

تشریح، تحلیل و تفسیر
**آیین نامه طراحی
ساختمان‌ها در
برابر زلزله**

استاندارد ۲۸۰۰ - ویرایش چهارم

تالیف و تدوین:
مهندس سامان منصوری



تشریح، تحلیل و تفسیر
آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله
(ویرایش چهارم - استاندارد ۲۸۰۰)

تألیف و تدوین: مهندس سامان منصوری

سرشناسه	: منصورى، سامان، ۱۳۶۵ -
عنوان و نام پديدآور	: تشریح، تحلیل و تفسیر آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ویرایش چهارم/تالیف و تدوین سامان منصورى.
مشخصات نشر	: تهران : سیمای دانش : آذر، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهرى	: ۴۰۰ص:، صور، جدول، نمودار.
شابک	: ۷-۳۲۳-۱۲۰-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسى	: فیا
موضوع	: ساختمان‌ها -- ایران -- اثر زلزله
موضوع	: Buildings -- Earthquake effects -- Iran
موضوع	: ساختمان‌ها -- ایران -- اثر زلزله -- آیین‌نامه‌ها
موضوع	: Buildings -- Earthquake effects -- Iran -- By - laws
موضوع	: ساختمان‌سازی -- ایران -- صنعت و تجارت -- استانداردها
موضوع	: Construction industry -- Iran -- Standards
رده بندى کنگره	: ۱۳۹۵ ۵ت۸م/۱۰۹۵TH
رده بندى ديوبى	: ۶۹۳/۸۵۲۰۲۱۸۵۵
شماره کتابشناسى ملی	: ۴۵۹۱۹۸۴

تشریح، تحلیل و تفسیر

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله

(ویرایش چهارم - استاندارد ۲۸۰۰)

تألیف:	مهندس سامان منصورى
ناشر:	انتشارات سیمای دانش
ناشر همکار:	انتشارات آذر
نوبت چاپ:	اول/۱۳۹۵
تیراژ:	۱۰۰۰ نسخه
لیتوگرافى:	باختر
چاپخانه:	فرشيوه
صحافى:	روشنک
شابک:	۷-۳۲۳-۱۲۰-۶۰۰-۹۷۸
قیمت:	۲۸۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق این اثر برای انتشارات سیمای دانش محفوظ است.

انتشارات سیمای دانش: خیابان انقلاب - ابتدای خیابان ۱۲ فروردین

پلاک ۳۱۸ - تلفن: ۶۶۴۶۴۷۷۹

فروشگاه سیمای دانش: ۶۶۴۶۰۵۴۵

انتشارات آذر: ۶۶۴۶۵۸۳۰

کتابفروشى عصر دانش: ۶۶۴۹۳۷۰۱

کتابفروشى پرهـما: ۶۶۴۶۸۲۳۵

...((اینکه برای انسان بهره‌ای جز سعی و کوشش او نیست، و
اینکه تلاش او بزودی دیده می‌شود، سپس به او جزای کافی
داده خواهد شد))...

(سوره نجم، آیه ۳۹ تا ۴۱)

پیشگفتار مولف:

یکی از مهمترین سوانح طبیعی که سازه‌های ساخته شده توسط بشر را تهدید می‌کند، زلزله است. با بررسی زلزله‌های مختلفی که در سراسر دنیا رخ داده است مشخص است که معمولاً تعداد قابل توجهی از سازه‌ها یا اعضای آنها در برابر جنبش‌های نه چندان نیرومند زمین، دچار آسیب شده‌اند، ذکر این نکته ضروری است که حتی سازه‌های ساخته شده مطابق آیین نامه‌های مدرن زمان خود نیز از آسیب‌های لرزه‌ای شدید در برابر برخی از جنبش‌های نیرومند زمین در امان نبوده‌اند، این مطلب نشان می‌دهد طراحی سازه‌ها در برابر زلزله مستلزم شناخت کافی از سازه و سیستم‌های سازه‌ای و همچنین شناسایی خصوصیات زلزله‌های مختلف و برآورد احتمال وقوع آنها در طول عمر مفید سازه می‌باشد.

با بررسی و مقایسه خسارات جانی ناشی از وقوع زلزله در هشتاد سال اخیر در کشور ایران و در سطح جهان مشخص است که در سطح جهان حدود ۱/۵ میلیون نفر و در ایران حدود ۱۰۰ هزار نفر کشته شده‌اند، تلفات ناشی از زلزله در ایران نسبت به جهان شش درصد می‌باشد در حالی که نسبت جمعیت در ایران نسبت به جهان یک درصد است که خود جای تأمل دارد و می‌تواند نشان از ضعف گسترده در سیستم ساخت و ساز در کشور عزیزمان ایران داشته باشد.

صرف نظر از ضعف در عدم بکارگیری نیروهای مستعد و توانا در اجرا، عدم نظارت مکفی دستگاه‌های اجرایی بر ساخت و سازه‌ها و دیگر مسائل اجرایی و همچنین ضعف‌های عمده در سیستم‌های آموزشی و متعاقب آن عدم پرورش طراحان مسلط بر کلیه مسائل طراحی که در حوصله کتاب پیش رو نمی‌باشند، بخش اعظم آسیب‌های لرزه‌ای ناشی از عدم کفایت لازم آیین نامه‌های طراحی سازه‌ها در برابر زلزله (طراحی لرزه‌ای سازه‌ها) می‌باشد که از جمله‌ی آن می‌توان به تفاوت‌های تأثیر گذار در برداشت‌های سلیقه‌ای از بندهای مختلف و همچنین عدم پرداختن به برخی موضوعات حیاتی و تأثیر گذار در پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها در آیین نامه‌ها اشاره نمود.

طراحی لرزه‌ای سازه‌ها منطبق بر شرایط واقع‌گرایانه سازه و ساختگاه، مستلزم شناخت کافی از سیستم‌های مختلف سازه‌ای، تسلط بر مباحث زلزله شناسی و مهندسی زلزله و آیین نامه‌های مرتبط با آنها و همچنین آشنایی با آخرین دستاوردهای مربوطه می‌باشد.

طراحی لرزه‌ای واقع‌گرایانه‌ی سازه‌ها بر اساس درک منطقی از طبیعت به علت پیچیدگی‌های آن (همانند عدم قطعیت‌های زلزله‌ها، انتخاب تعداد تحریکات لرزه‌ای مکفی جهت طراحی لرزه‌ای سازه شامل "تحریکات تک مولفه‌ای، دو مولفه‌ای، سه مولفه‌ای و شش مولفه‌ای"، ویژگی‌های زلزله‌های حوزه‌های دور و نزدیک به منابع لرزه‌زا، اثر مولفه قائم زلزله و ...) مهمترین مسأله‌ای است که مهندسان محاسب در حال حاضر با آن روبرو هستند. در سراسر جهان با هدف ارائه راهکاری جامع برای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، عدم انحراف و اعمال کج سلیقه‌ی برخی طراحان و همچنین جلوگیری از آسیب‌های لرزه‌ای گسترده در سازه‌ها، آیین‌نامه‌های مختلفی در ارتباط با طراحی سازه‌ها در برابر زلزله تدوین شده‌اند که کشور عزیزمان ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست.

مرجع اصلی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله از سال ۱۳۸۴ تا شهریور سال ۱۳۹۴ در کشور عزیزمان ایران ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ بوده است. با توجه به پیشرفت‌های بدست آمده از علوم مرتبط با مهندسی سازه و زلزله، در ویرایش چهارم آیین نامه مذکور که در سال ۱۳۹۳ منتشر شده است نسبت به ویرایش سوم آن تغییراتی گسترده بوجود آمده است. مطابق بخشنامه انتشار یافته از سوی وزارت راه و شهرسازی، استفاده از ویرایش سوم و چهارم استاندارد ۲۸۰۰ تا پایان شهریور سال ۱۳۹۴ به طور همزمان مجاز بوده است اما از این زمان به بعد استفاده از ویرایش سوم منسوخ می‌باشد و فقط ویرایش چهارم معتبر است.

با توجه به اینکه ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ در حدود یک دهه، استاندارد مرجع طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بوده است و هم اکنون در ویرایش چهارم دچار تغییرات زیادی شده است، مولف مصمم شد تا با تألیف و تدوین اثر پیش رو به تشریح جامع مباحث مهندسی زلزله و زلزله شناسی، ویژگی زلزله‌های نزدیک گسل، ژئوتکنیک لرزه‌ای و شرح تفصیلی تفاوت‌های ویرایش سوم با ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ بپردازد که مطالعه آن می‌تواند خوانندگان را با سهولت و سرعتی قابل توجه در درک آن یاری نماید و سبب ارتقای دانش آنها و مرتفع نمودن کاستی‌های موجود شود. در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ کاستی‌هایی وجود داشت که در ویرایش چهارم تا حدودی اصلاح شده‌اند که از نظر قضاوت مهندسی به تشریح آنها پرداخته شده است. همچنین استاندارد ۲۸۰۰ به منظور اعمال حداقل ضوابط و مقررات طراحی لرزه‌ای سازه‌ها تدوین شده است، ذکر واژه "حداقل" در این آیین نامه بسیار قابل تأمل است و شاید خیلی از کاستی‌های احتمالی این آیین نامه را پوشش می‌دهد که در مورد بندهای مربوطه توضیحات مکفی ارائه خواهد شد. در این کتاب، در بعضی موارد به علت اهمیت موضوع به بندهای مربوطه در آیین نامه‌های معتبر بین المللی نیز پرداخته شده است که می‌تواند دیدگاه مهندسی قابل قبولی را به خوانندگان ارائه دهد.

با توجه به فلسفه کتاب که همان تشریح، تحلیل و تفسیر آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله است و نیاز و ضرورتی که مولف احساس می‌نمود در بخش اول کتاب به تشریح مباحث زلزله شناسی و مهندسی زلزله پرداخته شده است، چرا که بدون شناخت کامل از زلزله، طراحی لرزه‌ای مناسب سازه‌ها مقدور نخواهد بود.

کتاب حاضر مطابق توالی منظم نگارش شده است به طوری که تشریح، تحلیل و تفسیر یک مبحث خاص در بندی مشخص از آیین نامه، با تکرار آن مبحث در ادامه کتاب، دیگر تکرار نخواهد شد، به همین دلیل به خوانندگان توصیه می‌شود روند مطالعه خود را با توالی نگارش کتاب، منطبق نمایند.

کتاب حاضر در دو بخش کاملاً مجزا به ترتیب با عناوین "مبانی مهندسی زلزله برای ساختمان‌ها" و "تشریح، تحلیل و تفسیر آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله" تدوین شده است. در بخش اول کتاب انواع بارهای وارده بر سازه‌ها، انواع سیستم‌های متحمل بار در سازه‌های ساختمانی، زلزله شناسی و مهندسی زلزله و همچنین ژئوتکنیک لرزه‌ای تشریح شده است و بطور ویژه به ویژگی‌های

زلزله‌های نزدیک گسل پرداخته شده است که به نوعی ذهن مخاطب را برای درک هر چه بهتر استاندارد ۲۸۰۰ آماده می‌کند. در بخش دوم کتاب به تشریح و تحلیل، تفسیر مباحث ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ پرداخته شده است.

