

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

# راهنمای طراحی لوزه‌های سامانه‌های مخابرات

نشریه شماره ۶۰۳

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

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



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





ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور

بسمه تعالی

شماره:	۱۰۰/۶۵۴۵۳
تاریخ:	۱۳۹۱/۰۸/۱۰

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع: راهنمای طراحی لوزه‌های سامانه مخابرات

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 ۶۰۳ امور نظام فنی، با عنوان «**راهنمای طراحی لوزه‌های سامانه مخابرات**» 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.

هر روز مرادی  
۱۳۹۱





## 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 صفی‌علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ معاونت

برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

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

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





## بسمه تعالی

### پیشگفتار

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

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

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

### معاون نظارت راهبردی

پاییز ۱۳۹۱



## تهیه و کنترل راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه مخابرات (نشریه شماره ۶۰۳)

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	مهین 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 جونچی ونو
شرکت مهندسی گاز اوزاکا	دکتر یاسئو اوگاوا
مرکز تحقیقات برق مرکزی ژاپن	دکتر کیزو اوتومو
دانشگاه کوبه	دکتر یاسوکو کوواتا
شرکت مهندسی مشاور نفتی چبودای ژاپن (chas)	مهندس ماسامی اوشیما
شرکت مهندسی مشاور نفتی چبودای ژاپن (chas)	مهندس فومیو آندو





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

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

### اعضای کارگروه ترجمه و ویرایش فنی:

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

### اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه:

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





## فهرست مطالب

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.....	۴
۱-۲-۲- نکاتی در کاربرد این راهنما.....	۴
۳-۱- مراجع.....	۵
۱-۳-۱- مراجع اصلی این راهنما.....	۵
۱-۳-۲- مخفف آیین نامه ها.....	۶
فصل دوم- مبانی	
۲- مبانی.....	۱۱
۱-۲- زلزله طراحی.....	۱۱
۱-۱-۲- سطوح خطر زلزله و دوره بازگشت آن ها.....	۱۱
۲-۱-۲- طیف های طراحی لرزه ای.....	۱۲
۳-۱-۲- توزیع شدت لرزه ای در طبقات.....	۱۳
۴-۱-۲- شدت لرزه ای قائم طرح.....	۱۴
۲-۲- روند کنترل ایمنی لرزه ای (روش های طراحی لرزه ای).....	۱۴
۱-۲-۲- کنترل ایمنی لرزه ای.....	۱۴
۳-۲- عملکردهای مورد انتظار در این راهنما.....	۱۵
فصل سوم- بارگذاری لرزه ای	
۱-۳- انواع بار.....	۱۹
۲-۳- محاسبه وزن ها.....	۱۹
۳-۳- ترکیب بارها.....	۱۹
۴-۳- انواع تجهیزات از نظر محل استقرار.....	۱۹
۵-۳- روش های اعمال بارهای لرزه ای.....	۲۰
۶-۳- آثار زلزله بر تجهیزات سامانه مخابرات.....	۲۰
۷-۳- روش های محاسبه بارهای لرزه ای وارد بر تجهیزات مخابرات.....	۲۰
۱-۷-۳- ضریب اهمیت.....	۲۱



۲۲	..... نسبت شتاب مبنای طرح
۲۲	..... ضریب بزرگنمایی لایه‌های خاک
۲۳	..... محاسبه ضریب زلزله
۲۳	..... روش شبه استاتیکی
۲۳	..... نیروی زلزله افقی
۲۳	..... روش شبه استاتیکی اصلاح شده
۲۴	..... ضریب زلزله افقی اصلاح شده
۲۵	..... ضریب زلزله قائم اصلاح شده
۲۶	..... نیروی زلزله اصلاح شده
۲۶	..... روش دینامیکی
۲۶	..... روش طیفی
۲۷	..... روش تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی
۲۷	..... روش پاسخ تغییر مکان (برای سازه‌های مدفون)
۲۷	..... بارگذاری ناشی از مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله بر تجهیزات
۲۷	..... روان‌گرایی
۲۸	..... زمین لغزه
۲۸	..... گسلش
۲۸	..... طبقه‌بندی خاک
۲۹	..... ملاحظات روش بارگذاری و محاسبات نیروهای لرزه‌ای در تجهیزات مخابراتی
فصل چهارم- روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی	
۳۱	..... طراحی لرزه‌ای
۳۱	..... کلیات
۳۱	..... اصول روش طراحی لرزه‌ای
۳۲	..... نحوه طراحی به روش تنش مجاز
۳۲	..... محاسبه تنش
۳۲	..... تنش‌های مجاز در تحلیل لرزه‌ای
۳۲	..... بررسی تنش محاسباتی
۳۲	..... مشخصات مصالح در طراحی به روش تنش مجاز
۳۴	..... نحوه تحلیل لرزه‌ای برای روش طراحی شکل‌پذیر
۳۴	..... طراحی لرزه‌ای



۳۴	..... تحلیل پاسخ لرزه‌ای ۲-۲-۲-۴
۳۷	..... ضریب شکل پذیری ۳-۲-۲-۴
۳۷	..... ضریب شکل پذیری مجاز ۴-۲-۲-۴
۳۷	..... برآورد ضریب تغییر شکل خمیری ۵-۲-۲-۴
۳۷	..... ملاحظات طراحی در انتخاب جنس، ابعاد و شکل مصالح ۳-۴
۳۷	..... دکل ۱-۳-۴
۳۸	..... مجاری ۲-۳-۴
۴۵	..... اتصالات مجاری ۳-۳-۴
۴۶	..... کابل‌ها ۴-۳-۴
فصل پنجم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی تجهیزات هوایی شبکه مخابرات	
۴۹	..... طراحی لرزه‌ای ۱-۵
۴۹	..... دکل ۱-۱-۵
۵۰	..... برج‌های ارتباطات بیسیم ۲-۱-۵
۵۰	..... پایه‌ها ۳-۱-۵
۵۰	..... تجهیزات هوایی ۴-۱-۵
۵۱	..... محاسبات ۲-۵
۵۱	..... دکله‌ها ۱-۲-۵
۵۱	..... محاسبه پررود طبیعی ۱-۱-۲-۵
۵۲	..... تعیین نیروی برشی و لنگر خمشی مربوط به ترازهای مختلف دکل ۲-۱-۲-۵
۵۳	..... تعیین ضریب پاسخ برای محاسبه ضریب برش و لنگر طبقه ۳-۱-۲-۵
۵۴	..... تعیین ضریب توزیع برش و لنگر طبقه برای دکل ۴-۱-۲-۵
۵۶	..... ضرایب توزیع برش و لنگر بازو ۵-۱-۲-۵
۵۸	..... محاسبه تنش اعضاء تحت اثر زلزله ۶-۱-۲-۵
۵۸	..... محاسبه تنش ترکیبی ۷-۱-۲-۵
۵۸	..... کنترل اندازه مقطع عضو ۸-۱-۲-۵
۵۸	..... محاسبه نیروی طراحی شالوده ۹-۱-۲-۵
۵۸	..... برج‌های ارتباطات بیسیم ۲-۲-۵
۵۸	..... مراحل طراحی ۱-۲-۲-۵
۵۸	..... مراحل طراحی به روش شبه استاتیکی ۲-۲-۲-۵
۵۹	..... پایه‌ها ۳-۵



- ۵-۳-۱- بارهای طراحی ..... ۵۹
- ۵-۳-۲- روند طراحی پایه‌های خطوط توزیع ..... ۵۹
- ۵-۴- مقادیر مجاز ..... ۶۴
- ۵-۵- معیار پذیرش ..... ۶۵
- فصل ششم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مجاری خطوط مخابرات
- ۶-۱- مؤلفه‌های اصلی مجاری مدفون خطوط مخابراتی ..... ۶۹
- ۶-۲- روش طراحی بر مبنای عملکرد مجاری ..... ۶۹
- ۶-۲-۱- کلیات ..... ۶۹
- ۶-۲-۲- روند طراحی لرزه‌ای خطوط لوله روزمینی ..... ۶۹
- ۶-۲-۳- روند طراحی لرزه‌ای مجاری مدفون ..... ۶۹
- ۶-۲-۳-۱- اثر موج زلزله بر مجرای مدفون ..... ۶۹
- ۶-۲-۳-۲- اثر تغییر مکان دائم زمین در مجاری مدفون ..... ۷۰
- ۶-۳- سطح عملکرد لازم برای اجزا و تجهیزات مجاری انتقال کابل و سطوح خطر ..... ۷۰
- ۶-۳-۱- روش طراحی خطوط لوله ..... ۷۰
- ۶-۳-۲- عملکرد لرزه‌ای خط لوله ..... ۷۰
- ۶-۳-۳- ملاحظات کلی در طراحی لرزه‌ای مجاری ..... ۷۱
- ۶-۳-۴- مراحل طراحی مجاری ..... ۷۳
- ۶-۳-۴-۱- روش کلی طراحی لرزه‌ای خطوط لوله ..... ۷۳
- ۶-۳-۴-۲- مراحل طراحی پل‌های خطوط لوله ..... ۷۴
- ۶-۳-۴-۳- مراحل طراحی خط لوله کابل به روش تنش مجاز ..... ۷۵
- ۶-۳-۵- مراحل محاسبات خطوط لوله ..... ۷۶
- ۶-۳-۵-۱- خطوط لوله روزمینی ..... ۷۶
- ۶-۳-۵-۱-۱- کلیات ..... ۷۶
- ۶-۳-۵-۲- ضریب زلزله طراحی سازه‌های روزمینی ..... ۷۶
- ۶-۳-۵-۳- بار لرزه‌ای افقی روسازه بر پایه پل لوله ..... ۷۷
- ۶-۳-۵-۴- نیروی اینرسی افقی ..... ۷۷
- ۶-۳-۵-۲- مراحل محاسبات خطوط لوله مدفون ..... ۷۸
- ۶-۳-۵-۱- کرنش زمین ..... ۷۸
- ۶-۳-۵-۲- ضریب سختی خاک در روش تنش مجاز ..... ۷۸
- ۶-۳-۵-۳- نیروی اصطکاک زمین در روش طراحی شکل‌پذیر ..... ۷۹



- ۷۹..... ۴-۲-۵-۳-۶- سختی خاک برای مجاری چند لایه.....
- ۸۰..... ۳-۵-۳-۶- محاسبات لرزه‌ای مربوط به لوله پیوسته به روش پاسخ تغییر مکان.....
- ۸۰..... ۱-۳-۵-۳-۶- کلیات.....
- ۸۰..... ۲-۳-۵-۳-۶- محاسبه تنش بدنه لوله پیوسته در روش تنش مجاز.....
- ۸۱..... ۳-۳-۵-۳-۶- محاسبه تنش بدنه لوله پیوسته در طراحی به روش شکلپذیر.....
- ۸۱..... ۴-۳-۵-۳-۶- محاسبه کرنش بدنه لوله پیوسته در روش تنش مجاز.....
- ۸۲..... ۵-۳-۵-۳-۶- محاسبه کرنش لوله پیوسته در طراحی شکلپذیر.....
- ۸۳..... ۴-۵-۳-۶- محاسبه لوله گسسته به روش پاسخ تغییر مکان.....
- ۸۳..... ۱-۴-۵-۳-۶- کلیات.....
- ۸۳..... ۲-۴-۵-۳-۶- محاسبه تنش لوله گسسته بدون در نظر گرفتن لغزش (روش تنش مجاز).....
- ۸۳..... ۳-۴-۵-۳-۶- محاسبه تنش بدنه لوله گسسته با در نظر گرفتن لغزش (روش شکل پذیر).....
- ۸۴..... ۴-۴-۵-۳-۶- محاسبه کرنش لوله گسسته بدون لحاظ لغزش.....
- ۸۴..... ۵-۴-۵-۳-۶- محاسبه کرنش بدنه لوله گسسته با در نظر گرفتن لغزش.....
- ۸۴..... ۶-۴-۵-۳-۶- محاسبه تغییر مکان محوری اتصال.....
- ۸۵..... ۷-۴-۵-۳-۶- محاسبه زاویه خمش اتصال.....
- ۸۶..... ۶-۳-۶- ارزیابی ایمنی لوله تحت تغییر مکان دائمی زمین.....
- ۸۶..... ۱-۶-۳-۶- کلیات.....
- ۸۶..... ۲-۶-۳-۶- اقدامات متقابل در برابر تغییر مکان ماندگار زمین، PGD.....
- ۸۶..... ۳-۶-۳-۶- محاسبات خط لوله گسسته تحت روان گرای.....
- ۸۷..... ۴-۶-۳-۶- محاسبه لوله پیوسته تحت روان گرای.....
- ۸۷..... ۱-۴-۶-۳-۶- تغییر شکل جانبی زمین در مجاورت دیوارهای حائل.....
- ۸۸..... ۲-۴-۶-۳-۶- تغییر شکل جانبی زمین در شیبها.....
- ۸۸..... ۳-۴-۶-۳-۶- ارزیابی ایمنی لرزه‌ای تحت تغییر مکان دائم ناشی از روان گرای.....
- ۸۹..... ۵-۶-۳-۶- محاسبه کرنش لوله تحت اثر جابجایی گسل.....
- ۹۰..... ۶-۶-۳-۶- محاسبات مربوط به لغزش شیبها.....
- ۹۰..... ۱-۶-۶-۳-۶- پاسخ لوله به تغییر مکان دائمی طولی.....
- ۹۱..... ۲-۶-۶-۳-۶- پاسخ لوله به تغییر مکان عرضی.....
- ۹۲..... ۳-۶-۶-۳-۶- شرایط خاص در مورد لوله‌ها.....
- ۹۲..... ۷-۳-۶- مقادیر مجاز مربوط به خط لوله مدفون.....
- ۹۳..... ۸-۳-۶- معیار پذیرش.....



۹۳	..... ۶-۳-۸-۱- معیار پذیرش لوله روزمینی
۹۳	..... ۶-۳-۸-۲- معیار پذیرش خط لوله مدفون
۹۳	..... ۶-۳-۸-۱- لوله گسسته در طراحی به روش شکلپذیر بدون در نظر گرفتن لغزش نسبی بین لوله و خاک
۹۳	..... ۶-۳-۸-۲- لوله گسسته در طراحی به روش شکلپذیر با در نظر گرفتن لغزش خاک و لوله
۹۴	..... ۶-۳-۸-۳- معیار پذیرش لوله پیوسته در روش تنش مجاز
۹۴	..... ۶-۳-۸-۴- معیار پذیرش لوله پیوسته در روش شکلپذیر
۹۴	..... ۶-۴- ملاحظات طراحی لرزه ای مجاری (تونل‌های) سپری مخابراتی
۹۶	..... ۶-۵- محاسبات مجاری سپری و مشترک به روش دینامیکی
۹۷	..... ۶-۶- ملاحظات طراحی لرزه ای شافت (مجرای قائم) مخابراتی
۹۸	..... ۶-۷- ملاحظات طراحی لرزه‌ای کابل مدفون (دفن مستقیم بدون مجرا)
۹۸	..... ۶-۸- ملاحظات طراحی لرزه‌ای کابل‌های مخابراتی
۹۸	..... ۶-۹- مراحل طراحی کابل مدفون
۹۸	..... ۶-۹-۱- مراحل طراحی کابل مدفون در برابر تغییر شکل زمین
۱۰۱	..... ۶-۹-۲- تغییر شکل کابل متصل به سازه
	فصل هفتم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی آدمرو شبکه مخابرات
۱۰۵	..... ۷-۱- مؤلفه‌های اصلی
۱۰۵	..... ۷-۲- روند طراحی لرزه‌ای
۱۰۵	..... ۷-۳- سطح عملکرد لازم اجزای آدمرو و سطح خطر
۱۰۵	..... ۷-۳-۱- عملکرد مورد نیاز
۱۰۶	..... ۷-۴- روند طراحی
۱۱۰	..... ۷-۵- روند محاسبات آدمرو
۱۱۰	..... ۷-۵-۱- طراحی لرزه‌ای اتصال بین بلوک‌ها
۱۱۱	..... ۷-۵-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه آدمرو
۱۱۲	..... ۷-۶- مقادیر مجاز
۱۱۲	..... ۷-۷- معیار پذیرش
	فصل هشتم- طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی مهار تجهیزات داخلی
۱۱۷	..... ۸-۱- مؤلفه‌های هدف
۱۱۷	..... ۸-۲- روند طراحی لرزه‌ای
۱۱۷	..... ۸-۲-۱- کلیات
۱۱۷	..... ۸-۲-۲- روش شبه استاتیکی





- ۱۱۸ ..... ۳-۲-۸- روش دینامیکی
- ۱۱۹ ..... ۳-۸- محاسبات و کنترل ایمنی
- ۱۱۹ ..... ۱-۳-۸- پیچ مهار
- ۱۲۰ ..... ۱-۱-۳-۸- نیروی کششی و برشی پیچ مهار
- ۱۲۳ ..... ۲-۱-۳-۸- نیروی کششی پیچ مهار
- ۱۲۳ ..... ۳-۱-۳-۸- نیروی برشی پیچ مهار
- ۱۲۴ ..... ۴-۱-۳-۸- موارد عدم نیاز به محاسبات
- ۱۲۴ ..... ۴-۸- تکیه‌گاه بالایی
- ۱۲۴ ..... ۱-۴-۸- طراحی
- ۱۲۷ ..... ۲-۴-۸- انتخاب عضو تکیه‌گاه بالایی
- ۱۲۸ ..... ۵-۸- متوقف کننده
- ۱۲۸ ..... ۱-۵-۸- کلیات
- ۱۲۸ ..... ۲-۵-۸- انتخاب نوع متوقف کننده
- ۱۲۹ ..... ۳-۵-۸- کنترل عملکرد متوقف کننده
- فصل نهم - مثال‌ها
- ۱۳۵ ..... ۹-مثال طراحی تجهیزات داخلی (پانل‌های کنترل مخابراتی)
- ۱۳۵ ..... ۱-۱-۹- پانل کنترل خودایستا
- ۱۳۶ ..... ۲-۱-۹- پانل کنترل متصل به دیوار
- ۱۳۸ ..... ۳-۱-۹- پانل کنترل الحاقی به دیوار
- ۱۴۰ ..... ۴-۱-۹- پانل کنترل با اعضای تکیه‌گاهی پشتی



## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۱	جدول ۱-۳ ضریب اهمیت ( $\beta_1$ )
۲۲	جدول ۲-۳ تعریف رده‌های مختلف اهمیت
۲۲	جدول ۳-۳ نسبت شتاب مبنای طرح ( $\beta_2$ )
۲۲	جدول ۴-۳ ضریب بزرگنمایی ساختگاه ( $\beta_3$ )
۳۰	جدول ۵-۳ روش‌های محاسبه لرزه‌ای مؤلفه‌های سامانه مخابرات
۳۳	جدول ۱-۴ ترکیب بار به کاررفته مربوط به تنش‌های بلند و کوتاه مدت در تجهیزات داخلی
۳۷	جدول ۲-۴ ضریب لاغری اعضای فلزی دکل
۳۸	جدول ۳-۴ حداقل ضخامت اعضای دکل فلزی
۳۸	جدول ۴-۴ مشخصات مصالح لوله
۳۹	جدول ۵-۴ ابعاد لوله های PRP
۴۰	جدول ۶-۴ مشخصات لوله‌های PFP
۴۱	جدول ۷-۴ مصالح و اتصالات PFP
۴۲	جدول ۸-۴ ابعاد لوله PFP
۴۳	جدول ۹-۴ مشخصات لوله فولادی پوشش دار
۴۴	جدول ۱۰-۴ مشخصات لوله PVC
۴۵	جدول ۱۱-۴ ابعاد لوله PVC
۵۱	جدول ۱-۵ نحوه تعیین وزن مؤثر سیم
۷۱	جدول ۱-۶ فرضیات پایه برای کنترل ایمنی مجاری
۸۹	جدول ۲-۶ ضرایب جزئی ایمنی
۹۳	جدول ۳-۶ مقادیر بحرانی مجاز
۱۰۶	جدول ۱-۷ وضعیت مورد نیاز قسمتهای مختلف آدمرو
۱۰۶	جدول ۲-۷ روش طراحی آدم رو متصل به خطوط اصلی
۱۱۸	جدول ۱-۸ ضریب زلزله موضعی طراحی تجهیزات داخلی
۱۱۸	جدول ۲-۸ ضریب بزرگنمایی پاسخ تجهیزات $B_E$
۱۱۹	جدول ۳-۸ ضریب زلزله افقی طراحی $K_H$ ، با استفاده از تحلیل دینامیکی ساختمان
۱۳۶	جدول ۱-۹- تعداد پیچ مهار
۱۳۷	جدول ۲-۹- تعداد پیچ مهاری وابسته به شدت لرزه‌ای
۱۳۸	جدول ۳-۹- تعداد پیچ مهاری وابسته به شدت لرزه‌ای

---

---

جدول ۹-۴- تعداد پیچ مهار وابسته به شدت لرزه‌ای ..... ۱۳۹
جدول ۹-۶- تعداد پیچ مهار وابسته به شدت لرزه‌ای ..... ۱۴۱



## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱ شمای کلی مهم‌ترین مؤلفه‌های مخابراتی خارج از ساختمان
۲۶	شکل ۱-۳ $\beta_{5n}$ ، تقویت پاسخ استاندارد
۲۶	شکل ۲-۳ $C_n$ ، ضریب اصلاح میرایی
۴۱	شکل ۱-۴ اتصال لوله پلیمری
۴۲	شکل ۲-۴ شکل لوله PFP قبل و بعد از اثر زلزله
۴۳	شکل ۳-۴ شکل لوله PVC
۴۵	شکل ۴-۴ نمونه‌ای از کالورت جعبه‌های بتنی
۴۵	شکل ۵-۴ اتصالات ضد لرزه‌ای مجرای کابل
۴۶	شکل ۶-۴ انواع کابل‌های موازی و هم محور و فیبر نوری
۵۳	شکل ۱-۵ ضرایب $R_s$ و $R_m$ مربوط به دکل دو طرف آویز در جهت خط انتقال
۵۳	شکل ۲-۵ ضرایب $R_s$ و $R_m$ مربوط به دکل دو طرف آویز در جهت عمود بر خط انتقال
۵۴	شکل ۳-۵ ضرایب $R_s$ و $R_m$ مربوط به دکل کششی در جهت خط انتقال
۵۴	شکل ۴-۵ ضرایب $R_s$ و $R_m$ مربوط به دکل کششی در جهت عمود بر خط انتقال
۵۵	شکل ۵-۵ ضریب توزیع برش طبقه در راستای خط انتقال، $A_{Si}$
۵۵	شکل ۶-۵ ضریب توزیع برش طبقه در راستای عمود بر خط انتقال، $A_{Si}$
۵۶	شکل ۷-۵ ضریب توزیع لنگر در راستای خط انتقال، $A_{Mi}$
۵۶	شکل ۸-۵ ضریب توزیع لنگر در راستای عمود بر خط انتقال، $A_{Mi}$
۵۷	شکل ۹-۵ ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو در راستای خط انتقال، $A_{AMi}$ و $A_{ASi}$
۵۷	شکل ۱۰-۵ ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو در راستای عمود بر خط انتقال، $A_{AMi}$ و $A_{ASi}$
۵۷	شکل ۱۱-۵ ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو در راستای قائم انتقال، $A_{AMi}$ و $A_{ASi}$
۵۹	شکل ۱۲-۵ مقادیر $\alpha$
۶۰	شکل ۱۳-۵ خیز کابل و نیروی کشش
۶۱	شکل ۱۴-۵ ترکیب بار باد و بار ثقلی برای طراحی پایه
۶۱	شکل ۱۵-۵ نقطه اثر بارها در پایه
۶۲	شکل ۱۶-۵ نحوه تعیین زاویه شیب پایه مخروطی
۶۳	شکل ۱۷-۵ آزمایش خمش پایه
۶۳	شکل ۱۸-۵ لنگر اعمالی به مرکز دوران پایه



- شکل ۶-۱ اعمال نیروی اینرسی ..... ۷۷
- شکل ۶-۲ سختی معادل لوله و خاک ..... ۸۰
- شکل ۶-۳ طرح مفهومی خط لوله متصل ..... ۸۶
- شکل ۶-۴ رفتار اتصالات در جهت عمود بر محور لوله ..... ۸۷
- شکل ۶-۵ مدل تحلیلی لوله مستقیم در زمین شیب‌دار روان گرا شده ..... ۸۸
- شکل ۶-۶ تقاطع لوله و گسل ..... ۹۰
- شکل ۶-۷ پاسخ لوله مدفون به PGD طولی ..... ۹۱
- شکل ۶-۸ پاسخ لوله به تغییر مکان عرضی ..... ۹۲
- شکل ۶-۹ مدل استوانه‌های پوشش تونل ..... ۹۵
- شکل ۶-۱۰ محاسبه سختی معادل محوری ..... ۹۵
- شکل ۶-۱۱ مکانیزم تغییر شکل اتصال قطعات تحت خمش ..... ۹۶
- شکل ۶-۱۲ ترکیب تنشها و تغییر مکان‌ها در قطعات و اتصالات (نیروی کششی در حد ارتجاعی است) ..... ۹۶
- شکل ۶-۱۳ منحنی تنش - کرنش المان کابل ..... ۹۹
- شکل ۶-۱۴ دستگاه مختصات المان چهارگوش ..... ۱۰۰
- شکل ۶-۱۵ کشیدگی کابل بین سازه‌ها ..... ۱۰۱
- شکل ۷-۱ نمونه مدل محاسباتی آدمرو ..... ۱۰۹
- شکل ۷-۲ نمونه اقدامات ضد لرزهای در آدم روی درجا و پیشساخته ..... ۱۱۰
- شکل ۷-۳ تغییر شکل شماتیک آدمرو پیشساخته در زلزله ..... ۱۱۱
- شکل ۷-۴ رابطه بین زاویه چرخشی  $\theta$  و لنگر خمشی M (مدل سه خطی) ..... ۱۱۱
- شکل ۷-۵ بارگذاری و آرایش میلگردها (آدمرو مستطیلی درجا) ..... ۱۱۲
- شکل ۷-۶ نحوه تغییر نوع آدمرو ..... ۱۱۳
- شکل ۸-۱ تجهیزات با مقطع مستطیلی واقع بر کف ..... ۱۲۰
- شکل ۸-۲ تجهیزات با مقطع دایره‌ای واقع بر کف ..... ۱۲۱
- شکل ۸-۳ تجهیزات واقع بر دیوار ..... ۱۲۲
- شکل ۸-۴ تجهیز روی سقف ..... ۱۲۳
- شکل ۸-۵ وزن مجاز بر حسب نسبت ظرافت تجهیزات و ضریب زلزله افقی ..... ۱۲۴
- شکل ۸-۶ روش نصب و کنترل عضو اتصال دهنده به دیوار ..... ۱۲۵
- شکل ۸-۷ روش نصب و کنترل عضو اتصال دهنده به سقف ..... ۱۲۶
- شکل ۸-۸ روش بررسی مؤلفه (C) ..... ۱۲۷
- شکل ۸-۹ انواع متوقف کننده L شکل ..... ۱۲۸



- شکل ۸-۱۰ متوقف کننده Z شکل ..... ۱۲۹
- شکل ۸-۱۱ انواع دیگر متوقف کننده ضد لرزه‌ای (برای متوقف کننده لغزشی /واژگونی)..... ۱۲۹
- شکل ۸-۱۲ محل اثر نیروهای وارده بر متوقف کننده ..... ۱۳۰
- شکل ۸-۱۳ متوقف کننده لغزشی ورق L شکل ..... ۱۳۰
- شکل ۸-۱۴ متوقف کننده Z شکل ..... ۱۳۱
- شکل ۸-۱۵ متوقف کننده نفوذی ..... ۱۳۱
- شکل ۹-۱ ابعاد پانل کنترل خود ایستا ..... ۱۳۵
- شکل ۹-۲ ابعاد پانل متصل به دیوار را نشان می‌دهد ..... ۱۳۷
- شکل ۹-۳ ابعاد پانل الحاقی به دیوار ..... ۱۳۹



## علائم

## فصل دوم

ضریب ضرب شده در ضریب طراحی لرزه‌ای بر روی پی سازه برای بدست آوردن شدت لرزه در طبقه $\alpha_m$ .	$A_i$
شدت لرزه‌ای طراحی در جهت افقی	$K_H$
شدت لرزه‌ای طراحی در جهت قائم	$K_V$
بزرگی زلزله	$M$
حداکثر زلزله بهره‌برداری	$MCE$
حداکثر زلزله طرح	$MCE$
تعداد طبقات روی زمین	$n$
تغییر شکل ماندگار زمین	$PGD$
فاصله از گسل	$R$
ارتفاع طبقات فوقانی طبقه $i$	$X$
نسبت وزن قسمت فوقانی تا طبقه $\alpha_m$ تقسیم بر وزن کل قسمتی از سازه که بر روی زمین قرار دارد.	$\alpha_i$

## فصل سوم

شتاب پاسخ قائم در پرپود طبیعی $(cm/s^2) T$	$A_V(T)$
ضریب اصلاح ناشی از اثر میرایی سازه	$C_h$
روش تحلیل دینامیکی	$DAM$
نیروی زلزله افقی اصلاح شده $(N) cm/s^2$	$F_{MH}$
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	$K_{SH}$
روش پاسخ تغییر مکان	$RDM$
روش شبه استاتیکی	$SCM$
وزن سازه+بار مرده و زنده $(N)$	$W_H$



$\beta_0$	پارامتر سطح زلزله
$\beta_1$	ضریب اهمیت
$\beta_2$	نسبت شتاب مبنای طرح
$\beta_3$	ضریب بزرگنمایی ساختگاه
$\beta_4$	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی سازه
$\beta_5$	ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی
$\beta_{5n}$	تقویت پاسخ استاندارد
$\beta_6$	ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم
$\alpha_H$	شتاب افقی در سطح زمین ( $\text{cm/s}^2$ )
$\alpha_{HT}$	شتاب افقی حداکثر روی سنگ بستر ( $\text{cm/s}^2$ )
$\alpha'_H$	شتاب افقی حداکثر روی سطح زمین در تحلیل تاریخچه زمانی ( $\text{cm/s}^2$ )
$\alpha_v$	شتاب قائم در سطح زمین ( $\text{cm/s}^2$ )

### فصل چهارم

C	ضریب وابسته به رفتار هیستریسیس
$d_1$	شعاع داخلی لوله
$d_2$	قطر داخلی اتصال
D	قطر داخلی لوله PEP
$D_1$	قطر خارجی لوله PEP
$D_2$	قطر داخلی اتصال PEP
$D_3$	قطر خارجی اتصال PEP
$D_S$	ضریب مشخصه سازه‌ای
$K_{MH}$	ضریب زلزله افقی اصلاح شده
$K_y$	ضریب زلزله افقی در نقطه آغاز جاری شدن عضو آسیب دیده
l	طول اتصال
L	طول لوله
$f_c$	مقاومت فشاری بتن
$f_y$	مقاومت جاری شدن فولاد
n	تعداد معادل سیکل‌های مناسب از منحنی هیستریسیس مربوطه





ظرفیت لرزه‌ای	$Q_u$
ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز	$Q_{un}$
مقادیر پاسخ	R
اندازه پاسخ مود i ام	$R_i$
طول داخلی اتصال	$S_1$
طول خارجی اتصال	$S_2$
ضخامت بدنه لوله	T
ضخامت اتصال	$T_1$
وزن بهره برداری سازه مورد نظر	$W_0$
وزن عملیاتی سازه	$W_0$
ضریب شکل پذیری عضو در معرض خرابی	$\mu_p$
ضریب شکل پذیری مجاز	$\mu_{pa}$

### فصل پنجم

ضریب توزیع لنگر تراز بازو	$A_{Ami}$
ضرایب توزیع برش تراز بازو	$A_{Asi}$
ضریب توزیع لنگر طبقه	$A_{mi}$
ضریب توزیع برش	$A_{si}$
ضریب مقاومت	C
ضریب نیروی برشی استاندارد برای دکل بی‌سیم که بر روی زمین نصب شده است.	$C_0$
ضریب نیروی برشی ترازهای مختلف	$C'_0$
ضریب لنگر طبقه در ارتفاع $h_{bi}$ از تراز پایه دکل (ton)	$C_{Mi}$
ضریب برش در ارتفاع $h_{bi}$ از تراز پایه دکل (ton)	$C_{si}$
خیز کابل m	d
قطر قسمت فوقانی دکل (m)	D
قطر قسمت تحتانی دکل (m)	$D'$
مدول ارتجاعی مصالح فلزی دکل $\text{ton} / \text{m}^2$	E
تعداد طبقات ساختمان در بالای سطح زمین	F
شتاب ثقل بر حسب $\text{m} / \text{s}^2$	g



ارتفاع اعمال نیرو از سطح زمین (m)	$h$
ارتفاع از پایه دکل تا قسمت مورد نظر	$h_{bi}$
ارتفاع از پایه دکل تا پانل $j$ (m)	$h_{bj}$
ارتفاع دکل (m)	$H$
ارتفاع مرکز ثقل دکل از پایه (m)	$H_b$
فاصله بین $h_{bi}$ تا مرکز ثقل قسمت فوقانی $h_{bi}$ (m)	$H_i$
ممان اینرسی خمشی دکل در محل اعمال خمش $m^4$	$I_B$
ضریب زلزله طراحی	$k$
ضریب زلزله افقی طرح	$K_H$
ضریب زلزله قائم	$K_V$
طول بازو از ابتدا تا انتها (m)	$l_x$
لنگر برشی بازو در تراز $h_{bi}$ از پایه دکل (m)	$M_{Ai}$
لنگر خمشی طبقه در ارتفاع $h_{bi}$ از تراز پایه دکل (ton.m)	$M_i$
نیروی باد در واحد طول N/m	$P_c$
فشار باد $N/m^2$	$P_W$
نیروی برشی بازو در تراز $h_{bi}$ از پایه دکل (ton)	$Q_{Ai}$
نیروی برش طبقه در ارتفاع $h_{bi}$ از تراز پایه دکل (ton)	$Q_i$
ضریب پاسخ برای محاسبه ضریب لنگر طبقه	$R_m$
ضریب پاسخ برای محاسبه ضریب برش	$R_s$
طول دهانه m	$S$
عمق مرکز دوران نسبت به سطح	$t_0$
نیروی کشش کابل N	$T$
زمان تناوب دکل (s)	$T$
زمان تناوب ساختمان (s)	$T'$
پریود ارتعاش طبیعی (s)	$T_0$
سرعت باد m/s	$V$
وزن کابل در واحد طول N/m	$w$
وزن کل دکل شامل وزن مؤثر سیم‌ها و قطعات الحاقی	$W$
وزن بازو شامل وزن قسمت‌های الحاقی (ton)	$W_{Ai}$
وزن مؤثر سیم (ton)	$W_C$



وزن دکل از تراز مورد نظر تا قسمت فوقانی	$W_i$
وزن پانل $z$ (ton)	$W_J$
وزن پایه kN	$W_s$
وزن مؤثر کابل در واحد طول N/m	$W_L$
وزن دکل (ton)	$W_T$
ضریب منطقه	$Z$
جمع بار مرده	$\sum W$
چگالی هوا $\text{Kg/m}^3$	$\rho$

## فصل ششم

سطح مقطع لوله مدفون ( $\text{m}^2$ )	$A$
مساحت لوله	$A_r$
زاویه خمش اتصال	$b$
ضریب سختی در امتداد لوله، انبساط لوله طویل	$C_1$
ضریب سختی در جهت عمود بر محور لوله	$C_2$
جابجایی گسل	$d$
قطر خارجی لوله (m)، قطر کابل	$D$
قطر خارجی لوله	$D_o$
انبساط اتصال در جهت محوری	$e_p$
انبساط	$E$
مدول ثانویه	$E_2$
سختی محوری (N)	$EA$
سختی خمشی کابل	$EI$
روش استاتیکی معادل	$ESM$
ضریب اصطکاک استاتیکی تکیه‌گاه انبساطی $A_L$	$f_{AL}$
ضریب اصطکاک استاتیکی تکیه‌گاه انبساطی $B_L$	$f_{BL}$
تابع شکل کابل	$f(x)$
نیروی نهایی در محدوده ارتجاعی لوله و کاملاً درگیر با خاک	$F_1$
نیروی نهایی قابل انتقال بین لوله و خاک	$F_2$
روش المان محدود	$FEM$
جابجایی قائم گسل	$h$



H	ضخامت لایه سطحی (m)
$H_{AL}$	نیروی اینرسی یا اصطکاک وارد بر سکوی پل (L) ناشی از $W_A$ (kN)
$H_{AR}$	نیروی اینرسی وارد بر پایه‌های پل ناشی از $W_A$ (kN)
$H_{BL}$	نیروی اینرسی یا اصطکاک وارد بر پایه‌های پل (L) ناشی از $W_B$ (kN)
$H_{BR}$	نیروی اینرسی وارد بر سکوی پل (R) ناشی از $W_B$ (kN)
I	ممان اینرسی مقطع لوله مدفون ( $m^4$ )
$k_H(x)$	ضریب عکس‌العمل افقی زمین در عمق x، ( $N/cm^3$ )
$K_{g1}$	ضرایب سختی خاک در واحد طول در امتداد لوله (Pa)
$K_{g2}$	ضرایب سختی خاک در جهت عمود بر آن (Pa)
$K_{MV}$	ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی
$K_{SH}$	ضریب زلزله افقی طراحی
l	طول لوله (m)، فاصله اتصالات (m)
L	طول موج (m)، طول جابجا شده، طول مؤثر کابل
$L_e$	فاصله اتصالات انعطاف‌پذیر (m)
$L_a$	طول مؤثر لوله تحت تغییر مکان
$L_{sp}$	طول لوله تحت تغییر مکان
$L'$	طول موج ظاهری (m)
q	مقاومت لغزشی در واحد طول، وزن واحد طول کابل
$q_H(x)$	فشار افقی در عمق x، ( $N/cm^2$ )
$Q_p$	بار پاسخ مربوط به مدهای خرابی
$Q_{pa}$	بار مجاز مربوط به مدهای خرابی
$R_{AL}$	عکس‌العمل پایه‌های ناشی از $W_A$ (kN)
$R_{AR}$	عکس‌العمل سکوی پل ناشی از $W_A$ (kN)
$R_{BL}$	عکس‌العمل پایه‌های پل و سکوی پل (L) ناشی از $W_B$ (kN)
$R_{BR}$	عکس‌العمل پایه‌های پل و سکوی پل (L) ناشی از $W_B$ (kN)
t	ضخامت لوله (m)
$t_u$	ضخامت لوله
$u_0$	تغییر مکان نسبی محوری با فرض طول بی‌نهایت لوله
$u_H(h_B)$	تغییر مکان افقی زمین در عمق $h_B$ (cm)
$u_H(x)$	تغییر مکان افقی زمین در عمق x (cm)



مقدار انبساط محوری اتصال (m)	$u_j$
تغییر مکان افقی زمین در جهت محور لوله (m)	$U_a$
تغییر مکان افقی زمین در امتداد لوله	$U_h$
سرعت موج برشی ارتجاعی در سطح زمین (m/s)	$V_s$
طول افقی مجرا	$w_1$
طول اولیه کابل	$W$
بارهای مرده روسازه A. (kN)	$W_A$
بارهای مرده روسازه B. (kN)	$W_B$
عرض توده خاک	$W_G$
طول مؤثر افقی	$W_2$
ضریب تبدیل تغییر مکان زمین در جهت محوری	$\alpha_1$
ضریب تبدیل تغییر مکان زمین در جهت عرضی لوله	$\alpha_2$
زاویه تغییر مکان با امتداد محور لوله	$\beta$
تغییر مکان زمین	$\delta$
حداکثر کرنش زمین	$\epsilon_{axial}$
کرنش خمشی لوله	$\epsilon_{1B}$
کرنش زمین	$\epsilon_G$
کرنش محوری لوله	$\epsilon_{1L}$
کرنش زمین متناظر با $S_{Vmax}$	$\epsilon_{Gmax}$
کرنش محوری لوله	$\epsilon_{2L}$
کرنش ترکیبی محوری و خمشی لوله	$\epsilon_{1x}$
کرنش خمشی در فاصله X از اتصال	$\epsilon'_{1B}(X)$
کرنش محوری در فاصله X از اتصال	$\epsilon'_{1L}(X)$
کرنش محوری	$\epsilon'_{2L}$
کرنش محوری لوله	$\epsilon_p$
کرنش ترکیبی خمشی و محوری	$\epsilon'_{1x}(X)$
کرنش تسلیم لوله	$\epsilon_y$
ضریب جزئی ایمنی برای ساده‌سازی روابط محاسباتی	$\gamma_a$
ضریب جزئی ایمنی برای فرمول‌بندی تغییر مکان بحرانی لوله	$\gamma_b$
ضریب جزئی ایمنی برای تغییر مکان زمین	$\gamma_d$



$\gamma_k$	ضریب جزئی ایمنی برای فنریت خاک، $K_1$
$\gamma_m$	ضریب جزئی ایمنی برای کرنش حدی مصالح لوله
$\gamma_t$	وزن مخصوص خاک ( $N/m^3$ )
$\pi$	عدد پی
$\theta$	زاویه خمش اتصال (Rad)
$\sigma_0$	تنش بحرانی
$\sigma_c$	ضریب جزئی ایمنی برای تنش فشاری خاک
$\sigma_1$	تنش بحرانی
$\sigma_{1L}$	تنش محوری لوله مدفون (Pa)
$\sigma_{1B}$	تنش خمشی لوله مدفون (Pa)
$\sigma_{1x}$	تنش ترکیبی محوری و خمشی (Pa)
$\sigma_{2L}$	تنش محوری (Pa)
$\sigma'_{1B}(x)$	تنش خمشی لوله
$\sigma'_{1L}(x)$	تنش محوری لوله
$\sigma'_{1x}(x)$	تنش ترکیبی در فاصله X از اتصال انعطاف‌پذیر
$\sigma_L$	تنش محوری (Pa)
$\tau$	تنش اصطکاکی بین لوله و زمین (Pa)
$\tau'$	تنش اصطکاکی زمین در حالت روان‌گرایی (Pa)
$\omega_s$	زاویه خمش لوله به درجه
$\zeta_1(x)$	ضریب اصلاح تنش لوله مدفون با فرض پیوستگی اتصالات
$\zeta_2(x)$	ضریب اصلاح تنش لوله مدفون با فرض پیوستگی اتصالات
$\kappa$	خصوصیت سخت‌شوندگی
$\Delta L$	کشیدگی در امتداد کابل

### فصل هفتم

$A_h$	سطح بارگذاری در جهت عرض ( $m^2$ )
$A_v$	سطح بارگذاری در جهت قائم ( $m^2$ )
$B_h$	عرض معادل پی بر حسب m عمود بر جهت بارگذاری
$B_v$	عرض معادل پی بر حسب m موازی جهت بارگذاری
D	عرض آدم رو،
$E_0$	مدول تغییرشکل زمین ( $KN/m^2$ )



H	طول دیواره آدم رو
I	ممان اینرسی هندسی پایه آدم رو ( $m^4/m$ )
$k_{hi}$	ضریب عکس‌العمل بستر لایه i ام در جهت عرضی
$k_{h0}$	ضریب عکس‌العمل افقی از آزمایش صفحه دایره‌ای به قطر ۰/۳ متری
$k_s$	ثابت فنریت برشی خاک ( $kN/m^3$ )
$k_\theta$	ثابت فنریت چرخشی خاک ( $kN.m/rad$ )
$K_h$	ضریب عکس‌العمل بستر افقی
$K_S$	ضریب عکس‌العمل برشی
$K_v$	ضریب عکس‌العمل قائم
$k_{v0}$	ضریب عکس‌العمل متناظر با آزمایش صفحه دایره‌ای به قطر ۰/۳ متری
$U_h(h)$	تغییر مکان زمین در تراز کف آدم رو (m)
$U_h(z)$	تغییر مکان زمین در تراز کف آدم رو (m)
$\alpha$	ضریب اضافه بار کوتاه مدت
$\delta(z)$	تغییر مکان قائم عضو
$\lambda$	نسبت ضریب عکس‌العمل بستر در جهت عرضی به جهت قائم
$\omega_b$	واکنش بستر
$\Delta U(z)$	اختلاف تغییر مکان نسبی زمین

### فصل هشتم

A	شتاب پایه طراحی
$A_b$	سطح مقطع میله پیچ مهارتی
$A_e$	سطح مقطع مؤثر
B	ضریب پاسخ ساختمان
$B_B$	ضریب بزرگنمایی پاسخ
$B_E$	ضریب بزرگنمایی پاسخ تجهیزات
$C_0$	نیروی محوری وارد بر عضو اتصال دهنده
$d_0$	قطر سوراخ پیچ
D	دهانه پیچ با سطح مقطع دایره‌ای
$D_{ss}$	ضریب مشخصه نشیمن گاه تجهیزات
$f_a$	تنش مجاز کششی پیچ
$f_b$	تنش خمشی مجاز کوتاه مدت عضو فولادی



تنش برشی مجاز کوتاه مدت عضو فولادی	$f_s$
نیروی زلزله افقی طرح	$F_H$
نیروی زلزله قائم طرح	$F_V$
مرکز ثقل تجهیزات	$G$
شتاب پاسخ در هر طبقه	$G_f$
مرکز ثقل خود تجهیزات	$G_1$
مرکز ثقل حلقوی تجهیز و قفسه بالایی	$G_2$
ضریب اهمیت ساختمان	$I_K$
ضریب اهمیت تجهیزات	$I_s$
ارتفاع تجهیزات	$h$
فاصله از وجه ثابت تا مرکز ثقل تجهیزات	$h_G$
طول نقطه تکیه‌گاهی متوقف کننده تا قفسه بالایی	$h_s$
ضریب زلزله افقی طراحی	$K_{HI}$
ضریب زلزله قائم طراحی	$K_{VI}$
دهانه پیچ در راستای افقی	$l_1$
فاصله افقی مرکز پیچ تا مرکز ثقل تجهیزات	$l_{1G}$
دهانه پیچ در راستای قائم	$l_2$
فاصله قائم مرکز پیچ بخش بالایی تا مرکز ثقل تجهیزات	$l_{2G}$
فاصله از وجه دیوار تا مرکز ثقل تجهیزات	$l_{3G}$
دهانه پیچ در راستای هدف	$l_B$
فاصله مرکز پیچ تا مرکز ثقل تجهیزات در راستای هدف	$l_G$
فاصله از مرکز پیچ مهارى تا محور خنثی	$l_i$
تعداد اعضای اتصال دهنده	$m$
ممان خمشی وارده بر پایه تجهیزات	$M$
تعداد کل پیچ‌های مهارى	$n$
تعداد پیچ‌های مهارى عضو تکیه‌گاه بالایی	$n_0$
تعداد کل پیچ‌های مهارى	$n_a$
تعداد کل پیچ مهره‌های متوقف کننده	$n_s$
تعداد کل پیچ‌های مهارى در طرفی که نیروی کششی را در شرایط واژگونی تجهیز دریافت می‌کند	$n_t$
تعداد پیچ‌های مهارى در یک طرف از وجه بالا یا پایین	$n_{tl}$





تعداد پیچ‌های مهاری واقع بر یک طرف از وجه کناری	$n_{t2}$
نیروی مجاز کششی پیچ	$N_a$
تعداد متوقف کننده در یک طرف تجهیزات	$N_s$
نیروی برشی وارد بر پیچ	$Q$
نیروی کششی یک پیچ	$R_b$
ضخامت ورق متوقف کننده	$t$
نیروی محوری وارد بر عضو بادبندی	$T_0$
وزن تجهیزات	$W$
مدول مقطع گروه پیچ‌های مهاری	$Z$
ضریب زلزله موضعی	$\beta_E$
ارتفاع تا نقطه اعمال نیرو در متوقف کننده لغزشی	$\lambda_2$
تنش کششی پیچ مهاری	$\sigma$
تنش عضو هنگام دریافت بارهای کششی و خمشی در متوقف کننده نفوذی	$\sigma_{tb}$
زاویه عضو بادبندی	$\theta_b$
تنش برشی وارد بر پیچ	$\tau$





# فصل ۱

---

---

## کلیات





## ۱- کلیات

راهنمای حاضر بر اساس مدارک مشابه در کشورهای پیشرفته لرزه خیز همراه با تجربیات داخلی و بعضی دیگر از کشورهای مطرح در زمینه مهندسی زلزله تدوین شده است.

