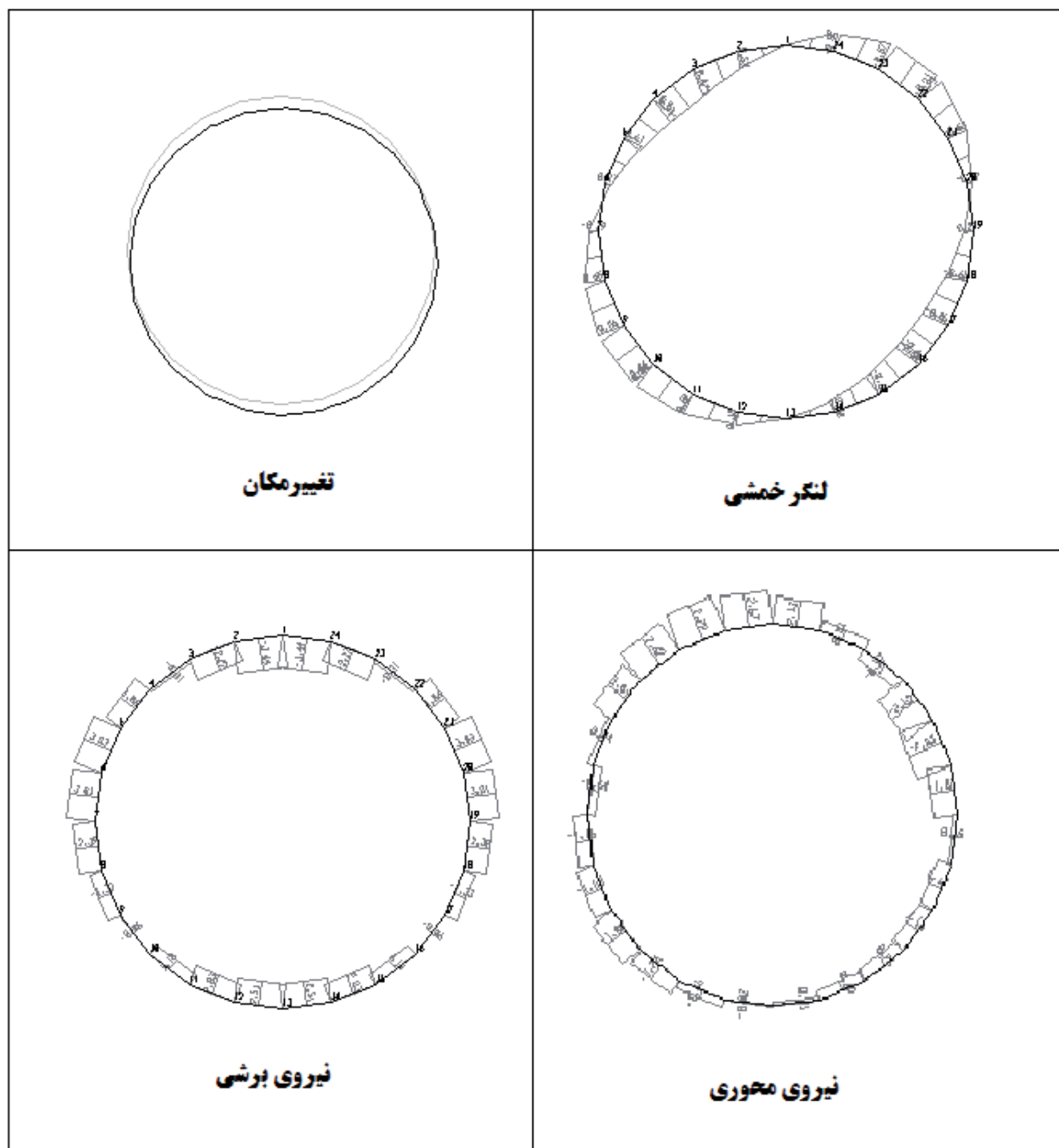
۱۰-۱-۲-۴-۲ نیروی مقطع ناشی از نیروی لرزه‌ای افقی



شکل ۱۰-۱۰ - توزیع نیروی لرزه‌ای

جدول ۱۰-۱۲ - حداکثر نیروی مقطع ناشی از نیروی لرزه‌ای افقی

نیروی محوری N(kN)	نیروی برشی Q(kN)	ممان خمشی M(kNm)
۲/۸۳	۱/۸۵	۰/۴۹



شکل ۱۰-۱۱ - توزیع نیروی مقطع

جدول ۱۰-۱۳- لیست نیروی مقطع

شماره المان	شماره گره		لنگر خمشی M(kN/m)		نیروی برشی Q(kN)		نیروی محوری P(kN)	
a	1	2	0.5227	1.14E-13	-3.44	-3.44	1.508	1.508
b	2	3	0.8682	0.5227	-2.274	-2.274	4.159	4.159
c	3	4	0.9149	0.8682	-0.307	-0.307	5.832	5.832
d	4	5	0.6317	0.9149	1.864	1.864	6.219	6.219
e	5	6	0.1709	0.6317	3.033	3.033	5.141	5.141
f	6	7	-0.2869	0.1709	3.013	3.013	3.505	3.505
g	7	8	0.6492	0.2869	-2.385	-2.385	1.966	1.966
h	8	9	0.8512	0.6492	-1.329	-1.329	0.735	0.735
i	9	10	0.8602	0.8512	-0.06	-0.06	-0.051	-0.051
j	10	11	0.6889	0.8602	1.128	1.128	-0.397	-0.397
k	11	12	0.3811	0.6889	2.026	2.026	-0.391	-0.391
l	12	13	7.66E-14	0.3811	2.508	2.508	-0.157	-0.157
m	13	14	-0.3811	1.71E-13	2.508	2.508	0.157	0.157
n	14	15	-0.6889	-0.3811	2.026	2.026	0.391	0.391
o	15	16	-0.8602	-0.6889	1.128	1.128	0.397	0.397
p	16	17	-0.8512	-0.8602	-0.06	-0.06	0.051	0.051
q	17	18	-0.6492	-0.8512	-1.329	-1.329	-0.735	-0.735
r	18	19	-0.2869	-0.6492	-2.385	-2.385	-1.966	-1.966
s	19	20	-0.1709	0.2869	3.013	3.013	-3.505	-3.505
t	20	21	-0.6317	-0.1709	3.033	3.033	-5.141	-5.141
u	21	22	-0.9149	-0.6317	1.864	1.864	-6.219	-6.219
v	22	23	-0.8682	-0.9149	-0.307	-0.307	-5.832	-5.832
w	23	24	-0.5227	-0.8682	-2.274	-2.274	-4.159	-4.159
z	24	1	2.09E-13	-0.5227	-3.44	-3.44	-1.508	-1.508

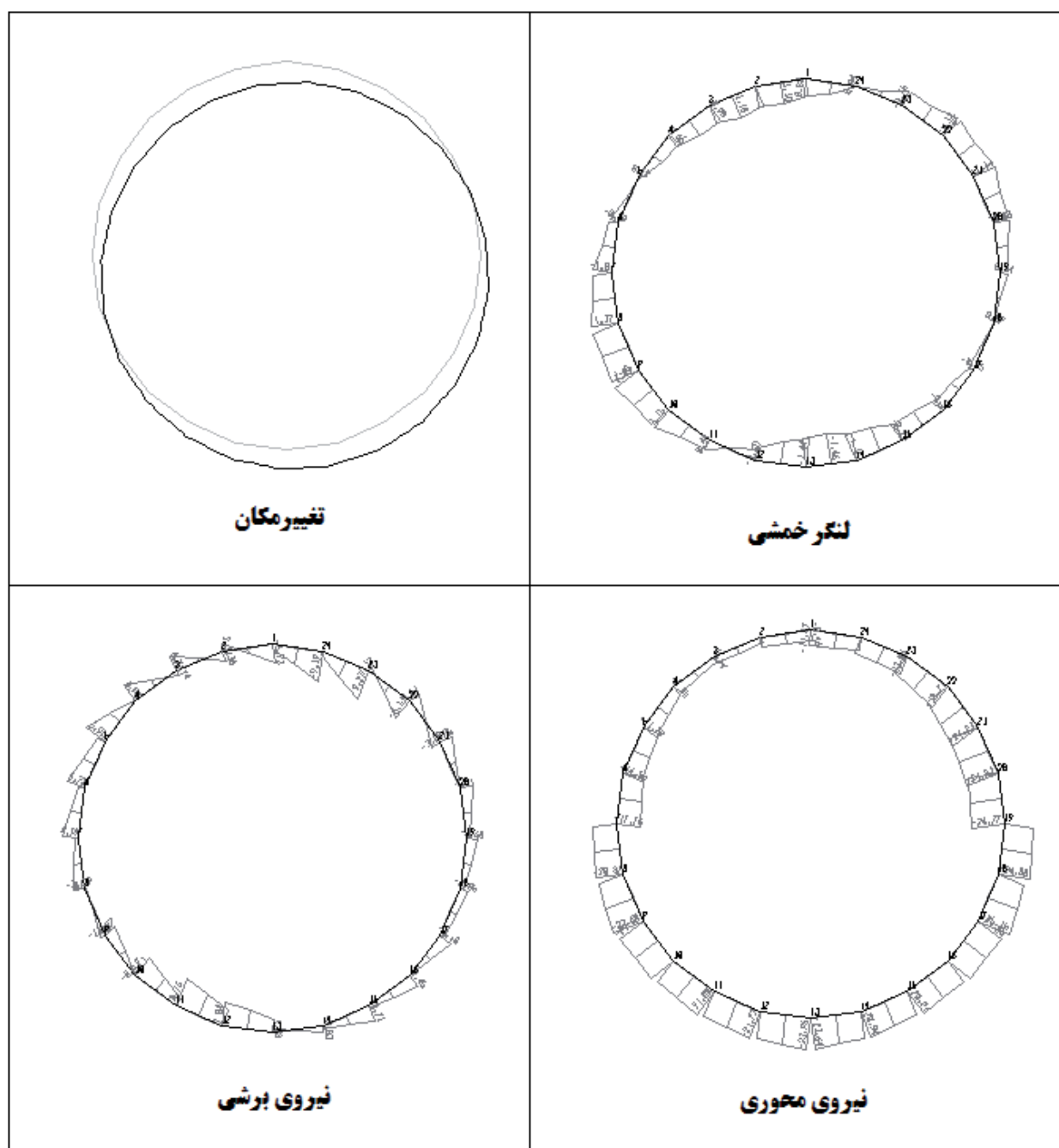
جدول ۱۰-۱۴- لیست تغییر مکان

شماره گره	تغییر مکان افقی (mm)	تغییر مکان قائم (mm)	دوران (°)
1	0.063	0.192	0.009
2	0.004	0.187	0.007
3	0.000	0.180	0.007
4	0.049	0.152	-0.005
5	0.099	0.105	-0.012
6	0.123	0.051	-0.019
7	0.110	0.018	-0.022
8	0.071	0.019	-0.019
9	0.029	0.038	-0.012
10	0.054	0.036	-0.005
11	0.048	0.005	-0.012
12	-0.045	0.039	0.002
13	0.030	-0.062	-0.022
14	0.047	0.028	0.007
15	0.011	0.025	0.003
16	-0.020	0.024	-0.005
17	-0.018	0.013	-0.012
18	0.030	-0.037	-0.019
19	0.111	-0.143	-0.022
20	0.044	0.126	0.007
21	-0.022	0.137	0.003
22	-0.025	0.140	-0.005
23	0.033	0.113	-0.012
24	0.120	0.038	-0.019

۱۰-۱-۲-۳ نیرو مقطعی در هنگام زلزله (در حالت ساکن + نیروی لرزه‌ای افقی)

جدول ۱۰-۱۵- حداکثر نیروی مقطع در شرایط لرزه‌ای

نیروی محوری N(kN)	نیروی برشی Q(kN)	ممان خمشی M(kNm)
۲۳/۸	۱۰/۰۳	۲



شکل ۱۰-۱۲- توزیع نیروی مقطع

جدول ۱۰-۱۶- لیست نیروی مقطع

شماره المان	شماره گره		لنگر خمشی M(kN/m)		نیروی برشی Q(kN)		نیروی محوری P(kN)	
a	1	2	0.898	1.001	4.696	-3.339	-8.738	-9.966
b	2	3	0.516	0.898	6.562	-1.531	-9.697	-8.841
c	3	4	-0.135	0.516	8.109	0.466	-12.88	-10.018
d	4	5	-0.920	-0.135	8.541	1.813	-18.008	-13.332
e	5	6	-1.445	-0.920	5.166	1.762	-19.687	-18.322
f	6	7	-1.532	-1.445	2.124	-0.956	-21.262	-19.082
g	7	8	1.226	1.532	0.718	3.281	-22.838	-19.915
h	8	9	0.539	1.226	3.581	5.436	-24.42	-20.877
i	9	10	-0.315	0.539	3.532	7.703	-21.731	-21.906
j	10	11	-0.944	-0.315	2.06	6.2	-20.608	-19.612
k	11	12	-1.253	-0.944	0.149	3.919	-21.333	-19.229
l	12	13	-1.309	-1.253	-1.182	1.92	-23.801	-20.754
m	13	14	-1.253	-1.309	-1.92	1.182	-20.754	-23.801
n	14	15	-0.944	-1.253	-3.919	-0.149	-19.229	-21.333
o	15	16	-0.315	-0.944	-6.2	-2.06	-19.612	-20.608
p	16	17	0.539	-0.315	-7.703	-3.532	-21.906	-21.731
q	17	18	1.226	0.539	-5.436	-3.581	-20.877	-24.42
r	18	19	1.532	1.226	-3.281	-0.718	-19.915	-22.838
s	19	20	-1.445	-1.532	0.957	-2.124	-19.083	-21.263
t	20	21	-0.920	-1.445	-1.762	-5.166	-18.322	-19.687
u	21	22	-0.135	-0.920	-1.813	-8.541	-13.332	-18.009
v	22	23	0.516	-0.135	-0.467	-8.109	-10.018	-12.88
w	23	24	0.898	0.516	1.531	-6.563	-8.841	-9.697
z	24	1	1.001	0.898	3.339	-4.696	-9.966	-8.738

جدول ۱۰-۱۷- لیست تغییر مکان

شماره گره	تغییر مکان افقی (mm)	تغییر مکان قائم (mm)	دوران (°)
1	0.126	0.219	0.013
2	0.038	0.211	0.011
3	0.037	0.203	0.011
4	0.072	0.153	-0.005
5	0.127	0.087	-0.016
6	0.150	0.013	-0.026
7	0.126	-0.031	-0.030
8	0.068	-0.026	-0.027
9	0.005	0.008	-0.018
10	0.099	0.016	-0.005
11	0.079	-0.031	-0.016
12	-0.103	0.048	0.005
13	0.034	-0.121	-0.030
14	0.092	0.029	0.011
15	0.032	0.019	0.005
16	-0.024	0.013	-0.005
17	-0.033	-0.005	-0.016
18	0.023	-0.072	-0.026
19	0.127	-0.216	-0.030
20	0.071	0.141	0.011
21	-0.032	0.150	0.005
22	-0.050	0.151	-0.005
23	0.016	0.113	-0.016
24	0.125	0.012	-0.026

۱۰-۱-۲-۵ ظرفیت باربری خط لوله مدفون

ممان مجاز توسط روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_B = 0.25 \cdot P_B \cdot r + 0.165 \cdot W r$$

 M_B : ممان مجاز (kNm) P_B : بار مجاز (kN/m) r : قطر (مرکز ضخامت) (۰٫۵۴۱(m)) W : وزن لوله (۶/۶۹۰(kN/m))

جدول ۱۰-۱۸- ممان مجاز

نوع لوله	بار مجاز P_B (kN/m)	ممان مجاز M_B (kNm)
نوع-۱	۶۱/۹	۸/۹۶۹

نوع-۲	۱۰۸/۰	۱۵/۲۰۴
-------	-------	--------

۶-۲-۱-۱۰ ارزیابی ایمنی

ایمنی توسط ضریب ایمنی $F_s = 1.0$ ارزیابی می‌گردد.