در این کتاب از تشریح و تفسیر سازه‌های غیر ساختمانی و سازه‌های با مصالح بنایی پرهیز شده است. تقریباً در اکثر کشورهای پیشرفته دنیا نیز آیین نامه‌ی طراحی اینگونه سازه‌ها بصورت مجزا منتشر می‌شود و مولف معتقد است که تفسیر آنها نیز باید بصورت کتاب‌هایی مجزا منتشر شود. علی‌رغم تمامی تلاش‌های صورت گرفته، کتاب حاضر نیز همانند هر اثر دیگری عاری از اشکال نمی‌باشد، لذا از تمامی اساتید، پژوهشگران، مهندسين، دانشجویان و سایر مخاطبین گرامی خواهشمند است نکات اصلاحی خود را از طریق آدرس ذیل به مولف منتقل نمایند، همچنین از عزیزان گرانقدر تقاضا می‌شود تا آخرین دستاوردهای علمی خود که مرتبط با کتاب حاضر می‌باشند را برای اینجانب ارسال نمایند تا در چاپ‌های بعدی اصلاح یا اضافه گردند. در پایان از تمامی کارکنان انتشارات سیمای دانش، بویژه جناب آقای طالقانی و جناب آقای سلطانی تشکر به عمل می‌آید.

با آرزوی عدالت اجتماعی گسترده و صلح جهانی پایدار

سامان منصوری

samanmansouri@ymail.com

تقدیم به

پدر ارجمند و مادر عزیزم

و همچنین تقدیم به استاد متعالی، مسلط، متواضع و مهربانم جناب آقای

پروفسور شاهرخ مالک

(استاد برجسته دانشکده فنی دانشگاه تهران)

فهرست مطالب:

بخش اول- مبانی مهندسی زلزله برای ساختمان‌ها	۱
مقدمه و کلیات	۲
فصل اول- انواع بارهای وارد شده بر ساختمان‌ها	۵
۱- انواع بارهای وارد شده بر ساختمان‌ها	۶
۱-۱) مقدمه:	۶
۲-۱) بارهای وارده بر ساختمان‌ها	۶
۱-۲-۱) بارهای ثقلی	۶
۲-۱-۱) بار مرده	۶
۲-۱-۲) بار زنده	۶
۲-۱-۳) بار مولفه قائم زلزله	۷
۲-۲-۱) بارهای جانبی	۷
۲-۲-۱) بارهای ناشی از وقوع زلزله	۷
۲-۲-۲) بارهای ناشی از وزش باد	۸
۲-۲-۳) سایر بارها	۸
فصل دوم- انواع سیستم‌های متحمل بار در سازه‌های ساختمانی	۹
۲) انواع سیستم‌های متحمل بار در سازه‌های ساختمانی	۱۰
۱-۲) انواع سیستم‌های سازه‌ای	۲۹
۱-۱-۲) سیستم دیوارهای باربر	۱۰
۲-۱-۲) سیستم قاب ساختمانی ساده	۱۰
۳-۱-۲) سیستم قاب خمشی	۱۰
۴-۱-۲) سیستم دو گانه یا ترکیبی	۱۰
۵-۱-۲) سیستم مهاربندی افقی	۱۰
۶-۱-۲) سیستم RCS	۱۱
۲-۲) سیستم‌های باربر جانبی	۱۳
۱-۲-۲) قاب‌های مهاربندی شده	۱۴
۲-۱-۲) قاب مهاربندی شده هم محور (همگرا)	۱۴
۲-۲-۱) قاب مهاربندی شده برون محور (واگرا)	۱۶

۱۸.....	۲-۲-۲) قاب خمشی
۱۸.....	۱-۲-۲-۲) قاب خمشی معمولی
۱۹.....	۲-۲-۲-۲) قاب خمشی متوسط
۱۹.....	۳-۲-۲-۲) قاب خمشی ویژه
۲۰.....	۳-۲-۲) دیوارهای برشی
	۴-۲-۲) سیستم‌های دوگانه یا ترکیبی متشکل از سیستم‌های قاب خمشی ویژه یا
۲۰.....	متوسط با مهاربندهای همگرا یا واگرا یا دیوارهای برشی
۲۰.....	۳-۲) اتصال خورجینی
۲۲.....	۱-۳-۲) قاب‌های با اتصال خورجینی ساده
۲۳.....	۲-۳-۲) قاب‌های با اتصال خورجینی گیردار
۲۶.....	۳-۳-۲) نمونه‌هایی از ترکیب اتصالات خورجینی گیردار با دیگر انواع سیستم‌های سازه‌ای
۲۹.....	فصل سوم - زلزله‌شناسی
۳۰.....	۳) زلزله‌شناسی
۳۰.....	۱-۳) مقدمه
۳۰.....	۲-۳) ساختار زمین
۳۲.....	۳-۳) تعاریف
۳۳.....	۴-۳) گسل
۳۷.....	۵-۳) زمین لرزه
۳۹.....	۶-۳) انواع زلزله‌های طبیعی از نظر محتوا
۴۱.....	۷-۳) زلزله‌های مصنوعی
۴۲.....	۸-۳) امواج ناشی از وقوع زلزله
۴۵.....	۹-۳) مقیاس‌های سنجش زلزله
۴۵.....	۱-۹-۳) شدت زلزله
۴۶.....	۱-۱-۹-۳) مقیاس مرکالی اصلاح شده
۴۸.....	۲-۱-۹-۳) مقیاس MSK
۵۱.....	۳-۱-۹-۳) مقیاس JMA
۵۲.....	۴-۱-۹-۳) معایب و مزایای شدت زلزله
۵۳.....	۲-۹-۳) بزرگای زلزله
۵۳.....	۱-۲-۹-۳) مفهوم اولیه
۵۶.....	۲-۲-۹-۳) تعاریف مختلف بزرگای زلزله

۵۷.....	۳-۹-۲) ارتباط بین بزرگا با برخی از پارامترهای زلزله
۵۸.....	۳-۱۰) زمین ساخت ایران
۵۹.....	۳-۱۱) ایالت‌های لرزه‌ای زمین ساخت ایران
۶۰.....	۳-۱۱-۱) ایالت لرزه زمین ساختی البرز- آذربایجان
۶۰.....	۳-۱۱-۲) ایالت لرزه زمین ساختی کپه داغ
۶۱.....	۳-۱۱-۳) ایالت لرزه زمین ساختی زاگرس
۶۱.....	۳-۱۱-۴) ایالت لرزه زمین ساختی ایران مرکزی- شرق ایران
۶۱.....	۳-۱۰-۵) ایالت لرزه زمین ساختی مکران

۶۳..... فصل چهارم- مهندسی زلزله

۶۴.....	۴- مهندسی زلزله
۶۴.....	۴-۱) مقدمه
۶۷.....	۴-۲) حرکات شش مولفه‌ای زمین در اثر زلزله
۷۰.....	۴-۳) مطالعه پارامترهای جنبش‌های نیرومند زمین
۷۶.....	۴-۴) بررسی ویژگی‌های زلزله‌های حوزه نزدیک گسل
۷۶.....	۴-۴-۱) کلیات
۷۸.....	۴-۴-۲) اثر جهت پذیری
۷۹.....	۴-۴-۲-۱) جهت پذیری پیش ران (پیش رونده)
۸۱.....	۴-۴-۲-۲) جهت پذیری پس ران (پس رونده)
۸۱.....	۴-۴-۲-۳): جهت پذیری خنثی
۸۲.....	۴-۴-۳) پرتابش
۸۴.....	۴-۴-۴) حرکات ضربه مانند
۸۵.....	۴-۴-۵) پالس
۸۷.....	۴-۴-۵-۱) دامنه پالس
۸۷.....	۴-۴-۵-۲) پریود پالس
۸۷.....	۴-۴-۵-۳) تعداد پالس
۸۸.....	۴-۴-۶) اثر لغزش غیر یکنواخت بر روی سطح گسل (اسپریتی)
۹۰.....	۴-۴-۷) تاثیر زاویه شیب گسل
۹۰.....	۴-۵) تحلیل خطر لرزه‌ای
۹۱.....	مرحله اول: مطالعه لرزه زمین ساخت و مدل سازی چشمه های لرزه‌ای
۹۲.....	مرحله دوم: توسعه مدل لرزه خیزی

۱۲۱.....	۵-۵-۹) فشار همه جانبه.....
۱۲۳.....	بخش دوم: تشریح، تحلیل و تفسیر آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله.....
۱۲۴.....	* تعاریف.....
۱۲۴.....	اتصال خورجینی.....
۱۲۴.....	برش پایه.....
۱۲۵.....	برش طبقه.....
۱۲۵.....	تراز پایه.....
۱۲۵.....	تغییر مکان نسبی طبقه.....
۱۲۵.....	جمع کننده.....
۱۲۶.....	حد مقاومت.....
۱۲۶.....	حد تنش مجاز.....
۱۲۶.....	دیافراگم‌ها.....
۱۲۶.....	دیوار برشی.....
۱۲۶.....	روانگرایی.....
۱۲۷.....	سختی طبقه.....
۱۲۷.....	سیستم دیوارهای باربر.....
۱۲۷.....	سیستم قاب ساختمانی.....
۱۲۷.....	سیستم قاب خمشی.....
۱۲۷.....	سیستم دوگانه یا ترکیبی.....
۱۲۷.....	سیستم کنسولی.....
۱۲۸.....	شکل پذیری.....
۱۲۸.....	طبقه.....
۱۲۸.....	طبقه نرم.....
۱۲۸.....	طبقه خیلی نرم.....
۱۲۸.....	طبقه ضعیف.....
۱۲۸.....	طبقه خیلی ضعیف.....
۱۲۸.....	قاب خمشی.....
۱۲۸.....	قاب فضایی.....
۱۲۹.....	قاب مهاربندی شده فولادی.....
۱۲۹.....	قاب مهاربندی شده همگرا.....
۱۲۹.....	قاب مهاربندی شده واگرا.....