در راستای بهره‌گیری از تجارب دیگر کشورها سعی شده است که حتی‌الامکان به مسئله بومی سازی توجه شده و مطالب ساده و کاربردی‌تر ارائه شود.

### ۱-۱- هدف

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

آسیب‌پذیری در زلزله ماهیت ریسک و خطرپذیری دارد.

هدف این راهنما تأمین ایمنی قابل قبول با توجه به ریسک منطقی بر اساس شرایط اقتصادی و ماهیت خطر زلزله و آسیب‌پذیری

تأسیسات سامانه مخابرات می‌باشد.

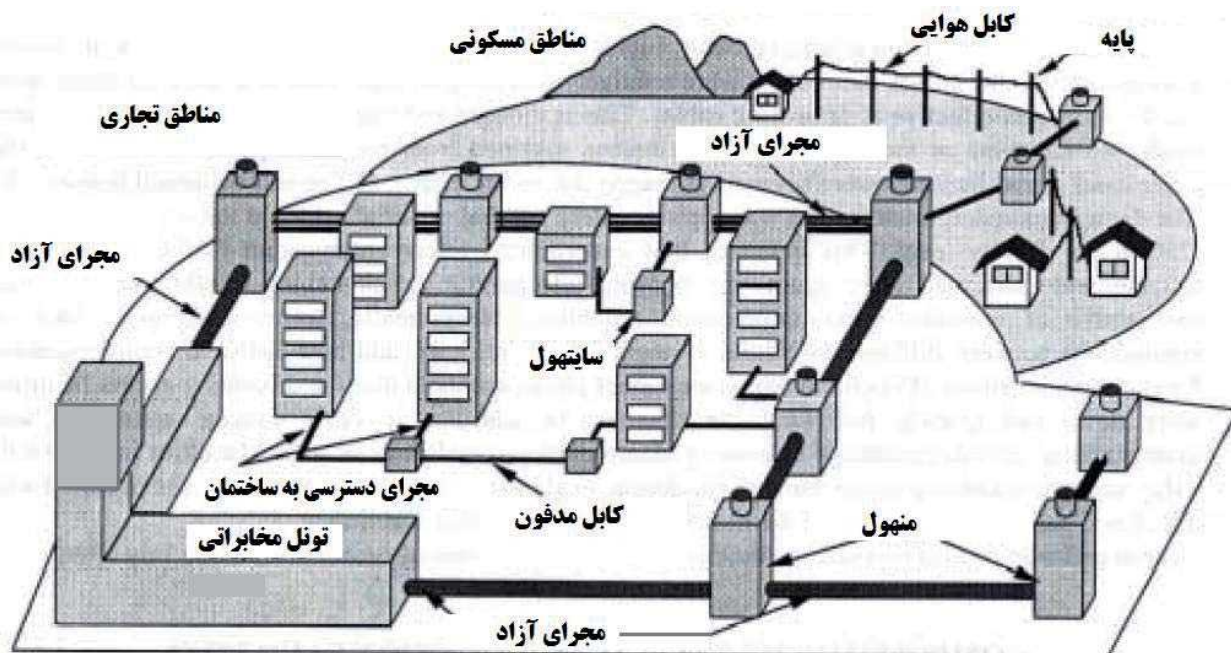
این راهنما بر آن است تا با رعایت مفاد آن آسیب جدی و مخل ایمنی عمومی پیش نیاید.

### ۱-۲- گستره کاربرد این راهنما

گستره کاربرد این راهنما، تأسیسات سامانه مخابرات شامل تجهیزات انتقال، مجاری خطوط کابل، کانال مشترک (با سایر شریان‌ها)، کابل، آدمرو و تجهیزات داخلی می‌باشد.

- برای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های این سامانه از استاندارد ۲۸۰۰ و مجموعه مقررات ملی ساختمان ایران استفاده می‌گردد.
- برای طراحی لرزه‌ای پی تجهیزات از مباحث مربوط در مقررات ملی ساختمان یا آئین نامه‌های معتبر داخلی با استفاده از نتایج مستخرجه از طراحی لرزه‌ای تجهیز مربوطه از این راهنما می‌توان استفاده نمود.
- مهم‌ترین مؤلفه‌های مخابراتی واقع در بیرون ساختمان‌ها بصورت هوایی و مدفون در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.
- کابل‌های مخابراتی به هر دو صورت هوایی و مدفون در شبکه مخابراتی وجود دارند. طراحی لرزه‌ای کابل‌های مخابراتی مشابه کابل‌های هوایی و مدفون در شبکه برق رسانی می‌باشد.
- پایه‌های مخابراتی نیز شبیه پایه‌های هوایی در سامانه برق شهری طراحی لرزه‌ای می‌شوند.





شکل ۱-۱ شمای کلی مهم‌ترین مؤلفه‌های مخابراتی خارج از ساختمان

### 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 لوزه‌ای

فصل چهارم: روش‌های طراحی لوزه‌ای و کنترل ایمنی

فصل پنجم: طراحی لوزه‌ای و کنترل ایمنی تجهیزات هوایی شبکه مخابرات

فصل ششم: طراحی لوزه‌ای و کنترل ایمنی مجاری خطوط مخابرات

فصل هفتم: طراحی لوزه‌ای و کنترل ایمنی آدرو شبکه مخابرات

فصل هشتم: طراحی لوزه‌ای و کنترل ایمنی مهار تجهیزات داخلی

فصل نهم: مثالها

### ۱-۲-۲- نکاتی در کاربرد این راهنما

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

۱- سعی شده است ضوابط این راهنما با استاندارد ۲۸۰۰ تناقضی نداشته باشد.



- ۲- در صورت کمبود اطلاعات برای بارگذاری تأسیسات مخابراتی هدف در این راهنما از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می‌توان استفاده نمود.
- ۳- در موارد طراحی مؤلفه‌های بتنی این راهنما بویژه در مورد مشخصات مصالح بتنی از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان می‌توان استفاده کرد.
- ۴- مبحث دهم مقررات ملی مکمل این راهنما برای رفع کمبودهای مربوط به مؤلفه‌های فولادی تأسیسات مخابراتی می‌باشد.
- ۵- از تمامی استفاده‌کنندگان این راهنما انتظار می‌رود برای تطابق هرچه بهتر و سهولت هرچه بیشتر کاربرد آن در کشور نظرات اصلاحی و پیشنهادات خود را ارسال نمایند تا در ویرایش‌های بعدی آن مورد استفاده تدوین‌کنندگان قرار گیرد.

### ۱-۳-۱- مراجع

#### ۱-۳-۱-۱- مراجع اصلی این راهنما

- در تدوین این راهنما از استاندارد، آیین‌نامه، راهنما و دستورالعمل‌های مختلفی استفاده شده است. اهم این مدارک به شرح زیر می‌باشد:
- ✓ استاندارد ۲۸۰۰ ایران: آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۰۰۵
  - ✓ یوروکد ۸: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۴: سیلوها، مخازن و خطوط لوله، کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۶
  - ✓ ASCE7-05: حداقل بارهای طراحی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها
  - ✓ BCJ1997 کمیته JEAC برای خط انتقال: آیین‌نامه خط انتقال هوایی، ۲۰۰۰ (ژاپن)
  - ✓ مجله فنی شرکت تلگراف و تلفن ژاپن: تکنولوژی طراحی سازه فضایی (۱-۳)، آگوست، سپتامبر و اکتبر ۲۰۰۷ (NTT)
  - ✓ IBC2006: آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان، USA، ۲۰۰۶
  - ✓ UBC97: آیین‌نامه ساختمان‌های یکنواخت، ایالات متحده آمریکا، ۱۹۹۷
  - ✓ مرکز ساختمان ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای و ساخت تجهیزات ساختمانی، ۱۹۹۷
  - ✓ کمیته JEAC برای خط توزیع: آیین‌نامه توزیع نیرو، ۱۹۹۹ (ژاپن)
  - ✓ کمیته JEAC برای خط انتقال: آیین‌نامه انتقال زیرزمینی، ۲۰۰۰ (ژاپن)
  - ✓ شرکت برق توکیو: راهنمای طراحی لرزه‌ای برج انتقال فشار قوی و پی آن، مارس ۱۹۸۴ (UHV)
  - ✓ کمیته JEAC برای نیروگاه حرارتی: آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای نیروگاه حرارتی، ۲۰۰۴ (در ژاپن) JEAC 3605-2004
  - ✓ کمیته گاز ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای خط لوله گاز فشار قوی برای روان‌گرایی، JGA-207-01، ۲۰۰۱
  - ✓ کمیته گاز ژاپن: مراحل پیشنهادی برای مخازن LNG بالای زمین، آگوست ۲۰۰۲
  - ✓ انجمن ایمنی گاز فشار قوی ژاپن (KHK): آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازی فشار قوی، ۲۰۰۶
  - ✓ انجمن معماری ژاپن: راهنمای طراحی لرزه‌ای جرثقیل، می ۱۹۸۹
  - ✓ مرکز ساختمان ژاپن (BCJ): راهنمای طراحی سازه‌ای و ساخت دودکش‌ها، ۱۹۸۲ (Stack-82)

✓ کمیته راه ژاپن: مشخصات پل‌های بزرگراهی، بخش ۵ طراحی لرزه‌ای، ۲۰۰۲

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
AIJ1996	پیشنهادات طراحی مخازن ذخیره و تکیه‌گاه‌های آن‌ها، ژاپن، انجمن معماری ژاپن، ۱۹۹۶
ALA2005	راهنماهای لرزه‌ای خطوط لوله‌ی آب، ALA، ۲۰۰۵
ANGTS	متمم اطلاعات فنی کاربردی ایالت آلاسکا، شرکت انتقال گاز طبیعی شمال غرب آلاسکا، ۲۰۰۴
API 5L	API مشخصات L۵، مشخصات خط لوله، API ۲۰۰۴
API620	API استاندارد ۶۲۰، طراحی و ساخت مخازن ذخیره کم فشار جوش‌شده بزرگ، API ۲۰۰۵
API650	API استاندارد ۶۵۰، مخازن فلزی جوش‌شده برای ذخیره سوخت، API، ۲۰۰۵
ASCE7	حداقل بارهای طراحی ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها، ASCE، ۲۰۰۶
ASCE1984	راهنماهای طراحی لرزه‌ای سیستم‌های خط لوله گاز و سوخت، ASCE، ۲۰۰۶
ASCE1985	طراحی سازه‌های مقاوم در برابر اثرات سلاح‌های اتمی، دستورالعمل و گزارش شماره ۴۲، ASCE ۱۹۸۵
ASCE1997	راهنماهای ارزیابی لرزه‌ای و طراحی تأسیسات پتروشیمی، ASCE ۱۹۹۷
ASME B31	آیین‌نامه ASME برای لوله‌کشی تحت فشار، ASME B۳۱، ۲۰۰۴، AWWAD100-96
AWWA96	AWWAD100-96
BCJ1997	مشخصات طراحی لرزه‌ای تجهیزات ساختمانی، مرکز ساختمان ژاپن، ۱۹۹۷
BS EN1998-1	یوروکد ۸: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۱، مقررات کلی، تحریکات لرزه‌ای و مقررات 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
BS EN1998-5	یوروکد ۸: طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، بخش ۵: پی، سازه‌های متمرکز و جنبه‌های ژئوتکنیکی. کمیته اروپایی استاندارد، ۲۰۰۴
IBC2006	آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان، USA، ۲۰۰۶
INBC10	آیین‌نامه ملی ایران، بخش ۱۰، طراحی و ساخت ساختمان‌های فولادی
IPS-X-XX	استانداردهای نفتی ایران
Iran2800	آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۲۰۰۵
Iran519	استاندارد ۵۱۹، ایران، بارگذاری ساختمان‌ها





مخفف	نام کامل
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
JRA74	استاندارد فنی برای خط لوله نفت، انجمن راه ژاپن، ۱۹۷۴
JRA V	مشخصات طراحی پل‌های بزرگراهی، طراحی لرزه‌ای V-انجمن راه ژاپن، ۱۹۹۶
JSWA2006	مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات فاضلاب، شرکت فاضلاب ژاپن، ۲۰۰۶
JWWA1997	مشخصات طراحی لرزه‌ای و ساخت تأسیسات آب‌رسانی، شرکت آب ژاپن، ۱۹۹۷
KHK	استاندارد فنی طراحی لرزه‌ای تأسیسات گازی فشار بالا، انجمن ایمنی گاز فشار قوی ژاپن (KHK)، ۲۰۰۰
MCA22	MCA راهنمای ایمنی ۲۲
MIAC No.30	ضمیمه طراحی لرزه‌ای مقررات پدافند آتش‌سوزی، ابلاغیه شماره ۳ وزارت ارتباطات و امور داخلی، ۲۰۰۵
NZ1981	طراحی لرزه‌ای پالایشگاه پتروشیمی، وزارت انرژی، نیوزلند، ۱۹۸۱
NZ1986	طراحی لرزه‌ای مخازن ذخیره، وزارت انرژی، پیشنهادات گروه مطالعاتی انجمن ملی نیوزلند برای مهندسی زلزله، نیوزلند، ۱۹۸۶
WSP064	استاندارد طراحی پل لوله آب، WSP 064-2007، انجمن لوله فلزی آب
UBC97	آیین‌نامه ساختمان‌های یکنواخت، ایالات متحده آمریکا، ۱۹۹۷



# فصل ۲

---

---

## مبانی





## ۲- مبانی

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

### ۱- دو سطح خطر لرزه‌ای

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 بهره‌برداری) و روش شکل‌پذیر در محدود غیر ارتجاعی رفتار مصالح برای سطح خطر-۲ (زلزله طرح)

۴- استفاده از دو سطح عملکرد به صورت بهره‌برداری بدون وقفه و بهره‌برداری با حداقل وقفه. 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.

## ۲-۱- زلزله طراحی

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

۱- دو سطح خطر زلزله که در ذیل آمده است باید برای طراحی لرزه‌ای تجهیزات سامانه‌های مخابرات 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).

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 مخابرات اتفاق بیفتد. حالات خرابی غیر قابل پذیرش در بهره‌برداری از تأسیسات به این سطح خطر لرزه‌ای محدود گردیده و بهره‌برداری از سامانه مخابرات با اطمینان ادامه می‌یابد. در این سطح خطر احتمال وقوع ۵۰٪ در ظرف مدت ۵۰ سال، مطابق با دوره بازگشت ۷۲ ساله می‌باشد.



۲- حداکثر زلزله طراحی زلزله‌ای است که احتمال وقوع کمتر و دوره بازگشت بیشتری نسبت به زلزله بهره برداری دارد. وضعیت رفتار تجهیزات سامانه مخابرات در این سطح خطر لرزه‌ای حد نهایی بوده و کل سیستم، حتی اگر عضوی 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.

۳- برای تخمین تغییر شکل ماندگار زمین PGD (Permanent Ground Deformation) ناشی از جابه‌جایی گسل (گسلش)، روان‌گرایی و زمین لغزش، بزرگی 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 طراحی لرزه‌ای برای تجهیزات مخابرات باید با توجه به پریود طبیعی و خصوصیات میرایی سیستم‌های سازه‌ای محاسبه گردند. بار ناشی از زلزله نیز باید با استفاده از این طیف‌ها محاسبه شود.
- ۲- تحلیل‌های دینامیکی طیفی برای کنترل ایمنی لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای باید با ترکیب مشخصات طیفی مودال انجام شود.
- ۳- یکی از دو طیف پاسخ ذیل باید برای طراحی تجهیزات مخابرات به کار رود:
  - الف- طیف طرح شتاب برای محاسبه نیروی اینرسی ناشی از جرم مؤلفه‌های روزمینی
  - ب- طیف طرح سرعت برای محاسبه نیروی اندرکنشی ناشی از تغییر مکان خاک بر بدنه مؤلفه‌های مدفون

### ۱- تحلیل طیفی

- ۱-۱- در راهنمای حاضر، طیف پاسخ الاستیک برای میرایی ۵٪ بکار می‌رود.
- ۲-۱- طیف پاسخ برای طراحی لرزه‌ای از روش‌های زیر بدست می‌آید:
  - الف) طیف‌های ویژه ساخت‌گاه
    - طیف‌های ویژه ساخت‌گاه با توجه به فعالیت‌های لرزه‌ای، گسل‌های فعال و شرایط ژئومورفولوژی محاسبه می‌گردند.
    - برای تهیه طیف ویژه ساخت‌گاه از ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می‌شود.
    - برای سازه‌های مدفون لازم است که طیف سرعت نیز استخراج گردد.
  - ب) طیف‌های احتمالاتی یا تعینی بر اساس ثبت زلزله‌های نیرومند
    - روش‌های احتمالاتی کاربرد مهندسی بیشتری دارند.
    - طیف‌های حاصل از این روش‌ها، به طور معمول مقادیر کمتری نسبت به طیف‌های مشابه خود با استفاده از روش‌های تعینی دارند.



به طور کلی در تعیین طیف‌های طراحی، احتمال وقوع زلزله بر اساس حرکت‌های قوی زمین لحاظ گردیده است. طیف‌های تعیینی اغلب برای طراحی محافظه‌کارانه و ایمن بکار می‌روند.

### ۲- تحلیل دینامیکی

تحلیل‌های پاسخ دینامیکی روشی برای کنترل ایمنی لرزه‌ای سازه، به خصوص سازه‌های با رفتار پیچیده تحت اثر زلزله می‌باشند.

این تحلیل‌ها در مقایسه با روش‌های شبه استاتیکی، حساس به پارامترهای دینامیکی، پرهزینه و زمان‌بر بوده و تنها زمانی بکار می‌روند که استفاده از روش طیف‌های پاسخ، سخت و نامطمئن باشد.

در استفاده از روش‌های دینامیکی بایستی مطابق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ عمل نموده و نسبت به شتاب‌های انتخابی و میرایی مورد استفاده دقت لازم را باید برای قابلیت اطمینان نتایج به کاربرد.

### ۳- طیف شتاب و سرعت

- طیف شتاب برای سازه‌های روزمینی (با جرم قابل ملاحظه) بکار می‌رود.
- طیف‌های شتاب را همچنین برای سیستم یک درجه آزادی تهیه شده است اما با بکارگیری روش تحلیل مودال می‌توان از آن‌ها برای سیستم چند درجه آزادی استفاده مناسبی به عمل آورد.
- برای محاسبات متکی بر طیف شتاب، از طیف موجود در ویرایش معتبر استاندارد ۲۸۰۰ استفاده می‌شود.
- طیف‌های سرعت برای 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، بکار می‌رود.
- بارگذاری لرزه‌ای چنین سازه‌هایی بر مبنای پاسخ تغییر مکان صورت می‌گیرد که در آن ابتدا تغییر شکل خاک در موقعیت سازه مدفون با بکارگیری طیف سرعت محاسبه و سپس برهم‌کنش بین زمین و سازه مدفون با روش‌های استاتیکی تعیین می‌شود.
- طیف‌های طرح شتاب و سرعت باید برای طراحی لرزه‌ای تجهیزات مخابرات سازگار باشند.
- در این راهنما (برای اولین ویرایش) به طور 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 طبقات بالایی ساختمان 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.

$$A_i = 1 / \sqrt{\frac{H-x}{H}}$$

(۱-۲)



H: ارتفاع کل طبقات

X: ارتفاع طبقات فوقانی طبقه i

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

## ۲-۱-۴- شدت لرزه‌ای قائم طرح

رودی‌های لرزه‌ای در جهت قائم باید برای تجهیزاتی که رفتار آن‌ها به مؤلفه قائم زلزله حساس است مانند بازوی دکل، پایه‌ها، تجهیزات هوایی، تأسیسات، تجهیزات با سیستم کنترل ارتعاشی، تجهیزات مهارشده در نظر گرفته شود.

ضریب شدت لرزه‌ای قائم  $K_V$  توسط رابطه (۲-۲) بدست می‌آید:

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

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

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

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

### ۲-۲-۱- کنترل ایمنی لرزه‌ای

ایمنی تجهیزات در این طراحی لرزه‌ای باید با روش‌های زیر انجام می‌گیرد:

- ۱- روش طراحی تنش مجاز باید برای سطح خطر-۱ انتخاب شود.
- ۲- روش طراحی شکل‌پذیر برای سطح خطر-۲ استفاده می‌شود که در آن نسبت شکل‌پذیری موجود با نسبت شکل‌پذیری مجاز مقایسه می‌گردد.

توجه:

- در مواردی که تجهیز دارای اهمیت بسیار زیاد و یا پیچیدگی رفتار لرزه‌ای خاصی باشد حسب قضاوت مهندس طراح و برای کنترل روش‌های ارائه شده در فوق از روش‌های دینامیکی مناسب استفاده می‌گردد.

۱- برای حالت حد بهره‌برداری، تنش‌های ایجاد شده در اعضای سازه با تنش مجاز در محدوده الاستیک مقایسه می‌گردد. به

طور کلی روش طراحی تنش مجاز باید برای مواردی بکار رود که از سطح خطر-۱ استفاده می‌شود.

۲- اساس روش طراحی شکل‌پذیر برای لرزه‌های قوی‌تر با شتاب (و سرعت) زیاد، این است که به سازه اجازه جذب انرژی

بیشتری (بعد از نقطه تسلیم مصالح) داده شده تا مؤلفه‌های آن بتوانند کرنش زیادتری را جذب نمایند. ضریب شکل‌پذیری

مورد محاسبه با روابط این راهنما با ضریب مجاز شکل‌پذیری مربوطه کنترل می‌گردد.



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

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

- بهره‌برداری بدون وقفه (تا قبل از تسلیم مصالح)  
برای سطح خطر-۱ زلزله، مؤلفه‌های طراحی شده نباید دچار هیچ آسیب مؤثری بر عملکرد سامانه مخابرات شده و عملکرد آنها بدون وقفه ادامه یابد.
- بهره‌برداری با حداقل وقفه (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 آسیب 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 آسیب 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.





# فصل ۳

---

---

## بارگذاری لوزه‌های





## ۳-۱- انواع بار

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

- بار مرده ناشی از وزن تجهیز و ملحقات آن
- وزن ناشی از مواد داخلی بعضی تجهیزات
- فشار داخلی محتوی بعضی تجهیزات
- فشارهای ناشی از خاک برای تجهیزات مدفون
- بار ناشی از حرارت
- بار زلزله
- بار باد

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

- ✓ بار باد بر روی سازه‌های مدفون اثری ندارد.
- ✓ برخلاف ساختمان‌ها سازه‌های تأسیسات مخابرات دارای بار زنده انسانی نیستند.
- ✓ دکل‌ها، پایه‌ها و کابل‌های مخابرات در مقابل بار باد به مقاومت بیشتری در مقایسه با نیروی اینرسی حاصل از ارتعاش زلزله دارند؛ لذا با زلزله تنها کنترل می‌شوند.
- ✓ مخاطرات ژئوتکنیکی ناشی از زلزله بر تمامی تجهیزات مخابراتی اعم از دکل، پایه، ساختمان و نظایر آن‌ها می‌تواند اثرات مخربی داشته باشد.

## ۳-۲- محاسبه وزن‌ها

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

## ۳-۳- ترکیب بارها

در این راهنما حسب هر تجهیز بارهای وارده و نحوه ترکیب آن‌ها در فصول ۵ تا ۸ داده شده است. در صورت عدم ارائه ترکیب بارگذاری، ضرایب بارها یک منظور گردیده است.

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

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

- تجهیزات هوایی
- تجهیزات داخل ساختمان‌ها



- تجهیزات زیرزمینی و مدفون

### ۳-۵- روش‌های اعمال بارهای لرزه‌ای

بارهای ناشی از زلزله روی تجهیزات سامانه‌های مخابرات به روش‌های زیر وارد می‌شود:

- ۱- نیروی اینرسی ناشی از جرم تجهیزات که حرکت آن‌ها مقید در خاک نشده باشد. این نیرو به طور عمده بر تجهیزات داخل ساختمانی، هوایی و روزمینی وارد و محاسبه می‌گردد.
- ۲- نیروی ناشی از تغییر شکل خاک بستر که بر روی سازه‌های زیرزمینی و به ویژه مدفون اعمال می‌گردد. در این حالت تغییر شکل خاک در ضریب فنریت بین خاک و سازه ضرب شده و نیروی خود را بر تجهیز اعمال می‌نماید.

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

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

۱- اثر دینامیکی زلزله ناشی از ارتعاشات زمین (انتشار امواج لرزه‌ای در خاک) که حاصل آن سه پاسخ زیر می‌باشد:

- شتاب

- سرعت

- جابجایی

۲- اثر استاتیکی یا همان مخاطرات ژئوتکنیکی که تغییر شکل‌های ماندگار در زمین ایجاد می‌کنند شامل:

- روان‌گرایی (و گسترش جانبی)

- زمین‌لغزه

- گسلش

توجه: روش‌های بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی (به طور کلی برای همه شریان‌ها) در پیوست این راهنما ارائه شده است.

### ۳-۷- روش‌های محاسبه بارهای لرزه‌ای وارد بر تجهیزات مخابرات

(۱) برای محاسبه بار وارد بر تجهیزات داخل ساختمانی، هوایی و روزمینی باید نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب زلزله بر جرم تجهیز محاسبه گردد. برای انجام محاسبات نیروی اینرسی ناشی از اثر شتاب از «روش شبه استاتیکی» استفاده می‌گردد. روش شبه استاتیکی برای بدست آوردن تغییر مکان و تنش در یک سازه با صلبیت زیاد و با اعمال بار زلزله به صورت یک بار استاتیکی معادل، استفاده می‌شود. بار استاتیکی معادل به صورت حاصل ضرب ضریب زلزله در جرم سازه بدست می‌آید. بعلاوه در صورت لزوم می‌توان با توجه به شکل، مشخصات ارتعاشی، اهمیت ارتعاشی، اهمیت تأسیسات و مود خرابی سازه از روش‌های زیر نیز استفاده کرد:

- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

در روش شبه استاتیکی اصلاح شده، با توجه به پریود طبیعی و میرایی سازه، نیروی اینرسی ناشی از زلزله از ضرب ضریب زلزله اصلاح شده در جرم سازه محاسبه می‌شود. برای مواردی که پریود تجهیزات بلند و یا دارای پیچیدگی سازه‌ای باشد

(عدم حاکمیت مود اول ارتعاش سازه) از «روش شبه استاتیکی اصلاح شده» استفاده می‌شود.

- روش دینامیکی (طیفی یا تاریخچه زمانی)

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

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

(۲) برای محاسبه نیروی ناشی از جابجایی زمین بر سازه‌های مدفون نیز، «روش پاسخ تغییر مکان» بکار می‌رود. در این روش پس از محاسبه جابجایی زمین در نقاط مورد نظر، تعیین ضریب فنریت خاک اطراف سازه، نیروی وارد به آن محاسبه می‌گردد:

- در این روش از طیف سرعت سازگار با طیف شتاب ۲۸۰۰ و یا طیف سرعت ویژه ساخت‌گاه استفاده می‌شود.

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

### ۳-۷-۱- ضریب اهمیت

در تمام روش‌های محاسبه نیروی زلزله، ضریب اهمیت سازه ( $\beta_1$ ) بر اساس اهمیت آن از جدول (۳-۱) تعیین می‌گردد.

جدول ۳-۱ ضریب اهمیت  $\beta_1$

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

نیاز به بهره‌برداری بی‌وقفه از تجهیز مربوطه و ضرورت ایمنی آن بعد از زلزله نقش مهمی در بالا بردن ضریب اهمیت آن تجهیز در سامانه مخابرات دارد. تعاریف رده‌های اهمیت در جدول (۳-۲) داده شده است.

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



جدول ۲-۳ تعریف رده‌های مختلف اهمیت

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

## ۳-۷-۲- نسبت شتاب مبنای طرح

نسبت شتاب مبنای طرح  $\beta_2$  با توجه به محل ساخت‌گاه از جدول (۳-۳) تعیین می‌شود.

جدول ۳-۳ نسبت شتاب مبنای طرح ( $\beta_2$ )

پهنه لرزه‌خیزی				شتاب مبنای A در استاندارد ۲۸۰۰+ به صورت درصدی از شتاب ثقل)
۴ (کم)	۳ (متوسط)	۲ (زیاد)	۱ (خیلی زیاد)	
۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۵	$\beta_2$

## ۳-۷-۳- ضریب بزرگنمایی لایه‌های خاک

اندازه نیروی زلزله وارد بر سازه بستگی به بزرگنمایی لایه‌های خاک محل (از سنگ بستر تا سطح زمین) دارد. درجه بزرگنمایی بر حسب لایه‌های خاک با ضریب بزرگنمایی  $\beta_3$  معین می‌گردد. جدول (۳-۴) ضریب بزرگنمایی را برای انواع زمین (تیپ خاک) ارائه می‌دهد.

جدول ۳-۴ ضریب بزرگنمایی ساختگاه ( $\beta_3$ )

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

			۱	
--	--	--	---	--

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



## ۳-۷-۴- محاسبه ضریب زلزله

## ۳-۷-۴-۱- روش شبه استاتیکی

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

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (1-3)$$

که در آن:

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

$K_H$ : ضریب شدت زلزله افقی در سطح زمین:

$$K_H = 0.3 \cdot \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (2-3)$$

$\beta_4$ : 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 و برای ارتفاع بالای ۱۶ متر برابر است با  $0.0125h + 0.8$

$\beta_0$ : پارامتر سطح زلزله: مقدار ۰/۵ برای سطح خطر-۱ و مقدار ۱ برای سطح خطر-۲

$h$ : مقدار ارتفاع سازه (متر) و از سطح زمین محاسبه می‌شود.

## ۳-۷-۴-۲- نیروی زلزله افقی

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

$$F_{SH} = K_{SH} W_H \quad (3-3)$$

که در آن:

$F_{SH}$ : نیروی زلزله افقی طراحی (N)

$K_{SH}$ : ضریب زلزله افقی طراحی

$W_H$ : وزن سازه+بار مرده و زنده (N)

## ۳-۷-۵- روش شبه استاتیکی اصلاح شده

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





## ۳-۷-۵-۱- ضریب زلزله افقی اصلاح شده

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

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (۳-۴)$$

که در آن:

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده است. در صورتی که  $K_{MH}$  از  $0/۲$  کمتر شود مقدار آن برابر  $0/۲$  اختیار می‌گردد.

$\beta_5$ : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی که برابر:

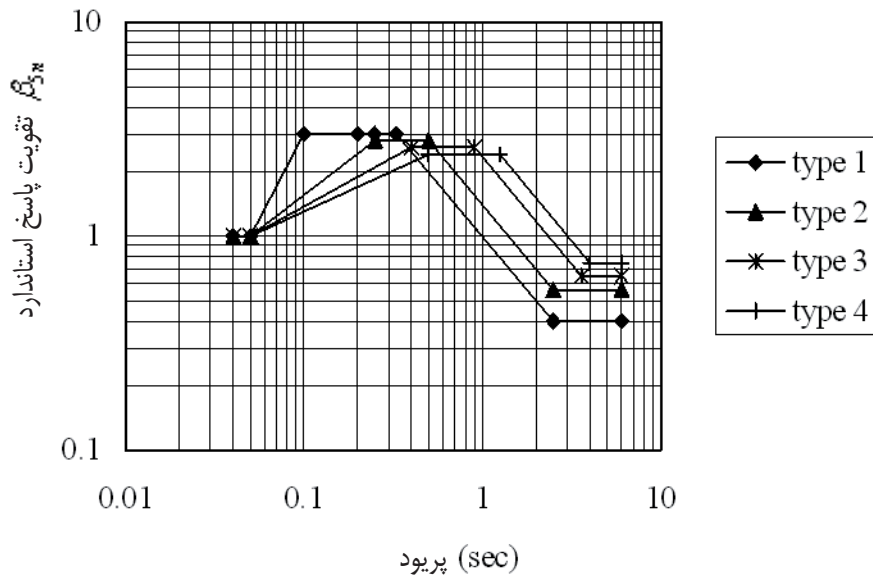
$$\beta_5 = \beta_{5n} C_h \quad (۳-۵)$$

است و در آن:

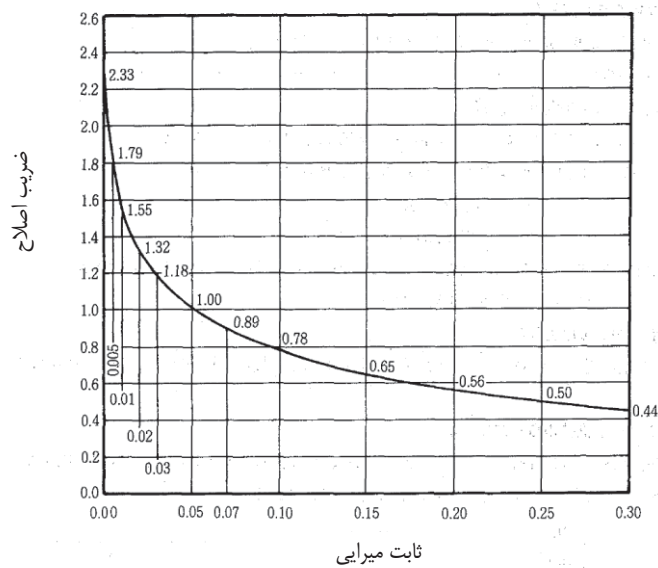
$\beta_{5n}$ : تقویت پاسخ استاندارد نشان داده شده در شکل (۳-۱)

$C_h$ : ضریب اصلاح ناشی از اثر میرایی سازه نشان داده شده در شکل (۳-۲)





شکل ۳-۱، تقویت پاسخ استاندارد،  $\beta_{5n}$



شکل ۳-۲، ضریب اصلاح میرایی،  $C_h$

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

$K_{MV}$  از رابطه (۳-۶) بدست می‌آید:

$$K_{MV} = K_{MH} / 2$$

(۳-۶)



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

### ۳-۷-۵-۳- نیروی زلزله اصلاح شده

نیروی زلزله اصلاح شده از ضرب ضریب زلزله اصلاح شده در وزن سازه و مانند رابطه‌های (۷-۳) و (۸-۳) بدست می‌آید.

$$F_{MH} = K_{MH} \times W_H \quad (7-3)$$

$$F_{MV} = K_{MV} \times W_H \quad (8-3)$$

$K_{MH}$ : 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)

### ۳-۷-۶- روش دینامیکی

روش دینامیکی معمولاً برای کنترل روش‌های شبه استاتیکی یا برای تحلیل سازه‌های بسیار مهم یا پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این روش مدل ریاضی تجهیز تحت بارگذاری طیفی و یا تاریخچه زمانی و با حل معادلات تعادل دینامیکی تحلیل می‌شود.

### ۳-۷-۶-۱- روش طیفی

شتاب پاسخ افقی برای هر مود  $A_H(T)$  از رابطه (۹-۳) بدست می‌آید:

$$A_H(T) = \beta_5 \cdot \alpha_H \quad (9-3)$$

$A_H(T)$ : شتاب پاسخ افقی در پریود طبیعی  $T$  (بر حسب  $\text{cm/s}^2$ )

$\beta_5$ : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی (برای سهولت و با محافظه کاری، در پریودهای کمتر از ۰.۳ ثانیه، ۱/۵ و برای پریودهای بزرگ‌تر از ۰.۳ ثانیه، ۰.۷۵ در نظر گرفته می‌شود)

$\alpha_H$ : شتاب افقی ( $\text{cm/s}^2$ ) در سطح زمین که از رابطه (۱۰-۳) بدست می‌آید:

$$\alpha_H = 350 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (10-3)$$

شتاب پاسخ قائم برای هر مود  $A_V(T)$  بر اساس رابطه (۱۱-۳) بدست می‌آید:

$$A_V(T) = \beta_6 \cdot \alpha_V \quad (11-3)$$

$A_V(T)$ : شتاب پاسخ قائم در پریود طبیعی  $T$  (بر حسب  $\text{cm/s}^2$ )

$\beta_6$ : ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم (برای برج با پایه دامنی ۱/۵ و برای سایر سازه‌ها ۲ می‌باشد)

$\alpha_V$ : شتاب قائم ( $\text{cm/s}^2$ ) در سطح زمین که از رابطه (۱۲-۳) بدست می‌آید:

$$\alpha_V = 175 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (12-3)$$

## ۳-۷-۶-۲- 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

$\alpha_{HT}$ : شتاب افقی حداکثر روی سنگ بستر ( $\text{cm/s}^2$ )

$$\alpha_{HT} = 350 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \quad (13-3)$$

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

$$\alpha'_H = \alpha_H = 350 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (14-3)$$

$\alpha_H$ : شتاب افقی حداکثر روی سطح زمین در تحلیل طیفی ( $\text{cm/s}^2$ )

$\alpha'_H$ : شتاب افقی حداکثر روی سطح زمین در تحلیل تاریخچه زمانی ( $\text{cm/s}^2$ )

## ۳-۷-۶-۳- 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.

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

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

## ۳-۸-۱- 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 آن را تهدید می‌نماید.

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

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

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 این راهنما تحت عنوان بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی به صورت جابه‌جایی قائم و افقی محاسبه شده و مطابق با توزیع داده شده روی سازه مدفون اعمال می‌گردد.

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

### ۳-۸-۲- زمین لغزه

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

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

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

### ۳-۸-۳- گسلش

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

### ۳-۹- طبقه‌بندی خاک

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



### ۳-۱۰- ملاحظات روش بارگذاری و محاسبات نیروهای لوزه‌ای در تجهیزات مخابراتی

روش‌های محاسبات لوزه‌ای به ۳ دسته اصلی تقسیم شده‌اند که عبارتند از: روش شبه استاتیکی، روش پاسخ تغییر مکان و روش دینامیکی.

پاسخ لوزه‌ای بر اساس مشخصات زمین و سازه متفاوت است. سازه‌های روزمینی و زیرزمینی هم رفتار متفاوتی دارند. شاخص‌های مؤثر بر پاسخ ارتعاشی سازه‌ها را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱- مشخصات زمین

۲- جرم، میرایی و سختی سازه

۳- خصوصیات لوزه ورودی

با توجه به مورد فوق روش مناسب می‌باید اتخاذ شود.

جدول (۳-۵) روش‌های مناسب هر یک از تجهیزات را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵ روش‌های محاسبه لوزه‌ای مؤلفه‌های سامانه مخابرات

روش محاسبه لوزه‌ای		سازه	
سطح خطر ۲-	سطح خطر ۱-		
SCM یا RDM و در صورت نیاز DAM		دکل فلزی خطوط مخابرات	
SCM (اصلاح‌شده)، در صورت نیاز DAM		دکل‌های فلزی ارتباطات بی‌سیم	
SCM		پایه‌ها	
SCM		تجهیزات هوایی	
SCM و در صورت لزوم DAM	SCM	لوله روزمینی	
SCM	SCM	جهت عرضی	لوله متصل به پل
-	-	جهت طولی	
SCM و RDM در صورت لزوم DAM	SCM یا RDM	پوشش بتنی و شافت قائم	
RDM	RDM	جهت عرضی	تونل
RDM و در صورت لزوم DAM	RDM	جهت طولی	
RDM	RDM	جهت عرضی	کالورت
RDM و در صورت لزوم DAM	RDM	جهت طولی	
SCM و RDM و در صورت نیاز DAM		شافت، پوشش محافظ و مجاری کابل	
SCM و RDM		آدم‌رو	
SCM		تأسیسات الکتریکی و مکانیکی	

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



# فصل ۴

---

---

روش‌های طراحی لرزه‌ای

و کنترل ایمنی







## ۴-۱- طراحی لرزه‌ای

### ۴-۱-۱- کلیات

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

هدف از طراحی لرزه‌ای مؤلفه‌های سامانه مخابرات آن است که:

در زلزله بهره‌برداری در سطح خطر-۱ رفتار مصالح از محدوده ارتجاعی خارج نشده و بهره‌برداری آن‌ها بدون وقفه ادامه یابد.

در زلزله طرح در سطح خطر-۲ نیز علی‌رغم عبور رفتار مصالح از محدوده ارتجاعی، میزان شکل‌پذیری آن‌ها طوری محدود گردد که در آن‌ها گسیختگی به وجود نیامده و آسیب‌های محدود احتمالی نیز به سرعت قابل رفع (از طریق تعمیرات اضطراری) بوده و بهره‌برداری با حداقل وقفه ادامه یابد.