جدول ۱۰-۱۹- نتیجه ارزیابی

نوع لوله	ممان مجاز M_B (kNm)	حداکثر ممان M (kNm)	ضریب ایمنی M_B / M	نتیجه
نوع-۱	۸/۶۹۶	۲	۴/۳۴۸	OK
نوع-۲	۱۵/۲۰۴	۲	۷/۶۰۲	OK

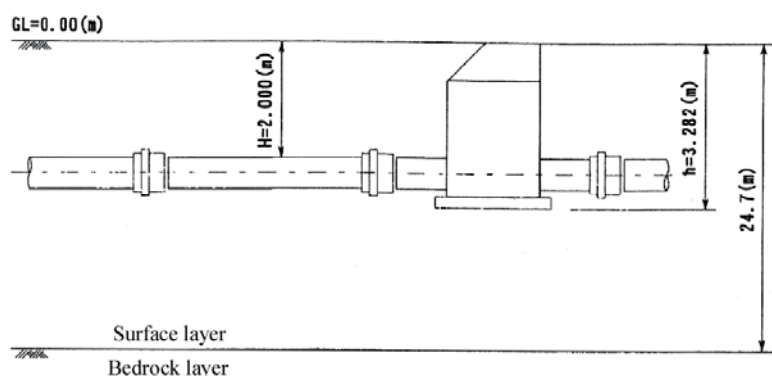
۳-۱-۱۰ طراحی اتصال بین آدرو و مجرا

۱-۳-۱-۱۰ مشخصات سازه‌ای

جدول ۱-۳-۱-۱۰ (۱) و شکل ۱-۳-۱-۱۰ (۱) مشخصات سازه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰-۲۰- مشخصات سازه‌ای

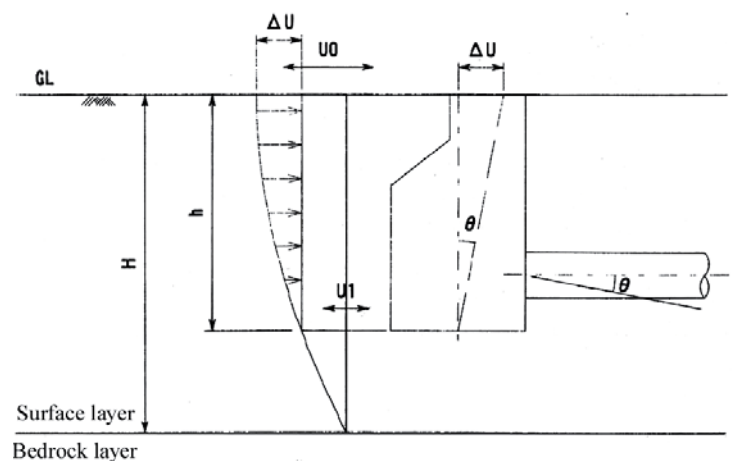
نوع لوله	RC precast concrete pipe for sewage (B-type)
قطر اسمی	۱۰۰۰
قطر داخلی D	۱۰۰۰ (mm)
ضخامت T	۸۲ (mm)
طول مؤثر l	۲۴۳۰ (mm)
زاویه انحنای مجاز در اتصال θ_0	۲'۴۵"
طول بیرون کشیدگی مجاز σ_0	۵/۶ (cm)
تراز سطح زمین GL	۰۰,۰ (m)
عمق آدرو h	۳/۲۸۲(m)
پوشش خاک H	۲,۰۰(m)
سرعت موج برشی لایه سنگ بستر V_{BS}	۳۰۰(m/s)



شکل ۱۰-۱۳- مشخصات سازه‌ای

۱۰-۱-۳- زاویه انحنا ناشی از زلزله

برای تعیین شرایط زمین، پروفیل خاک، پرپود طبیعی، طیف سرعت طراحی باید به قسمتهای قبلی مراجعه شود.



شکل ۱۰-۱۴- زاویه انحنا

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta U}{h} \right)$$

رابطه ۱۰-۹

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(h) = U_0 - U_1$$

θ : زاویه انحنا ناشی از جنبش لرزه‌ای (درجه)

$U_h(z)$: حداکثر تغییر مکان

S_v : سرعت پاسخ طراحی (۱(m/s)

T_s : پرپود طبیعی لایه سطحی (۰/۸۸۳(s)

H : ضخامت لایه سطحی (۲۴/۷(m)

حداکثر دامنه تغییر مکان در سطح

$$U_h(0) = \frac{2}{\pi^2} \times 1 \times 0.883 \times \cos \left(\frac{\pi \times 0}{2 \times 24.7} \right) = 0.178(m)$$

حداکثر دامنه تغییر مکان در زیر آدمرو (ارتفاع آدمرو $h=3/282$ (m))

$$U_h(3.282) = \frac{2}{\pi^2} \times 1 \times 0.883 \times \cos\left(\frac{\pi \times 3.282}{2 \times 24.7}\right) = 0.175(\text{m})$$

$$\Delta U = U_h(0) - U_h(3.282) = 0.178 - 0.175 = 0.003(\text{m})$$

سپس:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{0.003}{3.282}\right) = 0.00091(\text{rad}) = 0.052(\text{deg}) = 0^\circ 3' 7''$$

۱۰-۱-۳-۳ طول بیرون آمدگی

۱۰-۱-۳-۳-۱ سرعت موج برشی لایه سطحی

$$V_{DS} = \frac{4H}{T_s}$$

رابطه ۱۰-۱۰

V_{DS} : سرعت موج بری لایه سطحی (m/s)

H : ضخامت لایه (m)

T_s : پریود طبیعی لایه سطحی (s) (۰/۸۸۳)

$$V_{DS} = \frac{4 \times 24.7}{0.883} = 111.89(\text{m/s})$$

رابطه ۱۰-۱۱

۱۰-۱-۳-۲ طول موج جنبش لرزه‌ای زمین

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}, \quad L_1 = T_s \cdot V_{DS},$$

رابطه ۱۰-۱۲

$$L_2 = T_s \cdot V_{BS}$$

L : طول موج جنبش زمین (m)

V_{DS} : سرعت موج برشی لایه سطحی (۱۴۰/۱۴(m/s))

V_{BS} : سرعت موج برشی لایه سنگ بستر (۳۰۰(m/s))

در اینجا:

$$L_1 = 0.883 \times 111.89 = 98.8(\text{m})$$

$$L_2 = 0.883 \times 300 = 264.9(\text{m})$$

سپس:

$$L = \frac{2 \times 98.8 \times 264.9}{98.8 + 264.9} = 144.1(\text{m})$$

۱۰-۱-۳-۳ حداکثر دامنه تغییر مکان در نقطه مورد ارزیابی

زمانیکه مرکز لوله ارزیابی می‌گردد، عمق آن برابر است با:

$$z = \text{عمق پوشش} + \text{ضخامت لوله} + \text{قطر داخلی} / 2 = 2/0.00 + 0/0.82 + 1/2 = 2/582(\text{m})$$

بنابراین حداکثر دامنه تغییر مکان برابر است با:

$$U_h(2.582) = \frac{2}{\pi^2} \times 1 \times 0.883 \times \cos\left(\frac{\pi \times 2.582}{2 \times 24.7}\right) = 0.176(\text{m})$$

۱۰-۱-۳-۴ کرنش خاک ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{L} \cdot U_h(z)$$

رابطه ۱۰-۱۳

ε_{gd} : کرنش زمین در اثر جنبش لرزه‌ای زمین

L : طول موج ((۱۳۳/۱۲۵(m))

سپس،

$$\varepsilon_{gd} = \frac{\pi}{144.1} \times 0.176 = 0.00387$$

۱۰-۱-۳-۵ طول بیرون زدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین

$$\delta = \varepsilon_{gd} \cdot \ell$$

رابطه ۱۰-۱۴

δ : طول بیرون زدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین (cm)

ε_{gd} : کرنش خاک ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین (۰/۰۰۳۸۷)

ℓ : طول مؤثر لوله ((۲/۴۳۰ (m))

سپس،

$$\delta = 0.00387 \times 2.430 = 0.0094(\text{m}) = 0.94(\text{cm})$$

۱۰-۱-۳-۴ ارزیابی برای ایمنی

جدول ۱۰-۲۱- نتایج ارزیابی

نتیجه	مقدار مجاز $\phi = 1000 \text{ (mm)}$	مقدار محاسبه شده	
OK	2°45'	0°3'7"	زاویه انحنای
OK	5.6cm	0.94cm	طول بیرون کشیدگی

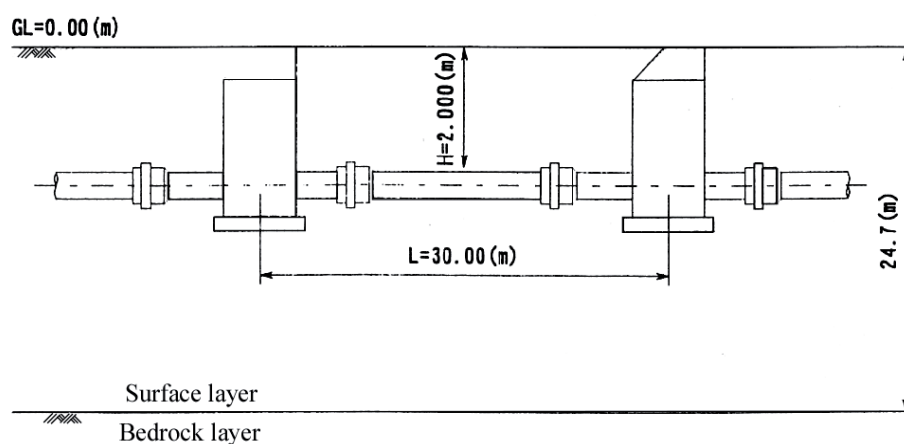
۱-۱-۱۰-۴ طراحی برای اتصال بین دو مجرا

۱-۱-۱۰-۴-۱ وضعیت سازه‌ای

در جدول ۱۰-۲۲ و شکل ۱۰-۱۵ مشخصات سازه‌ای نشان داده شده است.

جدول ۱۰-۲۲- مشخصات سازه‌ای

نوع لوله	RC لوله پیش ساخته بتنی برای فاضلاب (نوع-B)
قطر اسمی	۱۰۰۰
قطر داخلی D	۱۰۰۰ (mm)
ضخامت T	۸۲ (mm)
طول مؤثر ℓ	۲۴۳۰ (mm)
زاویه انحنای مجاز در اتصال θ_0	۲° ۴۵
طول بیرون کشیدگی مجاز σ_0	۵/۶ (cm)
تراز سطح GL	۰,۰۰ (m)
دهانه بین آدم‌روها L	۳۰,۰۰ (m)
پوشش زمین H	۲,۰۰ (m)
سرعت موج برشی لایه سنگ بستر V_{BS}	۳۰۰ (m/s)
نشست زمین h	۰/۱۶۵ (m)
زاویه انحراف سنگ بستر θ	۳۰ (درجه)



شکل ۱۰-۱۵- مشخصات سازه‌ای

۱-۱-۱۰-۴-۲ زاویه انحنا و طول بیرون کشیدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین

برای تعیین وضعیت زمین، پروفیل خاک، پریرود طبیعی، طیف سرعت پاسخ، سرعت موج برشی لایه سطحی، طول موج، دامنه تغییر مکان زمین در مرکز مجرا و کرنش زمین باید به بخش قبلی مراجعه شود.

۱۰-۱-۲-۴-۱ زاویه انحنا ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین

$$\theta = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_s} \right)^2 \cdot \frac{U_h(z)}{V_{DS}^2} \cdot \ell \quad \text{رابطه ۱۰-۱۵}$$

θ : زاویه انحنا ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین (درجه)

T_s : پریود طبیعی لایه سطحی (۰/۸۸۳(s))

$U_h(z)$: حداکثر دامنه تغییر مکان در مرکز مجرا (۰/۱۴۱۲۲(m))

V_{DS} : سرعت موج برشی لایه سطحی (۱۱۱/۸۹۱(m))

ℓ : طول مؤثر مجرا (۲/۴۳(m))

بنابراین:

$$\theta = \left(\frac{2\pi}{0.883} \right)^2 \times \frac{0.176}{111.891^2} \times 2.43 = 0.00173(\text{rad}) = 0.099(\text{deg}) = 0^\circ 5' 57''$$

۱۰-۱-۲-۴-۲ طول بیرون کشیدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین (مانند بند ۱۰-۱-۳-۵)

$$\delta = \varepsilon_{gd} \cdot \ell \quad \text{رابطه ۱۰-۱۶}$$

δ : طول بیرون کشیدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین (cm)

ε_{gd} : کرنش زمین ناشی از جنبش لرزه‌ای زمین (۰/۰۰۳۰۸۳)

ℓ : طول مؤثر لوله (۲/۴۳۰(m))

بنابراین،

$$\delta = 0.00387 \times 2.430 = 0.0094(\text{m}) = 0.94(\text{cm})$$

۱۰-۱-۳-۴ زاویه انحنا و طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست زمین

در این بند، نشست زمین در اثر روانگرایی زمین و به تبع آن زاویه انحنا و بیرون کشیدگی حاصله در نظر گرفته می‌شود. مجرا در لایه‌هایی که احتمال وقوع روانگرایی در آنها زیاد نمی‌باشد، اجرا می‌گردند. با این وجود فرض می‌گردد در چهارمین لایه ماسه‌ای روانگرایی اتفاق می‌افتد. در لایه با ضخامت ۳/۳ (m)، نشست زمین به صورت زیر فرض می‌گردد.