۱۲۹.....	مرکز سختی
۱۳۰.....	مقاومت جانبی
۱۳۰.....	مقاومت جانبی طبقه
۱۳۰.....	تغییر مکان طبقه

۱۳۳..... فصل اول - کلیات

۱۳۳.....	۱-۱ هدف
۱۳۴.....	۲-۱ زلزله‌های مبنای طراحی
۱۳۴.....	۳-۱ حدود کاربرد
	۱-۳-۱ این آیین نامه برای طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، فولادی، چوبی و ساختمان‌های با مصالح بنایی به کار می‌رود.
۱۳۴.....	۲-۳-۱ سازه‌های زیر مشمول این آیین نامه نیستند
۱۳۵.....	۴-۱ ملاحظات معماری
۱۳۸.....	۵-۱ ملاحظات کلی سازه‌ی
۱۴۰.....	۶-۱ گروه بندی ساختمان‌ها بر حسب اهمیت
۱۴۲.....	۷-۱ گروه بندی ساختمان‌ها بر حسب نظم کالبدی
۱۴۲.....	۱-۷-۱ نامنظمی در پلان
۱۴۵.....	۲-۷-۱ نامنظمی در ارتفاع
۱۴۸.....	۳-۷-۱ محدودیت در احداث ساختمان‌های نامنظم
۱۴۸.....	۸-۱ گروه بندی ساختمان‌ها بر حسب سیستم سازه‌ای
۱۴۸.....	۱-۸-۱ سیستم دیوارهای باربر
۱۴۹.....	۲-۸-۱ سیستم قاب ساختمانی
۱۴۹.....	۳-۸-۱ سیستم قاب خمشی
۱۴۹.....	۴-۸-۱ سیستم‌های دوگانه یا ترکیبی
۱۴۹.....	۵-۸-۱ سیستم ستون کنسولی
۱۵۰.....	۶-۸-۱ سایر سیستم‌های سازه‌ای

۱۵۱..... فصل دوم - حرکت زمین

۱۵۱.....	۱-۲ تعریف
۱۵۱.....	۲-۲ نسبت شتاب مبنای طرح، A
۱۵۲.....	۳-۲ ضریب بازتاب ساختمان، B
۱۵۷.....	۴-۲ طبقه بندی نوع زمین
۱۷۰.....	۵-۲ حرکت زمین

۱۷۰	طیف طرح استاندارد	۱-۵-۲
۱۷۱	طیف طرح ویژه ساختگاه	۲-۵-۲
۱۷۲	تاریخچه زمانی شتاب، شتاب نگاشت	۳-۵-۲
فصل سوم- ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های ساختمانی		
۱۷۷	ملاحظات کلی	۱-۳
۱۸۰	روش‌های تحلیل سازه	۲-۳
۱۸۰	روش‌های تحلیل خطی	۲-۲-۳
۱۸۰	روش‌های تحلیل غیرخطی	۳-۲-۳
۱۸۱	روش تحلیل استاتیکی معادل	۳-۳
۱۸۱	نیروهای جانبی زلزله	۱-۳-۳
۱۸۱	نیروهای برشی پایه، V_u	۱-۱-۳-۳
۱۸۲	تراز پایه	۲-۱-۳-۳
۱۸۳	ضریب نامعینی سازه، ρ	۲-۳-۳
۱۸۴	زمان تناوب اصلی نوسان، T	۳-۳-۳
۱۸۴	ساختمان‌های متعارف	۱-۳-۳-۳
۱۸۶	ساختمان‌های غیر متعارف	۲-۳-۳-۳
۱۸۶	سختی قطعات بتن آرمه	۳-۳-۳-۳
۱۸۷	ضریب اهمیت ساختمان، I	۴-۳-۳
۱۸۷	ضریب رفتار ساختمان، R_u	۵-۳-۳
۱۹۹	ترکیب سیستم‌ها در پلان	۸-۵-۳-۳
۱۹۹	ترکیب سیستم‌ها در ارتفاع	۹-۵-۳-۳
۱۹۹	حالت کلی	۱-۹-۵-۳-۳
۲۰۰	حالت خاص	۲-۹-۵-۳-۳
۲۰۱	توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان	۶-۳-۳
۲۰۳	توزیع نیروی برشی زلزله در پلان ساختمان	۷-۳-۳
۲۰۴	محاسبه ساختمان در برابر واژگونی	۸-۳-۳
۲۰۴	نیروی قائم ناشی از زلزله	۹-۳-۳
۲۱۳	ضریب اضافه مقاومت، Ω_0	۱۰-۳-۳
۲۱۳	اثر اندرکنش خاک و سازه	۱۱-۳-۳
۲۱۴	روش‌های تحلیل دینامیکی خطی	۴-۳

۲۱۵.....	۱-۴-۳	روش تحلیل طیفی
۲۱۵.....	۲-۱-۴-۳	تعداد مدهای نوسان
۲۱۶.....	۳-۱-۴-۳	ترکیب اثر مدها
۲۱۷.....	۴-۱-۴-۳	اصلاح مقادیر بازتابها
۲۱۹.....	۵-۱-۴-۳	اثر پیچش
۲۱۹.....	۶-۱-۴-۳	روش تحلیل در سیستم دوگانه و یا ترکیبی
۲۲۰.....	۲-۴-۳	روش تحلیل تاریخچه زمانی
۲۲۰.....	۲-۲-۴-۳	اصلاح مقادیر بازتابها
۲۲۱.....	۵-۳	تغییر مکان جانبی نسبی طبقات
۲۲۳.....	۶-۳	اثر $P - \Delta$
۲۲۵.....	۷-۳	مشخصات سازه از تراز پایه تا روی شالوده
۲۲۵.....	۸-۳	دیافراگمها و جمع کنندهها
۲۲۷.....	۹-۳	افزایش بار جانبی در اعضای خاص
۲۲۸.....	۱۰-۳	طراحی اجزای سازه‌ای که جزئی از سیستم باربر جانبی نیستند
۲۲۸.....	۱۱-۳	کنترل سازه برای بار زلزله سطح بهره برداری
۲۲۹.....	۱۲-۳	ترکیب نیروی زلزله با سایر بارها
۲۳۰.....	۱۳-۳	روش ساده شده تحلیل و طراحی
۲۳۱.....	۱-۳-۱۳-۳	نیروی برش پایه
۲۳۱.....	۲-۳-۱۳-۳	توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان
۲۳۱.....	۳-۳-۱۳-۳	توزیع نیروی برشی زلزله در پلان ساختمان
۲۳۳.....		فصل چهارم - ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای
۲۳۳.....	۱-۴	کلیات
۲۳۳.....	۱-۱-۴	تعریف
۲۳۹.....	۲-۱-۴	محدوده کاربرد
۲۳۹.....	۳-۱-۴	ضریب اهمیت جزء
۲۴۰.....	۲-۴	نیروی زلزله
۲۴۰.....	۱-۲-۴	نیروی جانبی زلزله
۲۴۰.....	۱-۱-۲-۴	روش تحلیل استاتیکی معادل
۲۴۱.....	۲-۱-۲-۴	روش تحلیل طیفی
۲۴۱.....	۲-۲-۴	مؤلفه قائم نیروی زلزله
۲۴۱.....	۳-۴	تغییر مکان جانبی

۲۴۲	.....	مهار اجزای غیر سازه‌ای	۴-۴
۲۴۳	.....	ضوابط خاص اجزای معماری	۵-۴
۲۴۳	.....	کلیات	۱-۵-۴
۲۴۴	.....	نیروها و تغییرمکان‌ها	۲-۵-۴
۲۴۴	.....	دیوارهای خارجی	۳-۵-۴
۲۴۵	.....	دیوارهای داخلی - تیغه‌ها	۴-۵-۴
۲۴۵	.....	سقف‌های کاذب	۵-۵-۴
۲۴۵	.....	دیوارهای شیشه‌ای نماها	۶-۵-۴
۲۴۶	.....	ضوابط خاص اجزای مکانیکی و برقی	۶-۴

فصل پنجم - الزامات ژئوتکنیکی ۲۸۱

۲۸۱	.....	شناسایی نوع زمین	۱-۵
۲۸۲	.....	ناپایداری‌های زمین ناشی از زلزله	۲-۵
۲۸۳	.....	روانگرایی	۱-۲-۵
۲۸۳	.....	ارزیابی استعداد روانگرایی	۱-۱-۲-۵
۲۸۴	.....	گسترش جانبی	۲-۱-۲-۵
۲۸۵	.....	روش‌های کاهش خطرهای ناشی از روانگرایی و گسترش جانبی	۳-۱-۲-۵
۲۸۵	.....	تمهیدات سازه‌ای	۱-۱۳-۲-۵
۲۸۶	.....	تمهیدات ژئوتکنیکی	۲-۳-۱-۲-۵
۲۸۶	.....	تغییر محل ساختگاه	۳-۳-۱-۲-۵
۲۸۶	.....	زمین لغزش	۲-۲-۵
۲۸۷	.....	ارزیابی پایداری شیب‌ها به منظور بررسی استعداد زمین لغزش	۱-۲-۲-۵
۲۸۹	.....	فرونشست	۳-۲-۵
۲۸۹	.....	شناسایی حفرات زیرسطحی	۱-۳-۲-۵
۲۹۰	.....	گسلش	۴-۲-۵
۲۹۱	.....	بزرگ نمایی ناشی از توپوگرافی	۳-۵
۲۹۲	.....	دیوار نگهبان خاک	۴-۵

پیوست ۱: درجه بندی خطر نسبی زلزله در شهرها و نقاط مهم ایران ۲۹۵

پیوست ۲: راهنمای انجام تحلیل‌های غیرخطی ۳۲۱

۳۲۲	کلیات	۱-
-----	-------	-------	----

۳۲۲	۲- مشخصات غیرخطی اعضای سازه
۳۲۵	۳- تحلیل استاتیکی غیرخطی
۳۲۵	۳-۶ توزیع‌های بار جانبی
۳۲۷	۳-۷ منحنی ظرفیت
۳۳۱	۳-۸ زمان تناوب اصلی مؤثر ساختمان
۳۳۲	۳-۹ ضریب اضافه مقاومت
۳۳۲	۳-۱۰ تغییر مکان هدف
۳۳۳	۳-۱۱ اثر پیچش
۳۳۳	۳-۱۲ معیارهای پذیرش
۳۳۴	۴- تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی
۳۳۵	۴-۳ ترکیب اثر زلزله با بارهای ثقلی
۳۳۵	۴-۴ پارامترهای بازتاب سازه
۳۳۵	۴-۴-۱ مقاومت اعضا
۳۳۵	۴-۴-۲ تغییر شکل اعضا
۳۳۶	۴-۴-۳ تغییر مکان جانبی نسبی طبقات
۳۳۷	پیوست ۳: اثرات $P-\Delta$
۳۳۸	۱- کلیات، تعاریف و مفاهیم
۳۴۰	۲- محاسبه تغییر مکان نسبی و نیروی برشی معادل طبقه
۳۴۱	۳- روش استفاده از برنامه‌های کامپیوتری
۳۴۵	پیوست ۴: دیافراگم‌ها
۳۴۶	۱- تعریف و عملکرد
۳۴۷	۲- انواع دیافراگم‌ها از نظر جنس و سیستم ساختمانی
۳۴۷	۳- انواع دیافراگم‌ها از نظر صلبیت و انعطاف پذیری
۳۴۹	۴- تغییرشکل دیافراگم‌ها
۳۵۱	۵- نکاتی درباره تحلیل دیافراگم‌ها
۳۵۲	۶- نکاتی درباره طراحی دیافراگم‌ها
۳۵۵	پیوست ۵: اندرکنش خاک و سازه
۳۵۶	مقدمه
۳۵۶	۱- کلیات

۳۵۷.....	۲- روش تحلیل استاتیکی معادل
۳۵۷.....	۱-۲ نیروی برشی پایه.....
۳۵۷.....	۲-۲ زمان تناوب مؤثر سازه.....
۳۵۹.....	۳-۲ میرایی مؤثر.....
۳۶۱.....	۴-۲ توزیع نیروی جانبی در ارتفاع.....
۳۶۱.....	۵-۲ سایر اثرهای اندرکنش خاک و سازه.....
۳۶۱.....	۳- روش تحلیل دینامیکی طیفی.....
۳۶۱.....	۱-۳ مقادیر نیروی برشی پایه مودی.....
۳۶۲.....	۲-۳ سایر اثرهای مودی.....
۳۶۳.....	۳-۳ مقادیر مورد استفاده در طراحی.....
۳۶۵.....	فهرست منابع فارسی و انگلیسی.....