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

- آسیب فیزیکی که عضو ممکن است دچار تغییر شکل زیاد گردیده ولی ترکی که در آن عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد به وجود نیاید (آسیب).
- آسیب عملکردی که در اثر ترک یا جدایی روی داده و منجر به نشست مواد، اتصال کوتاه یا سایر موارد مشابه شده و عملکرد را مختل سازد (خرابی).
- آسیب سیستمی که در اثر ازدیاد و گسترش آسیب‌های عملکردی ادامه کار سامانه ممکن نبوده و متوقف گردد (ناپایداری).

## ۴-۲- اصول روش طراحی لرزه‌ای

به طور کلی مؤلفه‌های سامانه مخابرات بسته به سطح خطر استفاده شده، به یکی از روش‌های تنش مجاز (رفتار ارتجاعی) یا شکل‌پذیر (رفتار خمیری) طراحی می‌گردد.

روش تنش مجاز وقتی استفاده می‌شود که از سطح خطر-۱ استفاده شود.

برای حالتی که از سطح خطر-۲ استفاده می‌شود، طراحی لرزه‌ای به روش شکل‌پذیر انجام می‌گردد.

- در روش تنش مجاز، تنش‌ها نباید در اعضا از مقادیر مجاز، تجاوز کند. در غیر این صورت تغییر شکل‌های بازگشت‌ناپذیر بعد از زلزله در اعضاء باقی می‌ماند.
- در طراحی به روش شکل‌پذیر، تغییر شکل‌های پلاستیک که در اعضاء روی می‌دهد باید از مقادیر تغییر شکل‌های پلاستیک مجاز کمتر باشد. در این حالت عملکرد تجهیز در حین و بعد از زلزله با حداقل وقفه قابل بهره‌برداری خواهند بود.



## ۴-۲-۱- نحوه طراحی به روش تنش مجاز

## ۴-۱-۲- محاسبه تنش

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

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

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

## ۴-۱-۲-۳- بررسی تنش محاسباتی

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

## ۴-۱-۲-۴- مشخصات مصالح در طراحی به روش تنش مجاز

## ۱- سازه‌های بتنی و بتن مسلح

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

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

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

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

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

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

## ۲-۱- فولاد تقویتی

(الف) آرماتورهای آج‌دار

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

(ب) آرماتورهای صاف

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

(ج) مش‌های فولادی جوش شده

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

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



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

#### ۴-۱- تنش‌های مجاز

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

#### ۵-۱- تغییر شکل‌ها و خیزهای مجاز

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

#### ۲- سازه‌های فولادی

##### ۲-۱- مصالح

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

##### ۲-۲- پیچ‌ها

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

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

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

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

#### ۳- مقادیر مجاز کابل‌ها

مقاومت مجاز کابل‌ها بسته به تولید کننده آن متفاوت است. کنترل خرابی کابل تحت زلزله با آزمایش کشیدگی بررسی می‌شود.

#### ۴- اجزاء نگه‌دارنده و تکیه گاهی

طراحی اجزای نگه‌دارنده و تکیه‌گاهی تجهیز داخلی باید بر اساس تنش مجاز کوتاه مدت انجام شود.

مقاطع اعضای که تنها در حین زلزله عمل می‌کنند، باید با در نظر گرفتن تنش مجاز کوتاه مدت طراحی شوند و اعضای که بار دائم بر آن‌ها وارد می‌شود، باید برای ارضای تنش مجاز بلند مدت و نیز برای ارضای تنش کوتاه مدت در اثر بارهای دائم و زلزله طراحی گردند.

برای میلگردهای فولادی، تنش مجاز کوتاه مدت  $1/5$  برابر تنش مجاز بلند مدت است.

جدول ۴-۱ ترکیب بار به کاررفته مربوط به تنش‌های بلند و کوتاه مدت در تجهیزات داخلی

نیروی	بار هدف	تنش مجاز
نیروی بلند مدت	بار ثابت + بار زنده	تنش مجاز بلندمدت
نیروی کوتاه مدت	بار ثابت + بار زنده + بار لرزه‌ای	تنش مجاز کوتاه مدت

#### ۴-۲-۲- نحوه تحلیل لرزه‌ای برای روش طراحی شکل پذیر



## ۴-۲-۱- طراحی لرزه‌ای

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

## ۴-۲-۲- تحلیل پاسخ لرزه‌ای

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

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

۱- روش طراحی تغییر شکل پلاستیک نهایی

در سازه‌هایی که مُد اول ارتعاش در آن‌ها حاکم است. ضریب شکل‌پذیری را می‌توان با اعمال قانون انرژی ثابت برای مود خرابی احتمالی بدست آورد.

۱-۱- ضریب زلزله طراحی اصلاح شده

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

۱-۲- ضریب شکل‌پذیری

ضریب شکل‌پذیری  $\mu_p$  بخش آسیب دیده سازه را می‌توان با استفاده از رابطه (۱-۴) بدست آورد.

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

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

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

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

$C$ : ضریبی است که به صورت زیر به رفتار هیستریسیس در جذب انرژی و نیل به مد خرابی مورد نظر بستگی دارد:

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

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

$n$ : تعداد معادل سیکل‌های مناسب از منحنی هیستریسیس مربوطه می‌باشد. در صورتی که نتوان تعداد سیکل‌ها را

با استفاده از معادلات تفصیلی تعیین کرد، مقدار آن به صورت محافظه کارانه، یک در نظر گرفته می‌شود.

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

۱-۳- برآورد تغییر شکل‌های پلاستیک

در روش طراحی شکل‌پذیر در نهایت رابطه (۲-۴) باید ارضا شود:

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

$\mu_p$ : ضریب شکل‌پذیری عضو در معرض خرابی

$\mu_{pa}$ : ضریب شکل‌پذیری مجاز

۲- روش طراحی مقاومت تسلیم (برای سازه‌های قابی)



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

۱-۲- ضریب زلزله اصلاح شده طراحی

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

۲-۲- ضریب مشخصه سازه‌ای

ضریب مشخصه سازه‌ای  $D_S$  از رابطه (۳-۴) یا از مقادیری که در آئین‌نامه‌های دیگر آمده است، بدست می‌آید.

$D_S$  در محدوده بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ متغیر است.

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

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

۳-۲- ظرفیت لرزه‌ای

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

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

$Q_u$ : ظرفیت لرزه‌ای

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

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

$W_0$ : وزن بهره برداری سازه مورد نظر

۴-۲- ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

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

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

$Q_{un}$ : ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

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

$K_{MH}$ : ضریب زلزله افقی اصلاح شده

$W_0$ : وزن عملیاتی سازه

۵-۲- برآورد ظرفیت لرزه‌ای مورد نیاز

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

۳- تحلیل پاسخ مودال خطی

برای اعضای غیر خطی که از ظرفیت جاری شدن تجاوز می‌کنند، تحلیل پاسخ خطی معادل با کاهش سختی از سختی

الاستیک (بسته به درجه غیر خطی بودن و ضریب میرایی معادل)، انجام می‌گردد.

تحلیل پاسخ مودال خطی با استفاده از تحلیل پاسخ شتاب بر اساس گام‌های (الف) تا (و) زیر انجام می‌شود:

(الف) طیف شتاب قائم و افقی طراحی بر اساس رابطه‌های (۴-۶) و (۴-۷) محاسبه می‌گردد:



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

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

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

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

$\beta_1$ : ضریب اهمیت با استفاده از جدول (۱-۳)

$\beta_2$ : نسبت شتاب مبنای طرح با استفاده از جدول (۴-۳)

$\beta_5$ : ضریب بزرگنمایی پاسخ افقی (برای سهولت و با محافظه کاری، برای پیوندهای کمتر از  $0/3$  ثانیه،  $1/5$  و

برای پیوندهای بزرگتر از  $0/3$  ثانیه،  $0/75$  در نظر گرفته می‌شود)

$\beta_6$ : ضریب بزرگنمایی پاسخ قائم (برای برج با پایه دامنی  $1/5$  و برای سایر سازه‌ها  $2$  می‌باشد)

(ب) سختی عضو باید بر اساس درجه غیر خطی بودن سازه کاهش یابد.

(ج) ضریب میرایی معادل مربوط به انرژی کرنشی خمیری از تحلیل غیر خطی سازه بدست می‌آید.

(د) مقادیر پاسخ  $R$  مانند نیروی برشی، لنگر، شتاب و تغییر مکان‌های لازم برای طراحی برای هر مود ارتعاشی، از روش

جزر مجموع مربعات بدست می‌آید.

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

که در آن  $R_i$  اندازه پاسخ مود  $i$  ام است.

(ه) جابه‌جایی پاسخ را باید از اندازه پاسخ عضو بدست آورد.

(و) اطمینان حاصل کنید که ضریب شکل پذیری که از (ه) بدست می‌آید، از ضریب تغییر شکل مجاز تجاوز نکند.

۴- تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی غیر خطی

تحلیل پاسخ تاریخچه زمانی به صورت زیر انجام می‌شود.

(الف) مشخصات بار- تغییر مکان سازه بر اساس مدل هیستریک غیر خطی بوده و نتایج مربوط به هر زمان مورد

نظر مستقیماً از تحلیل تاریخچه زمانی بدست می‌آید.

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

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

(د) ضریب شکل پذیری بدست آمده نباید از ضریب شکل پذیری مجاز بیشتر باشد.

۵- روش پاسخ تغییر مکان

این روش با طی کردن گام‌های (الف) تا (د) که در زیر توضیح داده شده است، انجام می‌گردد.

(الف) تغییر مکان نقاط با تغییر مکان معین، همان تغییر مکان پاسخ در تکیه‌گاه‌ها یا تغییر مکان پی ناشی از حرکت

زمین، می‌باشد.

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

(ج) ضریب شکل پذیری با استفاده از نتایج تغییر شکل عضو بدست می‌آید.



(د) ضریب شکل پذیری، نباید از مقدار مجاز ضریب شکل پذیری تجاوز کند.

#### ۴-۲-۳- ضریب شکل پذیری

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

#### ۴-۲-۴- ضریب شکل پذیری مجاز

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

#### ۴-۲-۵- برآورد ضریب تغییر شکل خمیری

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

### ۴-۳- ملاحظات طراحی در انتخاب جنس، ابعاد و شکل مصالح

#### ۴-۳-۱- دکل

۱- دکل فلزی: نوع فولاد مصالح دکل یا پایه فلزی باید توسط کارفرما مورد تأیید قرار گیرد. اعضای فلزی باید شرایط جدول (۴-۲) را تأمین نمایند.

جدول ۴-۲ ضریب لاغری اعضای فلزی دکل

نگهدارنده	عضو	ضریب لاغری
پایه فلزی دکل فلزی	پایه اصلی و بازو	۲۰۰ یا کمتر
	سایر اعضا که به عنوان عضو فشاری استفاده می‌شوند.	۲۲۰ یا کمتر
	تمامی اعضای یدکی فشاری	۲۵۰ یا کمتر



جدول ۳-۴ حداقل ضخامت اعضای دکل فلزی

حداقل ضخامت (mm)	عضو	نگه‌دارنده	
۱ یا بیشتر	اعضای تیرک	پایه فلزی ساخته شده از ورق	پایه فلزی
۲ یا بیشتر	اعضای تیرک	پایه فلزی ساخته شده از لوله	
۴ یا بیشتر	پایه اصلی، بازوها	سایر پایه‌های فلزی	
۳ یا بیشتر	سایر اعضا		
۲/۴ یا بیشتر	پایه اصلی و بازوها	دکل فلزی ساخته شده از لوله	دکل فلزی
۱/۶ یا بیشتر	سایر اعضا		
۵ یا بیشتر	پایه اصلی و بازوها	سایر دکل‌ها	
۳ یا بیشتر	سایر اعضا		

۲- پیچ‌ها: پیچ‌های مورد استفاده در دکل‌ها باید توسط کارفرما تأیید شود.

#### ۴-۳-۲- مجاری

مصالح و اتصالات مجرا باید علاوه بر تحمل بارهای عادی، بارها و تغییر مکان‌های ناشی از زلزله را نیز تحمل نمایند.

نیروهای محوری فشاری و کششی، خمش و برش ناشی از تغییر شکل زمین و جابه‌جایی نسبی ایجاد شده در لوله حین زلزله باید در طراحی به حداقل رسانده شود.

در جدول (۴-۴) مشخصات استاندارد مصالح خطوط لوله انتقال ارائه شده است. که شامل مصالح FRP، لوله فولادی جوشی، PVC و اتصالات لاستیکی حلقوی می‌باشد.

جدول ۴-۴ مشخصات مصالح لوله

مشخصات مصالح	مصالح لوله
۱- دارای مقاومت زیادی در مقابل نیروهای فشاری و خمشی می‌باشند. ۲- مقاومت در برابر سایش به دلیل وجود پوشش داخلی پلی‌اتیلن و رزین بالا است. ۳- اتصالات فلنجی یا اتصال مکانیکی ضد زلزله می‌باشند.	PFP, FRP
۱- مقاومت بالا، چقرمگی و ضربه‌پذیری بالا، پتانسیل خوردگی الکتریکی زیاد بوده و بهتر است با پوشش وینیل محافظت شود. ۲- اتصالات جوشی مقاومت زیادی در برابر تغییر مکان کشش و خمش دارند. ۳- وزن لوله زیاد و اجرای اتصالات نیاز به ملاحظات اجرایی خاص دارد.	فولاد
۱- مقاومت کمتری از دو حالت فوق داشته و در دمای پایین، شکننده است. مقاومت در برابر خوردگی زیاد است. دارای ضعف در برابر حلال‌های آلی، حرارت و اشعه ماورای بنفش است. ۲- اتصالات لاستیکی حلقوی در تغییر شکل‌های زیاد زلزله جدا می‌شوند. اتصالات مقطع متغیر TS در زلزله‌ها، سابقه خسارات زیادی دارند. ۳- وزن سبک و اجرای آسان	PVC

۱- مصالح لوله برای خطوط لوله با قطعات گسسته

۱-۱- خصوصیات لوله FRP عبارتند از:

- مشخصات مکانیکی خوب

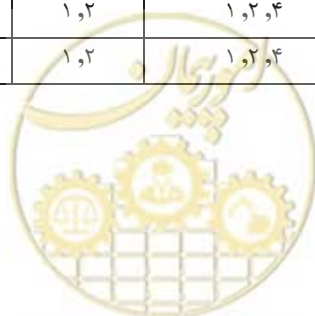




- حساسیت کم نسبت به حرارت
  - مقاوم در برابر ضربه
  - عایق خوب
  - انبساط حرارتی کم
  - هوازگی ناچیز
  - عدم آلودگی محیط زیست
  - امکان تولید در قطرهای بالا
  - نصب آسان
  - تعمیر آسان
- ۱-۲- خصوصیات لوله‌های PFP عبارتند از:
- هوازگی و خوردگی کم
  - سبک
  - ظرفیت تغییر شکل بالا
  - آب‌بند
  - مقاومت در برابر حرارت در کابل‌های حرارت‌زا
  - مناسب برای اتصال به سازه
  - اصطکاک کم
  - عایق
  - قابلیت خم کردن آسان

جدول ۴-۵ ابعاد لوله‌های PRP

خم		مستقیم		قطر (mm)
شعاع انحناء (m)	طول (m)	طول (m)	طول (m)	
۶,۵, ۸, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵	۱,۲	۱,۲, ۴	۱,۲, ۴	۱۰۰
۵, ۶, ۸, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵	۱,۲	۱,۲, ۴	۱,۲, ۴	۱۲۵
۵, ۶, ۸, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵, ۳۵	۱,۲	۱,۲, ۴	۱,۲, ۴	۱۳۰
۵, ۶, ۸, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵, ۳۵	۱,۲	۱,۲, ۴	۱,۲, ۴	۱۵۰
۵, ۶, ۸, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵, ۳۵	۱,۲	۱,۲, ۴	۱,۲, ۴	۲۰۰
۵, ۶, ۸, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵, ۳۵	۱,۲	۱,۲, ۴	۱,۲, ۴	۲۵۰
۵, ۶, ۸, ۱۰, ۱۵, ۲۰, ۲۵	۱,۲	۱,۲, ۴	۱,۲, ۴	۳۰۰



جدول ۴-۶ مشخصات لوله‌های PFP

وزن (کیلوگرم)	اتصال					بدنه لوله					نوع
	طول خارجی $S_2$	طول داخلی $S_1$	قطر خارجی $D_2$	ضخامت $T_1$	قطر داخلی $d_2$	طول لوله $L$	طول خارجی اتصال $D_1$	طول اتصال $I$	ضخامت $T$	شعاع داخلی $d_1$	قطر اسمی
۹ ۱۶ ۳۱	۱۳۰	۸۰	۱۵۰	۱۰	۱۳۰	۱۰۰۰ ۲۰۰۰ ۴۰۰۰	۱۲۰	۸۳	۱۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۱ ۱۸ ۳۵	۱۳۰	۸۰	۱۷۵	۱۰	۱۵۵		۱۴۵	۸۳	۱۰	۱۲۵	۱۲۵
۱۲ ۱۹ ۳۷	۱۳۰	۸۰	۱۸۰	۱۰	۱۶۰		۱۵۰	۸۳	۱۰	۱۳۰	۱۳۰
۱۴ ۲۶ ۵۱	۱۳۰	۸۰	۲۰۸	۱۲	۱۸۴		۱۷۴	۸۳	۱۲	۱۵۰	۱۵۰
۲۴ ۴۴ ۸۵	۱۵۰	۱۰۰	۲۷۰	۱۵	۲۴۰		۲۳۰	۱۰۳	۱۵	۲۰۰	۲۰۰
۳۶ ۶۶ ۱۲۷	۱۵۰	۱۰۰	۳۳۲	۱۸	۲۹۶		۲۸۶	۱۰۳	۱۸	۲۸۰	۲۵۰
۵۲ ۹۵ ۱۸۰	۲۰۰	۱۲۰	۳۹۸	۲۱	۳۵۶		۳۴۲	۱۲۳	۲۱	۳۰۰	۳۰۰

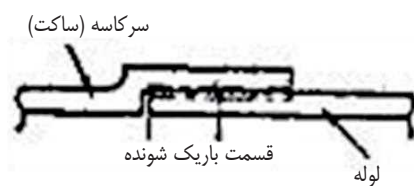


جدول ۴-۷ مصالح و اتصالات PFP

قطر	اتصال	اتصال لوله متفاوت برای لوله GP	اتصال لوله متفاوت برای FRP	اتصال لوله متفاوت برای AS
۱۰۰	○	○	—	—
۱۲۵	○	○	○	○
۱۳۰	○	—	—	—
۱۵۰	○	○	○	○
۲۰۰	○	○	○	—
۲۵۰	○	—	—	—

۲- مصالح لوله برای خطوط لوله با قطعات پیوسته

عملکرد این نوع خطوط لوله، جذب تغییر مکان توسط بدنه لوله می‌باشد. به عبارت دیگر لوله‌های فولادی جوش شده و لوله PVC با اتصال سرکاسه‌ای (اتصال TS) برای این نوع خطوط بکار برده می‌شوند.



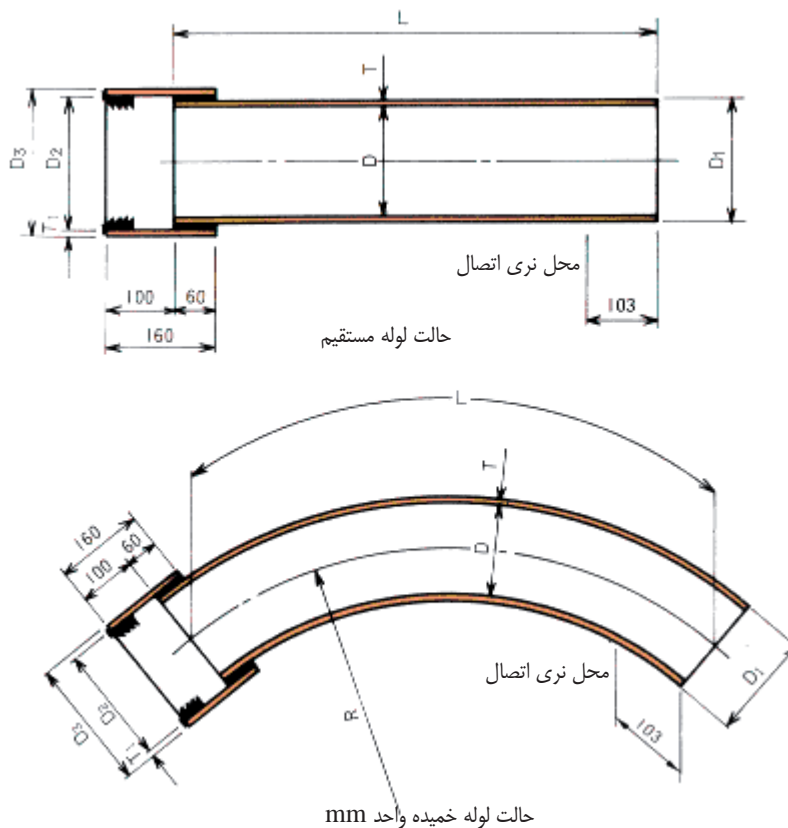
شکل ۴-۱ اتصال لوله پلیمری

۳- عملکرد مصالح لوله

۳-۱- لوله‌های PFP و FRP

لوله‌های FRP عملکرد مناسبی در زلزله دارند این عملکرد با استفاده از اتصالات PFP بهبود می‌یابد.





شکل ۴-۲ شکل لوله PFP قبل و بعد از اثر زلزله

جدول ۴-۸ ابعاد لوله PFP

وزن		L		D3	T1	D2	D1	T	D	قطر اسمی
اتصال (kg)	بدنه لوله (kg/m)	خم	مستقیم							
۰,۴۴	۲,۴	۱۰۰۰ ۲۰۰۰	۴۰۰۰ ۲۰۰۰	۱۲۴	۴	۱۱۶	۱۰۸	۴	۱۰۰	۱۰۰
۰,۵۳	۲,۹			۱۴۹	۴	۱۴۱	۱۳۳	۴	۱۲۵	۱۲۵
۰,۵۴	۳,۰			۱۵۴	۴	۱۴۶	۱۳۸	۴	۱۳۰	۱۳۰
۰,۶۲	۳,۵			۱۷۴	۴	۱۶۶	۱۵۸	۴	۱۵۰	۱۵۰
۰,۹۰	۵,۱			۲۰۳	۵	۱۹۳	۱۸۵	۵	۱۷۵	۱۷۵
۱,۰۱	۵,۸			۲۲۸	۵	۲۱۸	۲۱۰	۵	۲۰۰	۲۰۰
۱,۲۴	۷,۲			۲۷۸	۵	۲۶۸	۲۶۰	۵	۲۵۰	۲۵۰
۱,۷۸	۱۰,۴			۳۳۴	۶	۳۲۲	۳۱۲	۶	۳۰۰	۳۰۰
۲,۴۱	۱۴,۱			۳۸۸	۷	۳۷۴	۳۶۴	۷	۳۵۰	۳۵۰

۳-۲- لوله‌های فولادی

لوله‌های فولادی مقاومت و شکل‌پذیری و چقرمگی بالایی دارند و در قطرهای مختلف، طول‌های زیاد و خم‌های مختلف تولید می‌شوند.



اتصالات آن به صورت جوشی بوده و کلاً نیاز به حفاظت در برابر خوردگی دارند. برای این منظور از پوشش‌های مسی ضد خوردگی هم استفاده می‌شود.

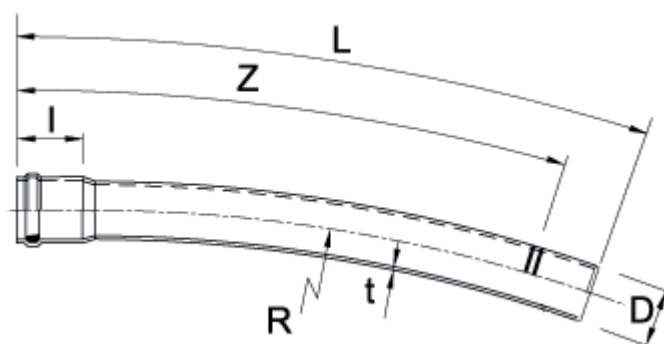
اتصالات جوشی دو نوع نفوذی و گوشه دارند که نوع گوشه فقط برای اتصالات T شکل استفاده می‌شود.

جدول ۴-۹- مشخصات لوله فولادی پوشش دار

کشیدگی		نقطه تسلیم	مقاومت کششی	نوع
در جهت عرضی	در جهت مستقیم	$N/mm^2$	$N/mm^2$	
$25 >$	$30 >$	-	$290 >$	STW 290
$25 >$	$30 >$	$215 >$	$370 >$	STW 370
$18 >$	$30 >$	$225 >$	$400 >$	STW 400

### ۳-۳- لوله PVC

لوله‌های PVC معمولاً در قطرهای کم بکار می‌روند و قطر معمول آن‌ها ۷۵mm می‌باشد. این لوله‌ها سبک و بسیار عایق بوده و در برابر خوردگی مقاوم می‌باشند. اما در برابر حرارت ضعیف عمل می‌کنند. در جدول (۴-۱۰) مشخصات این لوله ارائه شده است.



شکل ۴-۳ شکل لوله PVC

جدول ۴-۱۰ مشخصات لوله PVC

توضیحات	مقدار	واحد	روش	نام آزمایش	
	۱/۴		JIS X-7112	وزن مخصوص	فیزیکی
	۱۰۰-۱۱۰		X-7215	سختی	
	۰/۰۶-۰/۰۴	mg/cm <sup>2</sup>	X-7209	جذب	
15C	۵۸-۵۳	N/mm <sup>2</sup>	JIS X-7113	مقاومت کششی	مکانیکی
	۵۰-۱۵۰	%	X-7113	کشیدگی	
15C	۰/۲۷×۱۰ <sup>۴</sup>	N/mm <sup>2</sup>	X-7113	مدول ارتجاعی کششی	
	۶۵	N/mm <sup>2</sup>	X-7208	مقاومت فشاری	
	۰/۳۵-۰/۴۰		X-7113	ضریب پواسون	
15C	۸۰۰-۱۰۰	N/mm <sup>2</sup>	X-7203	مقاومت خمشی	
	۰/۲۸×۱۰ <sup>۴</sup>	N/mm <sup>2</sup>	X-7203	مدول ارتجاعی خمشی	
	۶-۸×۱۰ <sup>-۵</sup>	/C	X-7112	ضریب انبساط	حرارت
30C	۰/۸۵-۱/۱۷	J / gK		گرمای ویژه	
	۰/۲۰-۰/۲۱	W / mK		رسانایی حرارتی	

جدول ۴-۱۱ ابعاد لوله PVC

قطر اسمی	t	R	Z	D	L	I
۱۵۰	۲۲۵	۱۱۶۵	۱۶۵	۱۰۰۰	۵۰۰۰ ۱۰۰۰۰	۸.۹

## ۴-۳- کالورت جعبه‌ای

کالورت جعبه‌ای بتنی از دیگر مجاری عبور خطوط کابلی است. این نوع مجرا مقاومت خوبی در زلزله ندارد. نمونه این کالورت‌ها در شکل (۴-۴) نشان داده شده است.





شکل ۴-۴ نمونه‌ای از کالورت جعبه‌ای بتنی

## ۴-۳-۳- اتصالات مجاری

اتصالات مجاری باید طوری طراحی شود که تحمل تغییر مکان‌های ناشی از زلزله را داشته باشد. در شکل (۴-۵) انواع اتصال مجاری به آد مروها، پل‌ها و اتصال در خاک‌های نرم نشان داده شده است.

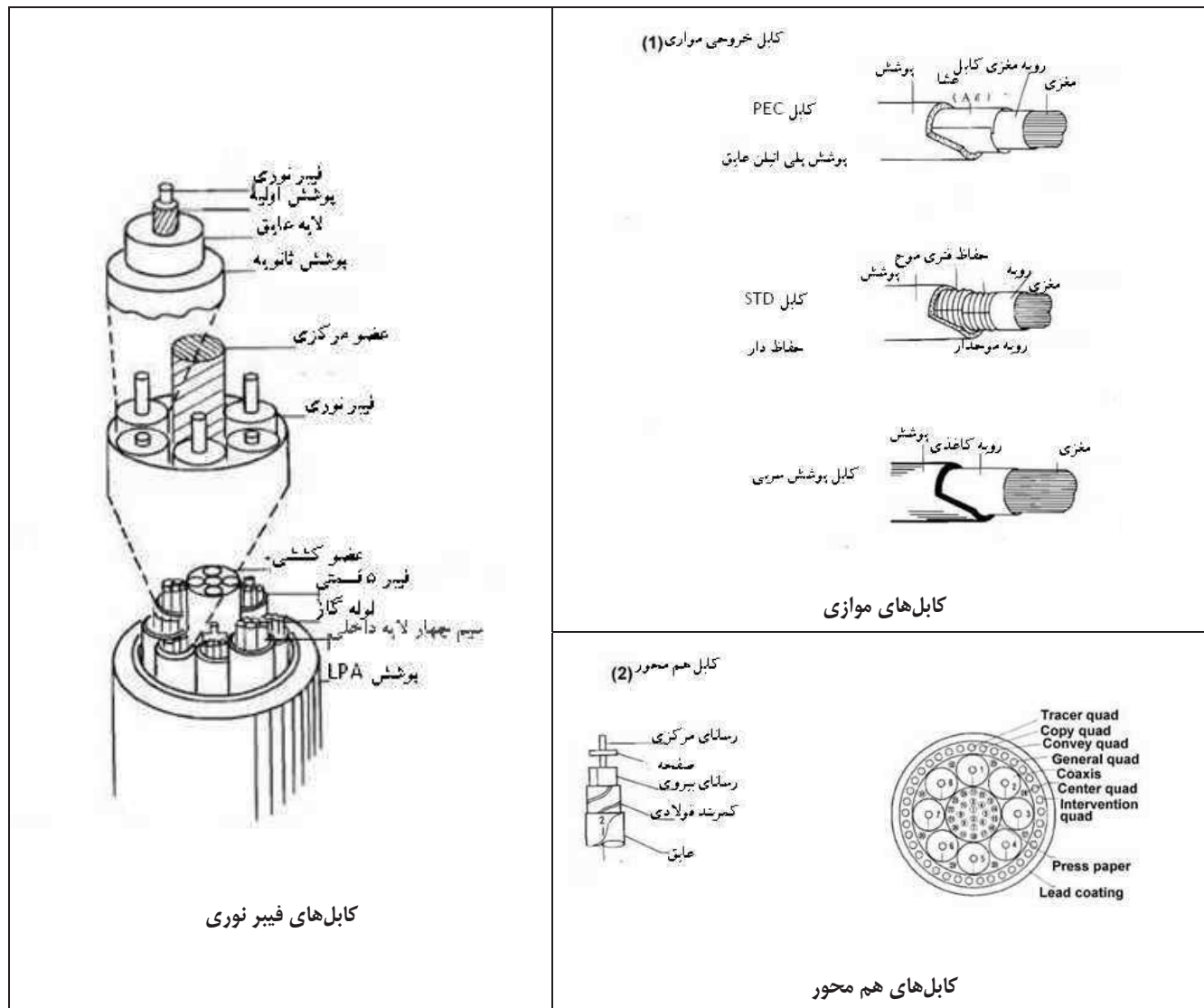
کاربرد	سازه	نام
اتصال قطعات به آد مرو		اتصال پوششی
اتصال قطعات به بتن محافظ		اتصال انعطاف‌پذیر
اتصال تکیه‌گاه‌ها		اتصال ضد بیرون کشیدگی
اتصال پل‌ها		اتصال به پل

شکل ۴-۵ اتصالات ضد لرزه‌ای مجرای کابل



۴-۳-۴- کابل‌ها

مطابق شکل سه نوع کابل موازی، هم محور و فیبر نوری در شبکه‌های مخابرات استفاده می‌شود.



شکل ۴-۶ انواع کابل‌های موازی و هم محور و فیبر نوری



# فصل ۵

---

---

## طراحی لرزه‌های و کنترل ایمنی تجهیزات هوایی شبکه مخابرات





## ۵-۱- طراحی لرزه‌ای

در این فصل طراحی لرزه‌ای تجهیزات زیر ارائه شده است:

- دکل‌های مخابراتی
- برج‌های ارتباطات بی سیم
- پایه‌ها
- تجهیزات هوایی

تمامی این سازه‌ها حسب مورد به طرق استاتیکی یا دینامیکی برای دو سطح خطر ۱ و ۲ بارگذاری و تحلیل می‌شوند. در سطح خطر-۱ از روش تنش مجاز و در سطح خطر-۲ از روش شکل‌پذیر برای طراحی و کنترل استفاده می‌گردد.

### ۵-۱-۱- دکل

- ✓ ایمنی لرزه‌ای این سازه‌ها با در نظر گرفتن ویژگی‌های ساخت‌گاه، خود دکل و پی آن، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
- ✓ طراحی دکل‌ها به طور معمول با استفاده از روش شبه استاتیکی صورت می‌پذیرد.
- ✓ استفاده از تحلیل دینامیکی در شرایط خاص جغرافیایی، سازه‌ای و ژئوتکنیکی توصیه می‌شود.
- ✓ در دکل‌های فلزی گاهی تنش‌های حاصل از زلزله، از مقادیر متناظر ناشی از بار باد در جان اعضای فوقانی دکل فراتر می‌رود.
- ✓ دکل‌های ایمن در برابر باد در برابر زلزله هم عملکرد مناسبی دارند مگر در حالاتی که زلزله منجر به ناپایداری پی دکل گردد.
- ✓ بر اساس بررسی اولیه، نوع و ابعاد سازه جهت تعیین خصوصیات لرزه‌ای آن مشخص می‌شود.
- ✓ طراحی اولیه می‌تواند تحت ترکیب بارهای بهره برداری با بار باد انجام شود.
- ✓ برای طراحی لرزه‌ای دکل و پی روزمینی، نیروی اینرسی مورد محاسبه قرار می‌گیرد.
- ✓ برای شالوده مدفون بجای نیروی اینرسی از تغییر مکان بدست آمده از روش پاسخ تغییر مکان استفاده می‌شود.
- ✓ در صورتی که به هر دلیل روش‌های شبه استاتیکی قابل استفاده نباشد از تحلیل دینامیکی استفاده می‌گردد.
- ✓ در اغلب زلزله‌ها شتاب قائم حداقل، نصف شتاب افقی بوده است.
- ✓ اثر شتاب قائم در پاسخ لرزه‌ای کلی دکل‌ها عموماً قابل صرف‌نظر است، اما در طراحی لرزه‌ای بازوها، نصف شتاب افقی باید به عنوان شتاب قائم در نظر گرفته شود.
- ✓ دکل و پی آن را می‌توان با توجه به موارد زیر به طور مجزا محاسبه نمود:
- ✓ از آنجایی که سختی سازه نسبت به پی کمتر می‌باشد، هیچ تفاوتی در پریود طبیعی و شکل مد دکل با پی صلب و سیستم دکل پی زمین وجود ندارد.
- نتایج تحلیل جداگانه پی و دکل با نتایج تحلیل یکپارچه سیستم دکل-پی- خاک تفاوت چندانی ندارد.

- پربود طبیعی دکل بر اساس نوع، ارتفاع و خصوصیات ارتعاشی آن، در جهت خط انتقال و عمود بر آن متفاوت است.

### ۵-۱-۲- برجهای ارتباطات بی‌سیم

- ✓ برجهای فلزی ارتباطات بی‌سیم معمولاً روی بام ساختمان‌ها قرار گرفته و رفتار لرزه‌ای آن‌ها با رفتار ساختمان مرتبط است.
- ✓ این برجهای فلزی به طور عمده از فلز و به ویژه فولاد می‌باشند.
- ✓ سیستم باربر این برجهای خرپای فضایی است.
- ✓ با توجه به سبکی برجهای مربوطه در مقایسه با سطح بادگیر، بار باد تعیین‌کننده‌تر از بار زلزله در طراحی می‌باشد.

### ۵-۱-۳- پایه‌ها

- ✓ پایه‌های مخابراتی ممکن است از مصالح مختلف نظیر فولاد، بتن یا چوب باشد.
- ✓ بارهای اصلی وارده عبارتند از:
  - بار باد: نیروهای عمود بر مسیر خط کابل، حداکثر بار را در پایین پایه و در پی آن ایجاد می‌کند.
  - نیروی کشش کابل: نیروی کشش کابل در امتداد محور به پایه وارد می‌شود.
  - نیروی قائم: وزن پایه، وزن اتصالات و کابل‌ها، نیروهای قائم وارد بر پایه را تشکیل می‌دهند.
  - نیروی زلزله: نیروی زلزله برای پایه‌ها به صورت بار ثانویه در نظر گرفته می‌شود.
- ✓ در این سازه‌ها معمولاً بار باد از زلزله بیشتر است.
- ✓ برای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای این پایه‌ها از روش شبه استاتیکی استفاده می‌شود.
- ✓ فاصله از سایر کابل‌ها و ارتفاع از سطح زمین باید در طراحی در نظر گرفته شود.

### ۵-۱-۴- تجهیزات هوایی

- با سه روش اتصال آویز، اتصال مستقیم و اتصال با ورق نشیمن تجهیزات هوایی روی دکل و پایه نصب می‌شوند.
- حرکات نوسانی تجهیزات نصب شده، باید در طراحی اتصال در نظر گرفته شود.
- اتصالات فلزی و پیچی نصب تجهیزات معمولاً تحمل شتاب بیش از شتاب ثقل را در زلزله دارا می‌باشند.
- برای بارگذاری لرزه‌ای این تجهیزات از روش شبه استاتیکی استفاده می‌شود.
- طراحی تجهیزات هوایی خطوط توزیع نیز در سه بخش انجام می‌پذیرد:
  - طراحی قسمت‌های آویزان و سیم یا کابل که در آن مقاومت کششی سیم بر اساس نوع کابل‌ها انتخاب می‌شود.
  - طراحی پایه که بر اساس نوع و تعداد کابل‌ها متفاوت است.
  - طراحی انشعاب‌ها که بر اساس نیروهای نامتعادل وارده بر پایه با توجه به نوع و تعداد کابل‌ها، انجام می‌شود.



## ۲-۵ - محاسبات

## ۱-۲-۵ - دکل‌ها

## ۱-۱-۲-۵ - محاسبه پریود طبیعی

پریود طبیعی دکل فلزی را می‌توان از روابط (۱-۵) و (۲-۵) محاسبه نمود:

در جهت مسیر خط

$$T_0 = 1.23X^{0.29} \quad (1-5)$$

در جهت عمود بر مسیر خط

$$T_0 = 1.14X^{0.29} \quad (2-5)$$

که در آن:  $T_0$  پریود ارتعاش طبیعی بر حسب ثانیه بوده و  $X$  از رابطه (۳-۵) بر حسب ثانیه بدست می‌آید:

$$X = \sqrt{\frac{(W_T + W_C)H^2}{g \cdot E \cdot I_B}} \quad (3-5)$$

$W_T$ : وزن دکل بر حسب تن که شامل بدنه، بازوها و سیم و کلیه ملحقات می‌باشد.

$W_C$ : وزن مؤثر سیم بر حسب تن مطابق جدول (۴-۵)

$H$ : ارتفاع دکل بر حسب متر

$g$ : شتاب ثقل بر حسب  $m/s^2$

$E$ : مدول ارتجاعی مصالح فلزی دکل  $ton/m^2$

$I_B$ : ممان اینرسی خمشی دکل در محل اعمال خمش  $m^4$

جدول ۱-۵ نحوه تعیین وزن مؤثر سیم

نوع	جهت زلزله ورودی	وزن مؤثر (درصد وزن کل)
معلق	در جهت مسیر	۰
	عمود بر جهت مسیر قائم	۰
کششی	در جهت مسیر	۵۰٪
	عمود بر جهت مسیر قائم	۰



## ۲-۱-۲-۵- تعیین نیروی برشی و لنگر خمشی مربوط به ترازهای مختلف دکل

۱- نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از زلزله در دکل فولادی در مسیر خط و عمود بر آن از روابط (۴-۵) و (۵-۵) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = C_{Si} \cdot W_i \quad (۴-۵)$$

$$M_i = C_{Mi} \cdot W_i \cdot H_i \quad (۵-۵)$$

$Q_i$ : نیروی برش طبقه در ارتفاع  $h_{bi}$  از تراز پایه دکل بر حسب تن  
 $M_i$ : لنگر خمشی طبقه در ارتفاع  $h_{bi}$  از تراز پایه دکل بر حسب تن متر  
 $C_{Mi}$ ,  $C_{Si}$ : ضرایب برش و لنگر طبقه در ارتفاع  $h_{bi}$  از تراز پایه دکل بر حسب تن

$$W_i = \sum_{j=1}^i W_j \quad (۶-۵)$$

$W_i$ : وزن دکل از تراز مورد نظر تا قسمت فوقانی

$H_i$ : فاصله بین  $h_{bi}$  تا مرکز ثقل قسمت فوقانی  $h_{bi}$  بر حسب متر

$$H_i = \sum_{j=1}^i W_j (h_{bj} - h_{bi}) / W_i \quad (۷-۵)$$

$h_{bi}$ : ارتفاع از پایه دکل تا قسمت مورد نظر

$h_{bj}$ : ارتفاع از پایه دکل تا پانل  $j$  بر حسب متر

$W_j$ : وزن پانل  $j$  بر حسب تن

ضریب برش طبقه و ضریب لنگر طبقه از روابط (۸-۵) و (۹-۵) بدست می‌آیند.

$$C_{Si} = R_S \cdot A_{Si} \cdot K_H \quad (۸-۵)$$

$$C_{Mi} = R_M \cdot A_{Mi} \cdot K_H \quad (۹-۵)$$

$R_M$ ,  $R_S$ : ضرایب پاسخ برای محاسبه ضرایب برش و لنگر طبقه

$A_{Mi}$ ,  $A_{Si}$ : ضرایب توزیع برش و لنگر طبقه

$K_H$ : ضریب زلزله افقی طرح (بر اساس پیوست این راهنما تحت عنوان بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی)

۲- نیروی برشی و لنگر بازوها در هر جهت نیز با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید.  
 در مسیر خط و عمود بر آن:

$$Q_{Ai} = A_{ASi} \cdot R_S \cdot K_H \cdot W_{Ai} \quad (۱۰-۵)$$

$$M_{Ai} = A_{AMi} \cdot R_M \cdot K_H \cdot W_{Ai} \quad (۱۱-۵)$$

در جهت قائم

$$Q_{Ai} = A_{ASi} \cdot K_V \cdot W_{Ai} \quad (۱۲-۵)$$

$$M_{Ai} = A_{AMi} \cdot K_V \cdot W_{Ai} \cdot l_x \quad (۱۳-۵)$$



$Q_{Ai}$ : نیروی برشی بازو در تراز  $h_{bi}$  از پایه دکل بر حسب تن که در جهت بازو ثابت فرض می‌شود.