نشست زمین ناشی از روانگرایی = ضخامت لایه روانگرا شده * نرخ نشست (η)

بنابراین،

$$h = 3.30 \times 0.05 = 0.165(\text{m})$$

از آنجا که مجرا در لایه روانگرا نصب نگردیده است، ارزیابی برای طول بیرون کشیدگی ناشی از PGD انجام نمی‌شود.

۱-۱۰-۱-۳ زاویه انحنا ناشی از نشست زمین

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{4h}{L^2} \ell \right)$$

رابطه ۱۷-۱۰

 θ : زاویه انحنا ناشی از نشست زمین (درجه)

h: نشست زمین (۰/۱۶۵(m))

L: دهانه آدروها (۳۰,۰۰(m))

 ℓ : طول مؤثر مجرا (۲/۴۳(m))

بنابراین،

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{4 \times 0.165}{30.0^2} \times 2.43 \right) = 0.00356(\text{rad}) = 0.204(\text{deg}) = 0^\circ 12' 14''$$

۱-۱۰-۲ طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست زمین

$$\delta_{s \max} = \frac{1}{\cos \left(\frac{n-1}{2} \theta \right)} - 1$$

رابطه ۱۸-۱۰

 $\delta_{s \max}$: طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست زمین (cm) θ : زاویه انحنا ناشی از نشست زمین ((رادیان) ۰/۰۰۳۵۶)

n: تعداد مجراها در دهانه آدرو

$$n = L / \ell = 30.0 / 2.43 = 12.346$$

بنابراین:

$$\delta_{s \max} = \frac{2.43}{\cos \left(\frac{13-1}{2} \times 0.00356 \right)} - 2.43 = 0.000554(\text{m}) = 0.0554(\text{cm})$$

۱-۱۰-۴ طول بیرون کشیدگی ناشی از لایه سنگ بستر ناهموار

در اینجا، طول بیرون کشیدگی ناشی از کرنش زمین در اثر شیب سطح سنگ بستر، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۱-۱۰-۱-۴ نوع لایه سطحی

لایه سطحی باید با مقدار مشخصه زمین T_G مطابق جدول زیر طبقه‌بندی شود.

جدول ۱۰-۲۳ - طبقه‌بندی زمین برای مقدار مشخصه

نوع زمین	مقدار مشخصه T_G (s)
نوع-I	$T_G < 0.2$
نوع-II	$0.2 \leq T_G < 0.6$
نوع-III	$0.6 \leq T_G$

در اینجا، مقدار مشخصه زمین $T_G = 0.706$ (s) می‌باشد. (به بند ۱۰-۱-۲-۳-۱ مراجعه نمایید) بنابراین، لایه سطحی در نوع-III جای می‌گیرد.

۱۰-۱-۴-۲ ضریب لرزه‌ای طراحی

ضریب طراحی لرزه‌ای در تراز لرزه‌ای MCE برای قسمت مدفون سازه از رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$K_{0h} = K_{hf} \cdot (1 - 0.015z) \quad \text{رابطه ۱۰-۱۹}$$

K_{0h} : ضریب لرزه‌ای طراحی در MCE برای قسمت مدفون سازه

K_{hf} : ضریب لرزه‌ای طراحی در MCE برای قسمت روزمینی سازه

در این حالت، طبق جدول زیر، ضریب ۰/۶ برای سازه معمولی در زمین نوع-III بکار برده می‌شود.

جدول ۱۰-۲۴ - ضریب لرزه‌ای طراحی

نوع زمین	نوع-I	نوع-II	نوع-III
سازه معمولی	۰/۸	۰/۶	۰/۶
سازه ویژه	۱/۲	۰/۹	۰/۹

z : عمق نقطه‌ای که طراحی در آنجا انجام می‌شود. (m) (در حالتی که $0.5 \leq (1 - 0.015z)$)

در اینجا، عمق مرکز لوله ۲/۵۸۲ متر می‌باشد. (۱۰-۱-۳-۳)

$$k_{0h} = 0.600 \times (1 - 0.015 \times 2.582) = 0.577$$

K_H : ضریب شدت زلزله افقی در سطح زمین

$$K_H = 0.3\beta_0\beta_1\beta_2\beta_3$$

$$K_H = 0.3 \times 1 \times 1.2 \times 0.25 \times 2.25 \times 1.5 = 0.304$$

۱۰-۱-۴-۳ حداکثر دامنه تغییر مکان در نقطه مورد ارزیابی

$$U(2.582) = 0.176(m)$$

۱۰-۱-۴-۴ کرنش یکنواخت خاک در ساختگاه مورد ارزیابی بر روی سنگ بستر ناهموار

$$\varepsilon_{G1} = \frac{\pi}{L} U_h(z) \quad \text{رابطه ۱۰-۲۰}$$

ε_{G1} : کرنش خاک یکنواخت در ساختگاه واقع بر سنگ بستر ناهموار

L: طول موج ((۱۴۴/۱(m))

بنابراین،

$$\varepsilon_{G1} = \frac{\pi}{144.1} \times 0.176 = 0.003837$$

۱۰-۱-۴-۵ کرنش زمین ناشی از سنگ بستر ناهموار در ساختگاه مورد ارزیابی

کرنش بوجود آمده در اثر تفاوت پاسخ تغییر مکان ناشی از عمق متغیر سنگ بستر به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\varepsilon_{G3} = \kappa \cdot \frac{k_{0h}}{V_{DS}} \cdot \tan \theta \cdot \cos \frac{\pi \cdot Z}{2 \cdot H} \quad \text{رابطه ۱۰-۲۱}$$

ε_{G3} : کرنش زمین ناشی از سنگ بستر شیب‌دار (زمانی که $\theta \geq 5^\circ$ ، $\varepsilon_{G3} = 0.35$)

۱۰-۱-۴-۶ کرنش کلی زمین ناشی از سنگ بستر ناهموار

$$\varepsilon_{G2} = \sqrt{\varepsilon_{G1}^2 + \varepsilon_{G3}^2} \quad \text{رابطه ۱۰-۲۲}$$

بنابراین،

$$\varepsilon_{G2} = \sqrt{0.003837^2 + 0.0035^2} = 0.00519$$

۱۰-۱-۴-۷ طول بیرون کشیدگی ناشی از لایه سنگ بستر ناهموار

$$\delta = \varepsilon_{G2} \cdot \ell \quad \text{رابطه ۱۰-۲۳}$$

δ : طول بیرون کشیدگی ناشی از لایه سنگ بستر ناهموار (cm)

بنابراین،

$$\delta = 0.00519 \times 2.430 = 0.01262(m) = 1.262(cm)$$

۱۰-۱-۴-۵ ارزیابی برای ایمنی

جدول ۱۰-۲۵- نتایج ارزیابی

نتایج	مقدار مجاز $\phi = 1000 \text{ (mm)}$	مقدار مجاز	
OK	2°45'	0°3'7"	زاویه انحنا ناشی از جنبش لرزه‌ای
OK	5.6cm	0.94cm	طول بیرون کشیدگی ناشی از جنبش لرزه‌ای
OK	2°45'	0°12'14"	زاویه انحنا ناشی از نشست
OK	5.6cm	0.0554cm	طول بیرون کشیدگی ناشی از نشست
OK	5.6cm	1.262cm	طول بیرون کشیدگی ناشی از لایه سنگ بستر ناهموار

۱۰-۲ طراحی لرزه‌ای کالورت

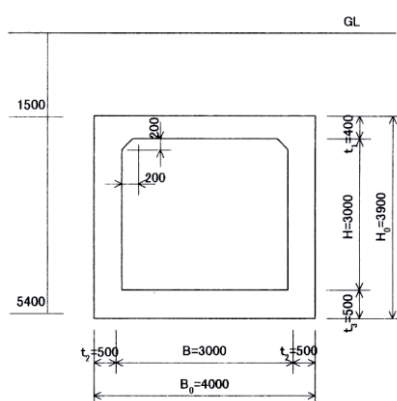
۱۰-۲-۱ شمای کلی

مثالی از طراحی لرزه‌ای کالورت صندوقه‌ای مدفون RC ساخته شده با بتن درجا، بر روی پی گسترده، در زیر نشان داده شده است. دهانه اتصال انبساطی ۲۵ متر در نظر گرفته شده است.

۱۰-۲-۲ شرایط طراحی

۱۰-۲-۲-۱ مشخصات سازه‌ای

شکل ۱۰-۲-۲-۱ سطح مقطع کالورت را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۶- سطح مقطع کالورت

(۱) نوع کالورت: نوع منفرد ساخته شده با بتن RC درجا ساخته شده

(۲) نوع پی: پی گسترده

(۳) طول کالورت: ۲۵ متر

(۴) عمق سربار: ۱/۵ متر

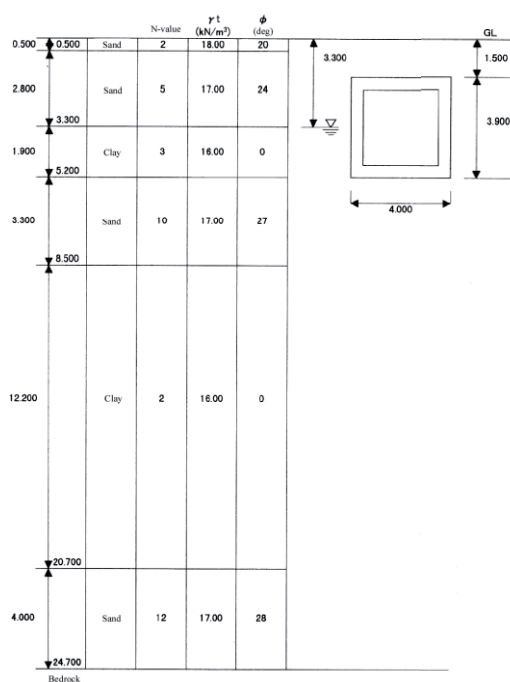
(۵) قطر داخلی: $B \times H = 3.0\text{m} \times 3.0\text{m}$

(۶) سطح آب زیر زمینی: GL-3.3m

۱۰-۲-۲-۲ شرایط زمین

شرایط زمین مشابه بند ۱۰-۱ می‌باشد.

شکل ۱۰-۱۷ موقعیت کالورت و پروفیل خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱۷ - موقعیت کالورت و پروفیل خاک

۱۰-۲-۲-۳ وزن مخصوص مصالح

وزن مخصوص بتن: $\gamma_c = 24.5 \text{ kN/m}^3$

۱۰-۲-۲-۴ مقاومت مصالح و تنش مجاز

(۱) بتن: $\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$

جدول ۱۰-۲۶ - تنش مجاز بتن

تنش برشی مجاز	تنش پیوستگی مجاز	تنش فشاری مجاز ناشی از خمش	مقاومت طراحی مشخص شده
۰/۳۹ (۳/۹)	۱/۶۰ (۱۶/۰)	۸/۰ (۸۰)	۲۴ (۲۴۰)

$\text{N/mm}^2 (\text{kgf/cm}^2)$

جدول ۱۰-۲۷- مقاومت فشاری طراحی بتن

مقاومت فشاری طراحی بتن	مقاومت طراحی مشخص شده
۲۴ (۲۴۰)	۲۴ (۲۴۰)

 $\text{N/mm}^2 (\text{kgf/cm}^2)$

(۲) آرماتور تقویتی: SD345

جدول ۱۰-۲۸- تنش مجاز آرماتور

SD345	نوع آرماتور تنش، نوع مصالح		
۱۸۰ (۱۸۰۰)	عضو کلی	زمانی روی می‌دهد که بار ضربه‌ای و اثر لرزه‌ای وارد نمی‌شود.	تنش کششی
۱۶۰ (۱۶۰۰)	عضو در محیط با شرایط سخت		
۲۰۰ (۲۰۰۰)	مقدار اولیه تنش مجاز زمانیکه بار و اثر لرزه‌ای وارد می‌شود.		
۲۰۰ (۲۰۰۰)	زمانیکه وصله پوششی و افزایش طول محاسبه شده باشد.		