توضیح مهم: به منظور تشخیص اصل استاندارد ۲۸۰۰ از تفسیر آن، مطالب بخش دوم

کتاب با دو قلم (فونت) و دو اندازه (سایز) مختلف نگارش شده است:

- اصل استاندارد ۲۸۰۰ با قلم نازنین و اندازه نسبی بزرگتر همانند متن این خط نگارش شده است.
- تفسیر استاندارد ۲۸۰۰ با قلم لوتوس و اندازه نسبی کوچکتر بصورت سبک مورب (سبک خوابیده یا ایتالیک) همانند متن این خط است.



بخش اول: مبانی مهندسی زلزله برای ساختمان‌ها

شامل:

مقدمه و کلیات

فصل اول: انواع بارهای وارد شده بر ساختمان‌ها

فصل دوم: انواع سیستم‌های متحمل بار در سازه‌های ساختمانی

فصل سوم: زلزله شناسی

فصل چهارم: مهندسی زلزله

فصل پنجم: ژئوتکنیک لرزه‌ای

مقدمه و کلیات:

طراحی لرزه‌ای سازه‌ها منطبق بر شرایط واقع‌گرایانه سازه و ساختگاه و به دور از ایده‌آل سازی‌های معمول همراه یکی از مهمترین مسائل طراحان بوده است. شرایط متفاوت ساختگاه‌ها، ثبت زلزله‌هایی با ویژگی‌هایی کاملاً متفاوت و عدم قطعیت در مسائل لرزه‌ای، همگی مبین این حقیقت هستند که بدون شناخت کافی از پدیده زلزله، طراحی و ساخت سازه‌های مقاوم در برابر آن مقدور نیست. با بررسی آسیب‌هایی لرزه‌ای که در اثر زلزله‌ها بر سازه‌ها وارد شده است (با صرف نظر کردن از مسائل اجرایی، عدم نظارت کافی و ...) مشخص است که آیین نامه‌هایی که سال‌ها قبل تدوین شده‌اند فاقد کفایت لازم جهت طراحی لرزه‌ای مناسب سازه‌ها می‌باشند. به همین جهت مطالعات فراوانی در دانشگاه‌ها و پژوهشکده‌های معتبر در سطح جهان بطور دائم در حال انجام است که منجر به ارتقای این آیین نامه‌ها شده است و هر کدام از آیین نامه‌ها معمولاً در طی یک بازه زمانی نسبتاً مشخص دچار اصلاحات گسترده می‌شوند؛ استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست، به طوری که در ویرایش چهارم نسبت به ویرایش سوم تغییرات عمده‌ای بوجود آمده است که خیلی از کاستی‌ها و ضعف‌های آنرا نسبت به قبل اصلاح نموده است، اما روشن است که ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نیز کامل نیست و می‌بایست همچنان مورد تحقیق و پژوهش قرار گیرد.

از جمله مسائل مهمی که شناخت کامل آن می‌تواند سبب ارتقای استانداردهای طراحی لرزه‌ای سازه‌ها شود، پدیده زلزله است. تنها با شناخت کافی از شرایط لرزه‌ای ساختگاه است که می‌توان سازه‌هایی مقاوم را در برابر زلزله ساخت. لذا در این کتاب به بحث پدیده زلزله به طور ویژه پرداخته شده است و از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

با وقوع پدیده زلزله، امواج لرزه‌ای به سطح زمین ساطع می‌شوند و ایستگاه‌های ثبت زلزله با توجه به فاصله آنها از کانون زلزله، مشخصات زلزله را در آن ایستگاه ثبت می‌کنند، تجربه نشان داده است که ایستگاه‌های نزدیک گسل ویژگی‌هایی متفاوت از زلزله نسبت به ایستگاه‌های دور از گسل را ثبت کرده‌اند. لذا پژوهشگران زلزله‌ها را به دو دسته زلزله‌های نزدیک گسل و زلزله‌های دور از گسل تقسیم نموده‌اند.

از جمله ویژگی‌های زلزله‌هایی که در ایستگاه‌های موجود در حوزه‌های نزدیک گسل به ثبت رسیده است می‌توان به اثرات جهت پذیری، اثر پرتابش و ... اشاره نمود. چنانچه در هنگام طراحی احتمال مواجهه سازه با این اثرات پیش بینی نشده باشد و تمهیدات لازم اعمال نشده باشد، سازه در مواجهه با این پدیده‌ها دارای پتانسیل بالای آسیب پذیری و فروپاشی خواهد بود.

از جمله سوالاتی که وجود دارد این است که ضربات مهلکی که به سازه‌های موجود در حوزه‌های نزدیک گسل وارد می‌شود در تمام نواحی نزدیک گسل وجود دارد یا بسته به نوع گسل، تنها بخشی از حوزه نزدیک گسل محتمل وقوع این پدیده است. لذا شناخت دقیق ویژگی‌های نزدیک گسل و بررسی احتمال وقوع این ویژگی‌ها در طول عمر مفید سازه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

پیشرفت‌های نوین در علوم مرتبط با زلزله شناسی و مهندسی زلزله و افزایش تعداد و کیفیت دستگاه‌های لرزه نگار در نقاط مختلف دنیا و همچنین افزایش ثبت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل و تحقیق پیرامون آنها نشان می‌دهند که حتی اکثر آیین نامه‌های به روز شده در ارتباط با طراحی لرزه‌ای سازه‌ها در دنیا، در ارتباط با طراحی سازه‌ها در حوزه‌های نزدیک گسل راهکاری جامع ارائه نکرده‌اند و این مبحث بیشتر در مقالات مورد بررسی و منتشر شده است. به همین علت طراحی لرزه‌ای سازه‌ها در حوزه‌های نزدیک گسل بیشتر منطبق بر قضاوت مهندسی قابل دفاع خواهد بود.

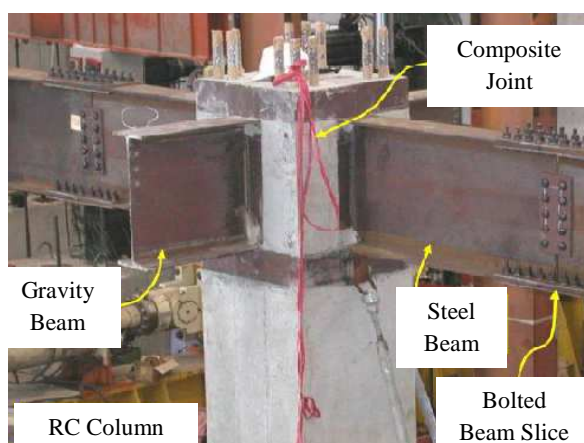
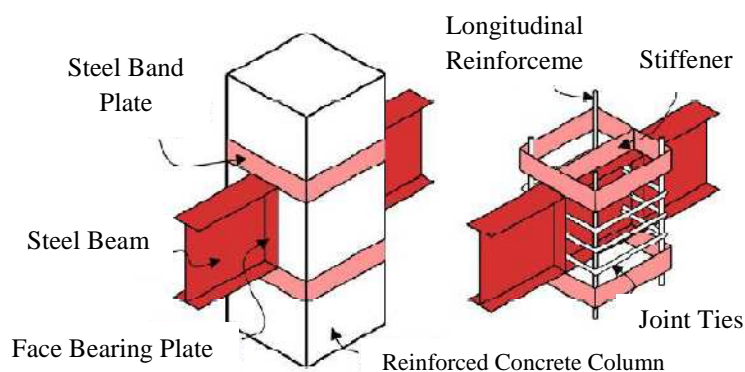
با بررسی خسارات به جا مانده از زلزله‌ها مشخص است که سهم قابل توجهی از آسیب‌های لرزه‌ای در سازه‌های موجود در حوزه‌های نزدیک به گسل اتفاق افتاده است. با توجه به این مورد که کشور عزیزمان ایران بر روی کمربند زلزله قرار دارد و تعداد قابل توجهی از کلان شهرهای ما بر روی گسل‌های متعددی بنا شده‌اند شناخت جامع ویژگی‌های ارتعاشات لرزه‌ای حوزه نزدیک گسل به منظور طراحی لرزه‌ای مناسب سازه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین منظور شرح کامل ویژگی‌های زلزله‌های حوزه نزدیک گسل در بخش اول کتاب آمده است.

مرجع اصلی طراحی ساختمان‌ها در کشور عزیزمان ایران، استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. بدین منظور در کتاب پیش روی سعی بر آن است تا در با تشریح انواع بارهای وارد شده بر ساختمان‌ها، تشریح انواع سیستم‌های متحمل بار در سازه‌های ساختمانی و بویژه سیستم‌های نوینی که عملکرد نسبتاً مناسبی

در برابر زلزله از خود نشان داده‌اند و همچنین مسائل زمین شناختی و زمین ساختی، مبحث زلزله از دیدگاه مهندسی، ویژگی‌های زلزله‌های حوزه نزدیک گسل و مسائل لرزه‌ای ساختگاه‌ها در طی فصول مختلف در بخش اول کتاب به نوعی ذهن مهندسان را برای درک هر چه بهتر استاندارد ۲۸۰۰ آماده نمود. سپس در بخش دوم کتاب به تشریح، تحلیل و تفسیر مباحث ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و همچنین تفاوت‌های آن با ویرایش سوم این استاندارد پرداخته شده است.