$M_{Ai}$ : لنگر برشی بازو در تراز  $h_{bi}$  از پایه دکل بر حسب تن متر

$A_{Ami}$ ،  $A_{Asi}$ : ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو

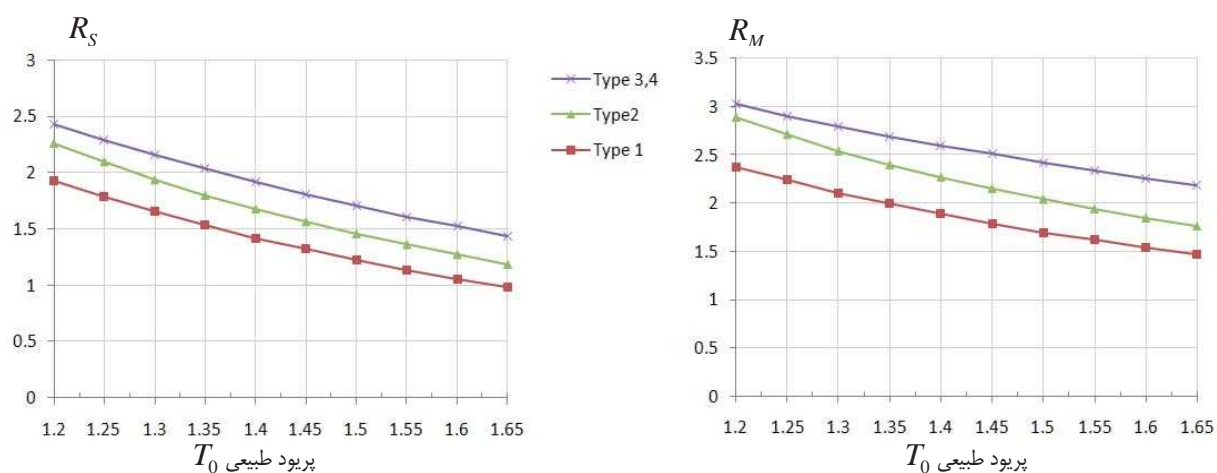
$W_{Ai}$ : وزن بازو شامل وزن قسمت‌های الحاقی بر حسب تن

$l_x$ : طول بازو از ابتدا تا انتها بر حسب متر

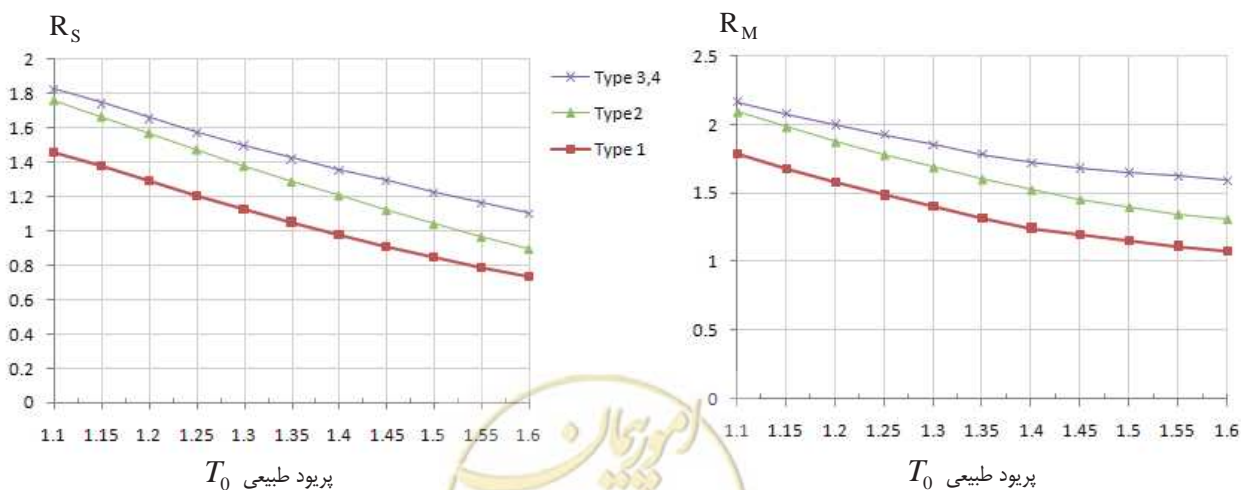
$K_V$ : ضریب زلزله در جهت قائم  $K_H$   $\frac{1}{4}$  فرض می‌شود.

### ۵-۲-۱-۳- تعیین ضریب پاسخ برای محاسبه ضریب برش و لنگر طبقه

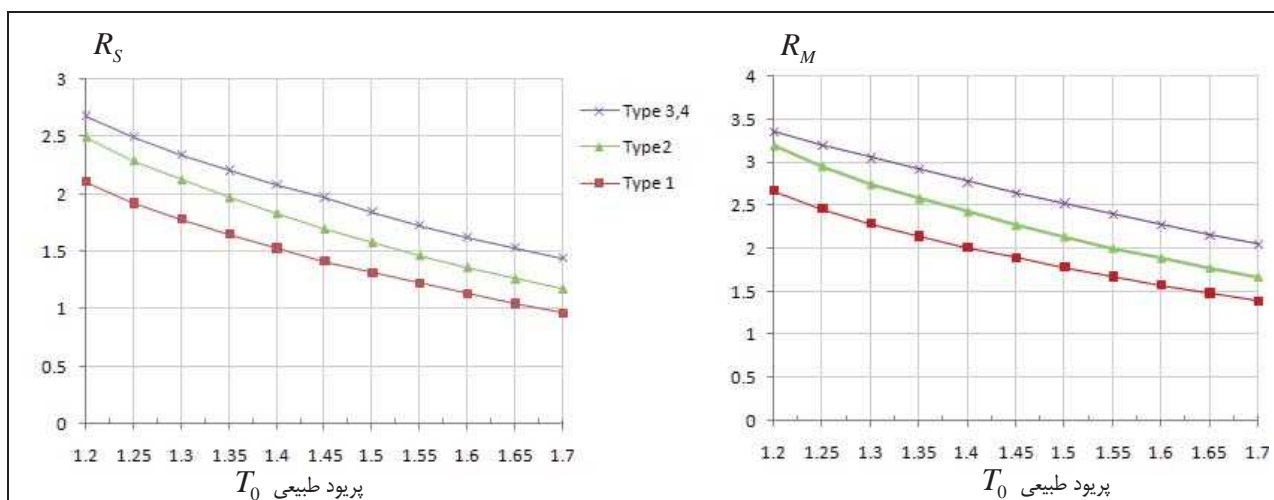
ضرایب پاسخ،  $R_s$  مربوط به ضریب برش طبقه و  $R_m$  مربوط به ضریب لنگر طبقه با استفاده از نمودارهای زیر بر اساس پریود طبیعی  $T_0$  و نوع زمین تعیین می‌شوند.



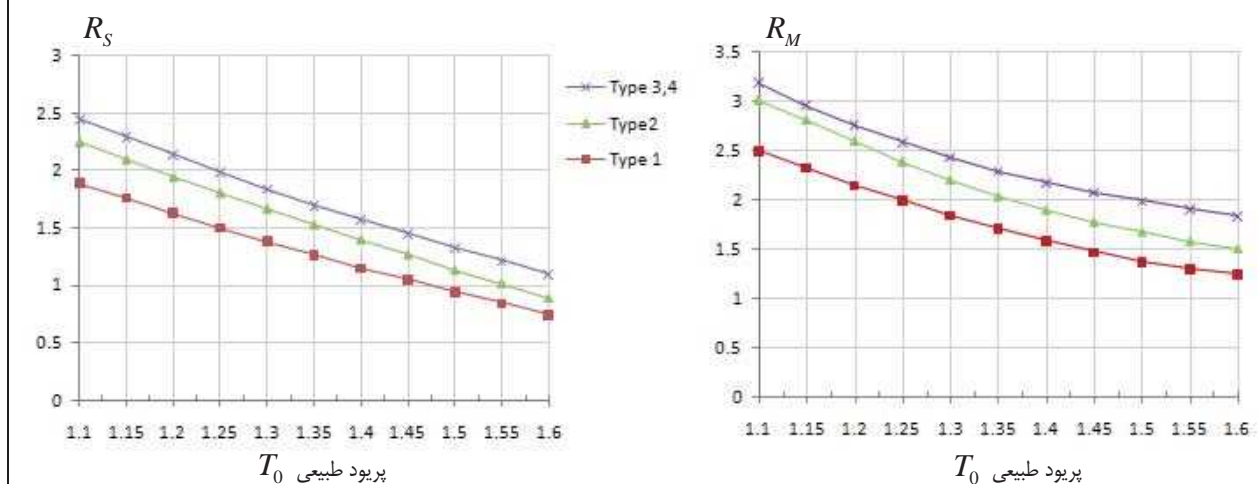
شکل ۱-۵ ضرایب  $R_s$  و  $R_m$  مربوط به دکل دو طرف آویز در جهت خط انتقال



شکل ۲-۵ ضرایب  $R_s$  و  $R_m$  مربوط به دکل دو طرف آویز در جهت عمود بر خط انتقال



شکل ۳-۵ ضرایب  $R_m$  و  $R_s$  مربوط به دکل کششی در جهت خط انتقال



شکل ۴-۵ ضرایب  $R_m$  و  $R_s$  مربوط به دکل کششی در جهت عمود بر خط انتقال

### ۵-۲-۱-۴- تعیین ضریب توزیع برش و لنگر طبقه برای دکل

ضریب توزیع برش و لنگر طبقه برای دکل با استفاده از نمودارهای زیر تعیین می‌شوند. در این نمودارها:

$W_i$ : وزن قسمت بالاتر از تراز  $h_{bi}$

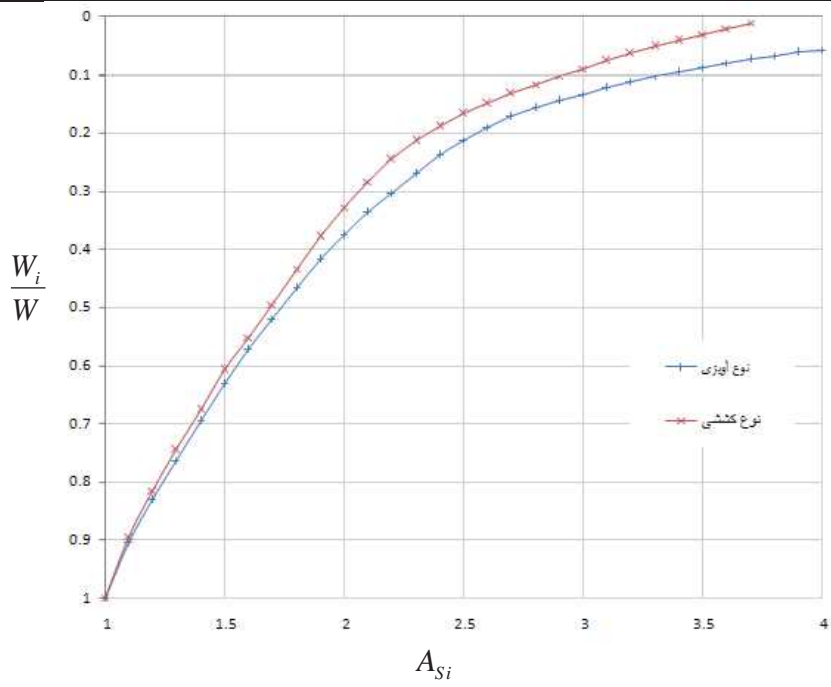
$W$ : وزن کل دکل شامل وزن مؤثر سیم‌ها و قطعات الحاقی

$H_i$ : فاصله  $h_{bi}$  تا مرکز ثقل قسمت فوقانی آن

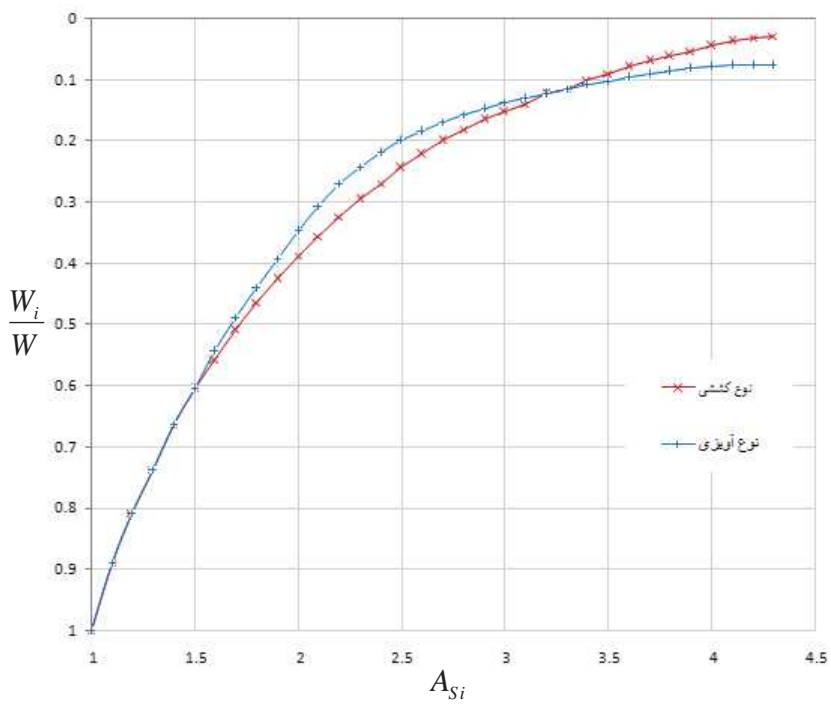
$H_b$ : ارتفاع مرکز ثقل دکل از پایه





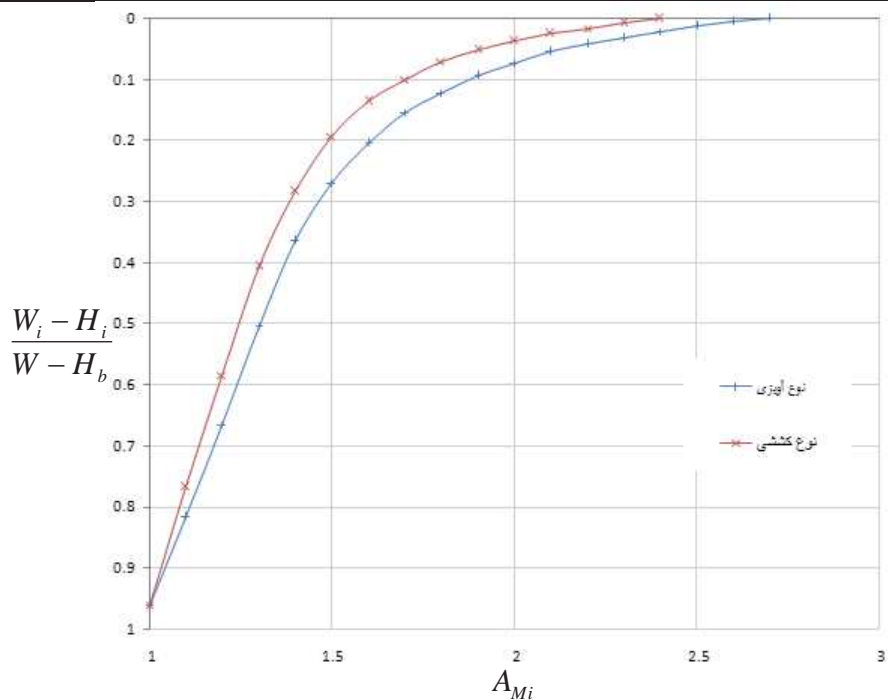


شکل ۵-۵ ضریب توزیع برش طبقه در راستای خط انتقال،  $A_{Si}$

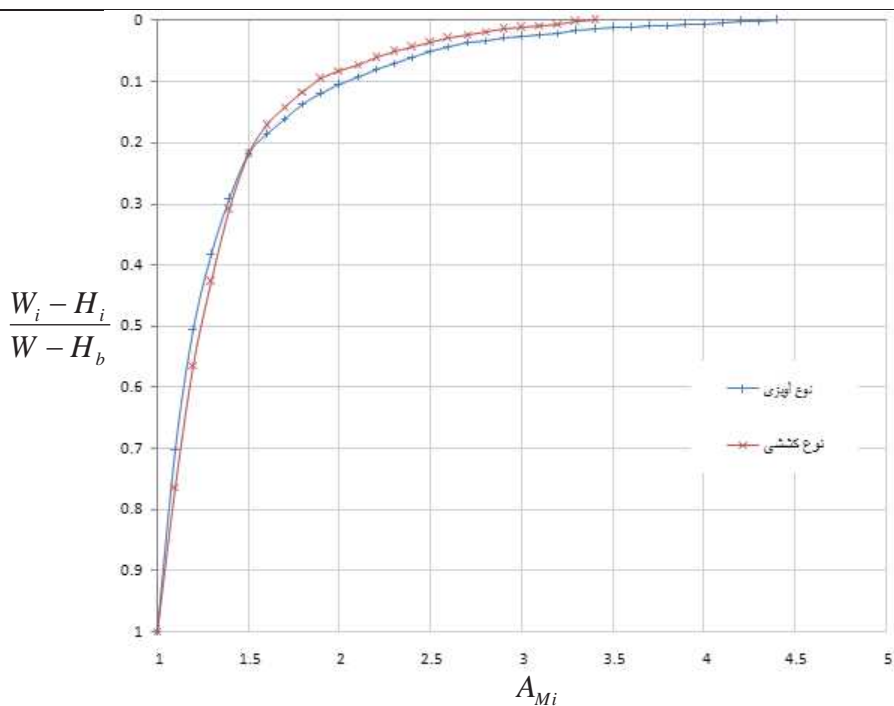


شکل ۶-۵ ضریب توزیع برش طبقه در راستای عمود بر خط انتقال،  $A_{Si}$





شکل ۷-۵ ضریب توزیع لوزی در راستای خط انتقال،  $A_{Mi}$

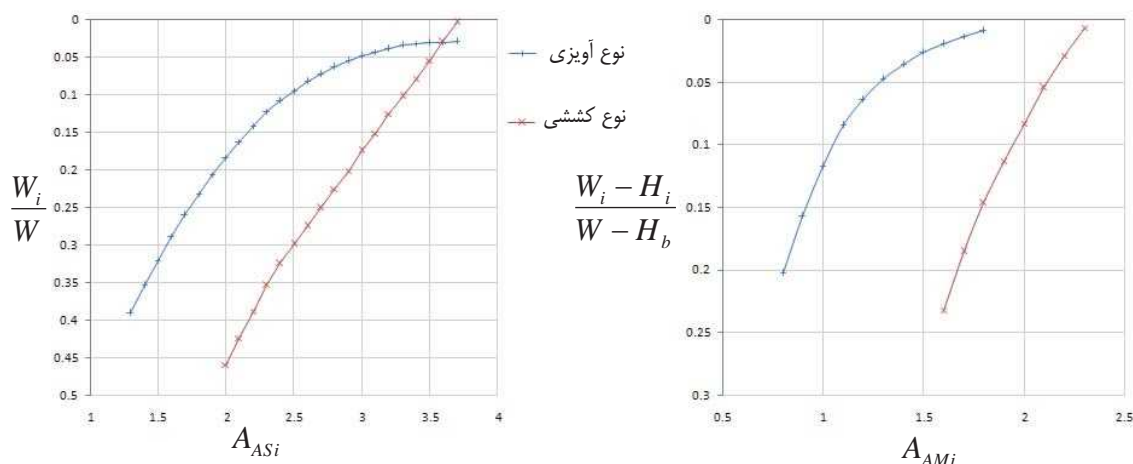


شکل ۸-۵ ضریب توزیع لوزی در راستای عمود بر خط انتقال،  $A_{Mi}$

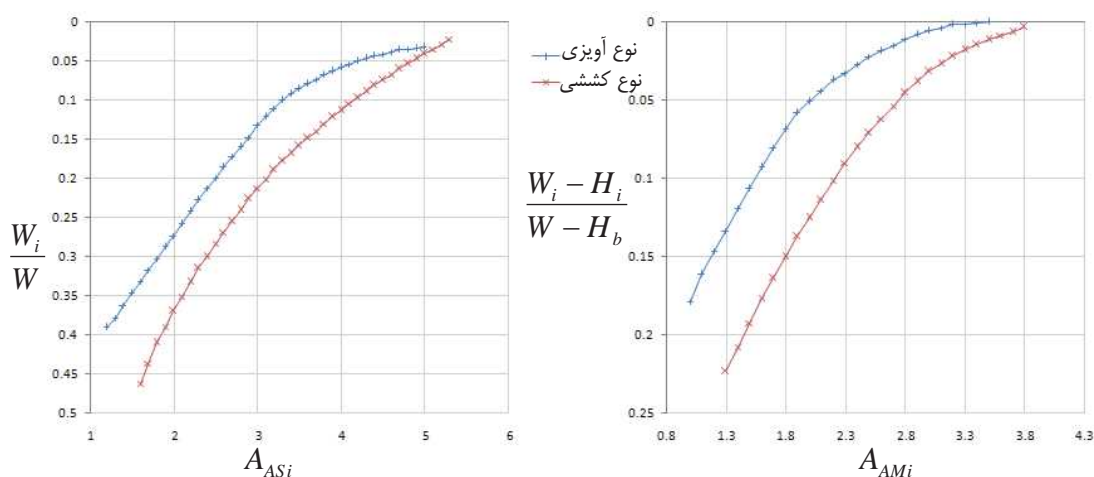
۵-۱-۲-۵- ضرایب توزیع برش و لوزی بازو



ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو با استفاده از نمودارهای زیر بدست می‌آیند. پارامترهای نمودارها مشابه بندهای پیشین می‌باشد.



شکل ۹-۵ ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو در راستای خط انتقال،  $A_{AMi}$  و  $A_{ASi}$



شکل ۱۰-۵ ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو در راستای عمود بر خط انتقال،  $A_{AMi}$  و  $A_{ASi}$



شکل ۱۱-۵ ضرایب توزیع برش و لنگر تراز بازو در راستای قائم انتقال،  $A_{AMi}$  و  $A_{ASi}$

## ۵-۲-۱-۶- محاسبه تنش اعضاء تحت اثر زلزله

تنش ایجاد شده در اعضا باید تحت اثر برش و لنگر طبقه محاسبه شود. این تنش‌ها در بدنه در دو جهت و در بازو علاوه بر دو جهت، در راستای قائم نیز باید در نظر گرفته شود.

## ۵-۲-۱-۷- محاسبه تنش ترکیبی

تنش اعضا باید با تنش‌های ناشی از بارهای مرده و کشش سیم و زلزله با هم ترکیب شوند.

## ۵-۲-۱-۸- کنترل اندازه مقطع عضو

مقادیر تنش‌های ترکیبی محاسبه شده نباید از تنش‌های مجاز مربوطه تجاوز نماید.

## ۵-۲-۱-۹- محاسبه نیروی طراحی شالوده

۱- نیروی طراحی شالوده باید بر اساس اثر ترکیبی از بارهای عادی و زلزله محاسبه شود.  
۲- نیرو منتقل شده از دکل به پی با استفاده از مقادیر برش و لنگر طبقه، ناشی از زلزله به دست می‌آید و برای بدست آوردن نیروی فشاری و کششی حداکثر در شالوده، اثر زلزله در هر دو جهت باید لحاظ شود.

## ۵-۲-۲-۲- برج‌های ارتباطات بی‌سیم

## ۵-۲-۲-۱- مراحل طراحی

۱- در طراحی به روش تنش مجاز، ضریب زلزله اصلاح شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.  
۲- برای طراحی به روش شکل‌پذیر از تحلیل دینامیکی استفاده می‌شود.

## ۵-۲-۲-۲- مراحل طراحی به روش شبه استاتیکی

۱- این روش برای ساختمان‌های RC یا SRC (Steel Reinforce Concrete) با ارتفاع ۳۰ متر و کمتر کاربرد دارد.  
۲- این روش برای دکل‌های با ارتفاع کمتر از ۶۰ متر و حداکثر ۴ پایه کاربرد دارد.  
۳- میرایی ۱٪ بوده و پریود طبیعی از روابط زیر بدست می‌آید:

$$T = 0.015H$$

(۱۴-۵)

ساختمان

$$T' = 0.03 + 0.06F$$

(۱۵-۵)

H: ارتفاع دکل

F: تعداد طبقات ساختمان در بالای سطح زمین

۴- ضرایب نیروی برشی استاندارد به صورت زیر محاسبه می‌شود:  
برای دکل بی‌سیمی که بر روی زمین نصب شده است:



$$C_0 = 0.6 \{1 - 0.2(T/0.6 - 1)^2\}, \quad C_0 \leq 0.6 \quad (۱۶-۵)$$

برای دکل بی سیمی که بر روی بام نصب شده است:

$$C_0 = 0.6 + 1.2 \{2 - (T/T^*)/1.2\}^2, \quad 0.6 \leq C_0 \leq 0.6 \quad (۱۷-۵)$$

۵- ضریب نیروی برشی ترازهای مختلف برابر است با:

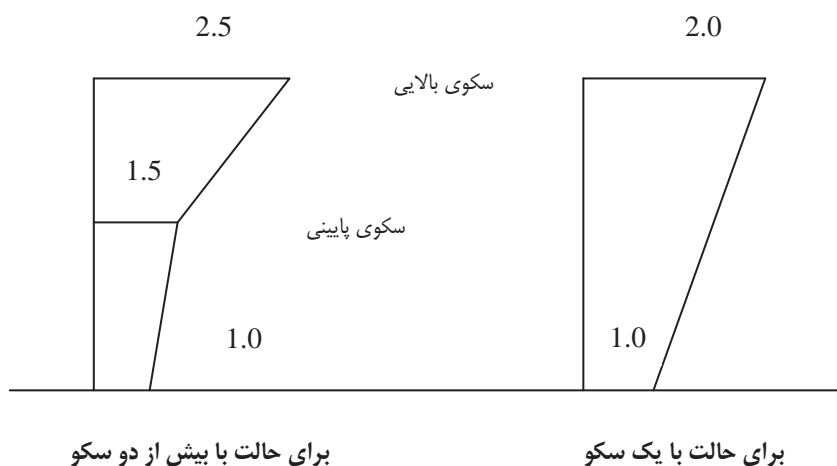
$$C_0' = C_0 \cdot \alpha \quad (۱۸-۵)$$

که  $\alpha$  از شکل (۱۲-۵) بدست می‌آید.

۶- نیروی طراحی لرزه‌ای در ترازهای مختلف برابر است با:

$$F = C_0' \cdot \sum W \cdot Z \quad (۱۹-۵)$$

که در آن  $\sum W$  جمع بار مرده در نقطه مورد نظر و  $Z$  ضریب منطقه می‌باشد.



شکل ۱۲-۵ مقادیر  $\alpha$

### ۳-۵- پایه‌ها

#### ۱-۳-۵ بارهای طراحی

۱- بار اصلی پایه‌ها بار باد می‌باشد و این سازه‌ها تحت بار باد و کشش سیم طراحی می‌شوند.

۲- نیروی اینرسی زلزله برای کنترل پایداری پایه اعمال می‌گردد.

#### ۲-۳-۵ روند طراحی پایه‌های خطوط توزیع

۱- محاسبه بار باد

بار باد با استفاده از رابطه (۲۰-۵) محاسبه می‌شود:

$$P_w = 1/2 \cdot \rho \cdot 9.8 \cdot C \cdot V^2$$

(۲۰-۵)

$P_w$ : فشار باد  $N/m^2$



$\rho$ : چگالی هوا  $\text{Kg/m}^3$

C: ضریب مقاومت

V: سرعت باد  $\text{m/s}$

ضریب مقاومت بر اساس شکل دکل، اندازه و سرعت باد می‌باشد که از آزمایش تونل باد بدست می‌آید.

سه نوع بار باد وجود دارد:

نوع A:  $80 \text{ Kg/m}^3$  برای پایه،  $100 \text{ Kg/m}^3$  برای کابل و  $160 \text{ Kg/m}^3$  برای ملحقات

نوع B: نصف نوع A با لحاظ برف با چگالی  $0.9$  با ضخامت  $6 \text{ mm}$  روی کابل‌ها

نوع C: نصف نوع A

نوع C معمولاً برای خطوط شهری و نوع A برای خطوط برون شهری و نوع B برای نواحی برف‌خیز اعمال می‌شود. در

عین حال نوع آب و هوا و توپوگرافی منطقه باید در محاسبه بار باد لحاظ شود.

۲- نیروی کشش کابل

نیروی کشش کابل به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$T = W_L \cdot S^2 / (8 \cdot d) \quad (۲۱-۵)$$

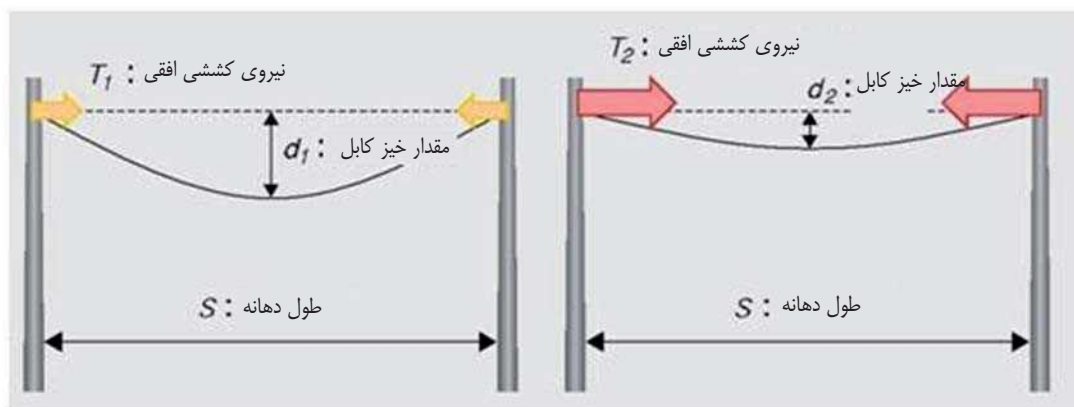
T: نیروی کشش N

d: خیز کابل m

$W_L$ : وزن مؤثر کابل در واحد طول  $\text{N/m}$

S: طول دهانه m

خیز d در شکل (۱۳-۵) نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۵ خیز کابل و نیروی کشش

وزن مؤثر کابل در واحد طول با توجه به شکل (۱۴-۵) برابر است با:

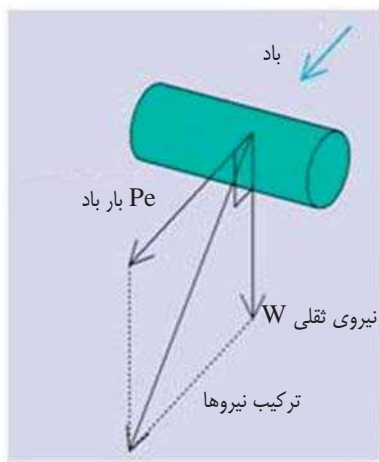
$$W_L = \sqrt{w^2 + P_c^2} \quad (۲۲-۵)$$

$W_L$ : وزن مؤثر کابل در واحد طول  $\text{N/m}$



$P_c$ : نیروی باد در واحد طول  $N/m$

$w$ : وزن کابل در واحد طول  $N/m$



شکل ۵-۱۴ ترکیب بار باد و بار ثقلی برای طراحی پایه

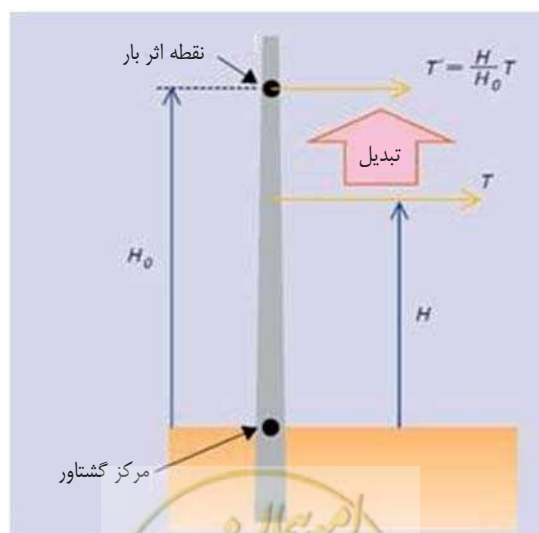
حداکثر نیروی کششی در کم‌ترین دما محاسبه می‌شود تا اثر تنش حرارتی نیز لحاظ گردد.

۳- محاسبه نیروی قائم

وزن پایه و ملحقات، وزن برف و یخ روی آن‌ها، وزن سیم با لحاظ برف و یخ، وزن مؤلفه قائم کابل‌های مهارکننده پایه و وزن کارگران و ابزار حین نصب به عنوان بارهای قائم معرفی می‌شوند.

۴- نقطه اثر بار

در شکل (۵-۱۵) مدل تعادلی پایه نشان داده شده است. نیرو و لنگر پایه بر اساس این مدل بدست می‌آیند.



شکل ۵-۱۵ نقطه اثر بارها در پایه

## ۵- طراحی پایه

## ۵-۱- انواع پایه

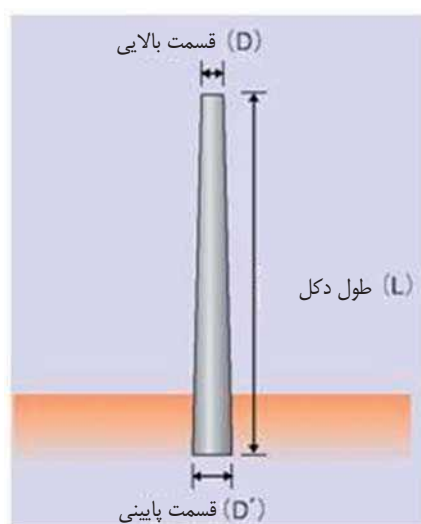
پایه‌ها عموماً از دو نوع فلزی و بتنی هستند. پایه‌های بتنی از یک ستون توخالی بتن مسلح ساخته می‌شوند که دارای شکلی زیبا و هزینه‌ای کم می‌باشند ولی این پایه‌ها دارای وزن نسبتاً زیادی می‌باشند. پایه‌های فلزی اغلب از ورق‌های گالوانیزه ساخته می‌شوند که به صورت استوانه، مخروط یا منشوری شکل با وزنی کمتر ولی با هزینه‌ای بیشتر نسبت به پایه‌های بتنی می‌باشند.

## ۵-۲- شکل پایه

مطابق شکل (۵-۱۶)، مقطع پایه معمولاً مخروطی شکل است. شیب این مخروط برابر است با:

$$\alpha = (D' - D) / L \quad (۵-۲۳)$$

که معمولاً برای پایه‌های بتنی و فلزی، این شیب  $\frac{1}{۷۵}$  در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۵-۱۶ نحوه تعیین زاویه شیب پایه مخروطی

مطابق شکل (۵-۱۶) حداکثر لنگر خمشی پایه در قسمت اتصال به زمین ایجاد می‌شود. کنترل مقطع پایه معمولاً در تراز زمین انجام شده و قسمت‌های دیگر، مقطع کوچک‌تری دارند.

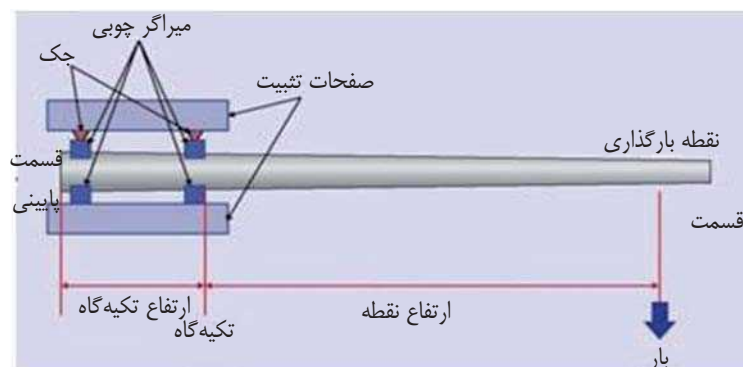
## ۵-۳- مقاومت پایه و ظرفیت باربری زمین

دو مد خرابی برای پایه وجود دارد که شامل شکست پایه در زمین سخت و دیگری کج‌شدگی پایه در زمین نرم می‌باشد.

مقاومت مجاز پایه از آزمایش خمش (شکل ۵-۱۷) تعیین می‌شود.

در پایه‌های بتنی ترک‌های بیش از  $۰/۲۵$  میلی‌متر، نباید در اثر بار حداکثر اتفاق بیفتد و پس از بار برداری هم ترک‌های باقی‌مانده نباید عرضی بیش از  $۰/۰۵$  میلی‌متر داشته باشند.





شکل ۵-۱۷ آزمایش خمش پایه

ظرفیت باربری زمین

لنگر حداکثر پایه در محل اتصال به زمین برابر است با:

$$M_{ot} = P \cdot (h + t_o) \text{ (kN.m)} \quad (24-5)$$

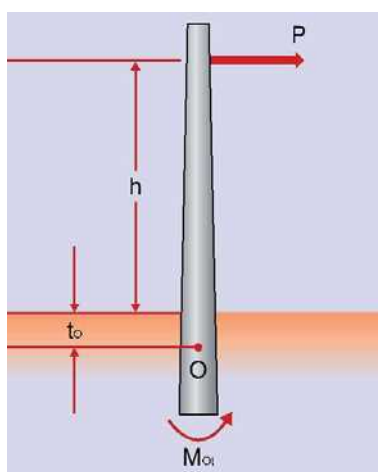
P: نیرو (kN)

h: ارتفاع اعمال نیرو از سطح زمین (m)

t<sub>o</sub>: عمق مرکز دوران نسبت به سطح زمین مطابق شکل (۵-۱۸) می‌باشد.

لنگر حداکثر آستانه کج‌شدگی، حداکثر لنگر مقاوم زمین نامیده می‌شود که با اعمال ضریب اطمینان در طراحی بکار می‌رود:

$$M_{ot} \leq M_{oa} \quad (25-5)$$



شکل ۵-۱۸ لنگر اعمالی به مرکز دوران پایه

هر چه طول مدفون پایه بیشتر باشد لنگر مقاوم حداکثر زمین بیشتر است. این طول بر اساس نوع زمین متغیر می‌باشد.

## ۴-۵- طراحی لرزه‌ای پایه

روال طراحی پایه در برابر باد برای نیروی زلزله هم قابل اعمال می‌باشد.  
 در طراحی پایه‌ها نیروی زلزله در درجه دوم اهمیت قرار دارد.  
 برای طراحی پایه در برابر زلزله، ابتدا بایستی نیروی  $P'$ ، مطابق زیر به دست آید و در روابط فوق بجای  $P$  مورد استفاده قرار گیرد.  
 در صورتی که لنگر حاصل از نیروی زلزله از لنگر حاصل از نیروی باد بزرگ‌تر باشد، نیروی ناشی از زلزله با نیروی باد ترکیب نمی‌شود و در صورتی که کمتر باشد، در نظر گرفته نمی‌شود.  
 نیروی ناشی از زلزله برابر است با:

$$P' = k \cdot W_s \quad (۲۶-۵)$$

$k$ : ضریب زلزله طراحی

$W_s$ : وزن پایه kN

## ۴-۵- مقادیر مجاز

مقادیر مجاز طراحی شامل تنش‌ها، ظرفیت‌های باربری و تغییر مکان‌ها می‌باشند.

## ۱- تنش مجاز

در روش شبه استاتیکی، روش پاسخ تغییر مکان و روش ضریب برش طبقه تنش مجاز  $1/5$  برابر تنش مجاز مربوط به حالت بهره‌برداری در نظر گرفته می‌شود.

## ۲- جابه‌جایی شالوده

تغییر مکان یکنواخت افقی یا قائم شالوده معمولاً در دکل‌ها مشکلی ایجاد نمی‌کند.  
 زمانی که تغییر مکان نسبی بین پایه‌های دکل رخ دهد تنش‌های اضافی در اعضا ایجاد خواهد نمود.  
 این مسئله در دکل‌های واقع بر شیب‌ها، شدیدتر خواهد بود.

## ۱- تغییر مکان شالوده در زمین‌های نرم

تغییر مکان بین پایه‌های دکل تحت امواج لرزه‌ای وقتی که شالوده روی زمین‌های نرم ساخته شده است، ممکن است بسیار زیاد باشد. زمانی که جهت امواج زلزله در امتداد خط یا عمود بر آن باشد مقادیر تغییر مکان نسبتاً کم است.

در حالت اعمال بار زلزله با زاویه  $45^\circ$  درجه نسبت به امتداد خط، این تغییر مکان باید مورد محاسبه و کنترل قرار گیرد.

مقدار مجاز تغییر مکان نسبی در حال حاضر  $\frac{1}{800}$  در نظر گرفته می‌شود که بر اساس میزان جذب تغییر مکان ناشی از رواداری و لقی پیچ‌ها بدست آمده است.

## ۲- تغییر مکان شالوده دکل در زمین معمولی

تغییر مکان شالوده دکل در زمین معمولی تحت زلزله عموماً کم بوده و مشکلی ایجاد نمی‌کند.



در صورتی که شرایط زمین پایه‌ها متفاوت باشد یا شالوده روی شیب قرار داشته باشد، جابه‌جایی‌ها بیشتر بوده و می‌تواند اضافه تنش زیادی ایجاد نماید.

تغییر مکان مجاز شالوده در زمین‌های معمولی  $1/5$  برابر تغییر مکان مجاز در شرایط عادی که مقدار آن  $15\text{mm}$  است در نظر گرفته می‌شود.

در صورتی که از شالوده گسترده استفاده شده باشد و ظرفیت باربری کافی تأمین شده باشد نیاز به کنترل تغییر شکل نمی‌باشد.

### ۵-۵- معیار پذیرش

تنش ترکیبی ناشی از زلزله در تمام مقاطع اعضا و تنش بازوی طراحی شده برای نیروی باد، نباید از تنش مجاز تجاوز نماید. تغییر مکان ناشی از زلزله نباید از مقادیر مجاز تغییر مکان تجاوز نماید.



# فصل ۶

---

---

طراحی لرزه‌های و کنترل ایمنی

مجاری خطوط مخابرات





## ۶-۱- مؤلفه‌های اصلی مجاری مدفون خطوط مخابراتی

مؤلفه‌های اصل مجاری خطوط کابل عبارتند از:

۱- مجرای مدفون

۲- کالورت و تونل

۳- تجهیزات الحاقی به مجرا

طراحی لرزه‌ای مجاری خطوط در دو بخش انجام می‌پذیرد:

۱- مجاری روزمینی

۲- مجاری زیرزمینی

## ۶-۲- روش طراحی بر مبنای عملکرد مجاری

### ۶-۲-۱- کلیات

طراحی لرزه‌ای مجاری انتقال می‌باید با توجه به سطح عملکرد بهره‌برداری انجام شود تا بتواند پس از زلزله شرایط مورد نظر را برآورده نماید.

در حالت حدی آسیب، مجرا باید بلافاصله پس از زلزله حداکثر بهره‌برداری، سطح خطر-۱ عملکرد خود را حفظ نماید. یعنی تحت این زلزله تقریباً ارتجاعی رفتار نماید.

در حالت حدی نهایی، مجرا در حداقل زمان ممکن پس از زلزله باید قابل تعمیر و بازیابی باشد، یعنی تحت زلزله سطح خطر-۲ دچار گسیختگی یا شکست کلی نشود.

برای زلزله سطح خطر-۱ از روش تنش مجاز استفاده می‌شود. در زلزله سطح خطر-۲ از روش شکل‌پذیر استفاده می‌شود.

### ۶-۲-۲- روند طراحی لرزه‌ای خطوط لوله روزمینی

نمودار طراحی لرزه‌ای تحت اثر موج لرزه‌ای برای خط لوله‌روزمینی و ملحقات آن، باید برای روش‌های طراحی تنش مجاز و شکل‌پذیر تهیه گردد.

برای بررسی اثر امواج زلزله در هر دو روش تنش مجاز و شکل‌پذیر، روش یکسانی می‌باید برای طراحی مجرا و ملحقات آن مورد استفاده قرار گیرد. اثر موج با نیروی اینرسی (طیف شتاب) بیان می‌شود.

### ۶-۲-۳- روند طراحی لرزه‌ای مجاری مدفون

#### ۶-۲-۳-۱- اثر موج زلزله بر مجرای مدفون

نمودار طراحی لرزه‌ای تحت اثر موج لرزه‌ای برای خط لوله مدفون و ملحقات آن، باید برای روش‌های طراحی تنش مجاز و



شکل‌پذیر تهیه گردد.

برای بررسی اثر امواج زلزله در هر دو روش تنش مجاز و شکل‌پذیر، روش یکسانی می‌باید برای طراحی مجرا و ملحقات آن مورد استفاده قرار گیرد. اثر موج با طیف پاسخ سرعت بیان می‌شود.

### ۶-۲-۳-۲- اثر تغییر مکان دائم زمین در مجاری مدفون

طراحی لرزه‌ای در این حالت برای نواحی زیر صورت می‌پذیرد:

۱- تقاطع با گسل

۲- نواحی روان‌گرا

۳- نواحی لغزشی

تغییر مکان دائم زمین تحت زلزله سطح خطر-۲ معمولاً خسارات زیادی به خط لوله وارد می‌کند؛ لذا طراحی لرزه‌ای برای تغییر مکان دائم زمین، PGD در حالت زلزله سطح خطر-۲ ناشی از حرکت گسل و روان‌گرایی می‌باید در نظر گرفته شود.

### ۶-۳- عملکرد لازم برای اجزا و تجهیزات مجاری انتقال کابل و سطوح خطر

#### ۶-۳-۱- روش طراحی خطوط لوله

۱- برای این سازه‌ها طراحی لرزه‌ای با روش شبه استاتیکی انجام می‌شود. برای کنترل ایمنی توصیه می‌شود تحلیل دینامیکی صورت پذیرد.