 $(\text{kgf/cm}^2) \text{N/mm}^2$

جدول ۱۰-۲۹- مقاومت کششی تسلیم طراحی آرماتور کششی و برشی

نوع آرماتور	مقاومت کششی تسلیم طراحی
SD345	۳۵۰ (۳۵۰۰)

(۳) ضریب ایمنی

ضریب مصالح: بتن: $\gamma_c = 1.0$ آرماتور: $\gamma_s = 1.0$ ضریب عضو: (نیروی محوری خمشی): $\gamma_b = 1.0$ (ظرفیت برشی): بتن: $1/0$ ، آرماتور: $1/0$ ضریب بار: $1/0$ ضریب تحلیل سازه: $\gamma_a = 1.0$ ضریب سازه: $\gamma_i = 1.0$

(۴) پوشش آرماتور

جدول ۱۰-۳۰- پوشش آرماتور

پوشش (mm)	قسمت		پوشش (mm)	قسمت	
۱۰۰	بیرونی	دیوار جانبی (راست)	۱۰۰	بالایی	بام
۱۰۰	داخلی		۱۰۰	پایینی	
۱۱۰	بالایی	طبقه	۱۰۰	بیرونی	دیوار جانبی (چپ)
۱۱۰	پایینی		۱۰۰	داخلی	

۱۰-۲-۳ شرایط تحلیلی

۱۰-۲-۳-۱ حالت ساکن

بارهای زیر در نظر گرفته شده است:

۱. وزن کالورت
۲. بار زنده (T-25: ۲۵ تن بار چرخ)
۳. فشار قائم خاک بر روی سقف کالورت
۴. فشار افقی خاک بر روی دیوار جانبی کالورت
۵. ضریب واکنش خاک برای پایین کالورت (پی گسترده)
۶. فشار هیدرواستاتیکی
۷. شناوری

۱۰-۲-۳-۲ روند طراحی لرزه‌ای

۱۰-۲-۳-۲-۱ تفکر پایه

این کالورت به عنوان "خط اصلی مهم" در نظر گرفته شده است و انعطاف‌پذیری در طراحی لرزه‌ای باید در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۳-۲-۲ عناوین ارزیابی

- سطح مقطع قائم عمود بر محور
- سطح مقطع قائم موازی محور
- تغییر مکان اتصال

شکل ۱۰-۱۸ روند طراحی برای تراز لرزه‌ای MCE را نشان می‌دهد. روش طراحی روش حالت حدی بوده و برای محاسبه تنش از دستورالعمل تحلیل قاب دو بعدی استفاده می‌شود. برای محاسبات ارزیابی می‌توان از برنامه رایانه‌ای spreadsheet استفاده نمود.



با استفاده از بند ۱۰-۱-۴-۱ و با داشتن مقدار مشخصه زمین $T_G = 0.706(s)$ نوع زمین، از نوع-III تعیین می‌شود.

۱۰-۲-۴-۲ نتایج قضاوت درباره وقوع روانگرایی

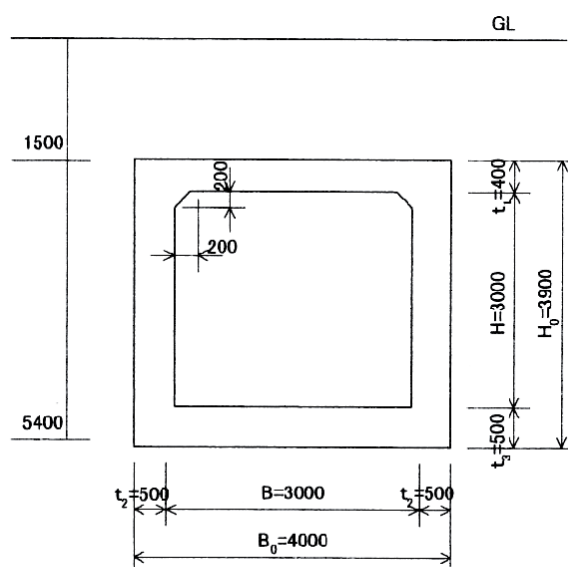
جدول ۱۰-۳۱ نتیجه قضاوت وقوع روانگرایی را نشان می‌دهد.

Soil classification										Liquefaction resistance rate FL				Liquefaction index PL						
Layer NO	alluvium & diluvium	classification	depth (m)	N-value	γ_t : wet unit weight (kN/m ³)	D ₅₀ ave. grain size (mm)	D ₁₀ :10% grain size (mm)	FC: rate of fines (%)	IP: Plasticity index (—)	σ_v : total stress (kN/m ²)	σ'_v : effective stress (kN/m ²)	L: seismic shear stress ratio (—)	R: dynamic shear strength ratio (—)	FL=R/L (—)	DE: reduction coefficient	judgment	Distribution of FL	PL-value of each layer (—)	Total of PL-value (—)	
1	a	sand	0.50	0.0	2.0	18.000	0.200	0.150	25.0	25.0	9.000	9.000	0.596	—	—	—	—		11.715	21.63
2	a	sand	3.30	1.0	5.0	17.000	0.200	0.150	25.0	55.600	56.600	0.570	0.285	0.499	0.333	x				
3	a	clay	5.20	3.0	3.0	16.000	0.200	0.150	90.0	87.000	68.000	0.708	—	—	—	—				
4	a	sand	8.50	4.0	10.0	17.000	0.200	0.150	25.0	143.100	91.100	0.822	0.393	0.477	0.667	x				
5	a	clay	20.00	5.0	2.0	16.000	0.200	0.150	90.0	327.100	160.100	0.858	—	—	—	—				
6	a	clay	20.70	6.0	2.0	16.000	0.200	0.150	90.0	338.300	164.300	0.852	—	—	—	—				
7	a	sand	24.70	8.0	12.0	17.000	0.200	0.150	25.0	406.300	192.300	0.798	—	—	—	—				

۱۰-۲-۵ مدل سازه‌ای

۱۰-۲-۵-۱ ابعاد

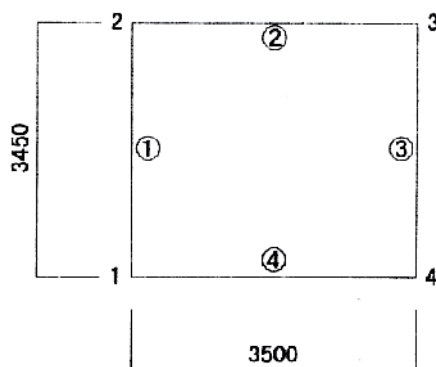
شکل ۱۰-۱۹ ابعاد مقطع را نشان می‌دهد. در گوشه‌های پایینی پخ وجود ندارد.



شکل ۱۰-۱۹- ابعاد سطح مقطع

۱۰-۲-۵-۲ محور قاب صلب و مشخصات

شکل ۱۰-۲۰ نمای قاب را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۲۰- محور قاب صلب

(۱) سطح مقطع و ممان دوم اعضاء

جدول ۱۰-۳۲- سطح مقطع و ممان دوم اعضاء

شماره عضو	عرض (m)	ضخامت (m)	سطح مقطع (m ²)	ممان دوم سطح (m ⁴)
۳۱	۱	۰/۵	۰/۵	$۱۰/۴۱۶۶ \times ۱۰^{-۴}$
۲	۱	۰/۴	۰/۴	$۵/۳۳۰ \times ۱۰^{-۴}$
۴	۱	۰/۵	۰/۵	$۱۰/۴۱۶۶ \times ۱۰^{-۴}$

(۲) مدول یانگ

مقاومت طراحی مشخص شده بتن: $\sigma_{ck} = 24(\text{N/mm}^2)$ مدول یانگ بتن: $E = 2.45 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

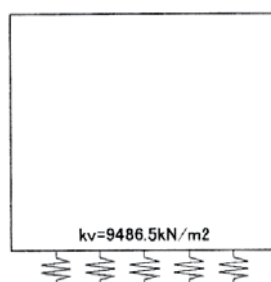
۱۰-۲-۶ تنش در حالت سکون

۱۰-۲-۶-۱ ثابت فنریت زمین در جهت قائم

$$K_v = k_{v0} \cdot \left(\frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4} = 93333 \times \left(\frac{6.3245}{0.3} \right)^{-3/4} = 9486.5 (\text{kN/m}^3)$$

$$K_{v0} = \frac{1}{0.3} \cdot \alpha \cdot E_0 = \frac{1}{0.3} \times 1 \times 2800 \times 10 = 93333 (\text{kN/m}^3)$$

$$B_v = (A_v)^{1/2} = \sqrt{4 \times 10} = 6.3245 (\text{m})$$

 B_v : عرض معادل بارگذاری E_0 : مدول الاستیسیته α : ضریبی برای در نظر گرفتن ضریب عکس العمل ($\alpha = 1$)

شکل ۱۰-۲۱- فنریت قائم در حالت سکون

۱۰-۲-۶-۲ بارگذاری

۱۰-۲-۶-۲-۱ بار مرده

(۱) وزن کالورت

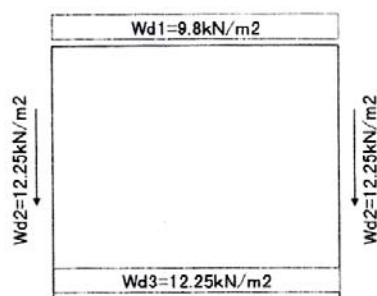
وزن قسمت پخ در محاسبه کالورت در نظر گرفته نمی‌شود. وزن سقف (Wd_1)، وزن دیوار پهلویی (Wd_2) و وزن کف (Wd_3) مطابق زیر می‌باشد.

$$Wd_1 = t_1 \times \gamma_c = 0.4 \times 24.5 = 9.8 (\text{kN/m}^2)$$

$$Wd_2 = t_2 \times \gamma_c = 0.5 \times 24.5 = 12.25 (\text{kN/m}^2)$$

$$Wd_3 = t_3 \times \gamma_c = 0.4 \times 24.5 = 12.25 (\text{kN/m}^2)$$

 t_1, t_2, t_3 : ضخامت دیوار (m)،

 γ_c : وزن مخصوص بتن (kN/m^3)


شکل ۱۰-۲۲- وزن کالورت

(۲) فشار خاک و فشار آب

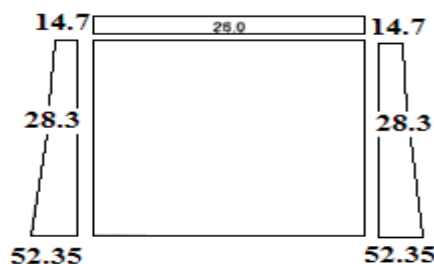
(۳) فشار قائم خاک اعمال شده به سقف کالورت (Pvd) مطابق زیر محاسبه می‌گردد.

$$Pvd = \alpha \cdot \gamma_s \cdot h = 1.0 \times \{(18 \times 0.5) + (17 \times 1.0)\} = 26.0 (\text{kN/m}^2)$$

 α : ضریبی ($\alpha = 1.0$) وابسته به اندازه کالورت، سربار و چگونگی شرایط

 γ_s : وزن مخصوص خاک (kN/m^3)، h : سربار (m)

(۴) فشار افقی خاک برای دیوار جانبی



شکل ۱۰-۲۳- فشار خاک و آب در حالت سکون

فشار افقی برای دیوار جانبی مطابق زیر محاسبه می‌شود:

$$P_h = K_0 \times \sum (\gamma \times h + \gamma' \times h) + P_w$$

رابطه ۱۰-۲۴

Ph: مجموع فشار خاک و آب (kN/m^2) در عمق Z (m) K_0 : ضریب فشار خاک در حالت سکون (۰/۵) γ : وزن مخصوص مرطوب خاک (kN/m^3) γ' : وزن مخصوص غوطه‌ور (kN/m^3)

h: ضخامت لایه خاک در بالای سطح ایستایی آب (m)

 h' : ضخامت لایه خاک در زیر سطح ایستایی آب (m)

جدول ۱۰-۳۳- فشار افقی

	K_0	Z	γ	h	γ'	h'	P_w	P_h
سطح لایه ۲	0.5	0.5	18	0.5	—	—	—	4.5
در مرکز سقف	0.5	1.7	17	1.2	—	—	—	14.7
سطح آب زیرزمینی	0.5	3.3	17	1.6	—	—	—	28.3
در مرکز کف	0.5	5.15	16	1.85	10	1.85	18.5	52.35

۱۰-۲-۶-۲ بار زنده

(۱) فشار خاک قائم با چرخ‌های عقب

بار زنده ۲۵ تن در سطح باید در نظر گرفته شود.

(۱) بار در هر طول واحد افقی P_{1+i}

$$P_{1+i} = \frac{2 \times P}{\ell} \times (1+i) = \frac{2 \times 100}{2.75} \times (1+0.3) = 94.5 (\text{kN/m})$$

p: بار چرخ (kN) ℓ : عرض اشغال شده توسط وسیله نقلیه (۲/۷۵ m)

i: ضریب ضربه (۰/۳)



شکل ۱۰-۲۴- بار زنده (فشار لرزه‌ای قائم)

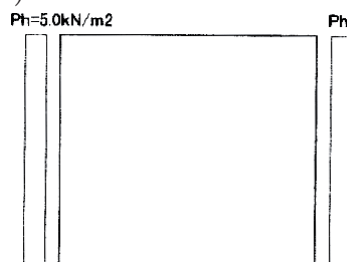
(۲) فشار قائم لرزه‌ای برای کالورت

$$P_v = \frac{P_{\ell+i}}{2h + 0.2} = \frac{94.5}{2 \times 1.5 + 0.2} = 29.53 (\text{kN/m}^2)$$

h: عمق سر بار

(۳) فشار افقی زمین ناشی از بار زنده

$$P_h = k_0 \cdot q = 0.5 \times 10 = 5.0 (\text{kN/m}^2)$$



شکل ۱۰-۲۵- بار زنده (فشار افقی زمین)

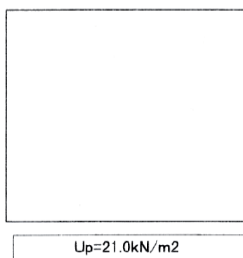
۱۰-۲-۶-۳ شناوری

(۱) فشار قائم زمین توسط چرخ‌های عقب

با در نظر گرفتن نوسان تراز آب زمین، محاسبه این مقدار سخت‌تر می‌باشد.

$$U_p = \gamma_w \times h' = 10 \times 2.1 = 21.0 (\text{kN/m}^2)$$

 γ_w : وزن مخصوص آب (kN/m^3) h' : ضخامت از تراز آب زیر زمینی تا زیر کف کالورت



شکل ۱۰-۲۶- شناوری

۱۰-۲-۲-۴ ترکیب بارگذاری

(۱) نوع بارگذاری

جدول ۱۰-۳۴- نوع ترکیب بارگذاری

نام بار	نوع	حالت
بار وزنی	بار ثابت	۱
فشار خاک و آب در حالت سکون	بار ثابت	۲
بار چرخ (T-25)	بار زنده	۳
فشار افقی ناشی از بار زنده	بار زنده	۴
شناوری	بار زنده	۵