در کتاب حاضر با توجه به اهمیت و تعداد قابل توجه ساختمان‌های معمولی نسبت به سازه‌های بنایی و سازه‌های غیر ساختمانی، تنها فصول مرتبط با اینگونه سازه‌ها در استاندارد ۲۸۰۰ تشریح، تحلیل و تفسیر شده‌اند و از پرداختن به سازه‌های با مصالح بنایی و سازه‌های غیر ساختمانی پرهیز شده است. همانگونه که در اکثر کشورهای پیشرفته دنیا آیین نامه اینگونه سازه‌ها بطور مجزا منتشر می‌شود مولف نیز معتقد است که تفسیر آنها می‌بایست بطور مجزا منتشر شود.

ریزی ستون، در سطح ستون قطع می‌گردد. در آمریکا فقط از اتصالات تیر پیوسته استفاده می‌گردد، در حالی که در ژاپن از هر دو نوع اتصال استفاده می‌شود. در این نوع سیستم سازه‌ای به علت ممتد بودن تیرهای فولادی، جوشکاری تیر به ستون به منظور اتصال آنها به حداقل می‌رسد. علاوه بر این در طبقات با ارتفاع کم همانند پارکینگ‌ها و یا در سازه‌های با دهانه‌های بزرگ، در صورت استفاده از تیرهای بتن مسلح، عمق زیادی برای آنها لازم خواهد بود که این امر برای ایجاد فضای معماری مناسب و انجام فعالیت‌های دیگر، مبین کج سلیقه‌ی طراح است، بنابراین با استفاده از تیر فولادی که دارای رفتاری مناسب‌تر در خمش بوده و ارتفاع کمتری نیز دارد، نتیجه مطلوب حاصل می‌گردد. در شکل (۱-۲) نمایی از اتصال RCS بصورت تیر ممتد نشان داده شده است.



شکل (۱-۲): نمای شماتیک (شکل بالا) و نمونه‌ای آزمایشگاهی (شکل پایین) از اتصال RCS با تیر ممتد (Cordova and Deierlein, 2005)

طبقه تعریف می‌شود. در حال حاضر می‌توان با بهره‌گیری از نرم افزارهای قدرتمند المان محدود با یک شبیه سازی واقع‌گرایانه از سازه‌های مورد بررسی میزان دوران در اتصالات آنها را بدست آورد. معمولاً در اکثر آیین نامه‌ها سه حد شکل پذیری (معمولی، متوسط و ویژه) برای سازه‌ها در نظر گرفته شده است که ضوابط طراحی لرزه‌ای آنها متفاوت می‌باشد.

۲-۲-۱) قاب‌های مهاربندی شده:

قاب‌ی به شکل خریای قائم می‌باشد که از آن برای مقاومت در برابر نیروهای جانبی بهره‌گیری می‌شود. اعضای مورب خرپا را می‌توان به صورت هم محور (همگرا) و یا برون محور (واگرا) به اعضای اصلی خرپا متصل نمود. به بیان دیگر این سیستم سازه‌ای یک سیستم خریایی متشکل از مهاربندهای همگرا و یا واگراست که وظیفه اصلی آن تحمل نیروهای جانبی وارد بر سازه (همانند نیروهای ناشی از وقوع باد و زلزله) می‌باشد.

۲-۲-۱-۱) قاب مهاربندی شده هم محور (همگرا):

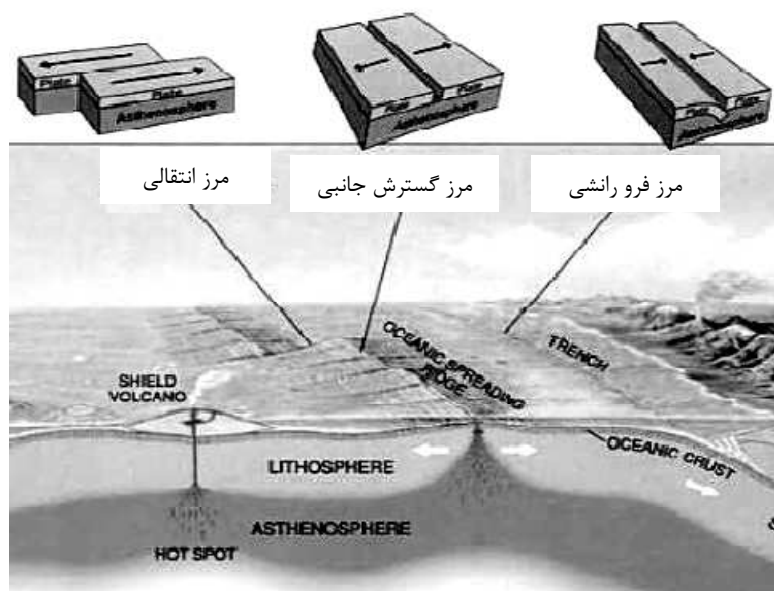
قاب مهاربندی شده‌ی همگرا به قابی گفته می‌شود که در آن اعضای مورب به طور متقارب به اعضای اصلی قاب متصل می‌شوند. به بیان دیگر به مهاربندی همگرا گفته می‌شود که در آن هر دو انتهای محور عضو قطری مهاربند با محور تیر یا ستون در یک نقطه همگرا باشد. به این ترتیب نیروهای این سه عضو در محل گره همگرا می‌شوند. در این قاب‌ها مقاومت جانبی سازه با استفاده از رفتار فشاری - کششی اعضا تأمین می‌شود و قاب مانند یک خرپا عمل می‌کند. این نوع قاب‌ها شامل مهاربند ضربدری، قطری، شورن و k شکل می‌باشند.

در مهاربند همگرای ضربدری دو عضو مهاربند بصورت قطری رؤس متقابل یک دهانه را به هم متصل می‌نمایند. برای مشاهده‌ی اینگونه قاب‌ها به قسمت (الف) از شکل (۲-۲) مراجعه شود. مهاربند همگرای قطری مهاربندی است که در آن فقط یک عضو قطری در داخل دهانه وجود دارد. برای مشاهده‌ی اینگونه قاب‌ها به قسمت (ب) از شکل (۲-۲) مراجعه شود.

در مهاربندهای شورن (منظور مهاربندهای ۸ و ۷ می‌باشد) دو عضو مهاربند بصورت قطری رؤس متقابل یک دهانه را به هم متصل می‌نمایند. برای مشاهده‌ی اینگونه قاب‌ها به قسمت‌های (پ و ت) از شکل (۲-۲) مراجعه شود.

مهاربند همگرای K مهاربندی است که در آن اعضای قطری در یک طرف ستون قرار می‌گیرند و یکدیگر را در نقطه‌ای در روی ستون قطع می‌کنند. برای مشاهده‌ی اینگونه قاب‌ها به قسمت (ث) از شکل (۲-۲) مراجعه شود. مطابق مقررات مندرج در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، استفاده از مهاربند k شکل در قاب‌های مهاربندی شده‌ی همگرای معمولی و ویژه مجاز نیست.

حرکت کنند یکی از صفحات در زیر صفحه دیگر فرو می‌رود که به آن مرز فرورانشی می‌گویند. در صورتیکه دو صفحه تکتونیکی مجاور یکدیگر از هم فاصله بگیرند معمولاً توده‌های مذاب گوشته زمین بصورت فوران به سطح زمین آمده و پس از سرد شدن صفحه جدیدی را ایجاد می‌کنند که به این حرکت، گسترش جانبی و به مرز آن مرز گسترش جانبی می‌گویند. در صورتیکه دو صفحه تکتونیکی مجاور هم نسبت به یکدیگر حرکت عرضی داشته باشند صفحه جدیدی بوجود نمی‌آید و صفحات حاضر نیز از بین نمی‌روند که به این مرز، مرز انتقالی می‌گویند. در شکل (۳-۴) نمایی از هر سه نوع مرز فوق‌الذکر نشان داده شده است.



شکل (۳-۴): نمونه‌ای از مرزهای صفحات تکتونیکی تحت اثر حرکات آنها در جهت‌های مختلف نسبت به یکدیگر (نعیم، ۲۰۰۱)

از نظر صفحات تکتونیکی، قاره‌ها را می‌توان به صورت صفحات نازکی که بر روی گوشته‌ی با خصوصیات لزج ارتجاعی شناور می‌باشند و بصورت دائم در حال تغییر شکل هستند تشبیه نمود.

۳-۳ تعاریف:

در طی وقوع زلزله در نقاط مختلف دنیا از اصطلاحات مختلفی برای تشریح آن استفاده می‌شود که آشنایی با آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

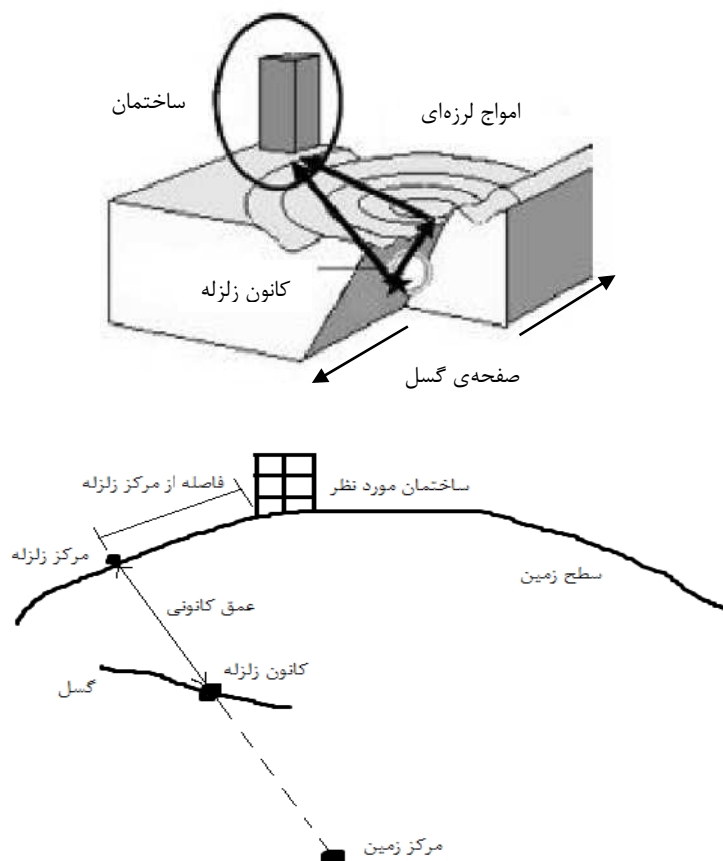
۳-۳-۱) کانون زلزله: محل شکست گسل که منشاء رها شدن انرژی است را کانون زلزله می‌نامند.

۳-۳-۲) مرکز زلزله (یا مرکز سطحی زلزله): نقطه‌ی متناظر با کانون زلزله که در روی سطح زمین قرار دارد را مرکز زلزله می‌نامند. به عبارت دیگر اگر از مرکز کره زمین خطی همانند شعاع کره به سمت سطح آن ترسیم شود مرکز کانون و مرکز زلزله بر روی آن خط قرار دارند (مرکز و کانون زلزله در یک امتداد نسبت به شعاع کره زمین هستند).