۲- سازه مدفون با روش شبه استاتیکی یا پاسخ تغییر مکان طراحی می‌شود.

۳- در صورتی که تغییر مکان‌های سازه تحت زلزله سطح خطر-۲ پیچیده باشد می‌باید از روش تحلیل دینامیکی استفاده گردد.

۴- برای سازه‌ای نیمه مدفون نیز روش شبه استاتیکی قابل استفاده است.

#### ۶-۳-۲- عملکرد لرزه‌ای خط لوله

به عنوان یک قانون کلی، ایمنی خط لوله در هنگام زلزله باید با توجه به مقاومت و انعطاف‌پذیری خط لوله کنترل شود.

مجاری خطوط لوله به دو دسته کلی از لحاظ بررسی عملکردی تقسیم می‌شوند:

۱- مجاری گسسته که انعطاف‌پذیری آن‌ها عمدتاً به رفتار اتصالات بستگی دارد.

۲- مجاری پیوسته که انعطاف‌پذیری آن‌ها عمدتاً به مصالح لوله بستگی دارد.

نوع اول لوله‌های FRP، PVC و نوع دوم لوله‌های فولادی هستند.

چارچوب اولیه عملکرد لرزه‌ای مجاری در جدول (۶-۱) خلاصه شده است.

در مجاری گسسته ظرفیت تغییر شکل اتصال و در مجاری پیوسته تنش مجاز مصالح عامل کنترل‌کننده است. برای هر دو سطح

خطر تنش نباید از تنش مجاز مصالح لوله بیشتر گردد.



در خطوط لوله گسسته تحت بار زنده و در شرایط عادی تغییر شکل ایجاد شده نباید از مقادیر مجاز طراحی، بیشتر گردند.

جدول ۶-۱ فرضیات پایه برای کنترل ایمنی مجاری

استاندارد و کنترل		شرایط بارگذاری	سطح خطر
خطوط پیوسته	خط لوله گسسته		
تنش بدنه لوله (حالت ارتجاعی) > تنش مجاز بدنه لوله	بدنه خط لوله در حالت ارتجاعی: تنش بدنه لوله $\geq$ تنش مجاز انبساط سهم یک اتصال $\geq$ ظرفیت جذب تغییر مکان حد بهره برداری اتصال	بار دائم + بار زلزله سطح خطر-۱ (زلزله بهره‌برداری)	سطح خطر-۱
تنش بدنه لوله (رفتار خمیری) > تنش حد نهایی بدنه لوله	بدنه خط لوله در حالت غیر ارتجاعی: تنش بدنه لوله $\geq$ تنش حد نهایی انبساط سهم یک اتصال $\geq$ ظرفیت جذب تغییر مکان حد نهایی اتصال	بار دائم + بار زلزله سطح خطر-۲ (زلزله طرح)	سطح خطر-۲

حداکثر انبساط حجمی بر اساس انبساط اتصال می‌باشد.

در لوله فلزی جوش شده تنش ناشی از زلزله سطح خطر-۱ باید کمتر از تنش مجاز باشد.

در لوله گسسته در حالات عادی بررسی ظرفیت انبساط اتصالات کافی است و نیازی به کنترل تنش بدنه نمی‌باشد.

در لوله فولادی در زلزله سطح خطر-۱ تنش مصالح بدنه تحت بار زنده باید کمتر از تنش تسلیم مصالح باشد. کرنش متناظر با

این تنش به صورت زیر می‌باشد:

$$\varepsilon = \sigma/E = 2,400 / 2,100,000 = 0.11\%$$

به منظور حفظ ظاهر لوله، کرنش لوله نیز باید کمتر از  $(23t/D)\%$  یا حدود  $(0.15 \sim 0.2)\%$  باشد.

در زلزله سطح خطر-۲ کرنش مجاز با در نظر گرفتن بار آزاد ساکن، زیر مقدار  $(46t/D)\%$  یا حدود  $(0.3 \sim 0.4)\%$  است که در

واقع بیان دیگری از کنترل تنش مجاز می‌باشد.

کرنش کمانش موضعی در حدود  $0.5\%$  درصد است که رابطه کرنش کمانش موضعی به صورت  $(58t/D)\%$  بدست می‌دهد که

با اعمال ضریب اطمینان  $1/25$  رابطه به صورت  $(46t/D)\%$  در می‌آید.

از آنجایی که ظرفیت فشاری تعیین‌کننده است، معیار کمانش به عنوان معیار اصلی کنترل رفتار لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

در صورت وقوع تغییر مکان‌های بزرگ زمین، ظرفیت تحمل تغییر شکل کافی باید در اتصالات هم پیش‌بینی گردد.

### ۶-۳-۳- ملاحظات کلی در طراحی لرزه‌ای مجاری

- لوله‌هایی که از زمین‌های ناپایدار عبور می‌کنند باید قابلیت کافی در بدنه و اتصالات برای تحمل نیروها و تغییر شکل‌های ناشی از زلزله را داشته باشند. در صورت نیاز می‌باید نسبت به پایداری سازه‌های پی یا تحکیم خاک یا هردو اقدام نمود.





- زمین‌های مصنوعی مثل سواحل یا رودخانه‌های قدیمی در زلزله دچار تغییر شکل‌های بزرگ می‌شوند. در این زمین‌ها لوله‌ها باید ظرفیت تغییر شکل‌پذیری بالایی داشته باشند.
- لوله‌هایی که بالای شیب قرار می‌گیرند باید پایداری لازم در برابر لغزش شیب را داشته باشند.
- به دلیل احتمال وقوع جابه‌جایی‌های نسبی در زمین در اثر زلزله، خط لوله باید مقاومت کافی برای جذب آن خصوصاً در شرایط توپوگرافی خاص را داشته باشد.
- در زمین‌های روان‌گرا، لوله باید دارای مقاومت کافی باشد.
- در زمین‌های مجاور دیوارهای ساحلی و شیب‌های ساحلی نیز مقاومت لرزه‌ای زیادی مورد نیاز می‌باشد.
- در شرایطی که عبور از گسل فعال اجتناب‌ناپذیر باشد، شکل‌پذیری و جذب انرژی کافی باید برای لوله تأمین شود و در صورت وارد آمدن آسیب، عملکرد لوله حفظ یا اینکه سیستم جایگزین مناسب برای زمان زلزله پیش‌بینی گردد.
- ظرفیت جذب تغییر شکل در محل اتصال لوله‌ها به ساختمان‌ها باید وجود داشته باشد.
- ضروری است که در قسمت‌هایی که لوله تغییر ارتفاع دارد نظیر قرار گرفتن در یک محفظه یا مجاری شهری مشترک، ملاحظات دقیقی برای تحمل نیروی اینرسی تحمیلی ناشی از زلزله علاوه بر نیروی عادی نامتعادل در نظر گرفته شود. به علاوه تمهیدات لرزه‌ای، نظیر اتصال انبساطی و انعطاف‌پذیر (لوله)، در بخشی که تغییر مکان نسبی خط لوله مدفون در زلزله ممکن است افزایش یابد، باید در نظر گرفته شود.
- در قوس‌ها و خم‌های لوله‌های گسسته برای افزایش شکل‌پذیری از قطعات لوله خم شده استفاده شود.
- در محل عبور لوله از راه‌ها، لوله باید در عمق مناسب دفن شود تا با سایر مؤلفه‌های راه تداخل نداشته و تعمیر و نگهداری آن نیز آسان باشد.
- در تقاطع‌های زیرزمینی بین خطوط، حداقل ۳۰cm فاصله آزاد باید رعایت شود.
- برای لوله‌های قطور برای بررسی وضعیت لوله پس از زلزله نیاز به آدم‌رو در نقاط مناسب می‌باشد.
- در خطوط باید از خم‌های ناگهانی و دارای زاویه زیاد تا حد ممکن اجتناب نمود.

در طراحی لرزه‌ای، مطالعات زمین‌شناسی و نقشه‌برداری در مناطق زیر باید به دقت انجام پذیرد:

- ۱- از آنجائی که حرکات زمین بر رفتار لوله تأثیر می‌گذارد و با توجه به سوابق خسارات خطوط در زلزله‌های گذشته، موارد زیر باید بدقت مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند.

#### ۱-۱- خاکریزها

خاکریزها ممکن است تحت اثر زلزله دچار لغزش، فرو ریزش و حرکات شدید شوند.

#### ۲-۱- زمین‌های مصنوعی

- زمین‌های مصنوعی در سواحل دریا و رودخانه‌ها و مخازن قدیمی در زلزله دچار روان‌گرایی و جابه‌جایی زیاد می‌گردند.

#### ۳-۱- نقاط بالای شیب‌ها

در نقاط بالای شیب‌ها کنترل لغزش در اثر زلزله ضروری است.

#### ۴-۱- وجود لایه‌های ضعیف ضخیم زیرین



در صورت وجود لایه‌های ضعیف ضخیم زیرین، تغییر شکل‌های سطحی می‌تواند بسیار قابل توجه باشد. همچنین کاهش سطح آب زیرزمینی و نشست‌های ناشی از آن در زمین‌های نرم این تغییر شکل‌ها را تشدید می‌نماید.

۵-۱- تغییرات زمین‌شناسی و توپوگرافی در قسمت‌های باریک

تغییرات زمین‌شناسی و توپوگرافی در قسمت‌های باریک و مرزی بین بستر و آبرفت می‌تواند پتانسیل حرکات نسبی را به خاطر تغییر ناگهانی شرایط زمین بین لایه‌ها تشدید نماید.

۶-۱- نواحی روان گرا

در صورت وجود لایه‌ای ریزدانه و یا زیر سطح آب زیرزمینی، پتانسیل روان‌گرایی و گسترش جانبی بسیار زیاد خواهد بود.

۷-۱- زمین‌های مجاور سواحل حفاظت شده

در زمین‌های مجاور سواحل حفاظت شده در صورت خرابی دیوارهای حفاظتی حرکات جانبی شدیدی اتفاق خواهد افتاد.

۸-۱- زمین‌های شیب‌دار

زمین‌های شیب‌دار در زلزله دارای پتانسیل لغزشی زیادی هستند و می‌توانند نیروهای جانبی زیادی به خط لوله وارد نمایند.

۹-۱- گسل فعال

گسل فعال حتی‌الامکان نباید خط لوله را قطع نماید در غیر این صورت تأمین انعطاف‌پذیری کافی ضروری است.

۲- نواحی که باید از نظر سازه‌ای بررسی شوند

در برخی نواحی خط لوله باید از نظر نشست‌ها و تغییر شکل‌ها به دقت بررسی شود این نواحی عبارتند از:

۱-۲- اتصال خط لوله به سازه که محل تمرکز تنش و تغییر ناگهانی تغییر شکل می‌باشد. در این نواحی می‌توان از اتصال انبساطی و انعطاف‌پذیر برای کاهش یا جلوگیری از خسارت استفاده نمود. در صورتی که این شرایط در زمین مشکل‌دار پیش بیاید، لوله باید کل تغییر شکل‌ها را تحمل نماید.

۲-۲- لوله‌های عبور کننده در داخل پوشش مجرا: در شرایطی که لوله از داخل پوشش از قسمت عمیق به کم عمق بالا می‌آید، جابه‌جایی قسمت فوقانی نسبت به تحتانی در زلزله باید مد نظر قرار گیرد.

## ۶-۳-۴- مراحل طراحی مجاری

### ۶-۳-۴-۱- روش کلی طراحی لرزه‌ای خطوط لوله

۱- بررسی زمین محل نصب لوله

بررسی زمین محل نصب لوله شامل جنبه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و کاربری در برگیرنده مراحل زیر است:

۱-۱- بررسی محل بر اساس اطلاعات موجود و شکل‌های فعال شناخته شده

۲-۱- تهیه جانمایی و پروفیل مقاطع نصب لوله



۳-۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی شامل مقادیر  $N$ ، وزن مخصوص خاک و سطح آب زیرزمینی

۴-۱- تدقیق نقشه زمین‌شناسی بر اساس اکتشاف تکمیلی در صورت لزوم

۲- بررسی زمین‌شناسی

۱-۲- بررسی زمین‌شناسی

گمانه‌های شناسایی در فاصله حداکثر ۱۰۰ متری و در زمین‌های مشکل‌دار در فواصل کمتر تا عمق مورد نیاز باید زده شود.

۲-۲- استخراج ضریب بزرگنمایی دینامیکی زمین

ضریب بزرگنمایی دینامیکی زمین برای هر لایه خاک باید تعیین شود.

۳- روش اجرا و مصالح لوله

۱-۳- انتخاب روش اجرا و مصالح لوله

انتخاب روش اجرا و مصالح لوله بر اساس شرایط زمین‌شناسی و محدودیت‌های اجرایی و نوع مسیر انجام می‌پذیرد.

۲-۳- تعیین تعداد قطعات لوله و تجهیزات لازم

تعیین تعداد قطعات لوله و تجهیزات لازم بر اساس نوع عملکرد مورد نظر انجام می‌شود.

۳-۳- انتخاب مصالح لوله، ضخامت و نوع اتصالات

انتخاب مصالح لوله ضخامت و نوع اتصالات بر اساس نوع زمین، روش اجرا و رفتار انجام می‌شود. مشخصات لوله بر

اساس بارهای وارده شامل بار مرده و زنده، فشار جانبی خاک، حرارت، نیروهای نامتعادل کننده و زلزله تعیین می‌شود.

۴- محاسبات لرزه‌ای

چگونگی انجام محاسبات لرزه‌ای در ادامه شرح داده شده است. توجه شود که رفتار لوله‌های مستقیم و خم‌ها باید به طور

جداگانه بررسی شود.

۵- کنترل ایمنی

کنترل ایمنی بر اساس نوع رفتار مورد انتظار از سازه انجام می‌شود.

## ۶-۳-۴-۲- مراحل طراحی پل‌های خطوط لوله

۱- پل‌های خط لوله سازه‌های بسیار مهمی هستند و بارگذاری لرزه‌ای آن‌ها عموماً به روش شبه استاتیکی و ظرفیت لرزه‌ای افقی انجام می‌شود.

۲- مشابه پل‌های راه، طراحی لرزه‌ای این سازه‌ها با مشخصات پل انجام می‌شود.

۳- با توجه به سختی کم این سازه‌ها در جهت قائم ظرفیت جذب انرژی آن‌ها در زلزله زیاد است.

در مقابل، سختی جانبی این سازه‌ها در برابر باد، کمتر از پل‌های راه است. در زلزله‌های گذشته این سازه‌ها به دلیل آسیب‌دیدگی سیستم نگه‌دارنده و پایداری آن‌ها دچار خسارت شده‌اند؛ لذا اتصال پایه‌ها به زمین یا به پل موجود باید دارای مقاومت زیاد باشد.



- ۴- در طراحی به روش تنش مجاز، بارگذاری لرزه‌ای با استفاده از روش شبه استاتیکی انجام می‌شود. در هر حالت بحرانی‌ترین ترکیب ناشی از باد یا زلزله باید در نظر گرفته شود.
- ۵- در روش طراحی شکل‌پذیر از روش ظرفیت لرزه افقی استفاده می‌گردد.
- ۶- این روش برای دال‌های پلی که روی زمین قرار ندارند، کاربردی ندارد.
- ۷- پل عبور مجاری کابل‌ها معمولاً حداکثر ۲ متر ارتعاش غالب دارد لذا طراحی آن می‌تواند به روش شبه استاتیکی انجام شود و تنها زمانی از تحلیل دینامیکی استفاده می‌شود که رفتار سازه پیچیده باشد مانند:
- پلهایی که ارتعاش قائم قابل توجهی در زلزله دارند و دارای پرپود بالایی مثلاً بیش از ۱/۵ ثانیه هستند، پل‌های با پایه‌های مرتفع (متجاوز از ۳۰ متر)، پل‌های با مدهای ارتعاشی بالا و پلهایی که تغییر مکان آن‌ها بسیار زیاد است.
  - پل‌های معلق
  - پل‌های دارای پایه‌ها و بدنه خاص یا سیستم‌های جدید آزمایش نشده.
- روش تحلیل طیفی و تاریخچه زمانی می‌تواند برای تحلیل دینامیکی بکار گرفته شود که انتخاب آن بسته به اهداف طراحی دارد. دو مدل دینامیکی وجود دارد که یکی مدل جرم پیوسته لوله و دیگری جرم گسسته است. شتاب نگاشت یا طیف مورد نیاز باید مطابق با طیف معرفی شده در بخش ۴-۱ باشد.

### ۶-۳-۴-۳- مراحل طراحی خط لوله کابل به روش تنش مجاز

- ۱- در محاسبات لرزه‌ای خطوط لوله مدفون ایمنی لرزه‌ای با روش پاسخ تغییر مکان کنترل می‌شود. برای لوله‌های گسسته علاوه بر کنترل انبساط و انقباض لوله، دوران اتصالات نیز باید کنترل گردد.
- ۲- در زمین‌های مسئله‌دار لوله مدفون باید قابلیت جذب تغییر مکان زمین را داشته باشد.
- ۳- در طراحی لرزه‌ای شفت‌ها، مجاری پوشش‌دار، مجاری مشترک و سپری‌ها روش پاسخ تغییر مکان یا شبه استاتیکی قابل استفاده هستند. در محل اتصال به سازه‌ها و ساختمان‌ها پاسخ با انجام تحلیل دینامیکی کنترل می‌شود. به علت کمتر بودن چگالی مجرای لوله نسبت به زمین و طولانی بودن آن حرکت آن تابع حرکت زمین است و لذا باید بتواند تغییر شکل‌های زمین را تحمل نماید.

خطوط لوله مدفون، شفت‌ها، مجاری پوشش‌دار، مجاری مشترک مدفون و سپری‌ها در اثر ارتعاش بدنه، حرکت نمی‌کنند بلکه در اثر حرکت خاک اطراف دچار تغییر مکان می‌گردند.

برای بارگذاری لرزه‌ای این مجاری از روش پاسخ تغییر مکان استفاده می‌شود و ایمنی آن‌ها از طریق کنترل تنش و کرنش به دست آمده از این روش آزموده می‌شود.

در زمین‌های نامساعد از قبیل زمین‌های ترک‌خورده یا لغزیده، ایمنی خطوط لوله باید از نقطه نظر انعطاف‌پذیری کافی در مقابل این تغییر مکان‌ها بررسی گردد.

روش مرسوم در بارگذاری این مجاری، روش شبه استاتیکی بوده است. روش‌های پاسخ تغییر مکان برای قسمت‌های مدفون استفاده می‌شود.



در محل انشعابات و تغییرات مشخصات زمین، تنش، کرنش یا تغییر مکان نسبی ایجاد می‌گردد. بنابراین در این محل‌ها علاوه بر استفاده از روش پاسخ تغییر مکان از تحلیل دینامیکی نیز باید استفاده گردد. در این زمینه طراح باید اثرات سازه‌ای را با در نظر گرفتن بار لرزه‌ای علاوه بر بار عادی مد نظر داشته و اعمال کند.

### ۶-۳-۵- مراحل محاسبات خطوط لوله

#### ۶-۳-۵-۱- خطوط لوله روزمینی

#### ۶-۳-۵-۱-۱- کلیات

- ۱- اثرات زلزله عبارتند از نیروی اینرسی ناشی از وزن سازه (به انضمام وزن کابل داخل لوله)، فشار خاک، روان‌گرایی و گسترش جانبی
- ۲- تنش، تغییر شکل و پایداری مجرا باید با احتساب وجود کابل در داخل آن کنترل گردد.

#### ۶-۳-۵-۲- ضریب زلزله طراحی سازه‌های روزمینی

۱- ضریب زلزله افقی طراحی،  $K_{SH}$  در روش شبه استاتیکی از رابطه ۶-۱ بدست می‌آید:

$$K_{SH} = \beta_4 K_H \quad (۱-۶)$$

$$K_H = 0.3 \cdot \beta_0 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \quad (۲-۶)$$

$K_{SH}$ : ضریب زلزله طراحی بر اساس راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران  
 $\beta_4$ : ضریب بزرگ‌نمایی پاسخ افقی. این ضریب از راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران بر اساس ارتفاع سازه به دست می‌آید.

$K_H$ : شدت لرزه افقی در سطح زمین

$\beta_1$ : ضریب اهمیت (جدول ۳-۱)

$\beta_2$ : نسبت شتاب مبنای طرح (جدول ۳-۳)

$\beta_3$ : ضریب تقویت لرزه از سنگ کف به سطح زمین با توجه به نوع خاک (جدول ۳-۴)

$\beta_0$ : پارامتر سطح زلزله. مقدار ۰/۵ برای سطح خطر-۱ و مقدار ۱ برای سطح خطر-۲

۲- ضریب زلزله افقی اصلاح شده طراحی،  $K_{MH}$  و ضریب زلزله قائم اصلاح شده طراحی،  $K_{MV}$  در روش شبه استاتیکی اصلاح شده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$K_{MH} = \beta_5 K_H \quad (۳-۶)$$

$$K_{MV} = \beta_6 K_H \quad (۴-۶)$$

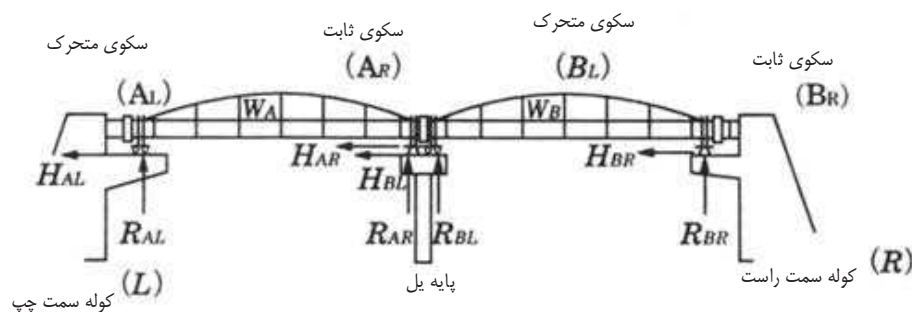
$\beta_5$ : ضریب تقویت پاسخ افقی (راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی) (جدول ۳-۵)



$\beta_6$ : ضریب پاسخ قائم بر اساس رابطه ۳-۱۱، در بسیاری از موارد  $K_{MV}$  تقریباً برابر با نصف  $K_{MH}$  می‌باشد.

### ۶-۳-۱-۵-۳- بار لرزه‌ای افقی روسازه بر پایه پل لوله

- ۱- بار لرزه‌ای شامل نیروی اینرسی می‌باشد که برای تعیین آن روش شبه استاتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ۲- بارهای جانبی ناشی از انبساط سازه‌ها در پل بر اساس ضریب اصطکاک استاتیکی و وزن سازه بدست می‌آید. ضریب اصطکاک معمولاً از ضریب زلزله کوچک‌تر است.
- ۳- ترکیب دو بار فوق باید برای طراحی سازه مورد استفاده قرار گیرد.
- ۴- محل اثر بار در پای سازه و در امتداد محور پل است که تصویر قائم مرکز ثقل سازه روی پایه می‌باشد.
- ۵- نیروی اینرسی به طور مستقل در دو جهت اعمال می‌شود که مطابق شکل در امتداد محور پل و عمود بر آن می‌باشد.



شکل ۶-۱ اعمال نیروی اینرسی

### ۶-۳-۱-۵-۴- نیروی اینرسی افقی

- ۱- نیروی اینرسی اعمالی بر کوله سمت چپ برابر است با:

$$H_{AL} = R_{AL} \cdot f_{AL} \quad (۵-۶)$$

$$H_{AL} \leq \frac{1}{2} K_{SH} \cdot W_A \quad (۶-۶)$$

- ۲- نیروی اینرسی اعمالی بر پایه‌ها برابر است با:

$$H_{AR} + H_{BL} = K_{SH} \cdot W_A \quad (H_{BL} = 0) \quad (۷-۶)$$

$$K_{SH} \cdot W_A - f_{AL} \cdot R_{AL} + f_{BL} \cdot R_{BL} \quad (۸-۶)$$

$$R_{AL} \cdot f_{AL} \leq \frac{1}{2} K_{SH} \cdot W_A \quad (۹-۶)$$



$$R_{BL} \cdot f_{BL} \leq \frac{1}{2} K_{SH} \cdot W_B$$

۳- نیروی اینرسی اعمالی بر کوله سمت راست برابر است با:

$$H_{BR} = K_{SH} \cdot W_B \quad (۱۰-۶)$$

$K_{SH}$ : ضریب زلزله افقی

$W_A, W_B$ : بارهای مرده روسازه A و B. (kN)

$R_{AL}, R_{AR}$ : عکس‌العمل پایه‌های پل و سکوی پل (L) ناشی از  $W_A$  (kN)

$R_{BL}, R_{BR}$ : عکس‌العمل پایه‌های پل و سکوی پل (L) ناشی از  $W_B$  (kN)

$H_{AL}$ : نیروی اینرسی یا اصطکاک وارد بر سکوی پل (L) ناشی از  $W_A$  (kN)

$H_{AR}$ : نیروی اینرسی وارد بر پایه‌های پل ناشی از  $W_A$  (kN)

$H_{BL}$ : نیروی اینرسی یا اصطکاک وارد بر پایه‌های پل (L) ناشی از  $W_B$  (kN)

$H_{BR}$ : نیروی اینرسی وارد بر سکوی پل (R) ناشی از  $W_B$  (kN)

$f_{AL}$ : ضریب اصطکاک استاتیکی تکیه‌گاه انبساطی  $A_L$

$f_{BL}$ : ضریب اصطکاک استاتیکی تکیه‌گاه انبساطی  $B_L$

نیروی اینرسی در جهت عمود بر محور پل با ضرب، عکس‌العمل بار مرده در ضریب زلزله افقی بدست می‌آید.

### ۶-۳-۵-۲- مراحل محاسبات خطوط لوله مدفون

#### ۶-۳-۵-۱- کرنش زمین

کرنش زمین در امتداد خط لوله در روش پاسخ تغییر مکان برابر است با:

$$\varepsilon_G = \frac{\pi U_h}{L} \quad (۱۱-۶)$$

$\varepsilon_G$ : کرنش زمین

$U_h$ : تغییر مکان افقی زمین در امتداد لوله

$L$ : طول موج

$\pi$ : عدد پی

### ۶-۳-۵-۲- ضریب سختی خاک در روش تنش مجاز

در محاسبات لرزه‌ای در روش تنش مجاز لغزش بین خاک و خط لوله در نظر گرفته نمی‌شود. ضریب سختی خاک در امتداد محور لوله و عمود بر آن،  $K_{g1}$  و  $K_{g2}$  طبق رابطه‌های (۶-۱۲) و (۶-۱۳) محاسبه می‌شود که عبارت است از:



$$K_{g1} = C_1 \frac{\gamma_t}{g} V_s^2 \quad (12-6)$$

$$K_{g2} = C_2 \frac{\gamma_t}{g} V_s^2 \quad (13-6)$$

$K_{g1}$  ,  $K_{g2}$  : ضرایب سختی خاک در واحد طول در امتداد لوله و در جهت عمود بر آن و بر حسب Pa هستند.

$\gamma_t$ : وزن مخصوص خاک ( $N/m^3$ )

g: شتاب ثقل ( $9.8 m/s^2$ )

$V_s$ : سرعت موج برشی ارتجاعی در سطح زمین (m/s)

$C_1$  ,  $C_2$  : ضرایبی در دو جهت هستند که معمولاً  $C_1=1/5$  و  $C_2=3$  فرض می‌شوند. این ضرایب به‌طور دقیق‌تر از روش اجزای محدود بدست می‌آیند. رابطه زیر برای تعیین این ضرایب به‌کاربرده می‌شود. در این رابطه ضخامت لایه بین ۵ تا ۳۰ متر و قطر لوله بین ۱۵۰ و ۳۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

$$C_1 = 1.3H^{-0.4}D^{0.25} \quad (14-6)$$

$$C_2 = 2.3H^{-0.4}D^{0.25} \quad (15-6)$$

H: ضخامت لایه سطحی (m)

D: قطر لوله (m)

### ۶-۳-۵-۲-۳- نیروی اصطکاک زمین در روش طراحی شکل‌پذیر

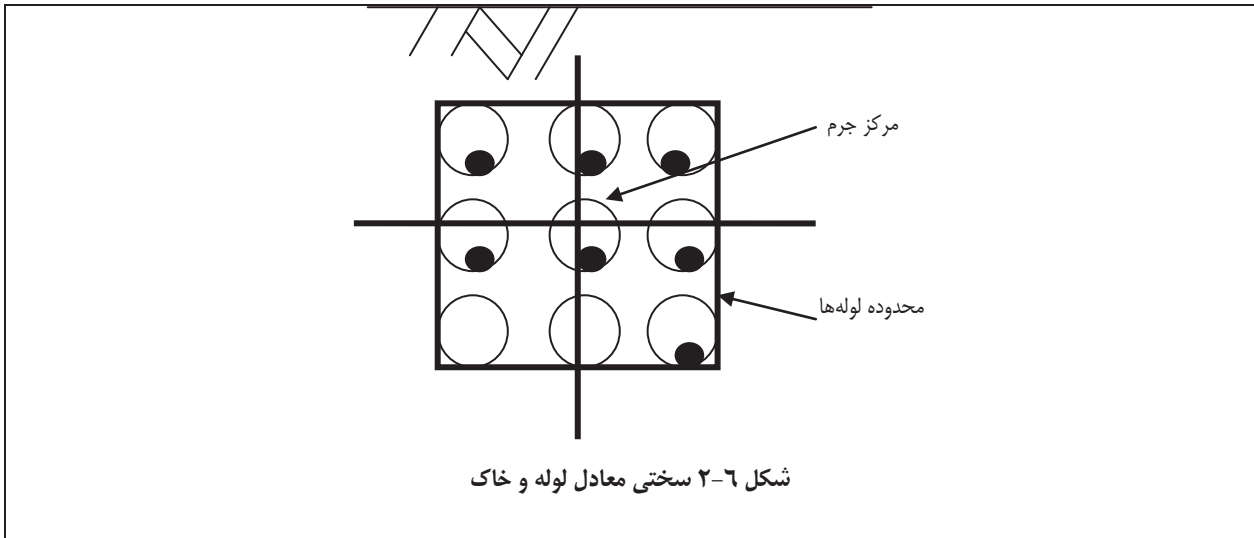
در طراحی شکل‌پذیر لغزشی نسبی لوله و خاک با در نظر گرفتن اصطکاک حدود 0.01 Mpa در نظر گرفته می‌شود. در لوله‌های خاص و با اهمیت مدل غیر خطی برای اصطکاک در نظر گرفته می‌شود.

### ۶-۳-۵-۲-۴- سختی خاک برای مجاری چند لایه

در مجاری چند لایه از سختی معادل استفاده می‌شود که شامل سختی محوری و خمشی می‌باشد. سختی محوری جمع سختی مجاری در مرکز ثقل آن‌ها و سختی خمشی جمع سختی‌های خمش با در نظر گرفتن دو خط متقاطع عبور کننده از مرکز ثقل خواهد بود که در شکل (۶-۲) نشان داده شده است.







۶-۳-۵-۳- محاسبات لرزه‌ای مربوط به لوله پیوسته به روش پاسخ تغییر مکان

۶-۳-۵-۳-۱ کلیات

در محاسبه تنش و کرنش در روش تنش مجاز از لغزش بین لوله و خاک صرف‌نظر می‌شود اما در روش طراحی شکل‌پذیری این لغزش در نظر گرفته می‌شود.

۶-۳-۵-۳-۲ محاسبه تنش بدنه لوله پیوسته در روش تنش مجاز

تنش در بدنه لوله برای طراحی به روش تنش مجاز را می‌توان از رابطه ۶-۱۶ بدست آورد:

$$\sigma_{1L} = \alpha_1 \frac{\pi U_h}{L} E \quad (۱۶-۶)$$

$$\sigma_{1B} = \alpha_2 \frac{\pi^2 D U_h}{L^2} E \quad (۱۷-۶)$$

$$\sigma_{1x} = \sqrt{\alpha_{1L}^2 + \alpha_{1B}^2} \quad (۱۸-۶)$$

$\sigma_{1L}$ : تنش محوری لوله مدفون (Pa)

$\sigma_{1B}$ : تنش خمشی لوله مدفون (Pa)

$\sigma_{1x}$ : تنش ترکیبی محوری و خمشی (Pa)

$\alpha_1, \alpha_2$ : ضرایب تبدیل تغییر مکان زمین در جهت محوری و عرضی لوله



$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_1 L'}\right)^2} \\ \alpha_2 &= \frac{1}{1 + \left(\frac{2\pi}{\lambda_2 L}\right)^4} \end{aligned} \right\} \quad (19-6)$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= \sqrt{\frac{K_{g1}}{EA}} (1/m) \\ \lambda_2 &= \sqrt[4]{\frac{K_{g2}}{EA}} (1/m) \end{aligned} \right\} \quad (20-6)$$

$L'$ : طول موج ( $= \sqrt{2}L$ ) بر حسب متر

$L$ : طول موج (m)

$K_{g1}, K_{g2}$ : ضرایب سختی خاک در واحد طول در جهت محور لوله و عمود بر آن (Pa)

$E$ : مدول ارتجاعی لوله مدفون (Pa)

$A$ : سطح مقطع لوله مدفون ( $m^2$ )

$I$ : ممان اینرسی مقطع لوله مدفون ( $m^4$ )

$U_h$ : تغییر مکان افقی زمین (m)

$D$ : قطر خارجی لوله مدفون (m)

### ۶-۳-۵-۳- محاسبه تنش بدنه لوله پیوسته در طراحی به روش شکل پذیر

۱- تنش محوری لوله در این حالت برابر است با:

$$\sigma_{2L} = \frac{\pi D \tau L'}{4A} \quad (21-6)$$

$\sigma_{2L}$ : تنش محوری (Pa)

$\tau$ : تنش اصطکاکی بین لوله و زمین (Pa)

۲- تنش خمشی و ترکیبی بر اساس روابط ۶-۱۷ و ۶-۱۸ محاسبه می‌شوند.

۳-  $\sigma_{2L}$  بر اساس میزان اهمیت در عددی مابین ۱ تا ۳/۱۲ ضرب می‌شود.

### ۶-۳-۵-۴- محاسبه کرنش بدنه لوله پیوسته در روش تنش مجاز

محاسبه کرنش بدنه لوله پیوسته در روش تنش مجاز با روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon_{1L} = \alpha_1 \cdot \varepsilon_G \quad (22-6)$$

$$\varepsilon_{1B} = \alpha_2 \cdot \frac{2\pi D}{L} \varepsilon_G \quad (23-6)$$

$$\varepsilon_{1x} = \sqrt{\varepsilon_{1L}^2 + \varepsilon_{1B}^2} \quad (24-6)$$

$\varepsilon_{1L}$ : کرنش محوری لوله

$\varepsilon_{1B}$ : کرنش خمشی لوله

$\varepsilon_{1x}$ : کرنش ترکیبی محوری و خمشی لوله

$\varepsilon_G$ : کرنش محوری زمین

$\alpha_1$ : ضریب انتقال کرنش محوری زمین

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + \left\{ 2\pi / (\lambda_1 L) \right\}^2} \quad (25-6)$$

$$\lambda_1 = \left\{ K_{g1} / (EA) \right\}^{1/2} \quad (26-6)$$

$\alpha_2$ : ضریب انتقال کرنش عرضی زمین مشابه رابطه (۱۹-۶)

مقدار  $\varepsilon_{1L}$  در حالت ارتجاعی به روش فوق محاسبه می‌شود. اما زمانی که از کرنش تسلیم لوله،  $\varepsilon_y$  تجاوز نماید مقدار  $\alpha_1$  با

ضریب  $\left[ \left( K_{g1} / \left\{ \varepsilon_y / (2\varepsilon_{1L}) EA \right\} \right) \right]^{1/2}$  اصلاح می‌شود و کرنش  $\varepsilon_{1L}$  لوله به دست می‌آید.

برای کنترل کفایت تنش، روابط ۱۶-۶ تا ۱۸-۶ قابل استفاده هستند.

### ۶-۳-۵-۳-۵- محاسبه کرنش لوله پیوسته در طراحی شکل پذیر

۱- کرنش محوری  $\varepsilon_{2L}$  برابر است با:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{2L} &= L / \zeta & (L \leq L_1) \\ \varepsilon_{2L} &= L / (\kappa \zeta) & (L_1 < L < L_2) \end{aligned} \right\} \quad (27-6)$$

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{2L} &= \varepsilon_{Gmax} & (L_2 = L) \\ L_2 &= \kappa \zeta \left\{ \varepsilon_{Gmax} - (1 + 1/\kappa) \varepsilon_y \right\} \end{aligned} \right\} \quad (28-6)$$

$\varepsilon_{2L}$ : کرنش محور لوله و  $\zeta = 2\sqrt{2} Et / \tau$

t: ضخامت لوله (m)

K: خصوصیت سخت‌شوندگی کرنش لوله ( $\kappa = 0/1$ )

$\varepsilon_y$ : کرنش تسلیم لوله

$\varepsilon_{Gmax}$ : کرنش زمین متناظر با  $S_{Vmax}$  (در صورتی که  $0.7 \leq T_G$  آنگاه از  $S_V$  استفاده می‌گردد) - ۲- کرنش خمشی و

ترکیبی مشابه روابط ۲۴-۶ و ۲۵-۶ محاسبه می‌شوند.

## ۶-۳-۵-۴- محاسبه لوله گسسته به روش پاسخ تغییر مکان

## ۶-۳-۵-۴-۱- کلیات

- ۱- لوله‌های گسسته عموماً به روش طراحی شکل‌پذیر طراحی می‌شوند. در سطح خطر ۲- لغزش بین لوله خاک در نظر گرفته می‌شود.
- ۲- تغییر مکان اتصالات و زاویه خمشی لوله می‌باید بر اساس تغییر مکان افقی حداکثر زمین محاسبه شوند.

## ۶-۳-۵-۴-۲- محاسبه تنش لوله گسسته بدون در نظر گرفتن لغزش (روش تنش مجاز)

با صرف نظر از لغزش نسبی بین لوله و خاک، تنش بدنه لوله به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\sigma'_{IL}(x) = \zeta_1(x) \cdot \sigma_{IL} \quad (29-6)$$

$$\sigma'_{IB}(x) = \zeta_2(x) \cdot \sigma_{IB} \quad (30-6)$$

$$\sigma'_{Ix}(x) = \sqrt{\{\sigma'_{IL}(x)\}^2 + \{\sigma'_{IB}(x)\}^2} \quad (31-6)$$

$\sigma'_{IB}(x)$   $\sigma'_{IL}(x)$  : تنش‌های محوری و خمشی لوله

$\sigma_{IB}(x)$   $\sigma_{IL}(x)$  : تنش‌های محوری و خمشی

$\sigma'_{Ix}(x)$  : تنش ترکیبی در فاصله X از اتصال انعطاف‌پذیر

$\zeta_1(x)$   $\zeta_2(x)$  : ضرایب اصلاح تنش لوله مدفون با فرض پیوستگی اتصالات (به‌طوریکه بتوان با فرض صلب بودن اتصال، لوله گسسته را به صورت پیوسته در نظر گرفت)

بهتر است عبارت  $[\sigma'_{IL}(x)]^2$  در رابطه (۳۱-۶) بر اساس میزان اهمیت لوله در عددی بین ۱ تا ۳/۱۲ ضرب شود.

## ۶-۳-۵-۴-۳- محاسبه تنش بدنه لوله گسسته با در نظر گرفتن لغزش (روش شکل‌پذیر)

تنش محوری  $\sigma'_{2L}$  با در نظر گرفتن لغزش با ساده‌سازی نتایج تحلیل پاسخ غیر خطی محاسبه می‌شود. در مورد لوله فلزی نرم که تحت زلزله متوسط تا شدید می‌باشد، تنش محوری به صورت رابطه (۳۲-۶) بدست می‌آید:

$$\sigma_L = \frac{\pi \cdot D \cdot \tau \cdot l}{2A} \quad (32-6)$$

$\sigma_L$  : تنش محوری (Pa)

l : طول لوله (m)

A : سطح مقطع لوله ( $m^2$ )

تنش خمشی و ترکیبی مشابه روابط ۳۰-۶ و ۳۱-۶ بدست می‌آید.



## ۶-۳-۵-۴- محاسبه کرنش لوله گسسته بدون لحاظ لغزش

کرنش محوری لوله با اتصال انعطاف‌پذیر تحت زلزله سطح خطر ۱- برابر است با:

$$\varepsilon'_{1L}(x) = \zeta_1(x) \cdot \varepsilon_{1L} \quad (۳۳-۶)$$

$$\varepsilon'_{1B}(x) = \zeta_2(x) \cdot \varepsilon_{1B} \quad (۳۴-۶)$$

$$\varepsilon'_{1x}(x) = \sqrt{\{\varepsilon'_{1L}(x)\}^2 + \{\varepsilon'_{1B}(x)\}^2} \quad (۳۵-۶)$$

$\varepsilon'_{1L}(x)$  و  $\varepsilon'_{1B}(x)$ : کرنش محوری و خمشی در فاصله X از اتصال

$\varepsilon_{1L}$  و  $\varepsilon_{1B}$ : کرنش‌های خمشی و محوری از روابط ۶-۲۹ و ۶-۳۰

$\varepsilon'_{1x}(x)$ : کرنش ترکیبی خمشی و محوری

$\zeta_1(x)$  و  $\zeta_2(x)$ : ضریب اصلاح تنش با فرض لوله پیوسته

## ۶-۳-۵-۵- محاسبه کرنش بدنه لوله گسسته با در نظر گرفتن لغزش

کرنش محوری  $\varepsilon'_{2L}$  برابر است با:

$$\varepsilon'_{2L} = \frac{\tau L_e}{2Et} \quad (۳۶-۶)$$

$L_e$ : فاصله اتصالات انعطاف‌پذیر (m)

t: ضخامت لوله (m)

کرنش خمشی و ترکیبی مشابه روابط ۶-۳۴ و ۶-۳۵ محاسبه می‌شوند.

## ۶-۳-۵-۶- محاسبه تغییر مکان محوری اتصال

تغییر مکان محوری اتصال برابر است با:

$$|u_J| = u_0 \bar{u}_J \quad (۳۷-۶)$$

$|u_J|$ : مقدار انبساط محوری اتصال (m)

$u_0$ : تغییر مکان نسبی محوری با فرض طول بی‌نهایت لوله

$$\bar{u}_J = \frac{2\gamma_1 |\cosh \beta_1 - \cos \gamma_1|}{\beta_1 \sinh \beta_1} \quad (۳۸-۶)$$

$$u_0 = \alpha_1 U_a \quad (۳۹-۶)$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + (\gamma_1 / \beta_1)^2} \quad (۴۰-۶)$$



$$\beta_1 (= \lambda_1 l) = \sqrt{\frac{K_{g1}}{EA}} \cdot l \quad (۴۱-۶)$$

$$\gamma_1 = \frac{2\pi l}{L'} \quad (۴۲-۶)$$

EA: سختی محوری (N)

l: فاصله اتصالات (m)

$K_{g1}$ : ضریب سختی خاک در جهت محوری (Pa)

$L'$ : برآیند طول موج ( $= \sqrt{2}L$ ) (m)

L: طول موج (m)

$U_a$ : تغییر مکان افقی زمین در جهت محور لوله (m)

$$U_a = \frac{1}{\sqrt{2}} U_h \quad (۴۳-۶)$$

$U_h$ : تغییر مکان افقی در عمق x (m) از سطح زمین

برای لوله چدنی تحت زلزله متوسط تا شدید از رابطه (۴۴-۶) استفاده می‌شود:

$$e_p = \epsilon_G l \quad (۴۴-۶)$$

$\epsilon_p$ : انبساط اتصال در جهت محوری

$\epsilon_G$ : کرنش زمین

### ۶-۳-۵-۴-۷- محاسبه زاویه خمش اتصال

زاویه خمش اتصال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta = \frac{4\pi^2 l U_h}{L^2} \quad (۴۵-۶)$$

$\theta$ : زاویه خمش اتصال (Rad)

$U_h$ : تغییر مکان

روابط فوق با فرض حرکت هماهنگ لوله با زمین بدست آمده است.