جدول ۱۰-۳۵- ترکیب بارگذاری

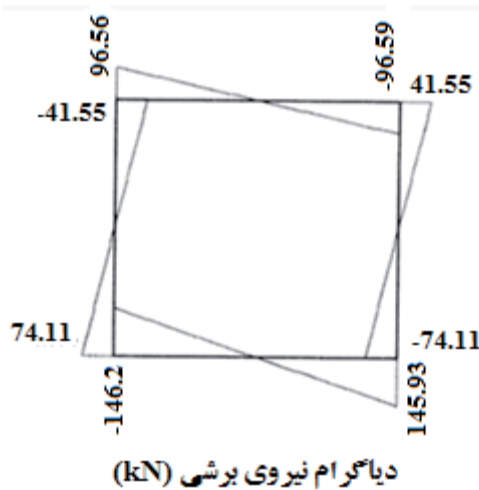
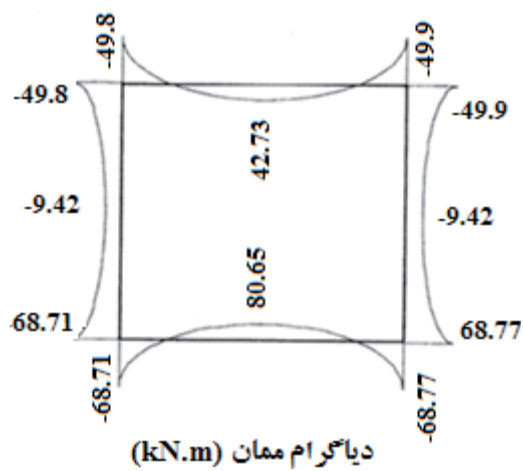
ترکیب بارگذاری	تعداد ترکیب	حالت
۱+۲+۳	۱	۶
۱+۲+۳+۵	۲	۷
۱+۲+۴	۳	۸
۱+۲+۴+۵	۴	۹
۱+۲+۳+۴	۵	۱۰
۱+۲+۳+۴+۵	۶	۱۱

۳-۶-۲-۱۰ نیروی برآیند طراحی

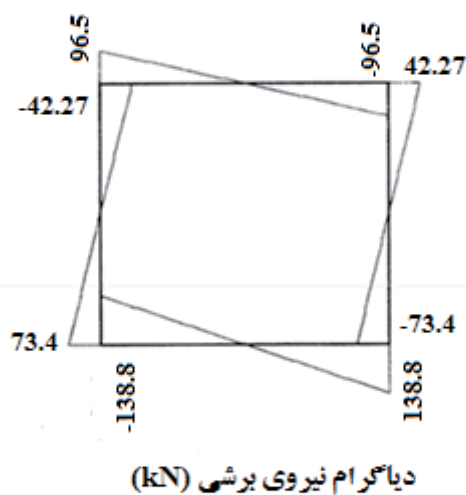
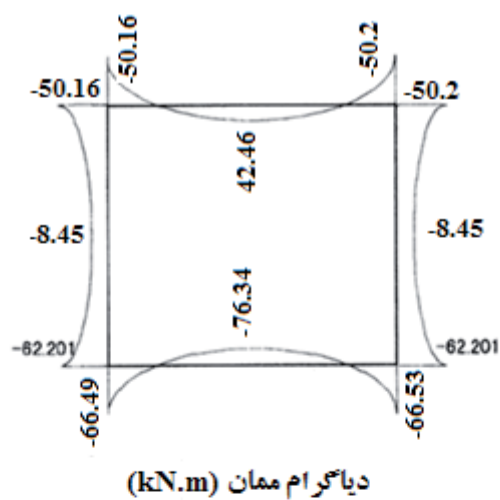
نیروی برآیند طراحی از نتایج حاصل از تحلیل مدل در جدول ۳-۶-۲-۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۳-۶-۱۰- نیروی برآیند طراحی

عضو	نقطه کنترل	M (kNm)	N (kN)	S (kN)
دیوار جانبی	انتهای پایینی	-۷۱/۴۲	-۱۳۸/۸۵	۸۵/۱۴
	جزء میانی	۱۰/۹۷۵	۱۱۷/۷۵	-
	انتهای بالایی	-۵۱/۴۷	-۹۶/۶۵	-۵۰/۵۷
سقف	انتهای پایینی	-۵۱/۴۷	-۵۰/۵۸	۹۶/۶۵
	جزء میانی	۴۲/۷۸	-۵۰/۵۸	-
	انتهای بالایی	-۵۱/۴۷	-۵۰/۵۸	-۹۶/۶۵
کف	انتهای پایینی	-۷۱/۴۲	-۸۵/۱۴	-۱۴۶/۶
	جزء میانی	۸۰/۶۵	-۸۵/۱۴	-
	انتهای بالایی	-۷۱/۴۲	-۸۵/۱۴	۱۴۶/۳

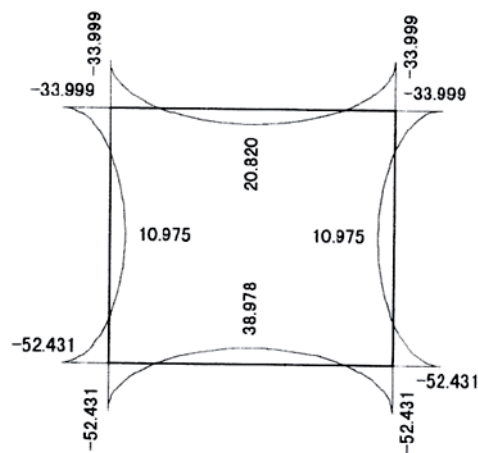


شکل ۱۰-۲۹- دیاگرام تنش در حالت سکون
(بار چرخ در نظر گرفته شده است. شناوری در نظر گرفته نشده است.)

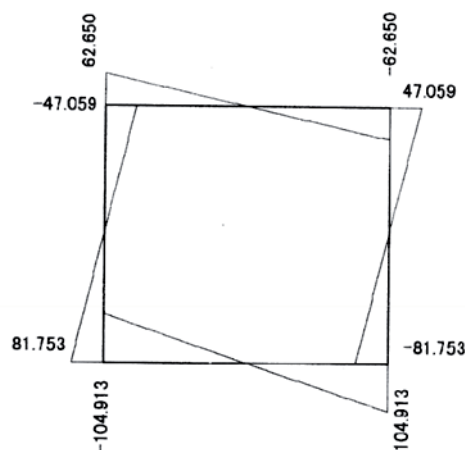


شکل ۱۰-۳- دیاگرام تنش در حالت سکون

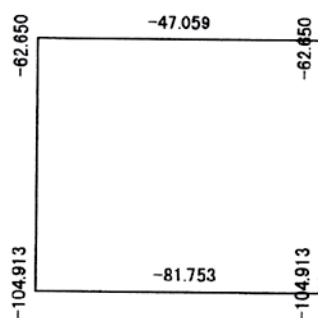
(بار چرخ و شناوری در نظر گرفته شده است.)



دیاگرام ممان (KN.m)



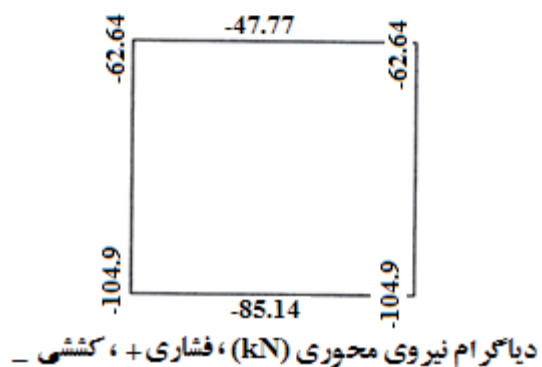
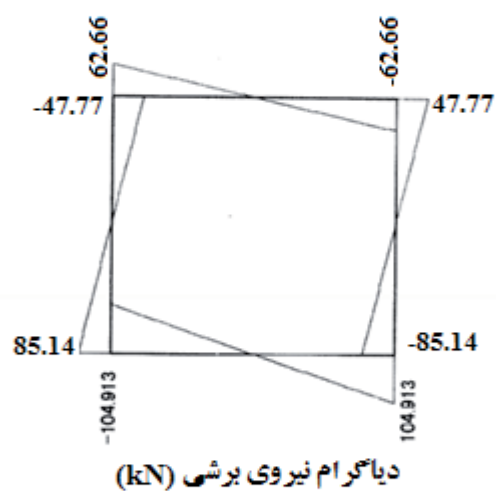
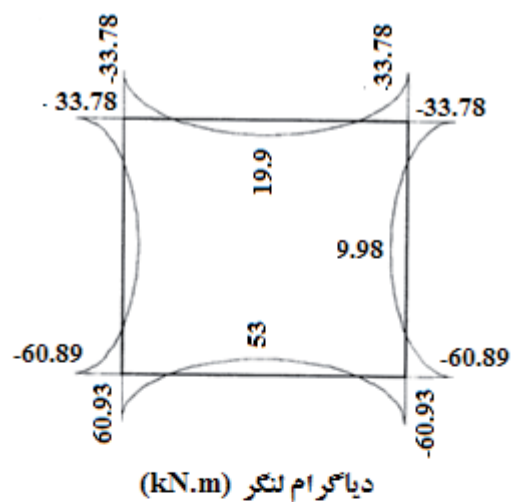
دیاگرام نیروی برشی (KN)



دیاگرام نیروی محوری (KN) فشاری + کششی -

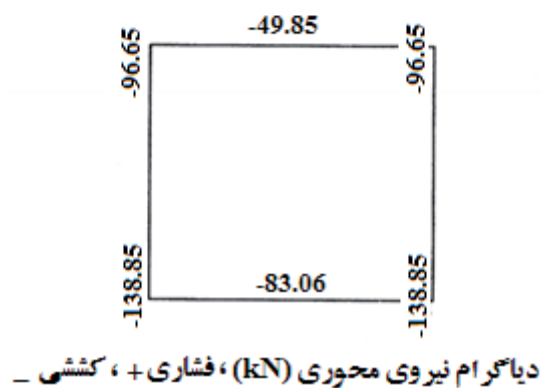
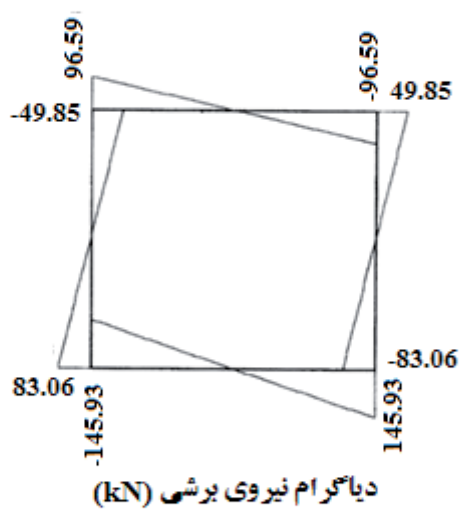
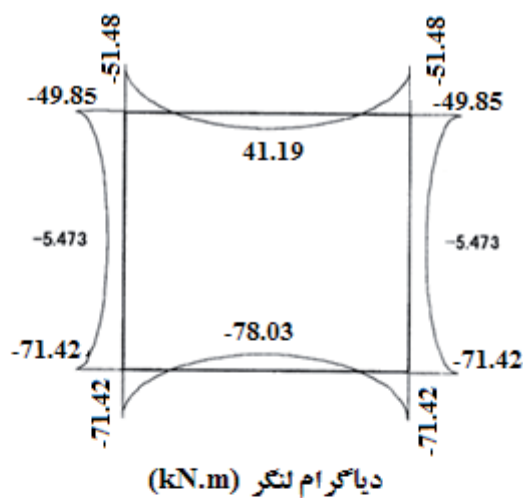
شکل ۱۰-۳۱- دیاگرام تنشی در حالت سکون

(فشار افقی ناشی از بار زنده در نظر گرفته شده است. شناوری در نظر گرفته نشده است.)



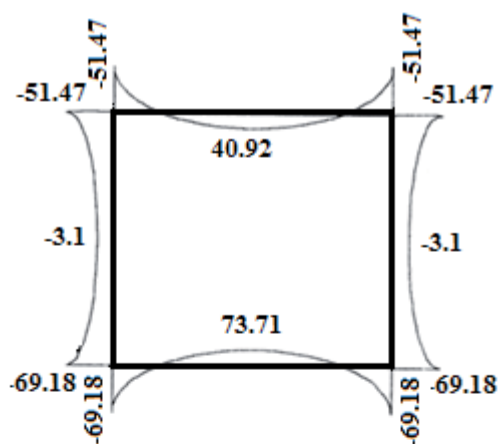
شکل ۱۰-۳۲- دیاگرام تنش در حالت سکون

(فشار افقی ناشی از بار زنده در گرفته شده است. شناوری در نظر گرفته شده است.)

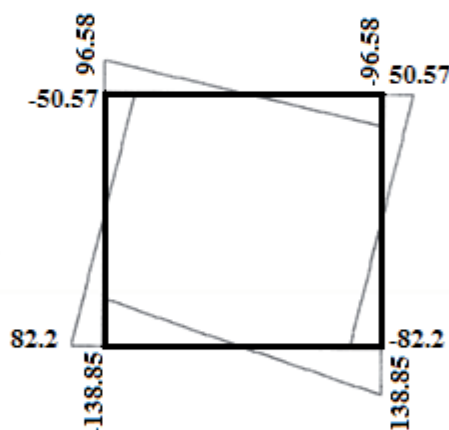


شکل ۱۰-۳۳- دیاگرام تنش در حالت سکون

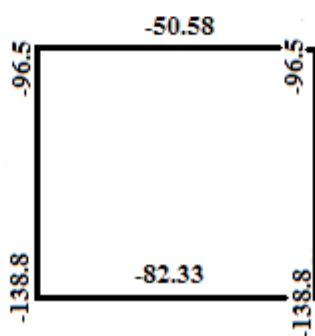
(فشار افقی ناشی از بار زنده و بار چرخ در گرفته شده است. شناوری در نظر گرفته نشده است.)



دیاگرام لنگر (kN.m)



دیاگرام نیروی برشی (kN)



دیاگرام نیروی محوری (kN)، فشاری +، کششی -

شکل ۱۰-۳۴- دیاگرام تنش در حالت سکون

(فشار افقی ناشی از بار زنده در گرفته شده است. شناوری در نظر گرفته شده است.)

۱۰-۲-۷ تنش در حالت لرزه‌ای

در شرایط لرزه‌ای، تنش توسط نیروی اینرسی کالورت محاسبه می‌گردد، تغییر مکان نسبی در جهت عمق و نیروی برشی پوسته، همانند شرایط ساکن محاسبه نمی‌گردند.