۳-۳-۳) فاصله کانونی: فاصله مرکز تا کانون در هر زلزله را فاصله کانونی آن زلزله می‌نامند.

۳-۳-۴) فاصله تا مرکز سطحی: فاصله سازه یا ساختمان مورد نظر تا مرکز سطحی زلزله را فاصله تا مرکز سطحی زلزله می‌گویند.

در شکل (۳-۵) تعاریف فوق‌الذکر بصورت شماتیک برای یک زلزله نشان داده شده‌اند.



شکل (۳-۵): نمایش شماتیک تعاریف متداول برای یک زلزله

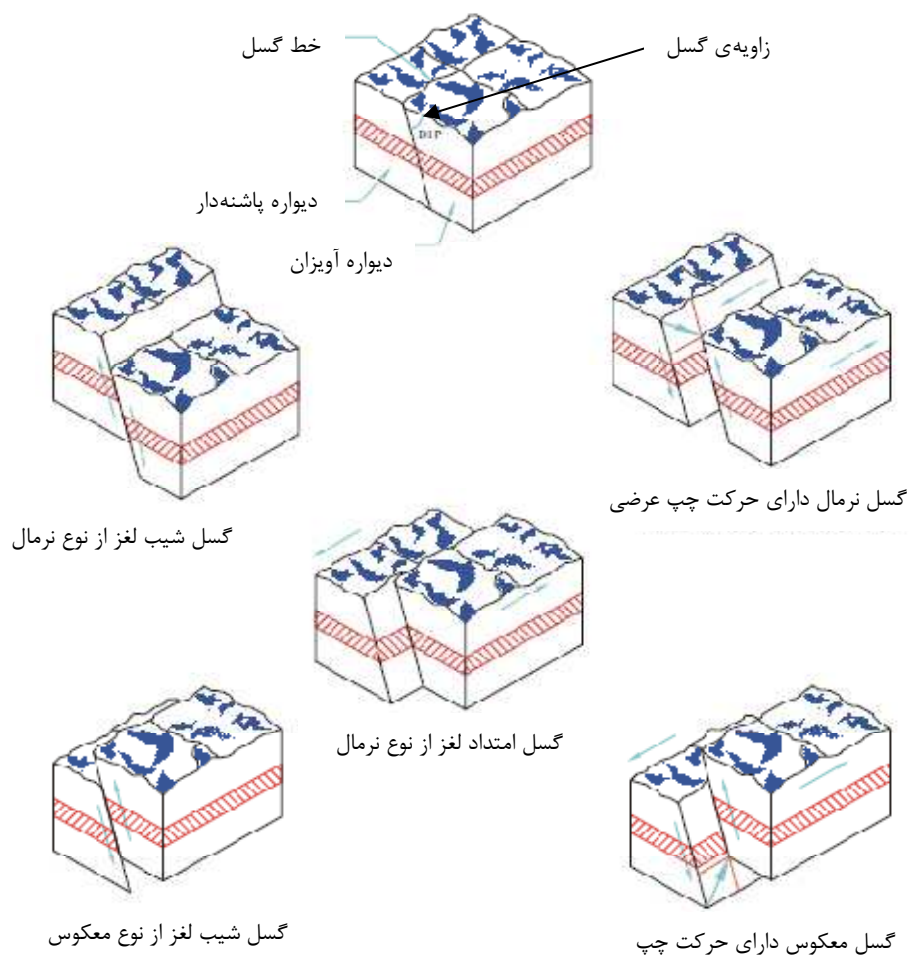
۳-۴) گسل:

زمین لرزه در اثر یک ناپیوستگی در حرکت دو سمت یک خط مرزی از صفحات زمین پدید می‌آید.

این صفحه‌ی ناپیوستگی، گسل نامیده می‌شود که به دو صورت گسل‌های امتداد لغز و گسل‌های شیب لغز بوجود می‌آیند؛ بسته به نوع گسل ویژگی‌های جنبش‌های نیرومند زمین در حوزه‌های نزدیک گسل می‌تواند متفاوت باشد.

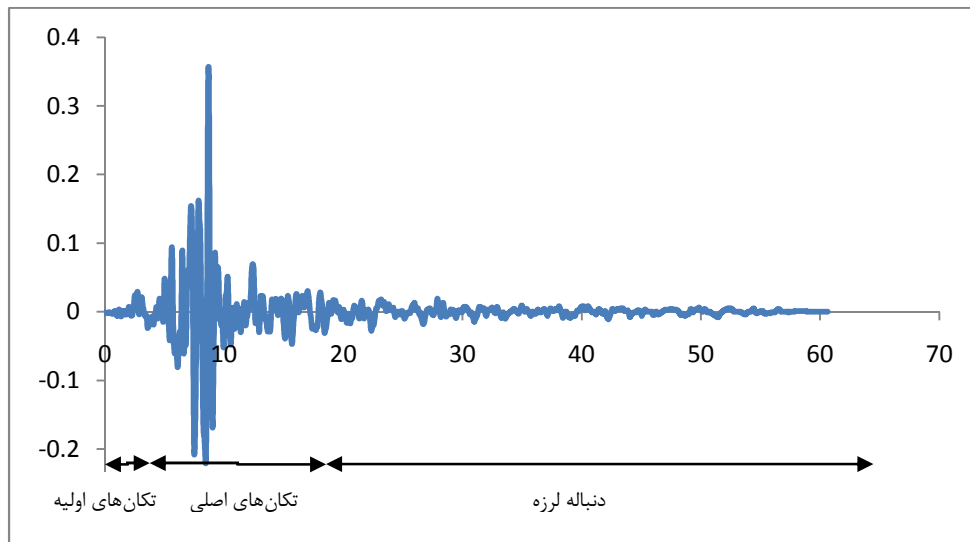
۳-۴-۱) **گسل امتداد لغز (راستا لغز یا افقی یا برشی):** شامل گسلی است که از تغییر مکان در راستای افق حاصل می‌شود (منظور تغییر مکان نسبی در زمین دو طرف صفحه‌ی گسل است).

۳-۴-۲) **گسل شیب لغز:** شامل گسلی است که از تغییر مکان در راستای قائم بوجود می‌آید. بسته به نحوه‌ی تغییر شکل گسل و نحوه‌ی قرار گیری دیواره‌ی پاشنه‌دار و دیواره‌ی آویزان، به این گسل، گسل نرمال (قائم) یا گسل معکوس می‌گویند. در شکل (۳-۶) نمایی شماتیک از انواع گسل‌ها نشان داده شده است.



شکل (۳-۶): نمای شماتیکی از انواع گسل‌ها (نعیم، ۲۰۰۱)

در طی وقوع یک زلزله ابتدا زمین دچار لرزه‌های جزئی می‌شود و سپس لرزه‌ها شدیدتر می‌شود و در نهایت رفته رفته ارتعاشات فروکش می‌شوند. لرزه‌های جزئی را تکان‌های اولیه، قسمت شدیدتر را تکان‌های اصلی و بخش آخر را دنباله لرزه می‌نامند که در شکل (۳-۸) نشان داده شده‌اند.

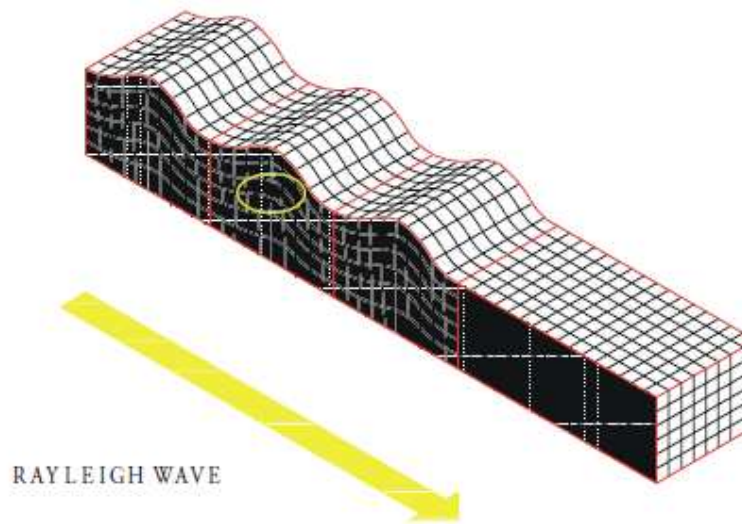


شکل (۳-۸): یکی از دو مولفه‌ی افقی زلزله‌ی پارکفیلد

حرکات تکتونیک صفحه‌ای، فعالیت‌های آتشفشانی، فرو ریختن معادن، حفره‌ها و غارهای عظیم زیر زمینی، لغزش زمین، انفجار، ذخیره نمودن آب در پشت سدها (نیروهای شدید هیدرواستاتیکی ناشی از آب پشت سدها باعث بهم خوردن وضعیت متعادل کوه و زمین‌های مجاور آن می‌شود)، استخراج نفت و دیگر مواد از زیر زمین از علل وقوع زمین لرزه‌ها می‌باشند. بجز حرکات تکتونیک صفحات زمین، دیگر موارد معمولاً سبب ایجاد خسارات قابل توجه تنها در سطح محدودی می‌شوند اما حرکات تکتونیک منجر به وقوع خسارت در سطحی به مراتب گسترده‌تر می‌شوند. علت بیش از ۹۵ درصد از زلزله‌ها معمولاً حرکات تکتونیک می‌باشد.

۳-۶) انواع زلزله‌های طبیعی از نظر محتوا:

مشخصات ثبت شده از زلزله‌های مختلف حاکی از آن است که خصوصیات شتاب، سرعت، جابه جایی و دیگر پارامترهای آنها با یکدیگر متفاوت است. جنبش زمین تحت اثر برخی لرزه‌ها دارای یک حرکت نوسانی منفرد است که معمولاً برای زلزله‌های کم عمق اتفاق می‌افتد و مطابق شکل (۳-۹) دارای زمان تناوب ارتعاش کم (در حدود ۰/۲ ثانیه) می‌باشد.



شکل (۳-۱۶): حرکت زمین نزدیک به سطح آن تحت اثر امواج ریلی (نعیم، ۲۰۰۱)

بیشترین سرعت انتشار امواج لرزه‌ای در بین چهار نوع موج فوق‌الذکر را امواج اولیه و بعد از آن به ترتیب امواج ثانویه، لَو و ریلی دارند.

شکل امواج زلزله به پارامترهای مختلفی از جمله مکانیزم فعالیت زلزله، انعکاس و انکسار امواج زلزله در مرز لایه‌های مختلف و دیگر موارد بستگی دارد.