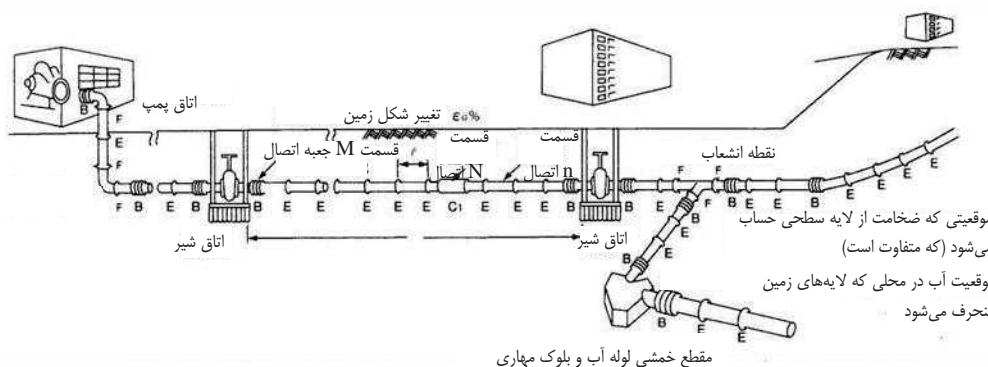
## ۶-۳-۶- ارزیابی ایمنی لوله تحت تغییر مکان دائمی زمین

## ۶-۳-۶-۱- کلیات

تغییر مکان دائمی زمین خطر قابل توجهی برای خطوط لوله محسوب می‌شود. کرنش‌های حداکثر زمین که در نقاط مرزی ایجاد می‌شود، معیار تعیین حداکثر تغییر مکان زمین می‌باشد. در حالت روان‌گرایی این مرز محل تماس لایه روان‌گرا و غیر روان‌گرا می‌باشد. در مورد گسل، تغییر مکان حداکثر در محل خود گسل و شکستگی زمین رخ می‌دهد. در حالت لغزش نیز تغییر مکان در لبه‌های شیب اتفاق می‌افتد و در حالت نشست نیز بیشترین مقدار بستگی به الگوی نشست دارد.

## ۶-۳-۶-۲- اقدامات متقابل در برابر تغییر مکان ماندگار زمین، PGD

در لوله‌های مستقیم، اتصالات انبساطی جهت کنترل تغییر شکل‌ها و جابجایی لوله به کار گرفته می‌شود. در محل اتصال لوله به سازه‌ها که امکان ایجاد خمش زیاد وجود دارد اتصالات انبساطی باید ظرفیت جذب تغییر مکان‌ها و دوران‌های بزرگ‌تری را داشته باشد. اتصالات انبساطی و جدانشدنی (تغییر مکان انبساطی: طول لوله  $n \pm \beta\%$ ) باید به منظور جلوگیری از جابجایی و گسستگی خطوط لوله مستقیم به کار روند. برای مقاطعی که نیروی خمشی بر آن‌ها اعمال می‌شود (نظیر ورودی ساختمان‌ها و جعبه اتصال)، باید از اتصالات تویی انبساطی با انعطاف‌پذیری بالا ((حجم انبساط: طول لوله  $M \pm \alpha$  [زاویه خمشی  $\theta \pm \text{deg}$ ]) استفاده شود.



شکل ۶-۳-۶-۱- طرح مفهومی خط لوله متصل

## ۶-۳-۶-۳- محاسبات خط لوله گسسته تحت روان‌گرایی

جهت تأمین ایمنی لوله با طولی برابر  $L$ ، ظرفیت تغییر مکان محوری لوله باید از حداکثر تغییر مکان زمین یعنی  $\epsilon_G L$  بیشتر باشد:

$$\epsilon_G L < n\beta l + Ma \quad (6-46)$$

در صورت عدم ارضای شرط فوق انعطاف‌پذیری لوله باید با اضافه کردن اتصالات انبساطی افزایش یابد. تعداد این اتصالات به صورت زیر بدست می‌آید:



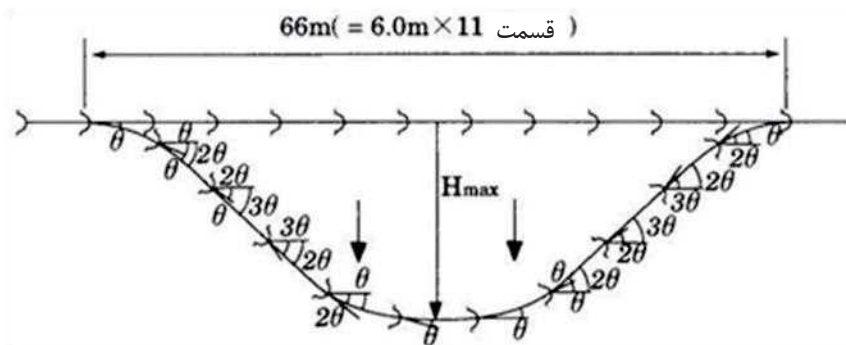
$$N = \frac{\varepsilon_G L - n\beta l + Ma}{b} \quad (۴۷-۶)$$

E: انبساط (  $\pm\beta\%$  درصدی از طول لوله)

b: زاویه خمش اتصال  $\pm\theta$  ،  $\pm\alpha$

C<sub>1</sub>: انبساط لوله طویل

نیروی قابل تحمل هر اتصال باید بیشتر از نیروی اصطکاک انتقالی به لوله باشد. در جهت عمود در لوله نیز کنترل‌های لازم برای تحمل تغییر شکل‌ها باید انجام شود. در شکل زیر نحوه عملکرد اتصالات گسسته انبساطی نشان داده شده است.



شکل ۶-۴ رفتار اتصالات در جهت عمود بر محور لوله

$$H_{\max} = l(\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta + \dots + \tan 3\theta + \tan 2\theta + \tan \theta) \quad (۴۸-۶)$$

$\theta$ : حداکثر زاویه خمش هر اتصال بر حسب درجه است.

### ۶-۳-۶-۴- محاسبه لوله پیوسته تحت روان‌گرایی

### ۶-۳-۶-۴-۱- تغییر شکل جانبی زمین در مجاورت دیوارهای حائل

در صورت وقوع تغییر شکل جانبی زمین و ایجاد تغییر شکل محوری در لوله حداکثر کرنش لوله از رابطه (۴۹-۶) بدست می‌آید:

$$\varepsilon_p = \frac{\tau' L}{Et} \quad (۴۹-۶)$$

$\varepsilon_p$ : کرنش محوری لوله

$\tau'$ : تنش اصطکاکی زمین در حالت روان‌گرایی (Pa)

L: طول جابجا شده

E: مدول ارتجاعی فولاد (Pa)

t: ضخامت لوله (m)

زمانی که  $\varepsilon_p$  از مقدار زیر بیشتر شود مقدار آن باید از رابطه (۵۰-۶) مجدداً محاسبه گردد:



$$\varepsilon_p = \frac{\tau' L}{\kappa Et} + \left(1 - \frac{1}{\kappa}\right) \varepsilon_y \quad (50-6)$$

$\kappa$ : مقدار سخت‌شوندگی کرنش در کشش می‌باشد. ( $\kappa = 0/01$ )

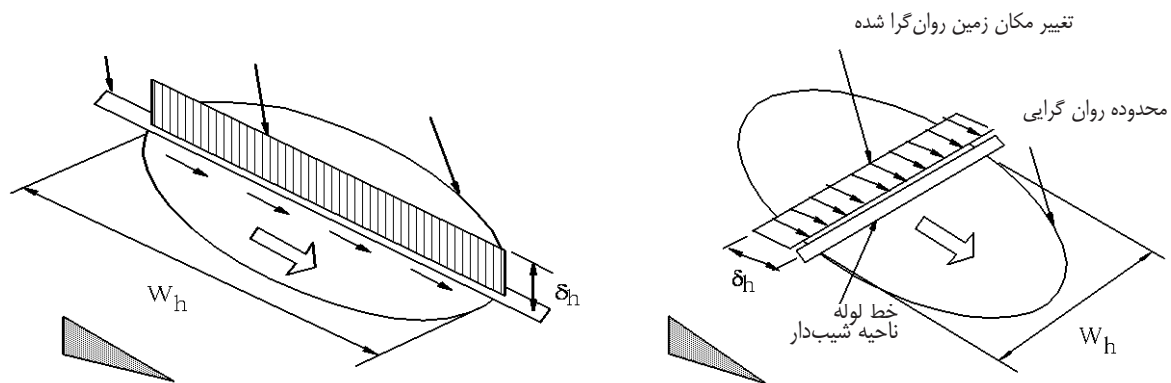
### ۶-۳-۶-۲- تغییر شکل جانبی زمین در شیب‌ها

در زمین‌های شیب‌دار که لوله در امتداد عمود بر شیب قرار دارد زاویه خمش لوله مستقیم بر حسب درجه از رابطه (۵۱-۶) بدست می‌آید:

$$P_i = D_i \cdot \gamma_k \cdot \sigma_c \quad \text{برای}$$

$$\omega_s = \frac{180}{\pi} \cdot 127 \cdot D_i \cdot \sqrt{\frac{P_i \cdot \gamma_\delta \cdot \delta_h}{EI}} \quad (51-6)$$

$\sigma_c, \gamma_k, \gamma_\delta$ : به ترتیب ضرایب جزئی ایمنی برای تغییر شکل دائمی زمین،  $\delta_h$  و فنریت خاک،  $K_1$  و تنش فشاری خاک می‌باشند.  
 $\omega_s$ : زاویه خمش لوله به درجه



شکل ۶-۵ مدل تحلیلی لوله مستقیم در زمین شیب‌دار روان گرا شده

### ۶-۳-۶-۳- ارزیابی ایمنی لرزه‌ای تحت تغییر مکان دائم ناشی از روان‌گرایی

۱- ایمنی لرزه‌ای در این حالت با تخمین احتمالاتی حالت حدی لوله تحت تغییر مکان دائم ناشی از روان‌گرایی بررسی می‌شود.

۲- این روش ارزیابی برای لوله‌های مستقیم و خم‌ها استفاده می‌شود.

۳- ضرایب ایمنی جزئی بار، تحلیل سازه‌ای، خصوصیات مصالح و اعضای سازه‌ای به تفکیک اعمال می‌شوند.

مقادیر معمول این ضرایب جزئی ایمنی در جدول (۶-۲) ارائه شده است.



جدول ۶-۲ ضرایب جزئی ایمنی

مقدار استاندارد	مود تغییر مکان	اعضا	ضرایب جزئی ایمنی		
۱/۸	تمام مودها	لوله و خم	شیب	$\gamma_d$ برای تغییر مکان زمین	ضریب بار
۱/۳			دیوار ساحلی		
۱			نشست		
۱/۲	تمام مودها	لوله و خم	محوری	$\gamma_k$ برای نیروی مقاوم زمین	
۱/۲			عرضی		
۱/۱			قائم		
۱	کمانش‌های محوری و خمشی	لوله و خم	رابطه تحلیلی	$\gamma_a$ برای ساده‌سازی روابط محاسباتی	ضرایب مربوط به تحلیل سازه‌ای
۱/۱	خمشی داخلی و کشش خارجی	لوله	تحلیل تیر غیر ارتجاعی به روش FEM		
۱	خمشی داخلی و افزایش طول خارجی	خم			
۱	تمام مودها	لوله و خم	تحلیل ترکیبی تیر و پوسته		
۱	تمام مودها	لوله و خم	$\gamma_m$ برای کرنش حدى مصالح لوله		ضریب مصالح
۱	کمانش‌های محوری و خمشی	لوله	$\gamma_b$ برای فرمول‌بندی تغییر مکان بحرانی لوله		ضریب اعضا
۱	خمشی داخلی و کشش خارجی	خم			

## ۶-۳-۶-۵- محاسبه کرنش لوله تحت اثر جابجایی گسل

کرنش لوله تحت تغییر مکان دائم ناشی از گسل به صورت رابطه (۶-۵۲) بدست می‌آید:

$$\varepsilon_{\text{pipe}} = 2 \left[ \frac{\text{PGD}}{2L_a} \cos \beta + \frac{1}{2} \left( \frac{\text{PGD}}{2L_a} \sin \beta \right)^2 \right] \quad (6-52)$$

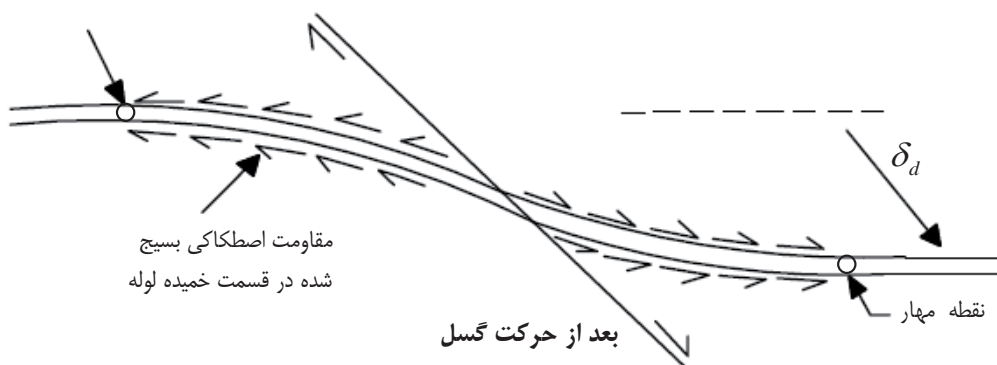
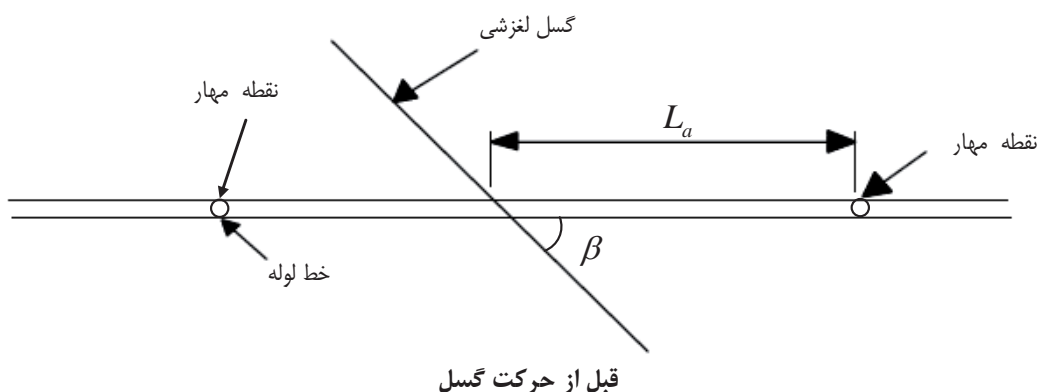
$\beta$  و  $L_a$  به ترتیب برابر با زاویه تغییر مکان اعمالی با امتداد محور لوله و طول مؤثر لوله تحت تغییر مکان می‌باشند.

در صورت تقاطع خط لوله مخابرات با گسل ملاحظات زیر باید اعمال گردد:

۱- در صورتی که محاسبات نشان دهد که لوله طراحی شده می‌تواند جابجایی گسل را به طور ایمن تحمل نماید. طرح استاندارد لوله قابل اعمال است.

۲- در غیر این صورت مطالعات خاص محل باید صورت پذیرد که می‌تواند منجر به افزایش ضخامت لوله، افزایش چغرمگی، اصلاح جوش‌ها، اصلاح روش خاک‌ریزی، مدفون کردن لوله روزمینی با ایجاد خاکریز، طراحی سازه نگهدارنده و اصلاح تکیه‌گاه‌ها گردد.

جهت طراحی، تغییر مکان زمین، توپوگرافی سطحی، عرض ناحیه گسله، شرایط خاک، وضعیت فرسایش و زهکشی، اثرات محیطی، مجاورت با سایر سازه‌ها و هزینه‌های مربوطه باید لحاظ گردد.



شکل ۶-۶ تقاطع لوله و گسل

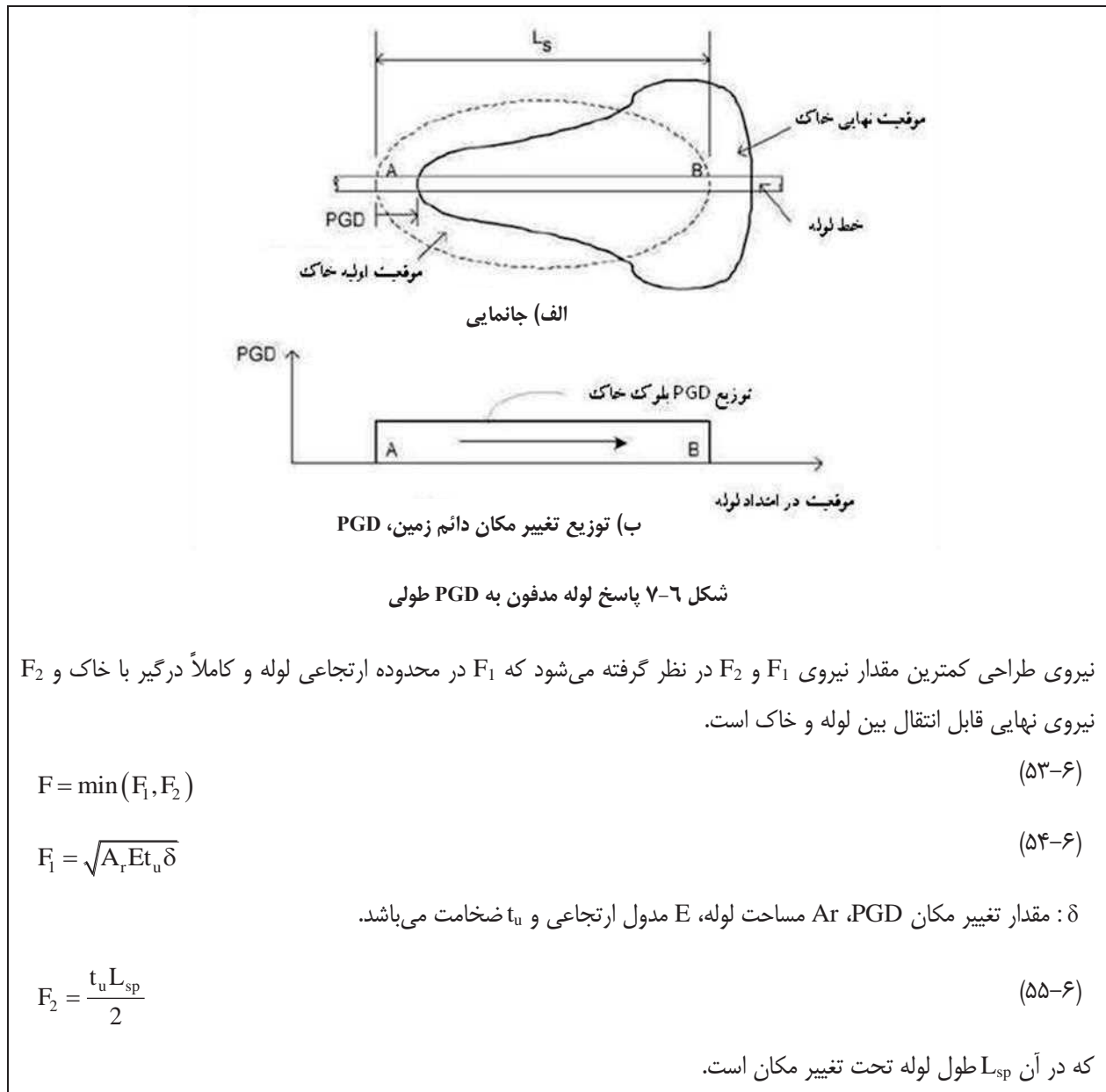
### ۶-۶-۳-۶- محاسبات مربوط به لغزش شیبها

تغییر مکان دائمی زمین، PGD در امتداد شیب در نظر گرفته می‌شود و رفتار لوله به زاویه قرارگیری آن بستگی خواهد داشت. لوله‌ای که در امتداد جابجایی PGD باشد تحت تغییر شکل محوری قرار می‌گیرد. لوله مورب تحت خمش قرار می‌گیرد.

روش استاتیکی معادل، ESM در این شرایط قابل استفاده نیست. به طور معمول تغییر مکان دائمی زمین، PGD به صورت محوری خسارت بیشتری به لوله می‌رساند و مقدار آن به طور تجربی حدود ۵ تا ۱۰ برابر است. چرا که لوله تحت خمش، نسبت به لوله تحت فشار یا کشش شکل‌پذیری بیشتری از خود نشان می‌دهد. روش استاتیکی معادل، ESM برای لوله‌های تحت تغییر مکان‌های کوچک قابل کاربرد است ولی در تغییر مکان‌های بزرگ مثلاً حدود ۳۰ سانتی‌متر و بیشتر، تحلیل‌های اجزای محدود، با دقت بیشتر باید صورت پذیرد.

### ۶-۶-۳-۶-۱ پاسخ لوله به تغییر مکان دائمی طولی

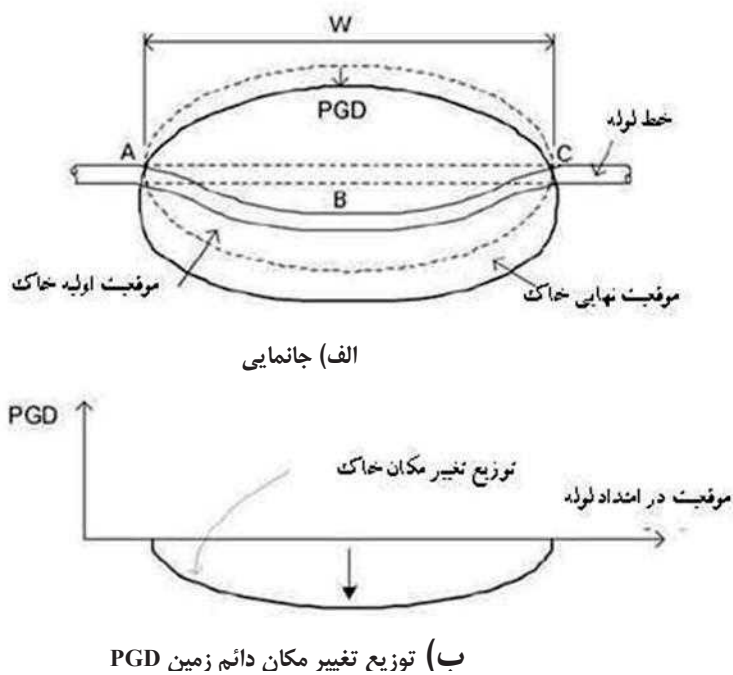
در لوله تغییر مکان محوری می‌تواند در قسمت بالایی شیب کشش و در قسمت پایینی فشار ایجاد نماید (به ترتیب، نقاط A و B در شکل (۶-۷)).



در شرایطی که طراحی ارتجاعی قابل اعمال نباشد می‌توان از روش پلاستیک استفاده نمود. در این شرایط لوله باید از مصالح شکل‌پذیر ساخته شده باشد و اتصالات آن قابلیت تحمل نیروهای وارده را داشته باشند.

### ۶-۳-۶-۲- پاسخ لوله به تغییر مکان عرضی

در این حالت لوله مشابه یک تیر تحت تغییر مکان حداکثر در وسط دهانه عمل می‌کند. PGD توزیع شده، دارای حداکثر تغییر مکان در نزدیکی مرکز و حداقل تغییر مکان در نزدیکی مرزهای توده خاک است. بدترین حالت در نزدیکی مرزهای توده خاک، مانند لوله گذرنده از گسل می‌باشد. نقطه اثر حداکثر تغییر مکان، مرکز جرم توده جابه‌جا شده خاک می‌باشد. تعیین محل مرزها در طراحی مؤثر و در مواردی که PGD در نزدیکی مرزهای توده خاک رخ می‌دهد، حائز اهمیت می‌باشد که در این حالت باید بررسی مخاطرات ویژه ساخت‌گاه انجام شود.



شکل ۶-۸ پاسخ لوله به تغییر مکان عرضی

کرنش حداکثر در لوله در وسط یا انتهای دهانه خم شده ایجاد می‌شود و به طور محافظه کارانه، کمترین مقدار از رابطه (۶-۵۶) است:

$$\varepsilon_b = \pm \frac{\pi D_o \delta}{W_G^2} \quad (۶-۵۶)$$

که در آن  $W_G$  عرض توده خاک،  $D_o$  قطر خارجی لوله و  $\delta$  تغییر مکان زمین است.

در صورت کرنش زیادی به لوله که باعث لهیدگی یا کمانش شود، استفاده از تحلیل‌های دقیق‌تر اجزای محدود توصیه می‌شود. برای این کار مقادیر  $W$  و  $\delta$  باید بر اساس شرایط محل بدست بیاید.

با این روش می‌توان به لوله اجازه تحمل تغییر شکل پلاستیک هم داد البته مصالح لوله باید قابلیت تحمل آن را داشته باشد. این ظرفیت حداقل ۴ تا ۵٪ در کشش و ۱٪ در فشار بوده و اتصالات باید مقاومت کافی در برابر آن را باشند.

### ۶-۳-۶-۳-۳-۳ شرایط خاص در مورد لوله‌ها

برای سیستم‌های پیچیده لوله باید از تحلیل اجزای محدود استفاده شود. مدل فنر معادل در جهت‌های طولی و عرضی و قائم از این جمله است.

### ۶-۳-۶-۷-۳-۶-۷ مقادیر مجاز مربوط به خط لوله مدفون

۱- تغییر مکان یا کرنش مجاز لوله حداکثر مقدار قابل تحمل اتصال در نظر گرفته می‌شود.



۲- در زلزله سطح خطر-۱ برای اثر موج، کرنش بحرانی در مد خستگی با سیکل پایین حداقل دو مقدار ۰/۱۱٪ و کرنش حد کماتش  $23t / D$  در نظر گرفته می‌شود.

۳- در زلزله سطح خطر-۲ برای اثر موج، کرنش بحرانی در مد خستگی با سیکل پایین  $46t / D$  می‌باشد.

۴- تغییر مکان قابل تحمل اتصالات مکانیکی از قبیل انبساطی، مارپیچی و نرو مادگی بر اساس آزمایش بدست می‌آید.

مقادیر بحرانی مجاز فوق در جدول (۳-۶) ارائه شده است.

جدول ۳-۶ مقادیر بحرانی مجاز

معیار	واحد	مود شکست	اجزا	بار لرزه‌ای	زلزله
۰/۱۱٪	کرنش	شکست ناشی از خستگی با سیکل پایین	لوله پیوسته	اثر موج	سطح خطر-۱
$23t / D$		کمانش			
$46t / D$		کمانش	لوله پیوسته	اثر موج	سطح خطر-۲

### ۶-۳-۸- معیار پذیرش

#### ۶-۳-۸-۱- معیار پذیرش لوله روزمینی

برای پل لوله معیار پذیرش به صورت زیر است:

$$(۵۷-۶)$$

$$Q_p \leq Q_{pa}$$

$Q_p$ : بار پاسخ مربوط به مدهای خرابی

$Q_{pa}$ : بار مجاز مربوط به مدهای خرابی

#### ۶-۳-۸-۲- معیار پذیرش خط لوله مدفون

#### ۶-۳-۸-۲-۱- لوله گسسته در طراحی به روش شکل‌پذیر بدون در نظر گرفتن لغزش نسبی بین لوله و خاک

۱- تنش بدنه لوله باید کمتر یا مساوی تنش مجاز جاری شدن یا چروکیدگی باشد.

۲- تغییر مکان باید کمتر یا مساوی تغییر مکان مجاز طراحی اولیه باشد.

#### ۶-۳-۸-۲-۲- لوله گسسته در طراحی به روش شکل‌پذیر با در نظر گرفتن لغزش خاک و لوله

۱- تنش: تنش بدنه لوله باید کمتر یا مساوی تنش مجاز جاری شدن یا لهیدگی باشد.

۲- تغییر مکان اتصال: تغییر مکان باید کمتر یا مساوی تغییر مکان مجاز طراحی اولیه باشد.



### ۶-۳-۲-۸-۳- معیار پذیرش لوله پیوسته در روش تنش مجاز

تنش: تنش بدنه لوله باید کمتر یا مساوی تنش مجاز باشد.

### ۶-۳-۲-۸-۴- معیار پذیرش لوله پیوسته در روش شکل پذیر

کرنش: کرنش لوله باید کمتر یا مساوی کرنش مجاز باشد.

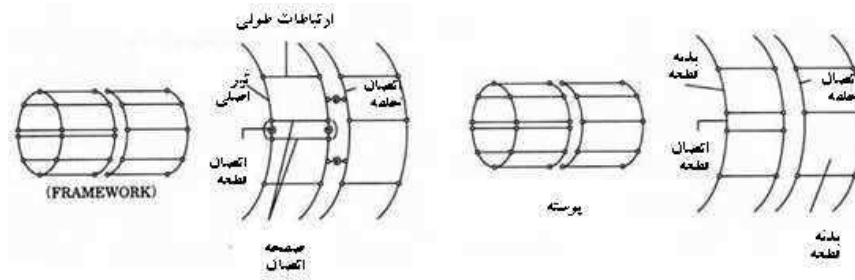
## ۶-۴- ملاحظات طراحی لوزه ای مجاری (تونل‌های) سپری مخابراتی

در زمین‌های سست که حفاری مشکل است از تونل‌های سپری در عمق استفاده می‌شود. برای انتقال خطوط مهم مخابراتی در چنین مواردی و به ویژه به عنوان مجرای مشترک، تونل سپری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحلیل لوزه ای این مجاری مدل‌سازی و روش تحلیل اهمیت بسزایی دارند. مدل‌های تحلیلی مجاری سپری ذیلاً معرفی می‌گردد. این مدل‌ها به صورت تیر روی فنر پیوسته با تغییر سختی یکنواخت در طول در نظر گرفته می‌شود. البته در مورد تونل‌ها با پوشش قطعه‌ای روش کاملی وجود ندارد.

### ۱- مدل اول (مدل Koizumi)

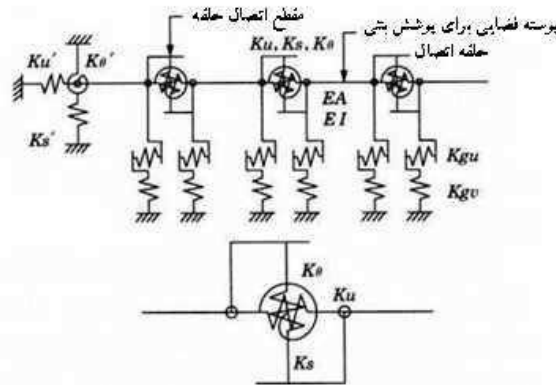
در این روش درزها مدل می‌شوند و پارامترهای مدل بر اساس آزمایش بدست می‌آیند. درز قطعات با فنرهای چرخشی و درز حلقه‌ها نیز به طور مشابه در نظر گرفته می‌شود. مطابق شکل برای مجاری فلزی از المان‌های قاب سه بعدی استفاده می‌شود. برای مجاری بتنی المان‌های پوسته بکار گرفته می‌شوند.





قاب فضایی برای پوشش فلزی

پوسته فضایی برای پوشش بتنی

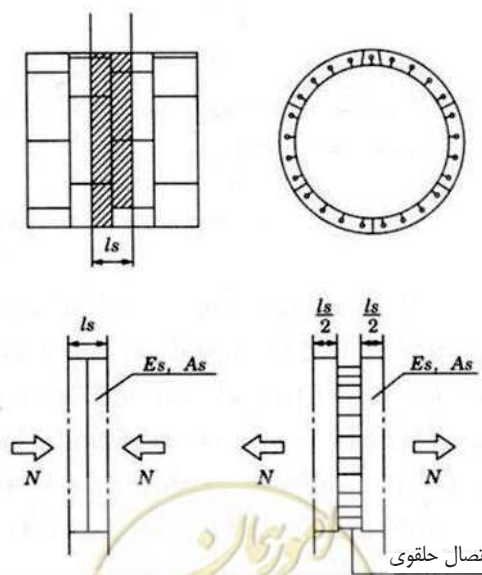


شکل ۶-۹ مدل استوانه‌ای پوشش تونل

۲- مدل دوم (مدل Shiba)

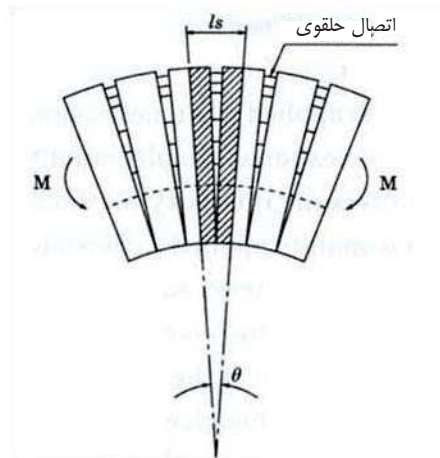
در این مدل پوشش به صورت تیر پیوسته (با سختی معادل فترهای ارتباطی) در نظر گرفته می‌شود که هماهنگ با رابطه بار کرنش می‌باشد.

مطابق شکل سختی معادل کششی و خمشی برای اتصال قطعات در نظر گرفته می‌شود.

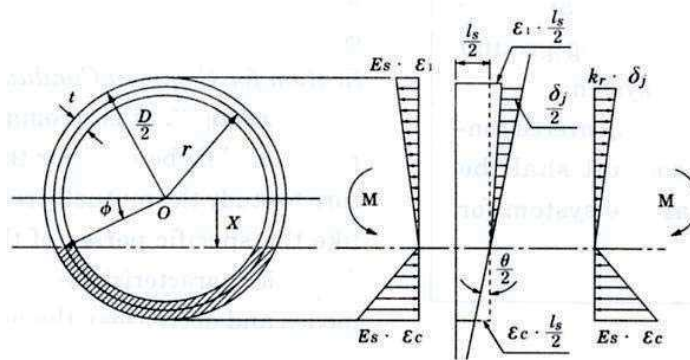


شکل ۶-۱۰ محاسبه سختی معادل محوری





شکل ۶-۱۱ مکانیزم تغییر شکل اتصال قطعات تحت خمش



شکل ۶-۱۲ ترکیب تنش‌ها و تغییر مکان‌ها در قطعات و اتصالات (نیروی کششی در حد ارتجاعی است)

## ۶-۵- محاسبات مجاری سپری و مشترک به روش دینامیکی

- تحلیل دینامیکی خطی در صورت لزوم برای زلزله سطح خطر-۱ و غیر خطی برای سطح خطر-۲ انجام می‌شود.
- در مدل تحلیلی کلی، سازه، قطعات وابسته و خاک اطراف باید با هم مدل شوند و در مدل تحلیلی جزئی، مجرای سپری باید به عنوان سیستم‌های مجزا مدل شوند.

۱- در صورت عدم امکان استفاده از روش پاسخ تغییر مکان و روش شبه استاتیکی، از روش تحلیل دینامیکی باید استفاده گردد.

دو روش تحلیل دینامیکی وجود دارد، که شامل تحلیل کل مجموعه و تحلیل بخشی از آن می‌باشد. در مدل تحلیلی کلی، سازه، قطعات وابسته و خاک اطراف آن با هم مدل می‌شوند؛ و نتایج به دست آمده در طراحی کل سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در روش دوم، حرکت قسمت‌های مختلف سازه در اثر حرکت زمین به طور مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد. تحلیل خطی معمولاً برای کنترل ایمنی در سطح خطر-۱ و تحلیل غیر خطی برای سطح خطر-۲ با ملاحظه به حدود عملکردی سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد.



از هر دو روش تحلیل طیفی و تاریخچه زمانی می‌توان استفاده نمود.

۲- از آنجایی که ملحقیات یک سازه در هنگام زلزله دارای رفتاری پیچیده می‌باشند، انجام تحلیل دینامیکی به منظور بررسی اثرات پریود غالب زمین، مشخصه‌های دینامیکی (از قبیل مدها و میرایی) سازه اصلی و ملحقیات آن، پیشنهاد می‌گردد. چون حرکت سازه و خاک اطراف در زلزله‌هایی بزرگ مانند سطح خطر-۲ دارای رفتاری غیرخطی می‌باشد، روش تحلیل مناسب با آن باید در نظر گرفته شود.

در اغلب موارد از مدل فنر دو بعدی استفاده می‌گردد.

در صورت پیچیده بودن وضع طبیعی زمین اطراف سازه از مدل تحلیل اجزای محدود سه بعدی باید استفاده گردد.

در این تحلیل‌ها رفتار غیر خطی باید در مدل در نظر گرفته شود.

## ۶-۶- ملاحظات طراحی لرزه‌ای شافت (مجرای قائم) مخابراتی

- ۱- محاسبات لرزه‌ای شافت به روش شبه استاتیکی و پاسخ تغییر مکان انجام می‌شود.
- ۲- در صورت نیاز تحلیل دینامیکی نیز قابل اعمال است.
- ۳- اگر سختی سازه متصل به شافت با سختی آن تقریباً یکسان باشد در محاسبات لرزه‌ای باید خصوصیات آن سازه را نیز در نظر گرفت.

در طراحی مقطع شافت برای سطح خطر-۱ از روش ارتجاعی استفاده می‌شود.

برای طراحی وجوه جانبی شافت از روشی که ایمنی کافی در مقابل تنش‌های ناشی از زلزله را تأمین می‌کند، استفاده می‌گردد.

در سطح خطر-۲ از هر سه روش مورد اشاره می‌توان استفاده نمود.

در صورتی که سختی اتصالات شافت قابل صرف‌نظر کردن باشد در طراحی لحاظ نمی‌گردند.

بار جانبی شافت از رابطه (۵۸-۶) بدست می‌آید:

$$q_H(x) = k_H(x) \{u_H(x) - u_H(h_B)\} \quad (58-6)$$

$q_H(x)$ : فشار افقی در عمق  $x$ ،  $(N/cm^2)$

$k_H(x)$ : ضریب عکس‌العمل افقی زمین در عمق  $x$ ،  $(N/cm^3)$

$u_H(x)$ : تغییر مکان افقی زمین در عمق  $x$  (cm)

$u_H(h_B)$ : تغییر مکان افقی زمین در عمق  $h_B$  (cm)

در حالتی که زمین به شافت فشار وارد می‌کند نیروی فوق اعمال می‌گردد.

در حالتی که زمین شافت را به سمت خود می‌کشد سه روش برای محاسبه بار وجود دارد که بستگی به شرایط سطح تماس خاک و شافت دارد.

در روش اول تغییر مکان، کوچک فرض شده و رابطه فوق قابل استفاده است.



در روش دوم از کشش خاک صرف‌نظر می‌شود.  
 در روش سوم بخشی از فشار خاک به صورت عکس‌العمل به شافت وارد می‌شود.  
 انتخاب ایمن‌ترین روش توسط طراح انجام می‌شود.  
 در صورتی که مؤلفه‌های ارتباطی شافت دارای سختی قابل توجه باشند از روش تحلیل دینامیکی برای بررسی رفتار آن می‌باید استفاده نمود.

## ۶-۷- ملاحظات طراحی لرزه‌ای کابل مدفون (دفن مستقیم بدون مجرا)

تحلیل لرزه‌ای کابل (کابل‌هایی که مستقیماً در خاک یا به واسطه لوله مدفون شده‌اند) بر اساس تغییر مکان لوله یا کرنش اعمالی زمین به کابل انجام می‌شود.

## ۶-۸- ملاحظات طراحی لرزه‌ای کابل‌های مخابراتی

کابل‌های مخابراتی که به صورت مستقیم دفن می‌شوند در برابر جابه‌جایی‌های ماندگار زمین به ویژه ناشی از زلزله آسیب‌پذیرتر از نوع مشابه در مجاری می‌باشند.  
 در طراحی لرزه‌ای این کابل‌ها لازم است که ملاحظات زیر مورد توجه قرار گرفته تا طراحی لرزه‌ای با رفتار کابل تطابق بیشتری پیدا نماید:

در صورت ایجاد خمش زیاد ممکن است کابل دچار شکست شود.  
 در حالت کشش زیاد هم بیرون کشیدگی کابل محتمل است.  
 در تقاطع با گسل، کشش زیادی می‌تواند به کابل تحمیل شود.  
 در روان‌گرایی خصوصاً زمانی که کابل به سازه متصل است نیز کرنش کششی زیادی می‌تواند در کابل ایجاد شود.  
 حرکت نسبی سازه‌های مجاور نیز می‌تواند کابل‌های ارتباطی را دچار تغییر شکل زیادی بنماید.  
 در صورت وقوع لغزش، بیرون‌زدگی کابل نیز اتفاق می‌افتد.  
 در مورد کابل‌ها وضعیتی مطابق اشکال زیر اتفاق می‌افتد.  
 در آدم‌روها بالاآمدگی و دوران در زمین روان‌گرا شده، باعث اعمال کرنش زیاد به کابل متصل به آن می‌شود.

## ۶-۹- مراحل طراحی کابل مدفون

### ۶-۹-۱- مراحل طراحی کابل مدفون در برابر تغییر شکل زمین

#### ۱- کشیدگی

از آنجایی که کابل مدفون سختی خمشی کمی دارد و مد خرابی آن عمدتاً تحت کشش است.  
 کشیدگی بحرانی کابل به صورت زیر بدست می‌آید:



$$\Delta L = \int_0^W \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2} dx - W \quad (۵۹-۶)$$

$f(x)$ : تابع شکل کابل و  $W$  طول اولیه آن است. کرنش ناشی از کشیدگی عبارتست از:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{W} \quad (۶۰-۶)$$

### ۲- انتشار موج

انتشار موج در سطح زمین باعث ایجاد تغییر شکل در سازه‌های مدفون می‌شود. کرنش کابل در هر حال از کرنش زمین کمتر بوده و لذا می‌تواند در جهت اطمینان از کرنش زمین برای کنترل رفتار کابل استفاده نمود:

$$\varepsilon_{\text{cable}} \approx \varepsilon_G \quad (۶۱-۶)$$

### ۳- تقاطع با گسل

کرنش کابل بر اثر حرکت گسل به صورت زیر بدست می‌آید:

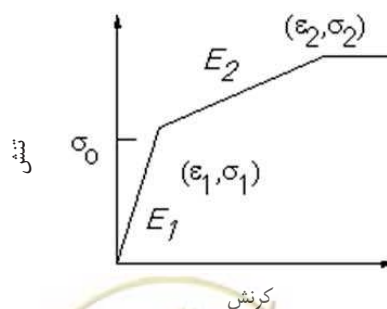
$$\varepsilon_F = \frac{d}{L} \quad (۶۲-۶)$$

که در آن  $d$  و  $L$  جابجایی گسل و طول مؤثر کابل هستند.

$$d = \frac{h}{2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (۶۳-۶)$$

$$L = \sqrt{\frac{2E_2 d}{q} + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{q}\right)^2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{q} \quad (۶۴-۶)$$

$q$  مقاومت لغزشی در واحد طول و  $E_2$ ،  $\sigma_0$  و  $\sigma_1$  به ترتیب، مدول ثانویه و تنش‌های بحرانی مطابق شکل (۶-۱۳) می‌باشند.



شکل ۶-۱۳ منحنی تنش-کرنش المان کابل

۴- روان‌گرایی

حداکثر کرنش زمین ناشی از روان‌گرایی را می‌توان به عنوان بیشترین کرنش در کابل در نظر گرفت:

$$\varepsilon_L = \varepsilon_{axial} \quad (۶۵-۶)$$

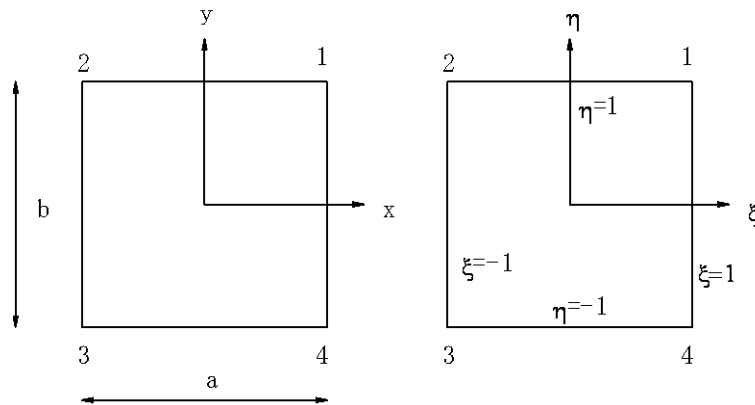
که در آن  $\varepsilon_{axial}$  حداکثر کرنش زمین است.

$$\varepsilon_{axial} = \max \{ \varepsilon_x, \varepsilon_y \} \quad (۶۶-۶)$$

$$(۶۷-۶)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \frac{1}{2ab} \begin{bmatrix} b(1+\eta) & -b(1+\eta) & -b(1-\eta) & b(1-\eta) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a(1+\xi) & a(1-\xi) & -a(1-\xi) & -a(1+\xi) \\ a(1+\xi) & a(1-\xi) & -a(1-\xi) & -a(1+\xi) & b(1+\eta) & -b(1+\eta) & -b(1-\eta) & b(1-\eta) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{pmatrix}$$

a, b و x و h مطابق شکل تعریف می‌شوند.