۱۰-۲-۷-۱ تغییر مکان پاسخ (به بخش ۵-۱ رجوع شود).

مقدار مشخصه زمین $T_G = 0.706(\text{sec})$

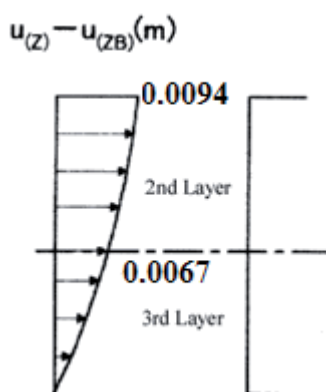
پریود طبیعی زمین $T_S = 1.25 \cdot T_G = 1.25 \times 0.706 = 0.882(\text{sec})$

طیف پاسخ طراحی $S_V = 1 \text{ (m/sec)}$

توزیع تغییر مکان پاسخ $U_{(Z)} - U_{(ZB)} \text{ (m)}$

H : ضخامت لایه سطحی (۲۴/۷ m)

ZB : عمق زیر کالورت (۵/۴ m)



شکل ۱۰-۳۵- توزیع تغییر مکان پاسخ

۱۰-۲-۷-۲ ثابت فنریت زمین

۱۰-۲-۷-۲-۱ ثابت فنریت در جهت افقی برای دیوار جانبی

ثابت فنریت در جهت افقی K_H و فنریت برشی K_{HS} دیوار جانبی برای دومین ($N=5$) و سومین ($N=3$) لایه زمین محاسبه می‌شود.

(۱) دومین لایه

$$K_H = k_{H0} \cdot (B_H / 0.3)^{-4/3} = 46667 \times (6.245 / 0.3)^{-4/3} = 4788.5 (\text{kN/m}^3)$$

$$K_{HS} = K_H \times 0.3 = 4788.5 \times 0.3 = 1436.5 (\text{kN/m}^3)$$

$$K_{H0} = 1/0.3 \cdot \alpha \cdot E_0 = 1/0.3 \times 1 \times 2800 \times 5 = 46667 (\text{kN/m}^3)$$

(۲) سومین لایه

$$K_H = k_{H0} \cdot (B_H / 0.3)^{-4/3} = 28000 \times (6.245 / 0.3)^{-4/3} = 2873.1 (\text{kN/m}^3)$$

$$K_{HS} = K_H \times 0.3 = 2873.1 \times 0.3 = 861.9 (\text{kN/m}^3)$$

$$K_{H0} = 1/0.3 \cdot \alpha \cdot E_0 = 1/0.3 \times 1 \times 2800 \times 3 = 28000 (\text{kN/m}^3)$$

$$B_H = (A_H)^{1/2} = \sqrt{3.9 \times 10} = 6.245 (\text{m})$$

 B_H : عرض معادل بارگذاری برای پی (m) E_0 : مدول تغییرشکل خاک $E_0 = 2800 \text{ N (kN/m}^3)$ α : ضریب تعیین ضریب عکس العمل خاک $\alpha = 1$

۱۰-۲-۲-۲ ثابت فنریت در جهت قائم برای کف کالورت

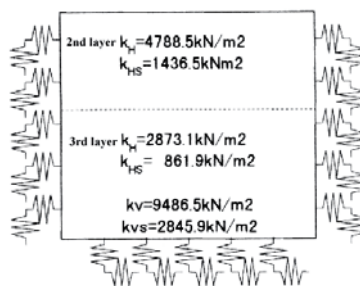
ثابت فنریت در جهت قائم K_V و فنریت برشی دیوارهای جانبی K_{VS} برای چهارمین لایه در زیر محاسبه گردیده است
(N=10)

$$K_V = k_{V0} \cdot (B_V / 0.3)^{-4/3} = 93333 \times (6.245 / 0.3)^{-4/3} = 9486.5 (\text{kN/m}^3)$$

$$K_{VS} = K_V \times 0.3 = 9486.5 \times 0.3 = 2845.9 (\text{kN/m}^3)$$

$$K_{V0} = 1/0.3 \cdot \alpha \cdot E_0 = 1/0.3 \times 1 \times 2800 \times 10 = 93333 (\text{kN/m}^3)$$

$$B_V = (A_V)^{1/2} = \sqrt{4.0 \times 10} = 6.3245 (\text{m})$$



شکل ۱۰-۳- فنریت زمین

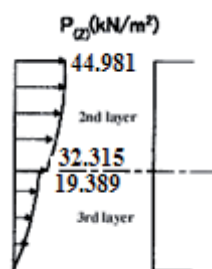
۱۰-۲-۲-۳ بارگذاری در شرایط لرزه‌ای

۱۰-۲-۲-۳-۱ فشار خاک در شرایط لرزه‌ای (بارگذاری ناشی از تغییر مکان پاسخ)

فشار خاک لرزه‌ای با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$P_{(Z)} = k_H \cdot \{u_{(Z)} - u_{(ZB)}\}$$

رابطه ۱۰-۲۵



شکل ۱۰-۳۷- توزیع بارگذاری ناشی از تغییر مکان پاسخ

جدول ۱۰-۳۷- توزیع بارگذاری ناشی از تغییر مکان پاسخ

لایه	شماره گره	عمق نقطه (m)	سرعت طیفی طراحی S_v (m/s)	پریود طبیعی (T)	عمق سنگ بستر Z (m)	پاسخ تغییر مکان $U(z)$ (m)	تغییر مکان در انتها $U(z)B$ (m)	تغییر مکان نسبی $U(z)-U(z)B$ (m)	ضریب عکس العمل K_H (kN/m³)	بارگذاری بوسیله تغییر مکان پاسخ (kN/m²)
2nd	۴،۳	1.7		0.8821	24.7	0.1779	0.1685	0.0094	4788.49	44.981
		2.2	1	0.8821	24.7	0.1772	0.1685	0.0087	4788.49	41.615
		2.7	1	0.8821	24.7	0.1763	0.1685	0.0078	4788.49	37.391
3rd	۵،۲	3.2	1	0.8821	24.7	0.1752	0.1685	0.0067	4788.49	32.315
	۵،۲	3.2	1	0.8821	24.7	0.1752	0.1685	0.0067	2873.09	19.389
		3.7	1	0.8821	24.7	0.1740	0.1685	0.0055	2873.09	15.835
		4.2	1	0.8821	24.7	0.1726	0.1685	0.0041	2873.09	11.776
		4.7	1	0.8821	24.7	0.1710	0.1685	0.0025	2873.09	7.216
	۶،۱	5.15	1	0.8821	24.7	0.1694	0.1685	0.0000	2873.09	0.000

۱۰-۲-۷-۲-۳ نیروی اینرسی

ضریب لرزه‌ای افقی طراحی، K_{SH-2} مطابق زیر می‌باشد.

$$K_{sh-2} = 0.3\beta_0\beta_1\beta_2\beta_3 = 0.3 \times 1 \times 0.25 \times 2.25 \times 1.5 \times 1.2 = 0.304$$

۱۰-۲-۷-۳-۳ نیروی برشی پوسته

نیروی برشی پوسته مطابق ذیل می‌باشد. $\tau_{max} = c + \sigma' \tan \phi$ را می‌توان به عنوان حد بالا بکار برد. در این مثال نیروی

برشی پوسته کمتر از این حد می‌باشد.

$$\tau = G_D / (\pi \cdot H) \cdot S_v \cdot T_s \cdot \sin\{\pi \cdot z / (2H)\}$$

ضریب تغییر شکل برشی دینامیکی خاک مطابق زیر می‌باشد. ($G_D = 2800 \text{ N}$) برای این ضریب بکار می‌رود ولی در این مثال برای ایمنی بیشتر، از ضریب محافظه کارانه تری بهره گرفته شده است.)

$$G_D = \gamma_t / g \cdot V_{SD}^2$$

$$V_{Si} = 100 \text{ N}^{\frac{1}{3}} = 170.99 \text{ m/s}$$

$$V_{SD} = C_u \times V_{Si} = 0.8 \times 170.99 = 136.8 \text{ m/s}$$

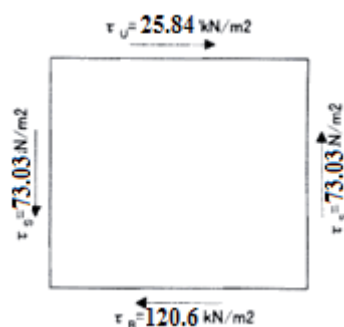
$$G_D = 17 / 9.8 \times (0.8 \times 136.8)^2 = 20776 \text{ kN/m}^2 \text{ (قسمت سقف، لایه دوم)}$$

$$G_D = 17 / 9.8 \times (0.8 \times 172.4)^2 = 32980 \text{ kN/m}^2 \text{ (قسمت کف، لایه چهارم)}$$

$$\tau_u = 20776 / (\pi \times 24.7) \times 1 \times 0.882 \times \sin\{\pi \times 1.7 / (2 \times 24.7)\} = 25.48 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_B = 32980 / (\pi \times 24.7) \times 1 \times 0.882 \times \sin\{\pi \times 5.15 / (2 \times 24.7)\} = 120.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau_s = (\tau_u + \tau_B) / 2 = (25.48 + 120.6) / 2 = 73.03 \text{ kN/m}^2$$



شکل ۱۰-۳۸- نیروی برشی پوسته

۱۰-۲-۷-۳-۴ ترکیب بارگذاری

جدول ۱۰-۳۸- انواع حالات ترکیبات بارگذاری

نام بار	نوع	حالت
بار وزنی	بار ثابت	۱
فشار ثابت خاک و فشار آب	بار ثابت	۲
شناوری (٪۱۰۰)	بار ثابت	۳
نیروی اینرسی	بار لرزه‌ای	۴
فشار خاک در حالت لرزه‌ای (بار ناشی از تغییر مکان پاسخ)	بار لرزه‌ای	۵
نیروی برشی پوسته در حالت لرزه‌ای	بار لرزه‌ای	۶

جدول ۱۰-۳۹- ترکیب بارگذاری

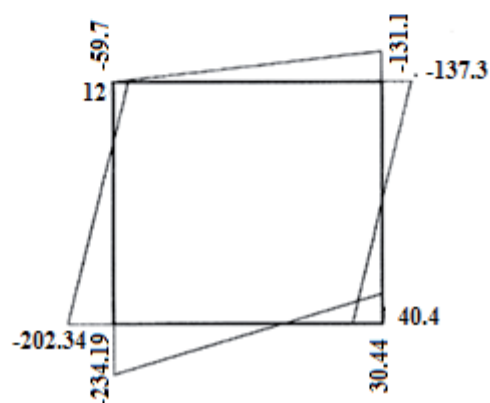
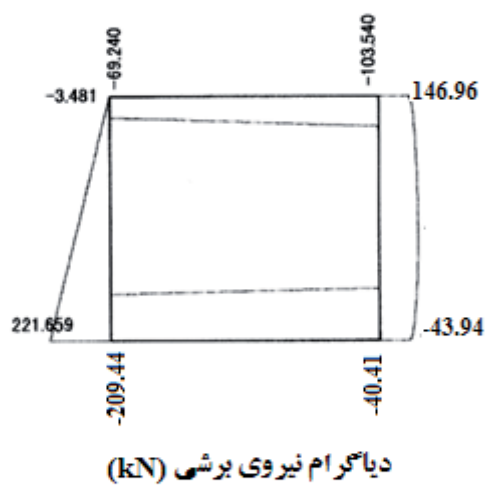
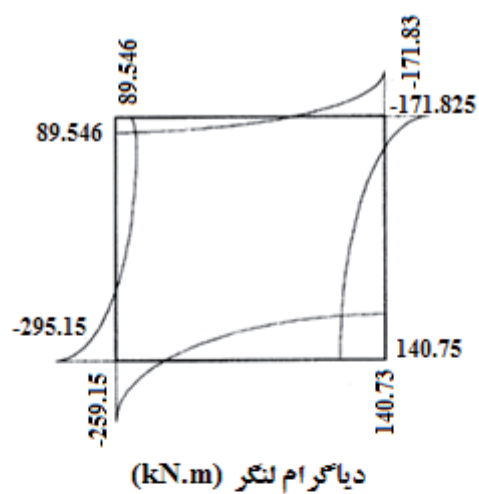
ترکیب بارگذاری	تعداد ترکیب	حالت
۱+۲+۴+۵+۶	۱	۷
۱+۲+۳+۴+۵+۶	۲	۸

۱۰-۲-۷-۴ نیروی برآیند طراحی

نیروی برآیند طراحی حاصل از نتایج تحلیل قاب در جدول ۱۰-۴۰ نشان داده شده است.