سرعت انتشار امواج لرزه‌ای وابسته به جرم مخصوص و خاصیت روان شدن سنگ‌های مسیر عبور آنها دارد به طوری که سرعت امواج لرزه‌ای در سنگ‌های سخت و متراکم زیاد است و در سنگ‌های به نسبت سبک‌تر و نرم‌تر اندک است. علاوه بر این افزایش فشار در توده‌های زمین (به علت افزایش تراکم) منجر به افزایش سرعت امواج لرزه‌ای می‌شود و افزایش درجه حرارت (بعلمت انقباض توده‌های زمین و کاهش تراکم آنها) منجر به کاهش سرعت امواج لرزه‌ای می‌شود.

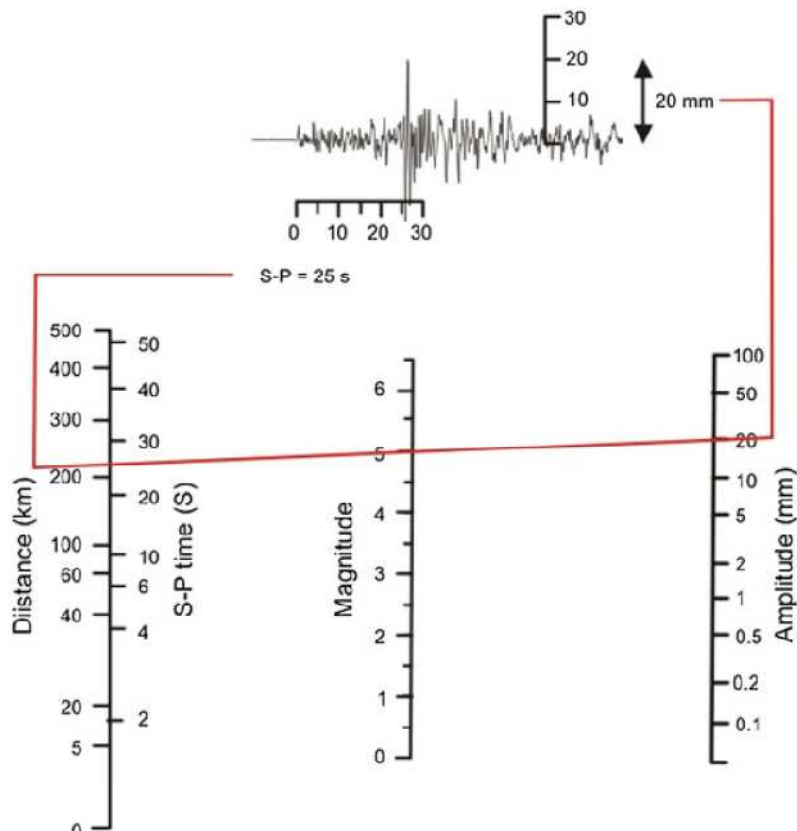
۳-۹) مقیاس‌های سنجش زلزله:

بطور معمول جهت بیان اندازه یک زلزله از دو مقیاس شدت و بزرگا استفاده می‌شود.

۳-۹-۱) شدت زلزله:

معیار شدت زلزله یک مقیاس کیفی، نظری و غیر دقیق است که بر مبنای مشاهدات و تأثیرات زلزله بر خسارات جانی و مالی ایجاد شده بر انسان‌ها و سازه‌ها استوار است، به عبارت دیگر شدت زلزله مبین میزان قدرت تخریب زلزله می‌باشد. در ادامه سه مورد از مقیاس شدت زلزله شامل مقیاس‌های مرکالی اصلاح شده (MM)، MSK و JMA و همچنین معایب و مزایای شدت زلزله تشریح خواهند شد.

به عنوان مثال در شکل (۳-۲۰) فاصله زمانی بین ورود موج‌های طولی و عرضی از روی لرزه نگار برابر با ۲۵ ثانیه است که بر روی محور فاصله-تفاوت زمان (محور سمت چپ) نشان داده شده است و حداکثر دامنه ارتعاش از روی لرزه نگار برابر با ۲۰ میلی‌متر است که بر روی محور دامنه (محور سمت راست) مشخص شده است. با اتصال این دو نقطه می‌توان مقدار بزرگی را بر حسب مقیاس ریشتر قرائت کرد که در این مثال برابر با ۵ می‌باشد.



شکل (۳-۲۰): برآورد بزرگا با توجه به رکورد زلزله (Sucuoglu and Akkar, 2014)

روش دوم (برگی، ۱۳۹۲):

با استفاده از روش زیر بزرگای زلزله در مقیاس ریشتر اصلاح شده بدست می‌آید:

$$M = \log_{10} A - \log_{10} A_0 \quad (3-3)$$

فصل چهارم

مهندسی زلزله

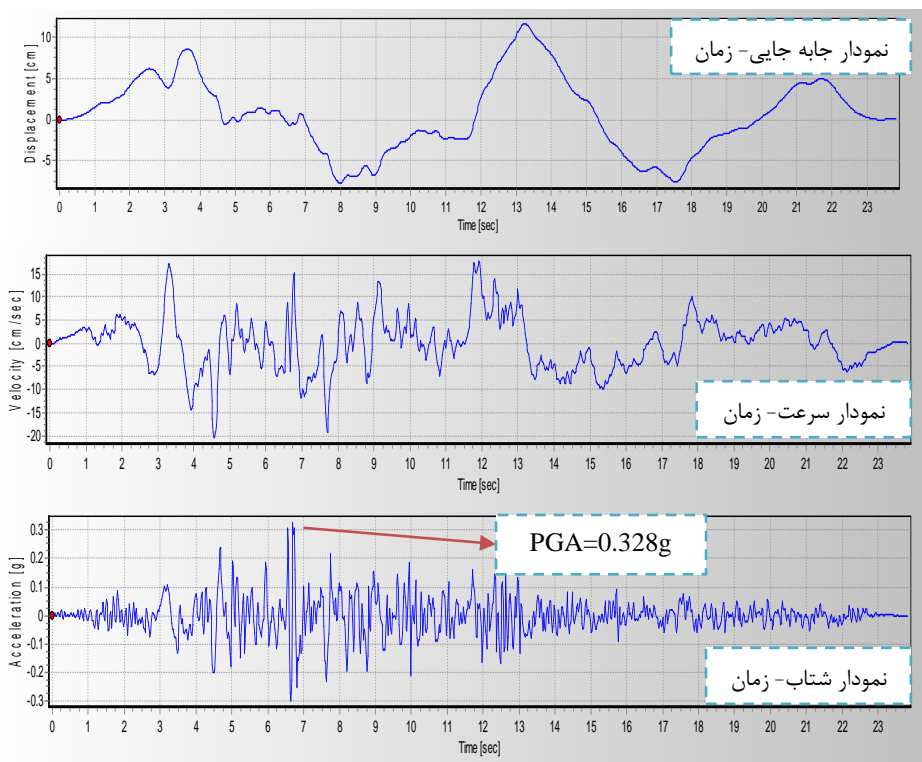
شامل:

- مقدمه
- حرکات شش مولفه‌ای زمین در اثر زلزله
- مطالعه پارامترهای جنبش‌های نیرومند زمین
- بررسی ویژگی‌های زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک گسل
 - جهت پذیری
 - پرتابش
 - حرکات ضربه مانند
 - پالس (دامنه، پریود و تعداد)
 - اثر لغزش غیر یکنواخت بر روی سطح گسل
 - تاثیر زاویه شیب گسل
- تحلیل خطر لرزه‌ای
 - مراحل انجام تحلیل خطر لرزه‌ای
 - مبانی تحلیل خطر لرزه‌ای به روش‌های احتمالی و تعیینی

قدرت ارتعاشات لرزه‌ای زمین وابسته به مدت زمان حرکات شدید آن است بطوریکه ممکن است زلزله‌ی دارای شتاب متوسط و زمان حرکات شدید زیاد، آسیب‌های لرزه‌ای به مراتب بیشتری نسبت به زلزله‌ی با شتاب بیشتر و مدت زمان حرکات شدید کمتر را در سازه‌ها بر جا گذارد.

مقادیر بیشینه حرکت زمین شامل PGA^1 (بیشینه شتاب زمین)، PGV^2 (بیشینه سرعت زمین) و PGD^3 (بیشینه جابه‌جایی زمین) تأثیر بسزایی بر دامنهی ارتعاشات دارند. البته بیشینه‌ی این مقادیر در سنگ بستر و بر روی سطح زمین متفاوت است و بسته به نوع خاک، اثرات و مقادیر آنها می‌توانند به مراتب تشدید شوند و یا کاهش یابند.

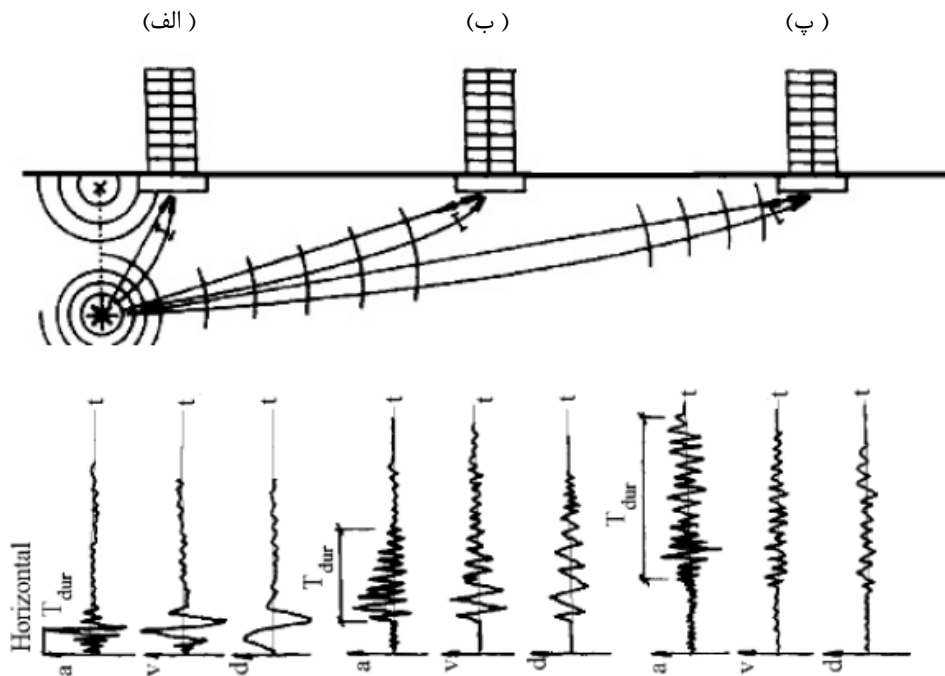
در شکل (۴-۵) نمودارهای جابه‌جایی، سرعت و شتاب سنگ بستر در زلزله طیس بر حسب زمان نشان داده شده‌اند.