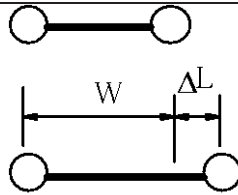


شکل ۶-۱۴ دستگاه مختصات المان چهارگوش

در صورتی که کابل‌های متصل به سازه همراه با حرکت زمین، حرکت کنند، تحت کشش و فشار خالص قرار می‌گیرند. در این حالت، مطابق شکل (۶-۱۵)، کرنش کابل از تغییر مکان نسبی بین سازه‌ها بر طول اولیه آن بدست می‌آید.

$$\varepsilon_L = \frac{\Delta L}{W} \quad (۶۸-۶)$$





شکل ۶-۱۵ کشیدگی کابل بین سازه‌ها

۵- لغزش زمین

لغزش ناشی از زلزله، کرنشی به صورت زیر ایجاد می‌کند:

$$\varepsilon_{LS} = \frac{\Delta L}{W} \quad (۶۹-۶)$$

که در آن  $\Delta L$  کشیدگی در امتداد کابل خواهد بود.

## ۶-۹-۲- تغییر شکل کابل متصل به سازه

۱- در مجرا

اگر رفتار کابل در مجرا ارتجاعی باشد، حداکثر کرنش برابر است با:

$$\varepsilon_D = \frac{D}{2EI} \left( \frac{7}{12} q W_2^2 + \frac{2}{3} C_1 W_2 \right) \quad (۷۰-۶)$$

که در آن  $D$  و  $q$  و  $W_2$  به ترتیب، قطر کابل، وزن و واحد طول کابل و طول مؤثر افقی هستند:

$$C_1 = \frac{q(W_2^3 - W_1^3 + 2W_2W_1^2) + \frac{12hEI}{W_1}}{2(W_1^2 + W_2^2)} \quad (۷۱-۶)$$

 $h$  و  $w_1$  و  $EI$  به ترتیب، جابه‌جایی قائم گسل، طول افقی و سختی خمشی کابل می‌باشد.

۲- آدمرو و ساختمان

حداکثر کرنش در این حالت از رابطه‌های (۶-۷۲) و (۶-۷۳) بدست می‌آید:

$$\varepsilon_{MH} = \frac{\sqrt{W^2 + h^2} - W}{W} \quad (۷۲-۶)$$

$$W = \frac{2\pi}{\beta}, \beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}} \quad (۷۳-۶)$$

 $K$  و  $EI$  به ترتیب مدول فنریت بین کابل، خاک و سختی کابل می‌باشد.

# فصل ۷

---

---

طراحی لرزه‌های و کنترل ایمنی

آدمرو شبکه مخابرات







### ۱-۷- مؤلفه‌های اصلی

این فصل به طراحی لرزه‌ای آد مروهای مدفون در شبکه مخابرات با تقسیم‌بندی زیر می‌پردازد:

۱- آد مروهای درجا

- مقطع دایره‌ای
- مقطع مستطیلی

۲- آد مروهای پیش‌ساخته

### ۲-۷- روند طراحی لرزه‌ای

روند طراحی لرزه‌ای آد مرو بر اساس عملکرد آن پس از زلزله می‌باشد.

سطوح عملکردی برای این سازه‌ها عبارتند از:

۱- عملکرد بهره‌برداری بدون وقفه (حد بهره‌برداری) که در آن آد مرو می‌باید پس از زلزله سطح خطر-۱ بلافاصله

عملکرد خود را حفظ کرده و رفتاری تقریباً ارتجاعی داشته باشد.

۲- عملکرد بهره‌برداری با حداقل وقفه (حالت حد نهایی)، که در آن آد مرو باید تحت زلزله سطح خطر-۲ در کم‌ترین زمان

ممکن قابل تعمیر و بازیابی عملکرد باشد.

### ۳-۷- سطح عملکرد لازم اجزای آد مرو و سطح خطر

#### ۱-۳-۷- عملکرد مورد نیاز

آد مروها در خطوط اصلی و فرعی مخابراتی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عملکرد مورد انتظار از آد مرو بر اساس عملکرد خطی است که در آن اجرا شده است.

در سطح خطر-۱ بدون وقفه و در سطح خطر-۲ بایستی با حداقل وقفه مورد استفاده قرار گیرد.

در جدول (۱-۷) وضعیت آد مرو تحت زلزله سطح خطر-۲ ارائه شده است.



جدول ۷-۱ وضعیت مورد نیاز قسمت‌های مختلف آدمرو

وضعیت مورد نیاز	اجزای آدمرو
زاویه خمش و طول کشیدگی در حد مجاز بوده و خاک یا ماسه به داخل ریزش و نفوذ نکند.	اتصال بین مجرا و آدمرو
شدت تنش در حد مقادیر حدی باید باشد. در صورت نیاز به تعمیر، خاک‌برداری باعث ترافیک نگردد. از محل اتصال قطعات پیش‌ساخته و بازشو، خاک و ماسه به داخل نفوذ نکند.	بدنه اصلی آدمرو

## ۷-۴- روند طراحی

۱- روند طراحی آدمرو بر اساس نوع مصالح آن و با توجه به موارد زیر می‌باشد:

۱-۱- مقطع قائم

۲-۱- مقطع افقی

۳-۱- اتصال بین قطعات پیش‌ساخته

۴-۱- غوطه‌وری بدنه اصلی در اثر روان‌گرایی

۲- تمهیدات مقابله با زلزله

روابط این بخش به طور کلی مربوط به آدم روی درجا با مقطع دایره‌ای و مستطیلی و آدم روی پیش‌ساخته است. در آدم روی پیش‌ساخته، بخش اتصال بین بلوک‌ها به عنوان اتصال عمل می‌کند. روش‌های طراحی آدمرو در خطوط اصلی مطابق جدول (۷-۲) است:

جدول ۷-۲ روش طراحی آدم رو متصل به خطوط اصلی

مقطع قائم		مقطع افقی		قضاوت در مورد روان‌گرایی (مقدار FL)	مورد	نوع سازه
عرض بازشو	شدت تنش	شدت تنش	شدت تنش			
	تنش مجاز - شکل پذیر	تنش مجاز - شکل پذیر	تنش مجاز - شکل پذیر	شکل پذیر	نوع درجا با مقطع دایره	نوع آدم رو
	تنش مجاز - شکل پذیر	تنش مجاز - شکل پذیر	تنش مجاز - شکل پذیر	شکل پذیر	نوع درجا با مقطع مستطیل	
	تنش مجاز - شکل پذیر	تنش مجاز - شکل پذیر	تنش مجاز - شکل پذیر	شکل پذیر	نوع پیش‌ساخته	

برای آدمرو در سایر خطوط فقط از روش تنش مجاز استفاده می‌گردد.

نکاتی که در طراحی لرزه‌ای آدمرو باید مدنظر قرار گیرد عبارتند از:

- ۱- پروفیل خاک باید بر اساس شرایط واقعی باشد و در صورتی که خاک‌برداری زیاد بوده و وضعیت اولیه زمین تغییر کرده باشد، باید در طراحی مورد نظر قرار گیرد.
- ۲- در تبدیل تغییر مکان به نیرو در روش پاسخ تغییر مکان، ضرایب عکس‌العمل افقی  $K_h$ ، قائم  $K_v$ ، برشی  $K_s$  و ثابت فنریت چرخشی بستر مورد نیاز می‌باشند.



در صورت استفاده از این ضرایب اضافه بار کوتاه مدت قابل صرف‌نظر خواهد بود ( $\alpha=1$ ) هم‌زمان کاهش خصوصیات خاک به دلیل روان‌گرایی الزامی نیست.

۳-  $K_h$  از رابطه ۷-۱ زیر بدست می‌آید:

$$k_h = k_{h0} \left( \frac{B_h}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (7-1)$$

$$k_{h0} = \frac{1}{0.3} \alpha \cdot E_0 \quad (7-2)$$

$k_h$ : ضریب عکس‌العمل بستر در جهت افقی بر حسب  $\text{kN/m}^3$

$k_{h0}$ : ضریب عکس‌العمل افقی از آزمایش صفحه دایره‌ای به قطر ۰/۳ متری

$\alpha$ : ضریب اضافه بار کوتاه مدت

$E_0$ : مدول تغییرشکل زمین ( $\text{KN/m}^2$ )

در صورت تمایل به محاسبه  $E_0$  بر اساس عدد SPT، مقدار  $E_0$  برابر  $2800 \times N$  محاسبه می‌شود.

$K_v$ : برابر است با:

$$k_v = k_{v0} \left( \frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4} \quad (7-3)$$

$$k_{v0} = \frac{1}{0.3} \alpha \cdot E_0 \quad (7-4)$$

$k_{v0}$ : ضریب عکس‌العمل متناظر با آزمایش صفحه دایره‌ای به قطر ۰/۳ متری

$\alpha$ : ضریب اضافه بار کوتاه مدت

$E_0$ : مدول تغییر شکل زمین ( $\text{KN/m}^2$ )

۴- عرض معادل شالوده برای محاسبه  $k_h$  عبارت است از:

$$B_h = \sqrt{A_h} \quad (7-5)$$

$B_h$ : عرض معادل پی بر حسب  $m$  عمود بر جهت بارگذاری

$A_h$ : سطح بارگذاری در جهت عرض ( $\text{m}^2$ )

برای آدم‌روی چهار گوش:  $D$  عرض آدم رو  $\times H$  طول دیواره =  $A_h$

برای آدم روی دایره‌ای:  $D \times 0.8$  قطر دیواره  $\times H$  طول دیواره =  $A_h$

برای ضریب بستر قائم  $B_v$  خواهد بود:

$$B_v = \sqrt{A_v} \quad (7-6)$$

$A_v$  سطح بارگذاری در جهت قائم بر حسب  $\text{m}^2$  است

برای آدم‌روی چهار گوش  $A_v$  سطح پایه آدم‌رو می‌باشد.



برای آدروهای دایره‌ای  $B_v$  برابر قطر آدرو می‌باشد.  
۵-  $k_s$ ،  $k_0$  از رابطه‌های (۷-۷) و (۸-۷) بدست می‌آیند:

$$k_s = \lambda \times k_v \quad (7-7)$$

$k_s$ : ثابت فنریت برشی خاک ( $\text{kN/m}^3$ )

$\lambda$ : نسبت ضریب عکس‌العمل بستر در جهت عرضی به جهت قائم که بین یک چهارم تا یک سوم است.

$$k_0 = k_v \times I \quad (8-7)$$

$k_0$ : ثابت فنریت چرخشی خاک ( $\text{kN.m/rad}$ )

$I$ : ممان اینرسی هندسی پایه آدرو ( $\text{m}^4/\text{m}$ )

۶- تحلیل لرزه‌ای ابتدا برای مقطع قائم به روش پاسخ تغییر مکان انجام می‌شود.

۷- سپس با استفاده از ضرایب عکس‌العمل بستر بدست آمده محاسبات در جهت جانبی انجام می‌شود.

۸- در شکل ۷-۱ زیر نمونه مدل مناسب آدرو روی درجا و پیش‌ساخته نشان داده شده است.

۹- در حالت آدرو روی درجا، رفتار آدرو ارتجاعی فرض شده و با اضافه کردن فنرهایی در مرزها، اندرکنش آن با خاک اطراف مدل می‌شود.

۱۰- در حالت پیش‌ساخته اتصالات قطعات نیز با فنر مدل می‌شوند.

۱۱- در حالت بار جانبی شدت تنش تحت بار عادی و لرزه‌ای کنترل می‌شود.

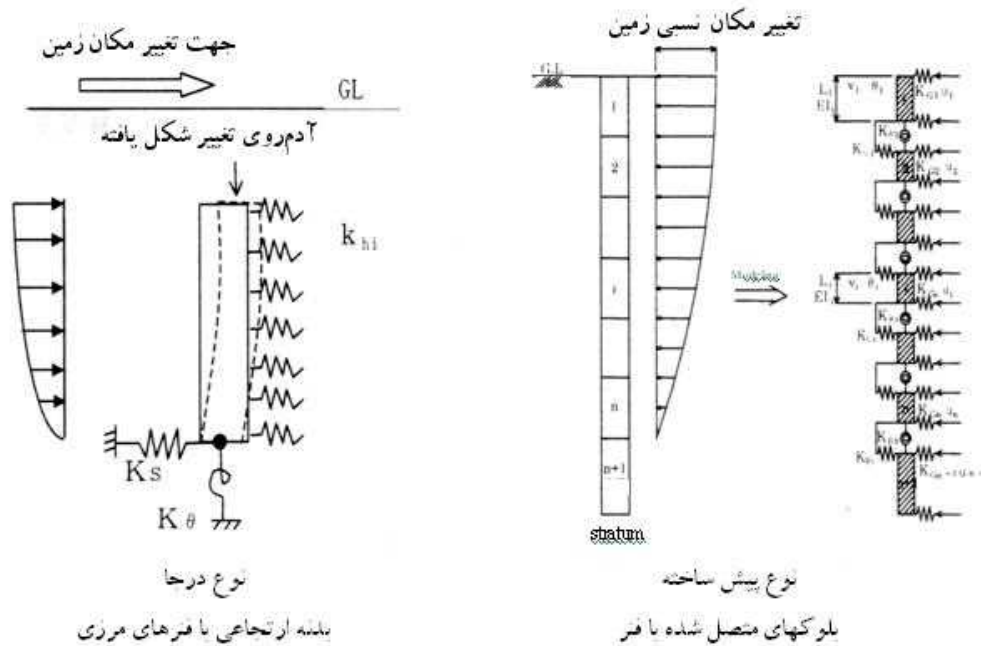
بار عادی شامل فشار خاک در حال سکون و فشار آب می‌باشد.

برای محاسبه بار زلزله، واکنش بستر  $\omega_b$  با در نظر گرفتن بدنه آدرو به صورت پیوسته در جهت قائم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$\omega_b$  با ضرب اختلاف تغییر مکان نسبی زمین  $\Delta U(z)$  و تغییر مکان قائم عضو  $\delta(z)$  در ضریب عکس‌العمل بستر

لایه  $i$  ام در جهت عرضی  $k_{hi}$  بدست می‌آید.





شکل ۷-۱ نمونه مدل محاسباتی آد مرو

$$\omega_b = \{\Delta U(z) - \delta(z)\} \times k_{hi} \quad (9-7)$$

$\omega_b$ : بار اضافی ناشی از زلزله (عکس‌العمل بستر در اثر تغییر مکان پاسخ)  $\text{kN/m}^2$   
 $\omega_b$  بر حسب  $\text{kN/m}^2$  است اگر  $\omega_b$  منفی باشد نیرو در جهت مقابل وارد و قدر مطلق آن به بار عادی یعنی  $\omega_0$  اضافه می‌شود.

$\Delta U(z)$ : تغییر مکان نسبی زمین در عمق  $z(m)$

$$\Delta U(z) = U_h(z) - U_h(h) \quad (10-7)$$

$U_h(z)$ : تغییر مکان زمین در عمق  $z(m)$

$U_h(h)$ : تغییر مکان زمین در تراز کف آد مرو ( $m$ )

$\delta(z)$ : تغییر مکان عضو در عمق  $z(m)$

$k_{hi}$ : ضریب عکس‌العمل بستر در جهت عرضی در گره  $i$  ( $\text{kN/m}^3$ )

(۷) در حالت آد مرو درجا با مقطع مستطیل محاسبات در جهت طولی و عرضی می‌باید انجام پذیرد.

در زلزله‌های گذشته الگوی اصلی خرابی آد مروها در اثر لغزش یا شکست اتصال بلوک‌ها در زمین‌های نرم بوده است.

این بلوک‌های ارتباطی، معمولاً با ملات به هم متصل می‌شوند.

با لغزش بلوک‌ها درون ریز ماسه و خاک رخ داده و مسیر مسدود می‌گردد که خود به عنوان خسارت ثانویه به حساب

می‌آید. در نتیجه در آد مروهای درجا با سایز بزرگ واقع در خطوط اصلی، ضخامت دیواره و مقدار آرماتور برای مقابله با

نیروی برشی حاصل از زلزله باید افزایش یابد.

در آد مروهای درجای کوچک با مقطع دایره‌ای در عمق‌های کم، معمولاً از بتن غیر مسلح استفاده می‌شود.

آدم‌روهایی که به بیش از یک مجرا متصل می‌شوند، عملکرد لرزه‌ای آن‌ها به علت افزایش اندازه بازشو و ایجاد ترک یا شکست پایین آمده لذا باید مقاومت کافی در محل بازشو را تحت بار زلزله داشته باشند. در آدم‌روهی پیش‌ساخته کنترل‌ها باید در اتصالات بین بلوک‌های پیش‌ساخته به منظور عدم جداسازی آن‌ها انجام شود.

در مجموع آدم‌روهی پیش‌ساخته مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند. در صورت نیاز به جذب تغییر مکان زیاد، اتصالات انعطاف‌پذیر هم مورد نیاز خواهد بود.



شکل ۷-۲ نمونه اقدامات ضد لرزه‌ای در آدم روی درجا و پیش‌ساخته

## ۷-۵- روند محاسبات آدم‌رو

### ۷-۵-۱- طراحی لرزه‌ای اتصال بین بلوک‌ها

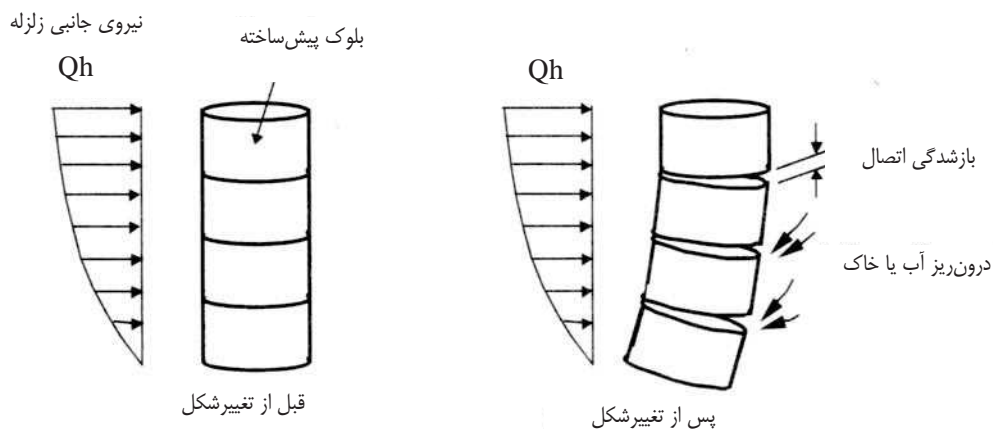
در طراحی لرزه‌ای اتصال بین بلوک‌ها بازشدگی درزها باید در طراحی مقاطع قائم در نظر گرفته شود.

مطابق شکل، در زلزله درز بین قطعات پیش‌ساخته دچار بازشدگی می‌شود. میزان بازشدگی بستگی به نوع درز، عرض بلوک و اندازه فضای داخلی و نیروی وارده داشته و این بازشدگی تحت تأثیر خمش، برش و حرکت فنرهای چرخشی ایجاد می‌شود.

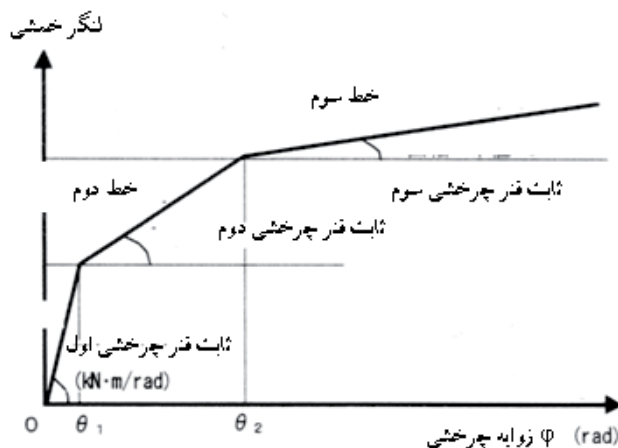
این فنرها با نشان دادن رفتار غیر خطی تغییر شکل‌های دائمی را نشان می‌دهند.

رفتار غیر خطی فنر معمولاً بر اساس مدل ۳ خطی در نظر گرفته می‌شود.





شکل ۷-۳ تغییر شکل شماتیک آدرو پیش ساخته در زلزله

شکل ۷-۴ رابطه بین زاویه چرخشی  $\theta$  و لنگر خمشی  $M$  (مدل سه خطی)

### ۷-۵-۲- طراحی لرزه‌ای بدنه آدرو

طراحی لرزه‌ای بدنه آدرو در جهت قائم و عرضی صورت می‌پذیرد.

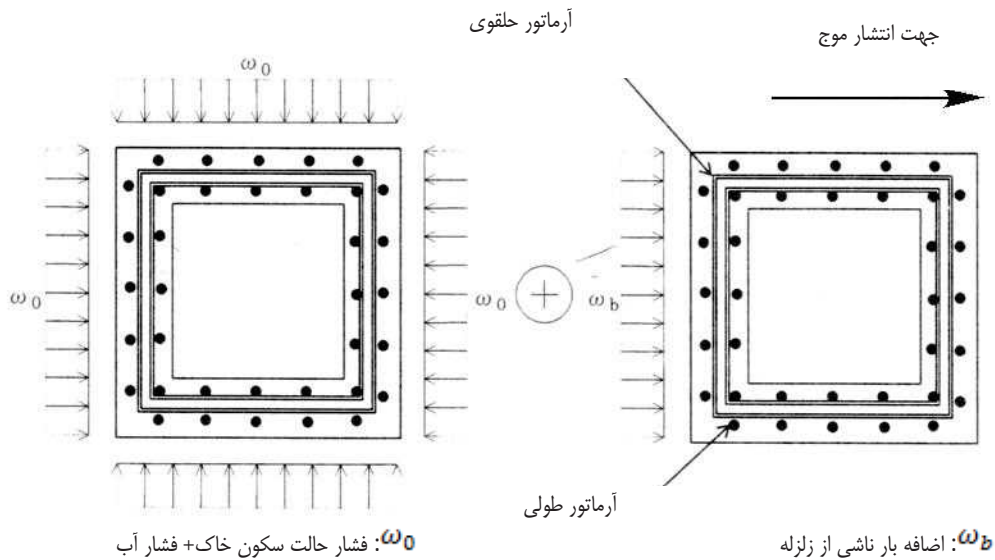
در طراحی در جهت قائم، تنش در مقطع قائم بدنه، ضخامت دیواره و میزان فولاد در راستای محوری (قائم) باید کنترل شود. تحت بارهای عادی مثل فشار خاک و آب، میلگردهای عرضی حلقوی نیروها را تحمل می‌نماید. در حالیکه در زلزله میلگردهای قائم نقش اصلی را ایفا می‌کنند.

در طراحی در مقطع جانبی، میلگردهای حلقوی باید کنترل گردند.

در آدم روهای با مقطع دایره‌ای برای محاسبه نیروی برشی، سطح مقطع به مستطیلی با مساحت معادل تبدیل می‌گردد.

برای آرایش میلگردها می‌توان مشابه مجاری یا دیوارها عمل نمود.





شکل ۷-۵ بارگذاری و آرایش میلگردها (آدمرو مستطیلی درجا)

### ۶-۷- مقادیر مجاز

مقادیر مجاز پاسخ بر اساس مشخصات فنی سازه‌ای یا سازنده قطعات مشخص می‌شود. برای بتن و فولاد آدمرو از آئین‌نامه جاری مرتبط در ایران باید استفاده شود.

### ۷-۷- معیار پذیرش

نتایج محاسبات لرزه‌ای به صورت زیر کنترل می‌شود:

- کنترل برای سطح خطر-۱ به روش تنش مجاز یا حالت حدی بهره‌برداری
- کنترل برای سطح خطر-۲ به روش حالت حدی نهایی
- تمهیدات مربوط به زلزله
- تأمین مقاومت در دیواره و میلگردهای آن در جهت قائم (مقاومت در مقاطع قائم)
- تأمین مقاومت دیواره و میلگردهای حلقوی در جهت عرضی (مقاومت در مقاطع جانبی)
- کنترل بازشدگی درزها در آدمروهای پیش‌ساخته
- کنترل جذب تغییر مکان در اتصالات

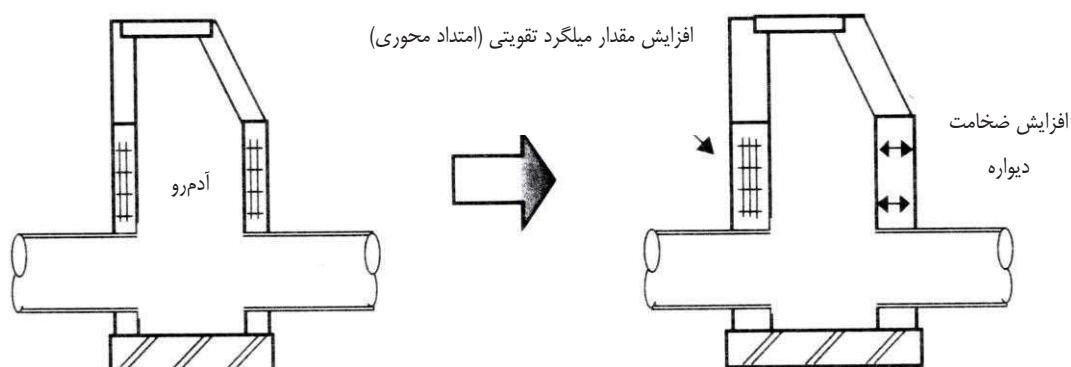
- کنترل حالت حدی بهره‌برداری در سطح خطر-۱ به صورت زیر است:

- ۱- با کنترل تنش‌های مجاز باید از هرگونه نشست جلوگیری شود.
- ۲- بازشدگی درزهای مقاطع پیش‌ساخته کمتر از ۲ میلی‌متر باشد و آب‌بندی حفظ شود.
- کنترل حالت حدی نهایی در سطح خطر-۲ به صورت زیر است:





- ۱- تنش‌ها از حد جاری شدن فراتر نرود تا از هر گونه ورود مواد به داخل، ایجاد ترک و لغزش اتصالات جلوگیری شود.
- ۲- بازشدگی درزها کمتر از ۱۰ میلی‌متر باشد تا جریان مواد به داخل رخ ندهد.
- در طراحی مقطع قائم آد مرو، ابتدا باید ضخامت دیواره و آرماتور گذاری در امتداد محوری بررسی گردد.
- در صورتی که کنترل در جهت قائم پاسخگو نباشد می‌توان نسبت به کاهش ارتفاع یا تغییر آرایش بازشوها اقدام نمود.
- در صورتی که سازه از لایه‌های سخت عبور کند کنترل جانمایی درزها برای جلوگیری از تمرکز تنش در محل ارتباط لایه‌های سخت و نرم الزامی است.
- در صورتی که ظرفیت در جهت عرضی پاسخگو نباشد می‌توان با تغییر ضخامت در طراحی در راستای قائم نسبت به برآورده نمودن ضوابط اقدام نمود.
- در هر تراز از زمین‌لرزه، به منظور برقراری معیار بازشدگی اتصال در آد مروی پیش‌ساخته، نوع اتصال و ارتفاع بلوک باید با هم مطابقت داشته باشند. اگر امکان تطبیق وجود نداشته باشد از آد مروی درجاساخته شده باید استفاده گردد.
- در محل اتصال با مجرا، اگر لازم باشد باید از اتصال انعطاف‌پذیر استفاده گردد. اگر از پی صلب بر روی خاکریز شنی استفاده می‌شود آد مرو و پی صلب باید به منظور جلوگیری از اثر مجرا بر آد مرو، از یکدیگر جدا شوند.



شکل ۶-۷ نحوه تغییر نوع آد مرو

# فصل ۸

---

---

طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی

مهار تجهیزات داخلی





## ۸-۱- مؤلفه‌های هدف

- ۱- تجهیزات داخلی شامل دستگاه تهویه، ژنراتور برق، باطری، تابلوی برق، تابلوی کنترل، ترانس و مانند این‌ها می‌باشد.
- ۲- طراحی لرزه‌ای مهار تجهیزات داخلی برای موارد زیر انجام می‌گردد:
  - ۱-۲- پیچ‌های مهاری
  - ۲-۲- اعضای تکیه‌گاهی
  - ۳-۲- متوقف‌کننده‌ها
- ۳- عملکرد لرزه‌ای داخلی تجهیزات باید توسط سازنده تأمین و تضمین شود.

این راهنما در برگرفته تجهیزات داخلی نصب شده در ساختمان‌های فولادی و بتنی مسلح با ارتفاع کمتر از ۶۰ متر می‌باشد.

## ۸-۲- روند طراحی لرزه‌ای

## ۸-۲-۱- کلیات

- ۱- نیروی زلزله طراحی برای تجهیزات داخلی با استفاده از روش شبه استاتیکی (با استفاده از ضریب زلزله موضعی) یا روش دینامیکی محاسبه می‌شود.
- ۲- در نصب تجهیزات با وزن ۱۰۰ کیلوگرم یا سبک‌تر روش نیروی معادل استاتیکی لرزه‌ای ارزیابی می‌باشد.

## ۸-۲-۲- روش شبه استاتیکی

نیروی زلزله افقی طراحی  $F_H$  وارده بر مرکز ثقل تجهیزات داخلی برابر است با:

$$F_H = K_{HI} \cdot W \quad (1-8)$$

$K_{HI}$  : ضریب زلزله افقی طراحی

$W$  : وزن تجهیزات

در صورت نیاز، نیروی قائم زلزله  $F_V$  از رابطه (۲-۸) به دست می‌آید:

$$F_V = K_{VI} \cdot W \quad (2-8)$$

$$K_{VI} = (1/2)K_{HI}$$

$K_{VI}$  : ضریب زلزله قائم طراحی

برای ساختمان معمولی ضریب زلزله افقی طراحی  $K_H$ ، از رابطه (۳-۸) به دست می‌آید:

$$K_{HI} = \beta_E \cdot A \quad (3-8)$$

$A$  : شتاب پایه طراحی

$\beta_E$  : ضریب زلزله موضعی که از جدول (۱-۸) به دست می‌آید.



جدول ۸-۱ ضریب زلزله موضعی طراحی تجهیزات داخلی

	اهمیت تجهیزات داخلی ساختمان			
	کم	متوسط	بسیار مهم و مهم	
طبقه بالایی و آخرین طبقه	۲/۵	۳/۷۵	۵	
طبقات میانی	۱/۵	۲/۵	۳/۷۵	
طبقه زیر زمین و همکف	۱	۱/۵	۲/۵	

در ساختمان‌های دو تا ۶ طبقه، طبقه بالایی، آخرین طبقه می‌باشد.  
 در ساختمان‌های ۷ تا ۹ طبقه، طبقات بالایی دو طبقه آخر می‌باشد.  
 در ساختمان‌های ۱۰ تا ۱۲ طبقه بالایی، سه طبقه آخر می‌باشد.  
 در ساختمان ۱۳ طبقه و بیشتر طبقات بالایی، چهار طبقه آخری می‌باشد.

### ۸-۲-۳- روش دینامیکی

برای ساختمان دارای جداساز یا کنترل لرزه‌ای، شتاب پاسخ در هر طبقه  $G_f(m/s^2)$  باید با استفاده از تحلیل دینامیکی به دست آید.

۱- ضریب زلزله افقی طراحی  $K_H$

۱-۱  $K_{H'}$  برای تجهیزات

$$K_{H'} = A \cdot B \cdot B_B \cdot B_E \cdot D_{ss} \cdot I_S \cdot I_K \quad (۴-۸)$$

B : ضریب پاسخ ساختمان

$B_B$  : ضریب بزرگنمایی پاسخ

جدول ۸-۲ ضریب بزرگنمایی پاسخ تجهیزات  $B_E$

وضعیت مهار تجهیزات	ضریب بزرگنمایی $B_E$
تجهیزات با سیستم کنترل ارتعاش	۲
تجهیزات مهار شده	۱/۵

$D_{ss}$  : ضریب مشخصه نشیمن گاه تجهیزات، که در صورت عدم تحلیل دینامیکی ساختمان،  $D_{ss}=2/3$  در

نظر گرفته شود.

$I_S$  : ضریب اهمیت تجهیزات (۱/۵ تا  $I_S = ۱$ )



$I_K$  : ضریب اهمیت ساختمان ( $I_K = 1$  تا  $1/5$ )

۲-۱ تحلیل پاسخ

پاسخ طبقه ساختمان  $G_f$  با استفاده از تحلیل پاسخ لرزه‌ای را می‌توان مطابق زیر بیان کرد:

$$G_f = A \cdot B \cdot I_K \cdot g \quad (5-8)$$

$$K_H' = (G_f / g) \cdot B_E \cdot D_{ss} \cdot I_S : \text{ برای تجهیزات} \quad (6-8)$$

$G_f$  : شتاب پاسخ طبقه ( $m/s^2$ )

$g$  : شتاب ثقل =  $9/8(m/s^2)$

ضریب زلزله افقی طراحی،  $K_H$ ، با استفاده از جدول (۳-۸)، به همراه مقدار  $K_H'$  در زیر به دست آید.

جدول ۳-۸ ضریب زلزله افقی طراحی  $K_H$ ، با استفاده از تحلیل دینامیکی ساختمان

ضریب زلزله افقی طراحی $K_H$	$K_H'$ محاسبه شده در بخش‌های ۱ یا ۲
۰/۴	کمتر از ۰/۴۲ (برای ساختمان معمولی)
۰/۶	کمتر از ۰/۶۳ (برای ساختمان و تجهیزات با ضریب کاربری بالا)
۱	بیش از ۰/۶۳ کمتر از ۱/۱
۱/۵	بیش از ۱/۱ کمتر از ۱/۶۵
۲	بیش از ۱/۶۵

۲- ضریب زلزله قائم طراحی  $K_V$

ضریب زلزله قائم نصف ضریب افقی در نظر گرفته می‌شود.

ضریب زلزله قائم در ساختمان با جداساز لرزه‌ای، با توجه به نیروی لرزه‌ای تجهیزات، با ضریب زلزله موضعی به دست می‌آید.

### ۳-۸- محاسبات و کنترل ایمنی

۱- طراحی لرزه‌ای مهارها باید بر اساس روش تنش مجاز انجام شود (روش طراحی شکل پذیر استفاده نمی‌شود).

۲- به منظور اجتناب از واژگونی، لغزش و فرو افتادن تجهیزات، تنش در تکیه‌گاه‌ها نیز نباید از تنش مجاز بیشتر گردد.

### ۱-۳-۸- پیچ مهار

در آرایش متقارن پیچ‌های مهاری، تنش کششی  $\sigma$  و نیروی کششی یک پیچ  $R_b$ ، به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$\sigma = M/Z \quad (7-8)$$

$$R_b = A_b \sigma \quad (8-8)$$

$M$  : ممان خمشی وارده بر پایه تجهیزات



$Z$  : مدول مقطع گروه پیچ‌های مهاري  
 $l_i$  : فاصله از مرکز پیچ مهاري تا محور خنثي  
 $A_b$  : سطح مقطع میله پیچ مهاري

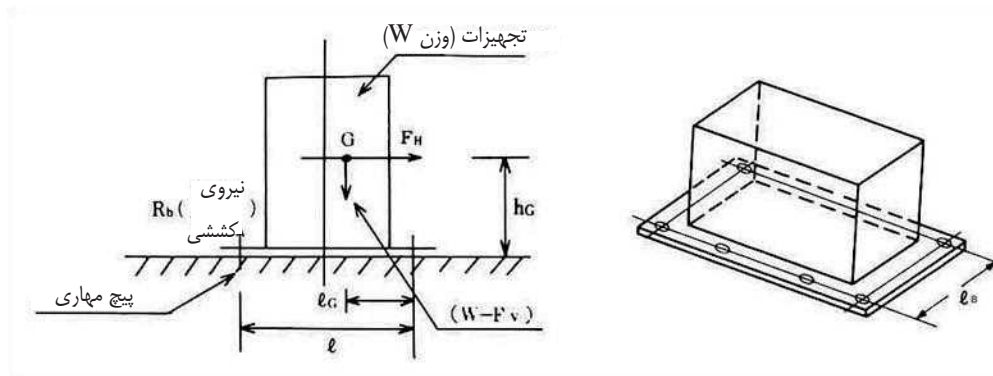
پیچ‌های مهاري که به صورت ماتریس مستطیلی قرار گرفته‌اند، باید برای بحرانی‌ترین بار در هر دو راستای مقطع طراحی گردند. پیچ‌های مهاري که به صورت دایره قرار گرفته‌اند، باید با این فرض که محور خنثي از مرکز دایره عبور می‌کند و همه پیچ‌ها تحت تنش برشی قرار دارند، مورد بررسی قرار گیرند.

### ۸-۳-۱-۱- نیروی کششی و برشی پیچ مهاري

هنگامی که نیروی لرزه‌ای بر تجهیزات وارد می‌شود، نیروی کششی و برشی در پیچ مهاري باید با توجه به محل نصب آن‌ها که به صورت زیر می‌باشد، محاسبه شود:

- ۱- قرارگیری در کف یا پی (تجهیزات با مقطع مستطیلی)
- ۲- قرارگیری در کف یا پی (تجهیزات با مقطع دایره‌ای)
- ۳- آویزان از دیوار
- ۴- آویزان از سقف

۱- تجهیزات با سطح مقطع مستطیلی قرار گرفته بر کف یا پی  
 ۱-۱- نیروی کششی و نیروی برشی پیچ مهاري



شکل ۸-۱ تجهیزات با مقطع مستطیلی واقع بر کف

$G$  : مرکز ثقل تجهیزات

$R_b$  : نیروی کششی پیچ مهاري

$n_a$  : تعداد کل پیچ‌های مهاري

$n_t$  : تعداد کل پیچ‌های مهاري در طرفی که نیروی کششی را در شرایط واژگونی تجهیز دریافت می‌کند.

$h_G$  : فاصله از وجه ثابت تا مرکز ثقل تجهیزات

$l_B$  : دهانه پیچ در راستای هدف



$\ell_G$  : فاصله مرکز پیچ تا مرکز ثقل تجهیزات در راستای هدف ( $\ell_G \leq \ell/2$ )

$F_H$  : نیروی زلزله افقی طرح ( $F_H = K_H \cdot W$ )

$F_V$  : نیروی زلزله قائم طرح ( $F_V = (1/2)F_H$ )

۲-۱- نیروی کششی پیچ مهار

$$R_b = \frac{F_H \cdot h_G - (W - F_V) \cdot \ell_G}{\ell_B \cdot n_t} \quad (9-8)$$

۳-۱- نیروی برشی پیچ مهار

$$Q = \frac{F_H}{n_a} \quad \text{یا} \quad \tau = \frac{F_H}{n_a \cdot A_b} \quad (10-8)$$

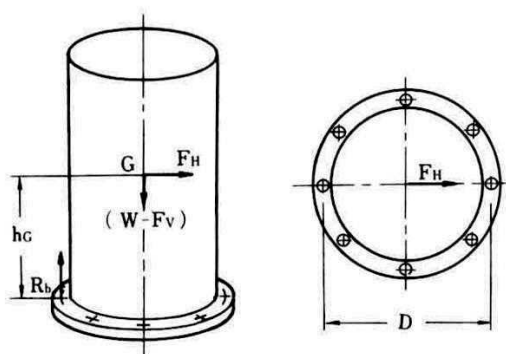
$\tau$  : تنش برشی وارد بر پیچ

$Q$  : نیروی برشی وارد بر پیچ

$n_a$  : تعداد کل پیچ‌های مهار

۲- تجهیزات با سطح مقطع دایره‌ای قرار گرفته بر کف یا پی

۱-۲- نیروی کششی و نیروی برشی پیچ مهار



شکل ۸-۲ تجهیزات با مقطع دایره‌ای واقع بر کف

$G, W, F_V, F_H, R_b, h_G$  مشابه شکل (۸-۲) هستند.

$D$  : دهانه پیچ با سطح مقطع دایره‌ای

۲-۲- نیروی کششی پیچ مهار

$$R_b = \frac{4}{n_a \cdot D} F_H \cdot h_G - \frac{W - F_V}{n_a} \quad (11-8)$$

۳-۲- نیروی برشی پیچ مهار

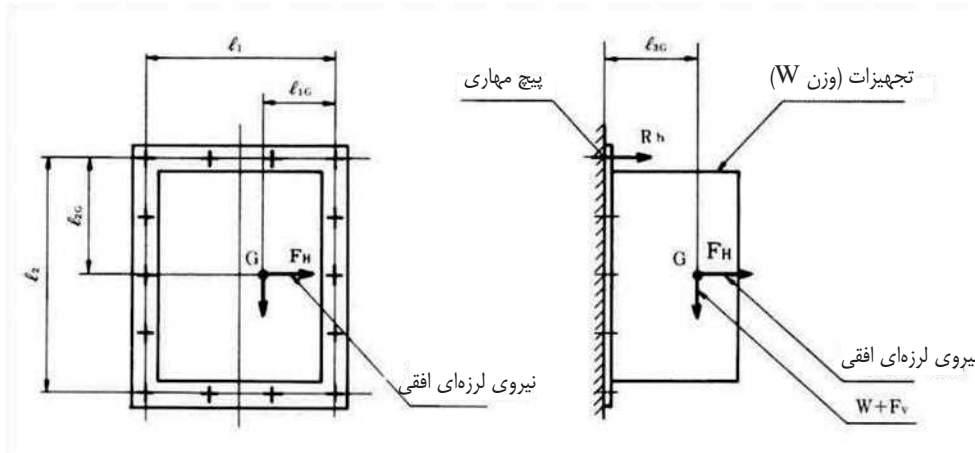
$$Q = \frac{F_H}{n_a} \quad \text{یا} \quad \tau = \frac{F_H}{n_a \cdot A_b} \quad (12-8)$$

۳- تجهیزات واقع بر دیوار





۱-۳- نیروی کششی و نیروی برشی پیچ مهار



شکل ۳-۸ تجهیزات واقع بر دیوار

دهانه پیچ در راستای افقی :  $l_1$

دهانه پیچ در راستای قائم :  $l_2$

فاصله افقی مرکز پیچ تا مرکز ثقل تجهیزات ( $l_{1G} \leq l_1/2$ ) :  $l_{1G}$

فاصله قائم مرکز پیچ بخش بالایی تا مرکز ثقل تجهیزات :  $l_{2G}$

فاصله از وجه دیوار تا مرکز ثقل تجهیزات :  $l_{3G}$

$n_{t1}$  : تعداد پیچ‌های مهار در یک طرف از وجه بالا یا پایین (تعداد پیچ‌های مهار واقع بر

خط  $l_1$  در شکل (۳-۸))

$n_{t2}$  : تعداد پیچ‌های مهار واقع بر یک طرف از وجه کناری (تعداد پیچ‌های مهار واقع بر

خط  $l_2$  در شکل (۳-۸))

۲-۳- نیروی کششی پیچ مهار

نیروی کششی یک پیچ مهار واقع بر بخش بالایی بزرگ‌ترین مقدار بدست آمده از روابط (۱۳-۸) و (۱۴-۸)، در نظر گرفته می‌شود.

$$R_b = \frac{F_H \cdot l_{3G}}{l_1 \cdot n_{t2}} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}} \quad (13-8)$$

$$R_b = \frac{F_H \cdot (l_2 - l_{2G})}{l_1 \cdot n_{t1}} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}} \quad (14-8)$$

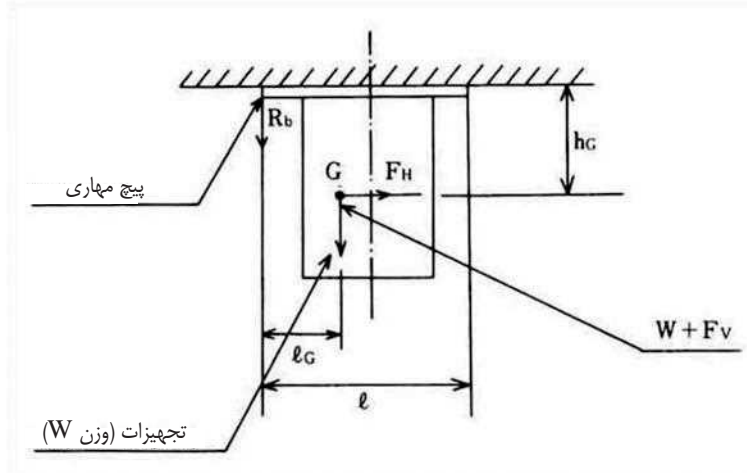
۳-۳- نیروی برشی پیچ مهار

$$Q = \frac{\sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2}}{n_a} \quad \text{یا} \quad \tau = \frac{\sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2}}{n_a \cdot A} \quad (15-8)$$



## ۴- تجهیزات واقع بر سقف

## ۴-۱- نیروی کششی و نیروی برشی پیچ مهار



شکل ۸-۴ تجهیزات روی سقف

## ۴-۲- نیروی کششی پیچ مهار

نیروی کششی یک پیچ مهار از رابطه (۸-۱۶) تعیین می‌شود.

$$R_b = \frac{F_H \cdot h_G + (W + F_V) \cdot (l - l_G)}{l \cdot n_t} \quad (8-16)$$

## ۴-۳- نیروی برشی پیچ مهار

نحوه محاسبه نیروی برشی پیچ مهار مشابه رابطه (۸-۱۲) می‌باشد.