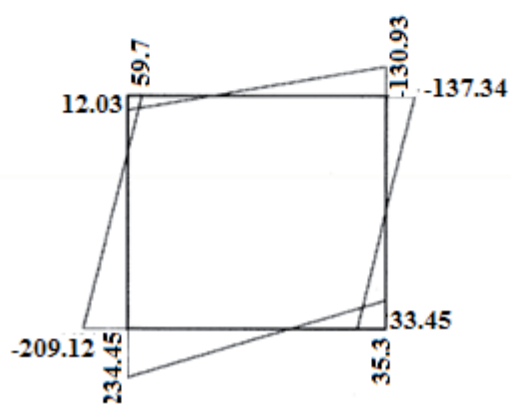
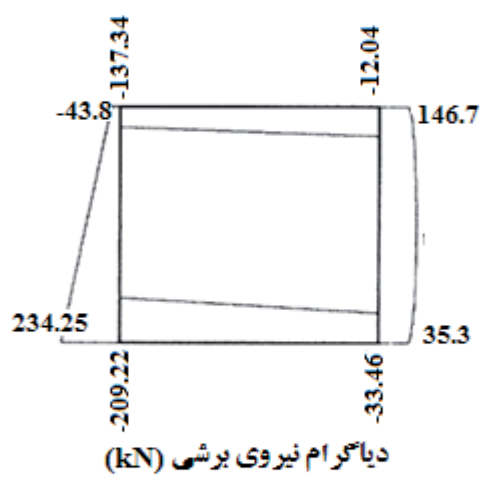
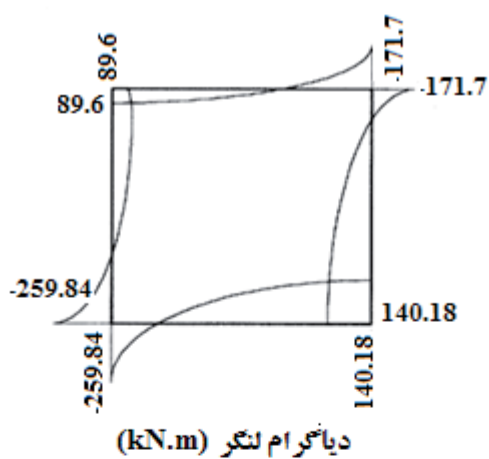
جدول ۱۰-۴۰- نیروی برآیند طراحی (مقدار حداکثر)

عضو	نقطه کنترل	M (kNm)	N (kN)	S (kN)
دیوار جانبی	انتهای پایینی	-۲۴۸/۲۴۹	-۱۴۹/۹۷	۲۲۱/۶۵۹
	قسمت میانی	۳۸/۶۰۸	-۴۲/۰۹۴	۱۱۱/۰۴۳
	انتهای بالایی	-۱۶۹-۱۵۵	-۱۰۳/۵۴۰	۸۹۴/۸۹۱
سقف	انتهای پایینی	۱۳۳/۲۰۹	-۳/۴۸۱	-۶۹/۲۴۰
	قسمت میانی	-۲/۹۶۷	-۴۹/۱۸۶	-۸۶/۳۹۰
	انتهای بالایی	-۱۶۹/۱۵۵	-۹۴/۹۸۱	-۱۰۳/۵۴۰
کف	انتهای پایینی	-۲۴۸/۲۴۹	-۲۲۱/۶۵۹	-۱۴۹/۹۷۵
	قسمت میانی	-۲۲/۵۴۲	-۷۳/۷۳۴	-۱۳۲/۱۶۰
	انتهای بالایی	-۱۸۸/۴۳۸	۸۲/۰۲۰	-۱۴۴/۷۲۶



شکل ۱۰-۳۹- دیاگرام تنش در شرایط لرزه‌ای

(شناوری در نظر گرفته نشده است)



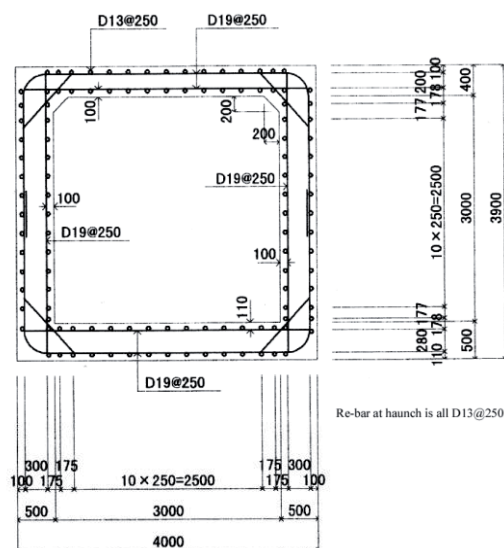
شکل ۱۰-۴- دیاگرام تنش در شرایط لرزه‌ای

(شناوری در نظر گرفته شده است)

۱۰-۲-۸ محاسبه سطح مقطع RC

۱۰-۲-۸-۱ حالت سکون

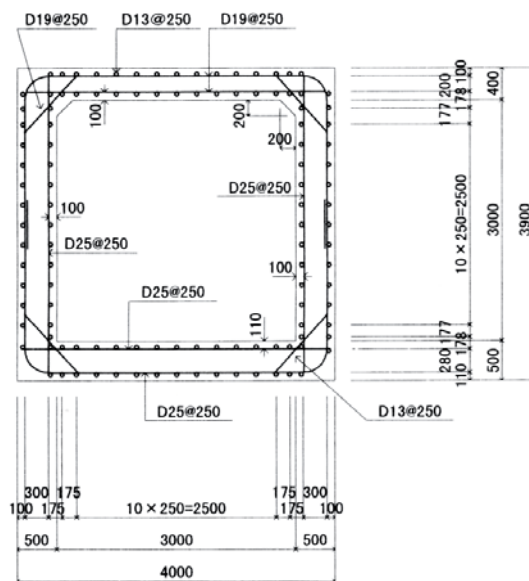
شکل ۱۰-۴۱ مقطع طراحی شده با بار در حالت ساکن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۴۱-مقطع طراحی شده در حالت سکون

۱۰-۲-۸-۲ وضعیت لرزه‌ای

شکل ۱۰-۴۲ مقطعی را که تحت بارهای وارد شده در شرایط لرزه‌ای طراحی شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۴۲-مقطع طراحی شده در شرایط لرزه‌ای

نتایج محاسبات در جدول ۴۱-۱۰ تا ۴۵-۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۴۱-۱۰ - نتایج محاسبات

(۱/۱)

Design concrete strength				$f'_{ck} =$	24 N/mm ²		
Specified yield point strength of steel				$f_{syk} =$	300 N/mm ²	(When smaller than D19, SD295)	
				$f_{syk} =$	350 N/mm ²	(When D19 and above, SD345)	

Part of section to be checked				Roof (upper slab)		Side wall (upper end: outer side)	
Safety factor				Toughness is not considered.		Toughness is not considered.	
				Ultimate capacity			Ultimate capacity
Material factor	Concrete γ_c			1.00			1.00
	Re-bar γ_s *			1.00			1.00
Member factor	Bending + Axial force			1.00			1.00
	γ_b	Shear	Concrete	1.00			1.00
			Re-bar	1.00			1.00
Structure factor γ_1				1.00			1.00
Design stress	Bending moment	Md	kN·m	169.16		169.16	
	Axial force	N'd	kN	94.89		103.54	
	Shear force	Vd	kN	103.54		94.89	
Dimension	Width	b	cm	100		100	
	Height	h	cm	50		60	
	Cover	dt	cm	10		10	
	Effective height	d	cm	40		50	
Safety check for bending moment and axial force							
Sectional area of re-bar	Tension reinforcement	cm ²	4 – D19				4 – D19
			As= 11.48				As= 11.48
	Compression reinforcement	cm ²					
			As= 0				As= 0
Flexural capacity		Mud	kN·m	178.42		225.73	
$\gamma_i \cdot Md / Mud$				0.949		0.75	
Judgment $\gamma_i \cdot Md / Mud < 1.0$: OK				OK		OK	
Safety check for shear force							
Shear reinforcement		cm ²	0 – D13				0 – D13
			Aw= 0				Aw= 0
Clearance of bar		Ss	cm	100		100	
Design yield strength of bar		f _{wyd}	N/mm ²				
Shear capacity		V _{yd}	N	200.35		222.90	
$\gamma_i \cdot Vd / V_{yd}$				0.517		0.426	
Judgment $\gamma_i \cdot Vd / V_{yd} < 1.0$: OK				OK		OK	
Judge for failure mode							
L = Md / Vd				—		—	
V _{mu} = Mud / L				—		—	
$\gamma_i \cdot V_{mu} / V_{yd}$				—		—	
Judgment $\gamma_i \cdot V_{mu} / V_{yd} < 1.0$: OK				—		—	

* For failure mode judge, 0.83 is used.

جدول ۱۰-۴۲ - نتایج محاسبات

(۱/۱)

Design concrete strength				$f'_{ck} =$	24 N/mm ²		
Specified yield point strength of steel				$f_{syk} =$	300 N/mm ²	(When smaller than D19, SD295)	
				$f_{syk} =$	350 N/mm ²	(When D19 and above, SD345)	

Part of section to be checked				Side wall (lower end: outer side)		Side wall (lower end: inner side)	
Safety factor				Toughness is not considered.		Toughness is not considered.	
				Ultimate capacity		Ultimate capacity	
Material factor	Concrete γ_c			1.00		1.00	
	Re-bar γ_s *			1.00		1.00	
Member factor	Bending • Axial force			1.00		1.00	
	γ_b	Shear	Concrete	1.00		1.00	
			Re bar	1.00		1.00	
Structure factor γ_i				1.00		1.00	
Design stress	Bending moment	Md	kN•m	248.25		219.07	
	Axial force	N'd	kN	149.98		-144.73	
	Shear force	Vd	kN	221.58		126.41	
Dimension	Width	b	cm	100		100	
	Height	h	cm	50		50	
	Cover	dt	cm	10		10	
	Effective height	d	cm	40		40	
Safety check for bending moment and axial force							
Sectional area of re-bar	Tension reinforcement		cm ²	4 – D25		4 – D25	
				As= 20.28		As= 20.28	
	Compression reinforcement		cm ²				
				As= 0		As= 0	
Flexural capacity		Mud	kN•m	303.32		239.93	
$\gamma_i \cdot Md / Mud$				0.819		0.914	
Judgment $\gamma_i \cdot Md / Mud < 1.0$: OK				OK		OK	
Safety check for shear force							
Shear reinforcement			cm ²	2 – D13		0 – D13	
				Aw= 2.54		Aw= 0	
Clearance of bar		Ss	cm	100		100	
Design yield strength of bar		f_{wyd}	N/mm ²	300			
Shear capacity		Vyd	N	269.53		205.90	
$\gamma_i \cdot Vd / Vyd$				0.822		0.614	
Judgment $\gamma_i \cdot Vd / Vyd < 1.0$: OK				OK		OK	
Judge for failure mode							
$L = Md / Vd$				—		—	
$V_{mu} = Mud / L$				—		—	
$\gamma_i \cdot V_{mu} / Vyd$				—		—	
Judgment $\gamma_i \cdot V_{mu} / Vyd < 1.0$: OK				—		—	

* For failure mode judge, 0.83 is used.

جدول ١٠-٤٣ - نتایج محاسبات

(1/1)

Design concrete strength				$f'_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$	
Specified yield point strength of steel				$f_{syk} = 300 \text{ N/mm}^2$ (When smaller than D19, SD295)	
				$f_{syk} = 350 \text{ N/mm}^2$ (When D19 and above, SD345)	
Part of section to be checked				Floor (lower slab end: lower surface)	Floor (lower slab end: upper surface)
Safety factor				Toughness is not considered.	
				Ultimate capacity	
Material factor	Concrete γ_c			1.00	1.00
	Re-bar γ_s *			1.00	1.00
Member factor γ_b	Bending + Axial force			1.00	1.00
	Shear	Concrete		1.00	1.00
		Re-bar		1.00	1.00
	Structure factor γ_i			1.00	1.00
Design stress	Bending moment	Md	kN·m	248.25	219.07
	Axial force	N'd	kN	221.58	82.02
	Shear force	Vd	kN	149.98	144.73
Dimension	Width	b	cm	100	100
	Height	h	cm	50	50
	Cover	dt	cm	11	11
	Effective height	d	cm	39	39
Safety check for bending moment and axial force					
Sectional area of re-bar	Tension reinforcement	cm^2	4 – D25		4 – D25
			As= 20.28		As= 20.28
	Compression reinforcement	cm^2			
			As= 0		As= 0
Flexural capacity		Mud	kN·m	310.96	246.67
$\gamma_i \cdot \text{Md} / \text{Mud}$			0.799	0.889	
Judgment $\gamma_i \cdot \text{Md} / \text{Mud} < 1.0$: OK			OK	OK	
Safety check for shear force					
Shear reinforcement		cm^2	2 – D13		2 – D13
			Aw= 2.54		Aw= 2.54
Clearance of bar		Ss	cm	100	100
Design yield strength of bar		fwyd	N/mm ²	300	300
Shear capacity		Vyd	N	271.82	240.50
$\gamma_i \cdot \text{Vd} / \text{Vyd}$			0.552	0.602	
Judgment $\gamma_i \cdot \text{Vd} / \text{Vyd} < 1.0$: OK			OK	OK	
Judge for failure mode					
$L = \text{Md} / \text{Vd}$			—	—	
$\text{Vmu} = \text{Mud} / L$			—	—	
$\gamma_i \cdot \text{Vmu} / \text{Vyd}$			—	—	
Judgment $\gamma_i \cdot \text{Vmu} / \text{Vyd} < 1.0$: OK			—	—	

* For failure mode judge, 0.83 is used.

۹-۲-۱۰ طراحی در جهت محوری

۱-۹-۲-۱۰ محاسبه تنش

۱-۱-۹-۲-۱۰ تنش مقطع در جهت محوری

(۱) نیروی محوری ناشی از جنبش لرزه‌ای در صفحه افقی

$$P_h = \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot A}{L} \cdot U_h$$

$$P_h = 0.117 \times 0.117 \times \frac{\pi \times 2.5 \times 10^7 \times 6.6}{143.87} \times 0.175 = 8631.24(\text{kN})$$

(۲) بار محوری ناشی از جنبش لرزه‌ای در صفحه قائم

$$P_v = \alpha_1 \cdot \xi_1 \cdot \frac{\pi \cdot E \cdot A}{L} \cdot \frac{U_h + U_v}{2}$$

$$P_v = 0.117 \times 0.117 \times \frac{\pi \times 2.5 \times 10^7 \times 6.6}{143.87} \times \frac{0.175 + 0.0875}{2} = 6473.4(\text{kN})$$

(۳) ممان خمشی ناشی از جنبش لرزه‌ای در صفحه افقی

$$M_h = \alpha_2 \cdot \xi_2 \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_h}{L^2} \cdot U_h$$

$$M_h = 0.943 \times 0.118 \times \frac{4 \times \pi^2 \times 2.5 \times 10^7 \times 14.050}{143.899^2} \times 0.13993 = 10426.88(\text{kN.m})$$

(۴) ممان خمشی ناشی از جنبش لرزه‌ای در صفحه قائم

$$M_v = \alpha_3 \cdot \xi_3 \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_v}{L^2} \cdot U_v$$

$$M_v = 0.948 \times 0.140 \times \frac{4 \times \pi^2 \times 2.5 \times 10^7 \times 13.023}{143.87^2} \times 0.0875 = 7211.32(\text{kN.m})$$

U_v ، U_h : دامنه تغییر مکان زمین در جهت افقی و قائم در مرکز کالورت

$$U_h = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos \frac{\pi \cdot Z}{2 \cdot H} = \frac{2}{\pi^2} \times 1 \times 0.883 \times \cos \frac{\pi \times 3.3}{2 \times 24.7} = 0.175\text{m}$$

$$U_v = U_h / 2 = 0.175 / 2 = 0.0875\text{m}$$

در اینجا:

α_1 ، α_2 ، α_3 : ضریب انتقال کرنش از زمین به سازه در جهت محوری و در صفحه افقی و قائم عمود بر محور

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_1 \cdot L'}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \times \pi}{0.011 \times 203}\right)^2} = 0.117$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_2 \cdot L'}\right)^4} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \times \pi}{0.088 \times 143.87}\right)^4} = 0.943$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_3 \cdot L'}\right)^4} = \frac{1}{1 + \left(\frac{2 \times \pi}{0.090 \times 143.87}\right)^4} = 0.948$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: ضریب سختی نسبی در جهت محوری و در صفحه افقی و قائم عمود بر محور

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{K_1}{E \cdot A}} = \sqrt{\frac{21038}{2.5 \times 10^7 \times 6.6}} = 0.011 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2}{E \cdot I_h}} = \sqrt[4]{\frac{21038}{2.5 \times 10^7 \times 14.050}} = 0.088 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda_3 = \sqrt[4]{\frac{K_3}{E \cdot I_v}} = \sqrt[4]{\frac{63113}{2.5 \times 10^7 \times 13.023}} = 0.090 \text{ m}^{-1}$$

$$L' = \sqrt{2}L = \sqrt{2} \times 143.5 = 203$$

K_1, K_2, K_3 : ضریب سختی زمین

$$K_1 = C_1 \cdot G_s = 1.5 \times 21038 = 31557 \text{ kN/m}^2$$

$$K_2 = C_2 \cdot G_s = 1.5 \times 21038 = 31557 \text{ kN/m}^2$$

$$K_3 = C_3 \cdot G_s = 3.0 \times 21038 = 63113 \text{ kN/m}^2$$

C_1, C_2, C_3 : ثابت‌ها برای محاسبه K_1, K_2, K_3

$$C_1 = 1.5$$

$$C_2 = 1.5$$

$$C_3 = 3$$

G_s : مدول برشی سطح زمین

$$G_s = \frac{\gamma_{\text{teq}}}{g} \cdot V_{\text{DS}}^2 = \frac{16.449}{9.8} \times 111.955 = 21038 \text{ kN/m}^2$$

ξ_1, ξ_2, ξ_3 : ضریب کاهش تنش برای کالورت با اتصال

$$\xi_1 = 900 \cdot L^{-1.8} = 900 \times 143.87^{-1.8} = 0.117$$

$$\begin{aligned} \xi_2 &= 1.16 \times L^{-3.8} \times 10^6 + 890 \times \lambda_2^{3.7} \\ &= 1.16 \times 143.87^{-3.8} \times 10^6 + 890 \times 0.088^{3.7} = 0.118 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \xi_3 &= 5.31 \times L^{-3.7} \times 10^6 + 145 \times \lambda_3^{2.9} \\ &= 5.31 \times 143.899^{-3.7} \times 10^6 + 145 \times 0.090^{2.9} = 0.140 \end{aligned}$$

$E = 2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$: مدول ارتجاعی بتن

$A = (4 \times 3.9) - (3 \times 3) = 6.6 \text{ m}^2$: سطح مقطع کالورت

I_h, I_v : ممان اینرسی در صفحه قائم و افقی

$$I_h = 1/12 \times (3.9 \times 4^3 - 3 \times 3^3) = 14.050 \text{m}^4$$

$$I_v = 1/12 \times (4 \times 3.9^3 - 3 \times 3^3) = 13.023 \text{m}^4$$

L: طول موج جنبش لرزه‌ای در زمین

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} = \frac{2 \times 98.80 \times 264.75}{98.80 + 264.75} = 143.87 \text{m}$$

$$L' = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \times 143.5 = 203 \text{m}$$

$$L_1 = V_{DS} \cdot T_s = 4 \cdot H = 4 \times 24.70 = 98.90 \text{m}$$

$$L_2 = V_{DS} \cdot T_s = 300.0 \times 0.8825 = 264.75 \text{m}$$

۲-۱-۹-۲-۱۰ برآیند تنش مقطع برای محاسبه شدت تنش

(۱) صفحه افقی

$$P_h' = P / \sqrt{2} = 15257.99 / \sqrt{2} = 10789.032 \text{kN}$$

$$M_h' = M_h / \sqrt{2} = 10426.88 / \sqrt{2} = 7372.918 \text{kN.m}$$

$$P = \sqrt{2 \cdot P_h'^2 + 2 \cdot P_v'^2} = \sqrt{2 \times 8631.24^2 + 2 \times 6473.4^2} = 15257.99 \text{kN}$$

(۲) صفحه قائم

$$P_v' = P / \sqrt{2} = 11780.55 / \sqrt{2} = 8330.106 \text{kN}$$

$$M_v' = M_v / \sqrt{2} = 7211.32 / \sqrt{2} = 5099.2 \text{kN.m}$$

۲-۹-۲-۱۰ کنترل سطح مقطع

محاسبه تنش با در نظر گرفتن سطح مقطع T شکل انجام می‌شود.

(۱) ظرفیت خمشی در صفحه افقی

$$M_d = 7372.92 (\text{kN} \cdot \text{m}) < M_{ud} = 19708.87 (\text{kN} \cdot \text{m}) \rightarrow \text{OK}$$

(۲) ظرفیت خمشی در صفحه قائم

$$M_d = 5099.2 (\text{kN} \cdot \text{m}) < M_{ud} = 20211.06 (\text{kN} \cdot \text{m}) \rightarrow \text{OK}$$

جدول ١٠-٤٤- نتایج محاسبات

(1/1)

Design concrete strength				$f'_{ck} =$	24 N/mm ²		
Specified yield point strength of steel				$f_{syk} =$	300 N/mm ²	(When smaller than D19, SD295)	
				$f_{syk} =$	350 N/mm ²	(When D19 and above, SD345)	
Part of section to be checked				In horizontal plane		In vertical plane	
Safety factor				Toughness is not considered.		Toughness is not considered.	
				Ultimate capacity		Ultimate capacity	
Material factor	Concrete γ_c			1.00		1.00	
	Re-bar γ_s *			1.00		1.00	
Member factor γ_b	Bending + Axial force			1.00		1.00	
	Shear	Concrete		1.00		1.00	
		Re-bar		1.00		1.00	
	Structure factor γ_i				1.00		1.00
Design stress	Bending moment	Md	kN·m	7372.92		4075.56	
	Axial force	N'd	kN	8330.11		8330.11	
	Shear force	Vd	kN	0.00		0.00	
Dimension	Width of flange	b	cm	400		390	
	Width of web	bw	cm	90		100	
	Thickness of flange	t	cm	50		40	
	Height	h	cm	390		400	
	Cover	dt	cm	20		20	
	Effective height	d	cm	370		380	
Safety check for bending moment and axial force							
Sectional area of re-bar	Tension reinforcement	cm ²	28 – D13		28 – D13		
			As = 35.56		As = 35.56		
	Compression reinforcement	cm ²	28 – D13		28 – D13		
			As = 35.56		As = 35.56		
Flexural capacity		Mud	kN·m	19708.87	20211.06		
$\gamma_i \cdot Md / Mud$				0.375		0.202	
Judgment $\gamma_i \cdot Md / Mud < 1.0$: OK				OK		OK	
Safety check for shear force							
Shear reinforcement		cm ²					
			Aw = 0		Aw = 0		
Clearance of bar		Ss	cm				
Design yield strength of bar		fwyd	N/mm ²				
Shear capacity		Vyd	kN	803.33		905.96	
$\gamma_i \cdot Vd / Vyd$				0.000		0.000	
Judgment $\gamma_i \cdot Vd / Vyd < 1.0$: OK				OK		OK	
Judge for failure mode							
$L = Md / Vd$				—		—	
$Vmu = Mud / L$				—		—	
$\gamma_i \cdot Vmu / Vyd$				—		—	
Judgment $\gamma_i \cdot Vmu / Vyd < 1.0$: OK				—		—	

* For failure mode judge, 0.83 is used.

۱۰-۲-۱۰ میزان جنبش تلسکوپی اتصال در جهت محوری

تغییر مکان برشی و چرخشی را می‌توان در نظر نگرفت.

۱۰-۲-۱۰ تغییر مکان نسبی در جهت محوری

(۱) دامنه تغییر مکان افقی زمین در جهت افقی کالورت

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} U_h(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} \times 0.175 = 0.124(m)$$

$U_h(z)$: دامنه تغییر مکان زمین در مرکز کالورت

$z(m)$: (به بند قبل رجوع شود. ۰/۱۷۵m)

محاسبه تغییر مکان نسبی در جهت محوری زمانیکه کالورت بصورت یک تیر بی‌نهایت بلند در نظر گرفته شود، به صورت زیر می‌باشد.

$$u_0 = \alpha_1 \cdot U_a = 0.117 \times 0.124 = 0.0145$$

تغییر مکان نسبی در جهت محوری $|u_j|$ مطابق زیر محاسبه می‌گردد:

$$|u_j| = u_0 \cdot \bar{u}_j = 0.0145 \times 6.19862 = 0.07234(m) = 7.234(cm)$$

در اینجا:

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma_1}{\beta_1}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{0.463}{0.196}\right)^2} = 0.118$$

$$\beta_1 = \sqrt{\frac{K_1}{EA}} \cdot l = \sqrt{\frac{21037.8}{2.5 \times 10^7 \times 6.6}} \times 25 = 0.282$$

K_1 : ضریب صلیبیت زمین در جهت محوری (به بند قبل رجوع شود. ۲۱۰۳۷/۸)

l : گام اتصال (۲۵ m)

$$\gamma_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{L'} = \frac{2\pi \times 25}{203.504} = 0.772$$

L' : طول موج معادل (به بند قبل رجوع شود. ۲۰۳/۵۰۴ m)

$$\bar{u}_j = \frac{2\gamma_1 |\cosh\beta_1 - \cos\gamma_1|}{\beta_1 \sinh\beta_1}$$

$$\bar{u}_j = \frac{2 \times 0.772 |\cosh(0.282) - \cos(0.772)|}{0.282 \times \sinh(0.282)} = 6.19862(m)$$

۱۰-۲-۱۰ تمهیدات برای اتصال

از آنجا که تغییر مکان ۷/۲۳۴ سانتیمتر می‌باشد، اتصال انبساطی با ظرفیت ۸۰ میلیمتر باید نصب گردد.

۱۰-۲-۱۱ کنترل برکنش ناشی از روانگرایی

جدول ۱۰-۴۵ پروفیل خاک را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰-۴۵-پروفیل خاک

لایه	ضخامت		وزن مخصوص (kN/m ³)	
	بالای تراز آب	زیر تراز آب	بالای تراز آب	زیر تراز آب
As1	۰/۵۰ m	۰/۰۰ m	۱۸/۰	زمین
As2	۱/۰۰ m	۰/۰۰ m	۱۷/۰	زمین
As2	۱/۸۰ m	۰/۰۰ m	۱۷/۰	زمین
Ac1		۱/۹۰ m	۱۶/۰	۷/۰
As3		۰/۲۰ m	۱۷/۰	۸/۰

(۱) بار خاک سربار

$$W_s = 4.00 \times (26 + 0) = 104 (\text{kN/m})$$

(۲) وزن کالورت

$$W_B = A \cdot \gamma_c = 6.69 \times 24.5 = 163.905 (\text{kN/m})$$

(۳) مقاومت برشی خاک سربار (لایه As1)

زاویه مقاومت برشی خاک سربار = ۲۰ (درجه)

t = 0.5 (به غیر از لایه روانگرا شده)

$$Q_s = 2 \sum (K_0 \cdot \sigma_v' \cdot t \cdot \tan \phi) = 2 \times 0.5 \times 4.5 \times 0.5 \times \tan(20 \text{ deg}) = 0.819 (\text{kN/m})$$

(۴) مقاومت اصطکاکی دیوار جانبی (لایه As2 ۲/۸ متر روانگرا شده)

زاویه مقاومت برشی خاک در دیوار جانبی = ۲۴ (درجه)

t = ۲/۸ (m) (به غیر از لایه روانگرا شده)

$$Q_{s1} = 2 \sum (K_0 \cdot \sigma_v' \cdot t \cdot \tan \phi) = 2 \times 0.5 \times 32.8 \times 2.8 \times \tan(24 \text{ deg}) = 40.890 (\text{kN/m})$$

(۵) نیروی اصطکاک دیوار جانبی ناشی از چسبندگی

$$c = 18 (\text{kN/m}^2) \text{ در کناره}$$

$$t = 1.9 \text{ m}$$

$$Q_c = 2 \sum (c \cdot t) = 2 \times 18 \times 1.9 = 68.4 (\text{kN/m})$$

(۶) فشار برکنش ناشی از فشار هیدرواستاتیکی

$$U_s = (5.40 - 3.30) \times B \times 10 = 2.1 \times 4.0 \times 10 = 84 (\text{kN/m}^2)$$

(۷) فشار برکنش ناشی از فشار آب منفذی اضافی در کف کالورت

$$L_u = 1.0 \text{ (متوسط } F_L, ۰/۴۷۷ \text{ می‌باشد.)}$$

$$= 18.0 \times 0.5 + 17.0 \times 2.8 + (16.0 - 9.0) \times 1.9 + (17.0 - 0.9) \times 0.2$$

$$U_p = L_u \times \sigma_v' \times B = 1.0 \times 71.5 \times 4.0 = 286 \text{ (kN/m)}$$

(۸) ضریب ایمنی

$$F_s = \frac{W_s + W_B + Q_s + Q_{sl} + Q_c}{U_s + U_D}$$

$$= \frac{104 + 163.9 + 0.819 + 40.9 + 68.40}{84 + 286} = \frac{378.0}{370.0} = 1.02$$

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Guideline for Seismic Design of Sewage systems

No. 605

Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

2012

این نشریه

با عنوان "راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه فاضلاب" با هدف تأمین ایمنی عمومی و پیشگیری از آسیب جدی به سامانه فاضلاب شهری تدوین شده است. در این راهنما کلیات و مبانی در فصل‌های اول و دوم، بارگذاری لرزه‌ای، روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی در فصل‌های سوم و چهارم، طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی اجزا مختلف سامانه فاضلاب شهری در فصل‌های پنجم تا نهم و در نهایت مثال‌های کاربردی در فصل دهم ارائه شده‌است که می‌تواند راهنمای مناسبی برای مشاوران و طراحان باشد.