## ۸-۳-۱-۲- نیروی کششی پیچ مهار

رسیدن تنش کششی در پیچ به تنش تسلیم به معنی واژگونی تجهیز است. نیروهای افقی زلزله مطابق با شرایط نصب در اشکال (۸-۱) تا (۸-۴) نشان داده شده است. نیروهای کششی نیز از روابط (۸-۱۰) تا (۸-۱۶) به دست می‌آیند.

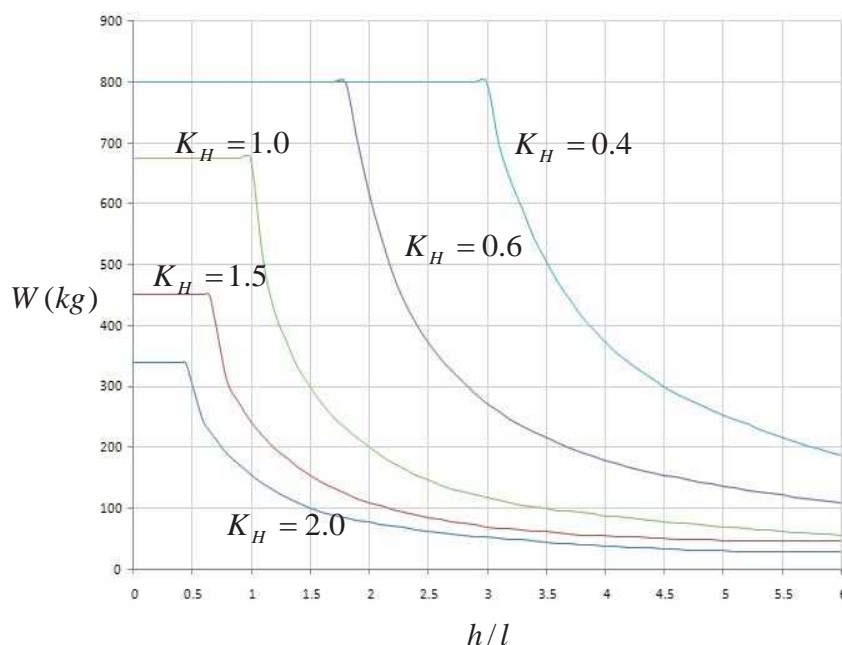
## ۸-۳-۱-۳- نیروی برشی پیچ مهار

نیروی افقی زلزله باعث لغزش تجهیز در راستای افقی می‌شود. نیروی برشی وارد بر هر پیچ مهار محاسبه و اندازه آن به گونه‌ای تعیین می‌شود که تنش وارده از تنش برشی مجاز کمتر شود. نیروی اصطکاک با کف، ناشی از وزن تجهیزات و نیروی مهار پیچ نباید در نظر گرفته شود. نیروهای زلزله افقی در اشکال (۸-۱) تا (۸-۴) نشان داده شده‌اند. نیروهای برشی نیز از روابط (۸-۹) تا (۸-۱۵) به دست می‌آیند.



## ۸-۳-۱-۴- موارد عدم نیاز به محاسبات

اگر وزن تجهیز کمتر از وزن مجاز به دست آمده در شکل (۵-۸) بر حسب نسبت طول به عرض و ضریب زلزله افقی باشد، و تجهیز با چهار پیچ مهاری یا بیشتر با شماره M8 یا بزرگ‌تر، بر کف نصب شود، نیازی به محاسبات لرزه‌ای ندارد.



شکل ۵-۸ وزن مجاز بر حسب نسبت ظرافت تجهیزات و ضریب زلزله افقی

## ۸-۴- تکیه‌گاه بالایی

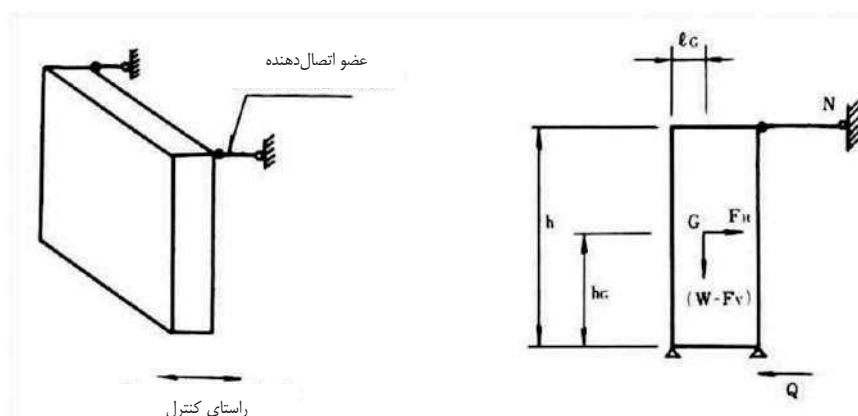
## ۸-۴-۱- طراحی

در حالتی که مهار تجهیز به کف برای کنترل واژگونی و لغزش کافی نباشد و یا از میراگر یا اجزای رابط در کف استفاده شده باشد، پایداری لرزه‌ای را می‌توان از طریق تکیه‌گاه بالایی تأمین کرد.

روش‌های نصب تکیه‌گاه بالایی عبارتند از:

۱- اتصال از طریق عضو اتصال دهنده به دیوار





شکل ۸-۶ روش نصب و کنترل عضو اتصال دهنده به دیوار

نیروی محوری وارد بر عضو تکیه‌گاهی برابر است با:

$$N_O = \frac{F_H \cdot h_G}{m \cdot h} \quad (17-8)$$

نیروی برشی وارد بر پیچ پایینی برابر است با:

$$Q_O = \frac{F_H(h - h_G)}{n \cdot h} \quad (18-8)$$

$$\tau = \frac{Q}{A_b} \quad (19-8)$$

$\ell_G$  : طول افقی تا مرکز ثقل تجهیزات

$h$  : ارتفاع تجهیزات

$h_G$  : ارتفاع وجه ثابت تا مرکز ثقل تجهیزات

$m$  : تعداد اعضای اتصال دهنده

$n$  : تعداد کل پیچ‌های مهار

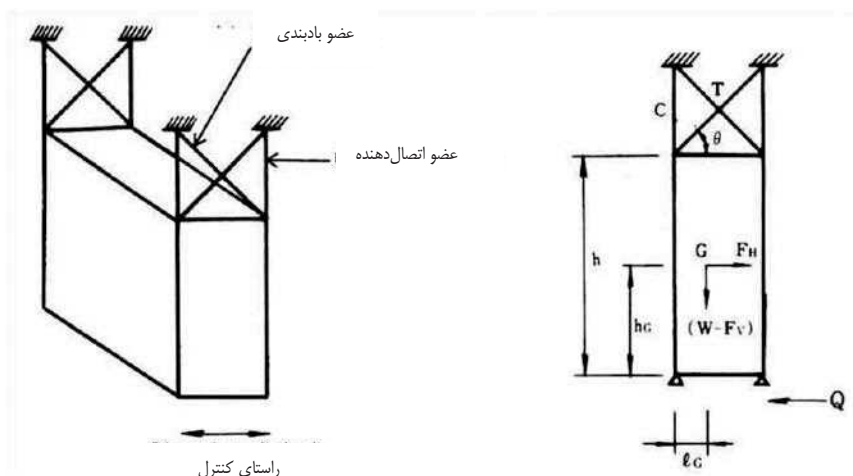
$A_b$  : سطح مقطع پیچ مهار

در عضو اتصال دهنده باید شرط  $N \leq F_{CA}$  برقرار باشد. ( $F_{CA}$ : نیروی فشاری مجاز کوتاه مدت می‌باشد).

قطر پیچ مهار در عضو اتصال دهنده باید با در نظر گرفتن  $R_b = N/n_0$  ( $N$ : نیروی کششی وارد بر هر عضو و  $n_0$ : تعداد پیچ مهار هر عضو می‌باشد) طراحی شود. قطر پیچ مهار پایینی باید با استفاده از  $Q$  و  $\tau$  در روابط (۱۸-۸) و (۱۹-۸)، محاسبه شود.

۲- عضو اتصال دهنده به سقف





شکل ۷-۸ روش نصب و کنترل عضو اتصال دهنده به سقف

نیروهای محوری  $T_O$  و  $C_O$  وارد بر عضو بادبندی و عضو اتصال دهنده عبارتند از:

$$T_O = \frac{F_H \cdot h_G}{m \cdot h} \cdot \frac{1}{\cos \theta_b} \quad (20-8)$$

$$C_O = T \sin \theta_b \quad (21-8)$$

نیروهای وارد بر پیچ مهاري عضو تکیه‌گاه بالایی عبارتند از:

$$R_b = \frac{T \sin \theta_b}{n_0} \quad \text{نیروی کششی} \quad (22-8)$$

$$Q_b = \frac{T \cos \theta_b}{n_0} \quad \text{نیروی برشی} \quad (23-8)$$

نیروهای برشی  $Q$  و  $\tau$  وارد بر پیچ مهاري پایینی باید مطابق روابط (۱۸-۸) و (۱۹-۸) باشند.

$\theta_b$  : زاویه عضو بادبندی

$n_0$  : تعداد پیچ‌های مهاري عضو تکیه‌گاه بالایی

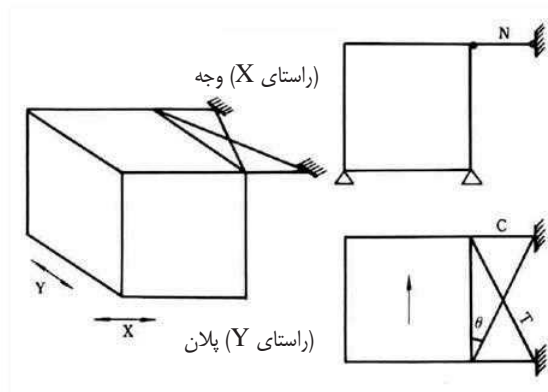
قطر پیچ مهاري عضو تکیه‌گاه بالایی باید با استفاده از  $R_b$  و  $Q_b$  طراحی شود.

در مورد پیچ مهاري پایینی باید مشابه عضو اتصال دهنده به دیوار عمل شود.

۳- عضو اتصال دهنده به دیوار در دو راستا

۳-۱- نوع تکیه‌گاه بالایی





شکل ۸-۸ روش بررسی مؤلفه (C)

$N$  برای راستای  $X$  از رابطه (۱۷-۸) و  $T$  و  $C$  در راستای  $Y$  از روابط (۲۰-۸) و (۲۱-۸) محاسبه می‌شوند. عضو تکیه‌گاه بالایی باید در برابر نیروی محوری  $N$ ، نیروی کششی  $T$  و نیروی فشاری  $C$  ایمن باشد. طراحی پیچ مهاری مطابق با طراحی اعضای اتصال دهنده دیوار یا سقف انجام می‌شود.

#### ۸-۴-۲- انتخاب عضو تکیه‌گاه بالایی

عضو تکیه‌گاهی باید به گونه‌ای طراحی شود که روابط زیر را ارضاء نماید.

$$C \leq C_a \quad \text{برای نیروی فشاری}$$

$$T \leq T_a \quad \text{برای نیروی کششی}$$

$C_a$  و  $T_a$  به ترتیب نیروهای مجاز کششی و فشاری هستند.

مراحل طراحی در صورت معلوم بودن نیروی  $N$  به صورت زیر می‌باشد:

$$1- \text{ فرض سطح مقطع عضو به صورت } A_r$$

$$2- \text{ محاسبه تنش } \sigma = N/A_r$$

$$3- \text{ مقایسه تنش } \sigma \text{ با تنش مجاز } f_a$$

عضو تکیه‌گاهی با تنش مجاز  $f_a$  که بزرگ‌تر از  $N$  می‌باشد، به سادگی و با محاسبات زیر طراحی می‌شود:

$$N \leq A \cdot f_a = N_a \quad N/N_a \leq 1.0 \quad (24-8)$$

که در آن،  $f_a$  تنش مجاز و  $N_a$  نیروی مجاز است.

هنگامی که لنگر خمشی از حد تسلیم فراتر می‌رود رابطه،  $N/N_a + M/M_a \leq 1.0$  به کار می‌رود.



## ۸-۵- متوقف کننده

### ۸-۵-۱- کلیات

هنگامی که پیچ مهار را نتوان از طریق تکیه‌گاه محکم کرد می‌توان از متوقف کننده لرزه‌ای استفاده نمود. متوقف کننده در فاصله کوچکی از تجهیزات اصلی و معمولاً همراه با ضربه‌گیر نصب شده و با تجهیزات تماسی ندارد. متوقف کننده باید از طریق پیچ‌ها به پی یا بدنه اصلی محکم شود تا مانع لغزش ناشی از نیروی لرزه‌ای شود. نوع متوقف کننده باید بعد از کنترل احتمال واژگونی تجهیزات تحت نیروی لرزه‌ای وارده بر مرکز ثقل تجهیز، انتخاب شود.

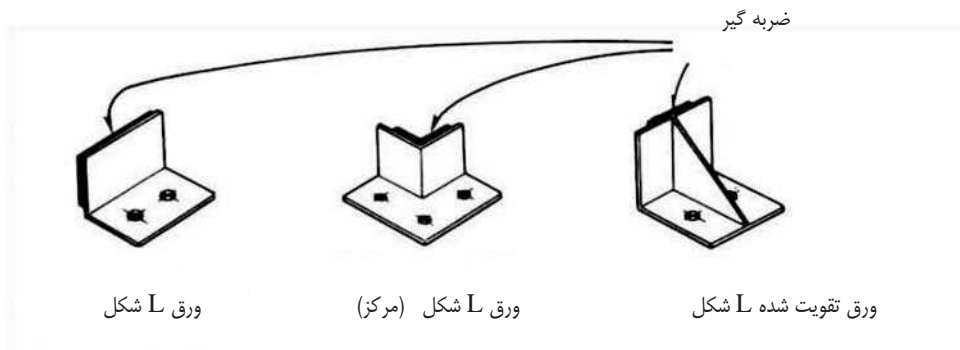
### ۸-۵-۲- انتخاب نوع متوقف کننده

قسمت‌های مختلف انواع متوقف کننده باید در برابر نیروی زلزله، طراحی شوند. متوقف کننده باید از لغزش یا واژگونی تجهیز پیشگیری نماید. در صورت نیاز به ضربه‌گیری با تغییر شکل‌های زیاد، از متوقف کننده فنری استفاده می‌شود.

انواع متوقف کننده‌ها عبارتند از:

#### ۱- متوقف کننده لغزش

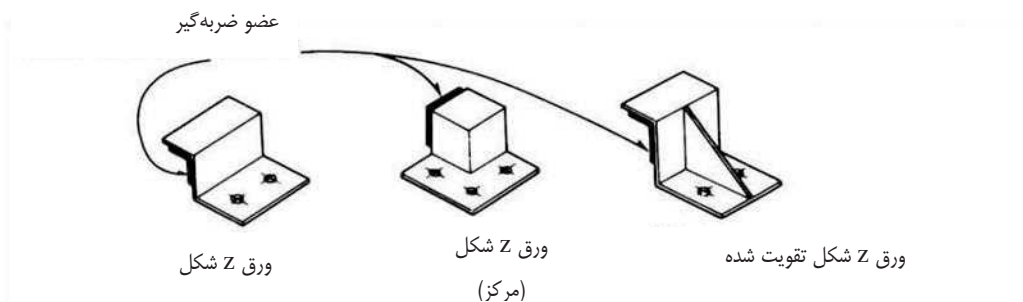
این نوع به منظور جلوگیری از حرکت افقی و از ورق یا پروفیل فولادی ساخته می‌شود.



شکل ۸-۹ انواع متوقف کننده L شکل

#### ۲- متوقف کننده لغزش / واژگونی

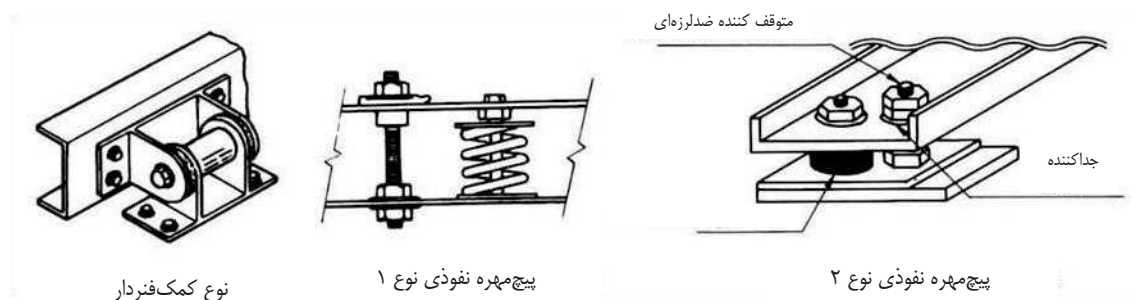
این متوقف کننده به منظور جلوگیری از حرکت افقی و واژگونی به کار می‌رود و از ورق یا پروفیل فولادی ساخته می‌شود.



شکل ۸-۱۰ متوقف کننده Z شکل

## ۳- انواع دیگر

انواع دیگر متوقف کننده در شکل (۸-۱۱) نشان داده شده است.



نوع کمک‌فنردار

پیچ‌مه‌ره نفوذی نوع ۱

پیچ‌مه‌ره نفوذی نوع ۲

شکل ۸-۱۱ انواع دیگر متوقف کننده ضد لرزه‌ای (برای متوقف کننده لغزشی/واژگونی)

## ۸-۵-۳- کنترل عملکرد متوقف کننده

هنگامی که پیچ از نوع نفوذی انتخاب می‌شود، نیروی کششی آن باید کنترل شود.

لنگر واژگونی در نقطه B، همان‌طور که در شکل (۸-۱۲) نشان داده شده باید از رابطه (۸-۲۵) به دست آید:

$$T_O = \frac{W\{K_H h_G - \ell(1 - K_V)\}}{\ell} \quad (۸-۲۵)$$

$$T_O \leq 0 \quad (\text{الف})$$

$$h_G / \ell_G = (1 - K_V) / K_H \quad (۸-۲۶)$$

تا زمانی که نیروی کششی در ضربه‌گیر به مقاومت تسلیم نرسیده متوقف کننده از نوع لغزشی به کار می‌رود.

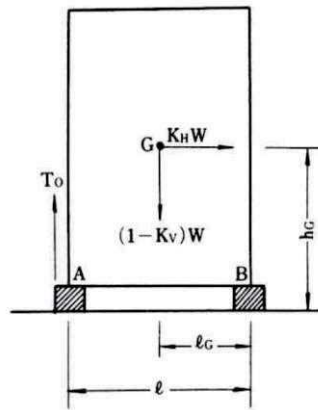
$$T_O > 0 \quad (\text{ب})$$

$$h_G / \ell_G > (1 - K_V) / K_H \quad (۸-۲۷)$$

زمانی که نیروی کششی در ضربه‌گیر به مقاومت تسلیم می‌رسد، باید از نوع لغزشی و واژگونی استفاده نمود.



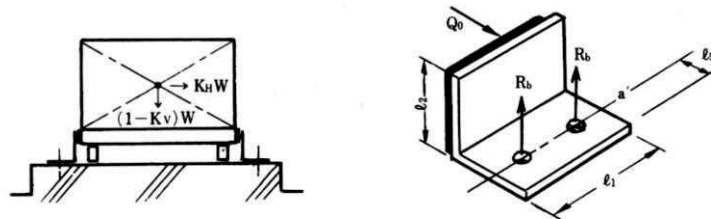




شکل ۸-۱۲ محل اثر نیروهای وارده بر متوقف کننده

$T_0$  : نیروی کششی تکیه‌گاه A

نوع و قطر پیچ مهارتی طبق بخش ۵-۴-۱-۵ انتخاب می‌شود.  
طراحی ورق و پیچ مهارتی متوقف کننده‌ها به صورت زیر است:  
۱- متوقف کننده لغزشی



شکل ۸-۱۳ متوقف کننده لغزشی ورق L شکل

$\lambda_2$  ارتفاع تا نقطه اعمال نیرو است.

– ضخامت ورق متوقف کننده

$$t \geq \sqrt{6K_H W \lambda_2 / \{f_b (\ell_1 - md_0) N_s\}} \quad (28-8)$$

نیروی برشی پیچ مهارتی

$$Q = \frac{K_H W}{m N_s} \quad (29-8)$$

نیروی کششی پیچ مهارتی:

$$R_b = \frac{\ell_2 K_H W}{\ell_5 \cdot m \cdot N_s} \quad (30-8)$$

$f_b$  : تنش خمشی مجاز کوتاه مدت عضو فولادی

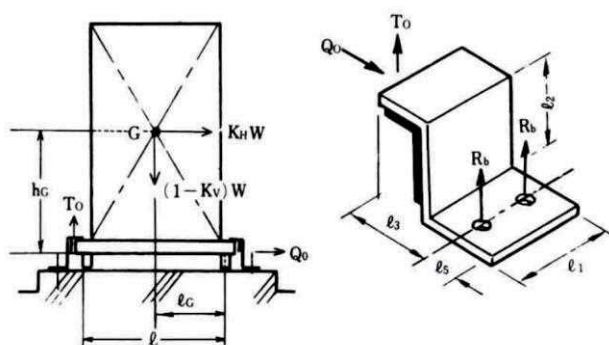
$d_0$  : قطر سوراخ پیچ

$t$  : ضخامت ورق متوقف کننده



تعداد متوقف کننده در یک طرف تجهیزات :  $N_s$

۲- متوقف کننده لغزش و واژگونی



شکل ۸-۱۴ متوقف کننده Z شکل

ضخامت ورق متوقف کننده بزرگترین مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$t \geq \sqrt{\frac{6\{K_H h_G - l_G(1-K_V)\}W l_3}{f_b l(l_1 - md_0)N_s}} \cdot T_o \quad \text{برای } T_o \quad (31-8)$$

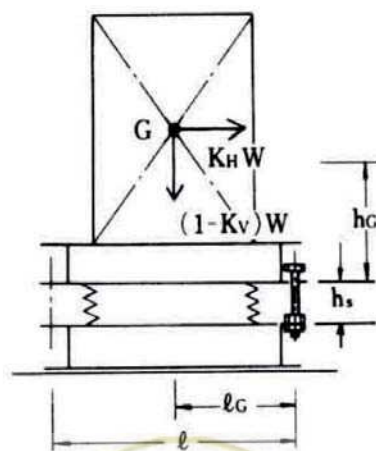
$$t \geq \sqrt{\frac{6K_H W l_2}{f_b(l_1 - md_0)N_s}} \cdot Q \quad \text{برای } Q \quad (32-8)$$

نیروی برشی پیچ مهره

$$Q = \frac{K_H W}{m \cdot N_s} \quad (33-8)$$

$$R_b = \frac{\{K_H h_G - l_G(1-K_V)\}W}{l \cdot m \cdot N_s} \cdot \frac{l_3 + l_5}{l_5} \quad (34-8)$$

۳- کنترل متوقف کننده نفوذی



شکل ۸-۱۵ متوقف کننده نفوذی

ضخامت ورق متوقف کننده بزرگترین مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$f_b \geq \sigma_{tb} = \frac{T}{A_e} + \frac{M}{Z} = \frac{W\{K_H \cdot h_G - (1 - K_V) \cdot \ell_G\}}{\ell \cdot n_t \cdot A_e} + \frac{K_H \cdot W \cdot h_s}{n_s \cdot Z} \quad (۳۵-۸)$$

$$f_s \geq \tau = \frac{K_H \cdot W}{n A_e} \quad (۳۶-۸)$$

$\sigma_{tb}$  : تنش عضو هنگام دریافت بارهای کششی و خمشی

T : نیروی کششی

$A_e$  : سطح مقطع مؤثر (در مورد پیچ، سطح مقطع محوری ضربدر ۰/۷۵)

M : لنگر خمشی

Z : مدول مقطع (در مورد پیچ مهره  $Z = \frac{\pi \cdot (0.85d)^3}{32} = 0.06d^3$ )

$G_1$  : مرکز ثقل خود تجهیزات

$G_2$  : مرکز ثقل حلقوی تجهیز و قفسه بالایی

$h_s$  : طول نقطه تکیه‌گاهی متوقف کننده تا قفسه بالایی

$n_s$  : تعداد کل پیچ مهره‌های متوقف کننده

d : قطر سوراخ پیچ مهره

$n_t$  : تعداد پیچ مهره واقع بر خط تجهیزات

$f_s$  : تنش برشی مجاز کوتاه مدت عضو فولادی



# فصل ۹

---

---

## مثالها





### ۹-مثال طراحی تجهیزات داخلی (پانل‌های کنترل مخابراتی)

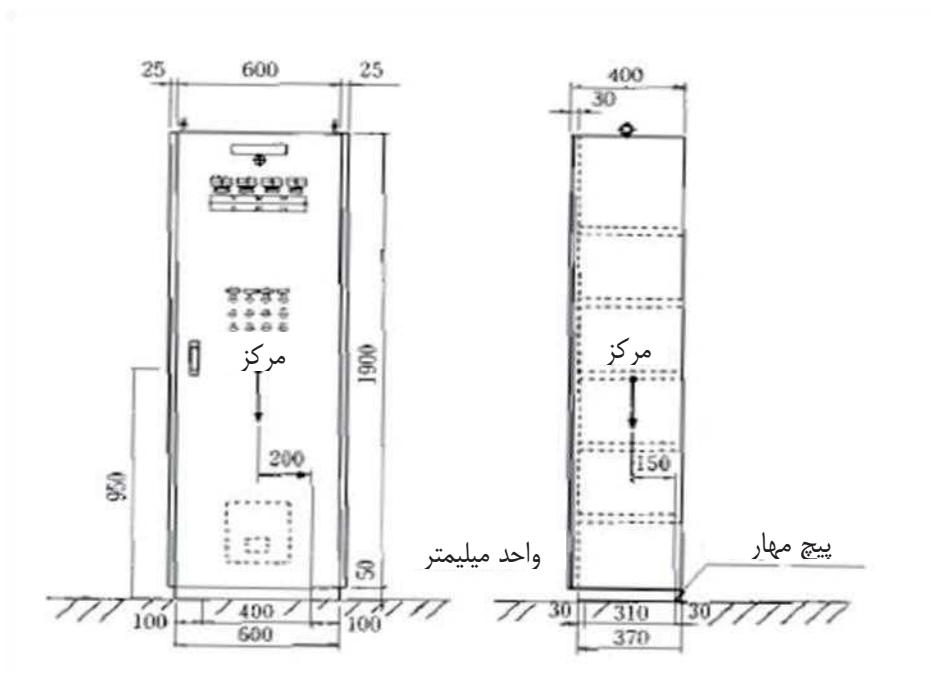
در ادامه مثال‌های طراحی ۴ نوع از پانل‌های کنترل مخابراتی آمده است.

- (۱) پانل کنترل خودایستا
- (۲) پانل کنترل متصل به دیوار
- (۳) پانل کنترل الحاقی به دیوار
- (۴) پانل کنترل با اعضای تکیه‌گاهی پشتی

#### ۹-۱-۱ پانل کنترل خودایستا

الف) ابعاد تجهیز

شکل ۹-۱-۱ (۱) نشان دهنده ابعاد پانل کنترل خودایستا است.



شکل ۹-۱-۱- ابعاد پانل کنترل خود ایستا

ب) پیچ مهار



جدول ۹-۱- تعداد پیچ مهار

	وجه بلندتر	وجه کوتاه‌تر
تعداد در هر جهت	۲	۲
دهانه پیچ	۴۰ سانتی‌متر	۳۱ سانتی‌متر
نیروی کششی	۴۵۱۰ N برای هر پیچ	۵۸۲۰ N برای هر پیچ
نیروی برشی	۹۵۰ N برای هر پیچ	۹۵۰ N برای هر پیچ

مراحل محاسبه برای  $K_H = 0.2$

$$K_H = 0.2$$

$$W = 1900 \text{ N}$$

$$F_H = K_H \times W = 3800 \text{ N}$$

$$F_V = 1/2 / FLH = 1900 \text{ N}$$

$$95 \text{ cm}$$

موقعیت مرکز:  $l_G = 20 \text{ cm}$  (وجه بلندتر) و  $l_G = 15 \text{ cm}$  (وجه کوتاه‌تر)

تعداد پیچ مهار: ۴

$$R_b = F_H \times hc(W - F_V) \times l_G / (l \times n_t)$$

$$Q = F_H / n$$

انتخاب پیچ‌های مهار:

روش ساخت:

از این پس کار با پیچ انبساطی فلزی در نظر گرفته می‌شود. (M12 Male screw)

عمق بتن: ۱۲ سانتی‌متر، عمق مدفون: ۶ سانتی‌متر

تعداد پیچ‌های مهار:  $M12 \times 4$

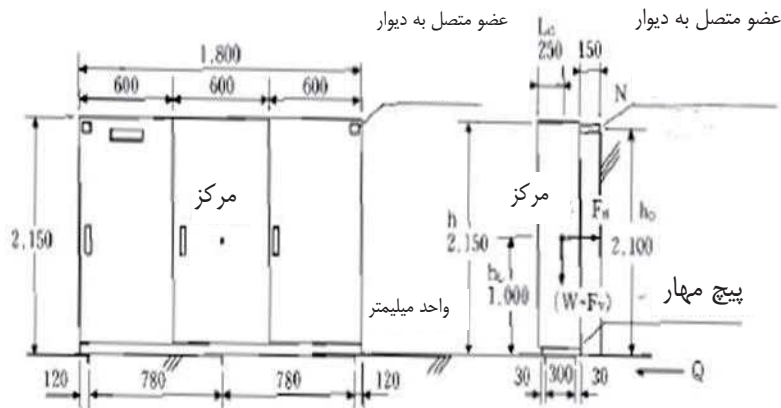
## ۹-۱-۲ پانل کنترل متصل به دیوار

همانطور که در شکل ۹-۱-۱ بالا نشان داده شد، اعضای اتصالی به دیوار برای جبران نیروی مقاوم پیچ‌های اتصالی به زمین،

استفاده می‌شوند.

الف) ابعاد تجهیز





شکل ۹-۲- ابعاد پانل متصل به دیوار را نشان می‌دهد.

(ب) پیچ مهار

جدول ۹-۲- تعداد پیچ مهار و وابسته به شدت لرزه‌ای

$K_H = 2$	$K_H = 1.5$	$K_H = 1$	$K_H = 0.6$	$K_H = 0.4$		
۴	۴	۴	۴	۴	تعداد کل پیچ	پیچ مهار متصل به دیوار
M8	M8	M8	M8	M8	قطر	
کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	روش ساخت	
عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	ملاحظات	
۴	۴	۴	۴	۴	تعداد کل پیچ	پیچ مهار متصل به کف
M8	M8	M8	M8	M8	قطر	
کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	روش ساخت	
عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	ملاحظات	

مراحل محاسبه برای پیچ‌های مهاری ( $K_H = 1.5$ )

$K_H = 1.5$

شدت طراحی لرزه‌ای افقی:





$W = 6000\text{N}$	وزن تجهیز:
$F_H = K_H \times W = 9000\text{N}$	نیروی طراحی لرزه‌ای:
$F_V = 1/2 / F_H = 4500\text{N}$	نیروی لرزه‌ای قائم
215cm	ارتفاع مرکز:
$h_0 = 210\text{cm}$	ارتفاع اعضای اتصالی
$h_c = 100\text{cm}$	ارتفاع مرکز:
$n_0 = 12$	تعداد کل پیچ‌های مهارتی هر یک از اعضای اتصالی:

جدول ۹-۳- تعداد پیچ مهارتی وابسته به شدت لرزه‌ای

۲	تعداد اعضای اتصالی
۲	تعداد پیچ مهارتی هر عضو اتصالی
۶	تعداد کل پیچ مهارتی برای اتصال به کف
$N_{2140}$ در هر پیچ	نیروی محوری
$N_{1070}$ در هر پیچ	نیروی کششی اعمالی بر پیچ در عضو اتصالی
$N_{790}$ در هر پیچ	نیروی برشی اعمالی بر پیچ مهارتی پایین

$$N = F_H \times h_G / (m \times h_0) \quad \text{نیروی محوری اعمالی بر عضو اتصالی:}$$

$$R_b = N / n_0 \quad \text{نیروی کششی پیچ مهارتی در عضو اتصالی:}$$

$$Q = F_H \times (h_0 - h_G) / (n \times h_0) \quad \text{نیروی برشی اعمالی بر پیچ مهارتی پایینی:}$$

انتخاب پیچ‌های مهارتی:

روش ساخت:

از این پس کار با پیچ انبساطی فلزی در نظر گرفته می‌شود. (M8 Male screw)

عمق بتن: ۱۲ سانتی‌متر، عمق مدفون: ۴ سانتی‌متر

$$T_a = 3000\text{N/bolt} \geq R_b \quad \text{نیروی کششی مجاز:}$$

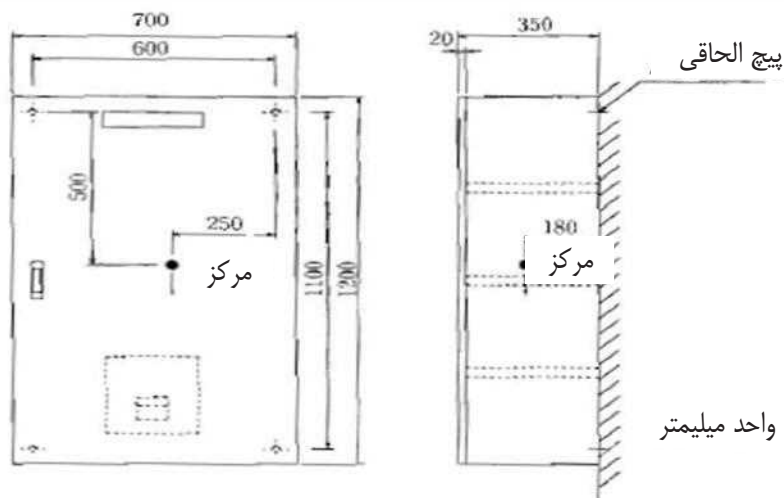
M8×4

تعداد پیچ مهارتی:

## ۹-۱-۳ پانل کنترل الحاقی به دیوار

الف) ابعاد تاسیسات





شکل ۹-۳- ابعاد پانل الحاقی به دیوار

(ب) پیچ مهار

جدول ۹-۴- تعداد پیچ مهار وابسته به شدت لرزه‌ای

$K_H = 2$	$K_H = 1.5$	$K_H = 1$	$K_H = 0.6$	$K_H = 0.4$		
۴	۴	۴	۴	۴	تعداد کل پیچ	پیچ مهار
M8	M8	M8	M8	M8	قطر	
کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	روش ساخت	
عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر	ملاحظات	
عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق مدفون = ۴ سانتیمتر	عمق مدفون = ۴ سانتیمتر		

مراحل محاسبه پیچ‌های مهار (  $K_H = 1.0$  )

$$K_H = 1.0$$

شدت طراحی لرزه‌ای افقی:

$$W = 1400 \text{ N}$$

وزن تجهیز:

$$F_H = K_H \times W = 1400 \text{ N}$$

نیروی طراحی لرزه‌ای:

$$F_V = 1/2 / F_H = 700 \text{ N}$$

نیروی لرزه‌ای قائم:

$$l_{1G} = 25 \text{ cm}$$

فاصله افقی از پیچ تا مرکز تاسیسات:

$$l_{2G} = 50 \text{ cm}$$

فاصله قائم از بالای پیچ تا مرکز تاسیسات

$$l_{3G} = 18 \text{ cm}$$

فاصله از وجه دیوار تا مرکز تاسیسات:

$$n = 4$$

تعداد کل پیچ مهار هر یک از اعضای اتصالی:



جدول ۹-۵- تعداد پیچ مهار وابسته به شدت لرزه‌ای

راستای قائم	راستای افقی	
۲	۲	تعداد در یک جهت
۱۱۰ سانتیمتر	۶۰ سانتیمتر	دهانه پیچ
در هر پیچ N۵۵۰	در هر پیچ N۳۸۰	نیروی کششی
در هر پیچ N۶۳۰	در هر پیچ N۶۳۰	نیروی برشی

نیروی کششی برابر بزرگترین مقدار بدست آمده از دو رابطه زیر است:

$$R_b = F_H \times l_{3G} / (l_1 \times n_{t2}) + (W + F_V) \times l_{3G} / (l_2 \times n_{t1})$$

$$R_b = F_H \times (l_2 \times l_{2G}) / (l_2 \times n_{T2}) + (W + F_V) \times l_{3G} / (l_2 \times n_{t1})$$

نیروی برشی:

$$Q = \sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2} / n$$

$$Q = \sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2} / n$$

انتخاب پیچ‌های مهار:

روش ساخت:

از این پس کار با پیچ انبساطی فلزی در نظر گرفته می‌شود. (M8 Male screw)

عمق بتن: ۱۲ سانتی‌متر، عمق مدفون: ۴ سانتی‌متر

نیروی کششی مجاز:

$$T_a = 3000 \text{ N/bolt} \geq R_b$$

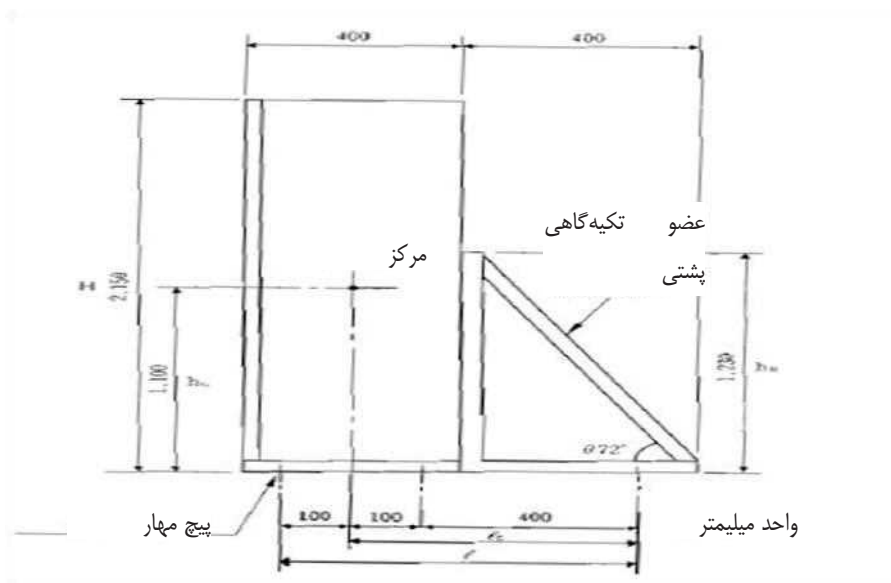
$$M8 \times 4$$

تعداد پیچ مهار:

## ۹-۱-۴ پانل کنترل با اعضای تکیه‌گاهی پشتی

الف) ابعاد تاسیسات (شکل ۹-۴)





شکل ۹-۴

(ب) پیچ مهار

جدول ۹-۶- تعداد پیچ مهار وابسته به شدت لرزه‌ای

$K_H = 2$	$K_H = 1.5$	$K_H = 1$	$K_H = 0.6$	$K_H = 0.4$	تعداد کل پیچ	پیچ مهار
۶	۶	۶	۶	۶		
M10	M10	M10	M10	M10	روش ساخت	
کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	کار با پیچ انبساطی فلزی (Male screw)	ملاحظات	
عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴/۵ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴/۵ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴/۵ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴/۵ سانتیمتر	عمق بتن = ۱۲ سانتیمتر عمق مدفون = ۴/۵ سانتیمتر		

مراحل محاسبه پیچ‌های مهار (  $K_H = 2.0$  )

شدت طراحی لرزه‌ای افقی:  $K_H = 2.0$

$W = 3000N$

وزن تجهیز:

$F_H = K_H \times W = 6000N$

نیروی طراحی لرزه‌ای:

$F_V = 1/2 / F_H = 3000N$

نیروی لرزه‌ای قائم:

$h_G = 110cm$

ارتفاع مرکز:

$l = 20cm$

دهانه پیچ مهار در راستای جلویی و پشتی:

فاصله پیچ مهارها:  $j_{G1} = 10cm$



دهانه پیچ مهار بین پانل و عضو تکیه‌گاهی پشتی:  $l_{G2} = 40\text{cm}$

$n_t = 2$  تعداد پیچ مهار یک وجه:

$n = 6$  تعداد کل پیچ‌های مهاری:

پانل و اعضای تکیه‌گاهی پشتی مانند یک جسم صلب رفتار می‌کند و راستای افقی در شکل E-۴ کنترل می‌شود. راستای عرضی در شکل مانند یک پانل با عرض ۴۰۰ سانتی‌متر است که مراحل محاسبه آن حذف شده است.  
نیروی کششی:

$$R_b = F_H \times h_G - (W - F_V) \times l_G / (1 \times n_t) = 5500\text{N}$$

نیروی برشی:

$$Q = F_H / n = 1000\text{N}$$

انتخاب پیچ‌های مهار:

روش ساخت:

از این پس کار با پیچ انبساطی فلزی در نظر گرفته می‌شود. (M12 Male screw)

عمق بتن: ۱۲ سانتی‌متر، عمق مدفون: ۶ سانتی‌متر

$T_a = 6700\text{N/bolt} \geq R_b$  نیروی کششی مجاز:

M12×6 تعداد پیچ مهاری:

محاسبه اعضای تکیه‌گاهی بالایی (BM)

$h_B = 123\text{cm}$  ارتفاع BM:

$\theta = 72$  زاویه میل BM:

جنس BM: L-40×40×5

$3.76\text{cm}^2$  سطح مقطع:

$i = 1.20\text{cm}$  شعاع ژیراسیون:

$l_b = h_B / \sin \theta = 129\text{cm}$  طول:

$\lambda = 129 / 1.20 = 108\text{cm}$  نسبت لاغری:

$$F_c' = 0.795 \times 1.5 = 11.9\text{KN/cm}^2$$

$N_a = 11.90(\text{N/cm}^2) \times 3.76 = 44.7\text{KN}$  نیروی فشاری مجاز

نیروی بکاربرده شده:

$$N_c = R_b / \sin \theta = 5500\text{N} / 0.951 = 5.78\text{KN} < N_a = 44.7\text{KN}$$





**Islamic Republic of Iran**  
**Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision**

# **Guideline for Seismic Design of telecommunication systems**

**No. 603**

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs



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





## این نشریه

با عنوان "راهنمای طراحی لرزه‌ای سامانه مخابرات" با هدف تأمین ایمنی عمومی و پیشگیری از آسیب جدی به سامانه مخابرات تدوین شده است. در این راهنما کلیات و مبانی در فصل‌های اول و دوم، بارگذاری لرزه‌ای، روش‌های طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی بار لرزه‌ای ناشی از انتشار امواج در فصل‌های سوم و چهارم، طراحی لرزه‌ای و کنترل ایمنی اجزا مختلف سامانه مخابرات در فصل‌های پنجم تا هشتم و در نهایت مثال‌های کاربردی در فصل نهم ارائه شده‌است که می‌تواند راهنمای مناسبی برای مشاوران و طراحان باشد.