شکل (۴-۵): نمودارهای جابه‌جایی، سرعت و شتاب بر حسب زمان مربوط به مولفه LN زلزله طیس (LN یکی از مولفه‌های افقی زلزله طیس است) (منصوری، ۱۳۹۲)

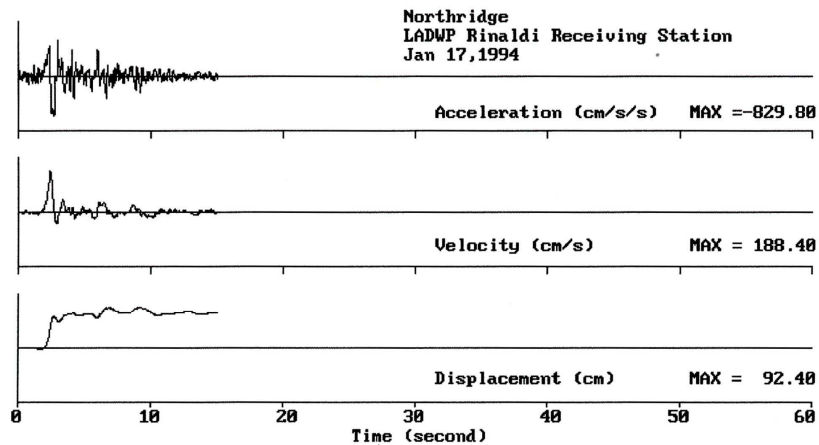
- 1 Peak Ground Acceleration
- 2 Peak Ground Velocity
- 3 Peak Ground Displacement

محدودی ضوابط کامل طراحی سازه‌ها در حوزه‌های نزدیک گسل را ارائه نموده‌اند. در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است که امواج لرزه‌ای (در قالب رکوردهای شتاب، سرعت و جابه‌جایی) که بر حسب زمان می‌باشند) چگونه به ساختمان‌هایی با فواصل مختلف از منبع لرزه‌زا می‌رسند. در ساختمان (الف) که در نزدیکی کانون زلزله است رکوردها دارای پالس می‌باشند. با بررسی رکوردهای اعمال شده به ساختمان‌های (ب) و (پ) مشخص است که با دور شدن از کانون زلزله، رکوردها تقریباً به شکل سیکنی و به صورت مستهلک شده به سازه‌ها وارد می‌شوند. نقش خاک ساختگاه در استهلاک یا تشدید امواج لرزه‌ای بویژه در حوزه‌های دور از گسل بسیار تعیین کننده است.



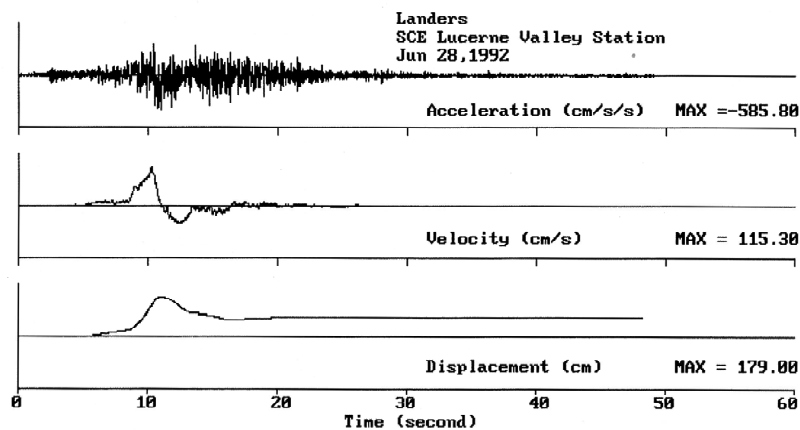
شکل (۴-۱۱): نحوه اعمال تاریخچه‌های زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی به ساختمان‌هایی که در فواصل مختلف از منبع لرزه‌زا قرار گرفته‌اند (Gioncu and Mazzolani, 2011)

علاوه بر پالس‌های موجود در رکوردهای ثبت شده از ارتعاشات لرزه‌ای در حوزه‌های نزدیک گسل، به علت نزدیکی و عدم کاهیدگی قابل توجه، حرکت زمین دارای میزان انرژی به مراتب بالاتری از حوزه‌های دور از گسل می‌باشد، همچنین نیاز و میزان شکل‌پذیری سازه‌ها در حوزه‌های دور و نزدیک گسل متفاوت است. نیاز و میزان شکل‌پذیری در سازه‌های بلند و دارای پی‌ریز طولانی در حوزه‌های نزدیک گسل دارای توزیع غیر یکنواخت در ارتفاع سازه می‌باشد که خود می‌تواند ناشی از تاثیر گذاری موده‌های بالاتر سازه باشد.



شکل (۴-۱۴): تاریخچه‌های زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی زلزله نوثریج، سال ۱۹۹۴ (نعیم، ۲۰۰۱)

میزان PGD در زلزله لندرس به مراتب بزرگتر از زلزله نوثریج است و برابر با ۱۷۹ سانتیمتر می‌باشد. پرتابش بوجود آمده می‌تواند یکی از علل آسیب‌های گسترده بوجود آمده در زلزله‌های نوثریج و لندرس باشد. اثر پرتابش می‌تواند بطور ویژه برای سازه‌های طویل مثل پل‌ها، خطوط لوله و ساختمان‌های با طول و عرض قابل توجه خطرناک باشد. اثر پرتابش می‌تواند (بویژه زمانی که جابه‌جایی نسبی بوجود می‌آید نسبت به زمانی که جابه‌جایی مطلق رخ می‌دهد) سبب ویرانی سازه‌های محل می‌شود. در شکل (۴-۱۵) رکوردهای زلزله لندرس برای ایستگاه SCE Lucerne Valley Station نشان داده شده است.



شکل (۴-۱۵): تاریخچه‌های زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی زلزله لندرس، سال ۱۹۹۲ (نعیم، ۲۰۰۱)

ژئوتکنیک لرزه‌ای

شامل:

- مقدمه‌ای بر آسیب‌های لرزه‌ای ساختگاه‌ها
- نمونه‌هایی از آسیب‌های لرزه‌ای ناشی از روانگرایی
- تعاریف
- گسیختگی زمین
- بررسی پارامترهای موثر مورد استفاده در ارزیابی استعداد روانگرایی

باشد. هر کدام از بارگذاری یک سویه و تناوبی به تنهایی می‌توانند منجر به شروع روانگرایی جریانی شوند. این پدیده می‌تواند در هر نوع خاک اشباع کم ثبات همانند رسوبات دانه‌ای سست، رس‌های بسیار حساس و رسوبات رس‌های سیلت‌دار (سیلت) رخ دهد.

۵-۴-۲) نرم شوندگی تناوبی:

نرم شوندگی تناوبی در هر دو نوع خاک نرم شونده و سخت شونده‌ی کرنشی اتفاق می‌افتد. به بالا رفتن اضافه فشار آب منفذی تحت اثر بارگذاری تناوبی در خاک‌هایی که معمولاً تحت اثر بارگذاری یک سویه اتساع می‌یابند نرم شوندگی تناوبی می‌گویند. این افزایش فشار آب منفذی پیش از رسیدن خاک به شرایط کرنش حدی اتفاق می‌افتد. رفتار خاک پس از کرنش حدی به میزان بزرگای تنش برشی اولیه نسبت به تنش برشی اعمالی و همچنین به این موضوع که میزان تنش برشی اعمالی می‌تواند در خاک سبب ایجاد پدیده دوسویه سازی تنش برشی شود بستگی دارد. رفتار پس از کرنش حدی به دو نوع روانگرایی تناوبی و تحرک تناوبی تقسیم می‌شود:

۵-۴-۲-۱) روانگرایی تناوبی^۱:

روانگرایی تناوبی زمانی اتفاق می‌افتد که تنش برشی تناوبی اعمال شده بر خاک برای ایجاد دو سویه سازی تنش برشی به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد. به بیان دیگر روانگرایی تناوبی زمانی رخ می‌دهد که تنش‌های برشی ایستایی درجا در مقایسه با تنش‌های برشی تناوبی کوچک باشند. روانگرایی تناوبی نیازمند بارگذاری تناوبی زهکشی نشده می‌باشد که در طی آن دوسویه شدن تنش برشی یا ایجاد تنش برشی صفر رخ می‌دهد و یا در خاک‌هایی با خاصیت اتساعی بیشتر منجر به کرنش‌های بزرگ می‌شود. محققان معمولاً هر کدام از این معیارها را که زودتر اتفاق بیفتد به عنوان معیار گسیختگی در نظر می‌گیرند.

در طی روانگرایی تناوبی، در نقطه‌ی تنش موثر صفر هیچگونه تنش برشی وجود ندارد. زمانی که تنش برشی پدید می‌آید، به علت تمایل به اتساع، فشار آب منفذی افت می‌کند، اما ممکن است یک پاسخ بسیار نرم تنش-کرنش اولیه که می‌تواند منجر به تغییرشکل‌های بزرگ شود، بوجود آید. در این نوع از روانگرایی، تغییرشکل‌های ناشی از بارگذاری تناوبی می‌توانند تا مقداری قابل توجه روی هم انباشته شوند که معمولاً با توقف بارگذاری تناوبی به حالتی پایدار می‌رسند، وقوع این نوع از روانگرایی در کلیه‌ی خاک‌های ماسه‌ای اشباع که تحت بارگذاری تناوبی قابل توجه قرار دارند محتمل است.

۵-۴-۲-۲) تحرک تناوبی:

تحرک تناوبی زمانی اتفاق می‌افتد که تنش برشی تناوبی اعمال شده بر خاک برای ایجاد دو سویه



بخش دوم: تشریح، تحلیل و تفسیر آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

شامل:

- تعاریف
- علائم
- فصل اول: کلیات
- فصل دوم: حرکت زمین
- فصل سوم: ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های ساختمانی
- فصل چهارم: ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیر سازه‌ای
- فصل پنجم: الزامات ژئوتکنیکی
- پیوست‌ها^۱

^۱ توضیح مهم: به منظور تشخیص اصل استاندارد ۲۸۰۰ از تفسیر آن، مطالب بخش دوم کتاب با دو قلم (فونت) و دو اندازه (سایز) مختلف نگارش شده است:
اصل استاندارد ۲۸۰۰ با قلم نازنین و اندازه نسبی بزرگتر همانند متن این خط نگارش شده است.
تفسیر استاندارد ۲۸۰۰ با قلم لوتوس و اندازه نسبی کوچکتر بصورت سبک مورب (سبک خواننده یا ایتالیک) همانند متن این خط است.

جدول (ت-۲): مقایسه روابط برآورد مقدار طیف بازتاب در ویرایش‌های سوم و چهارم استاندارد ۲۸۰۰

قسمت‌های مختلف نمودار	ویرایش چهارم	محدوده پریود	ویرایش سوم
بخش اول	$B_1 = S_0 + (S - S_0 + 1) \left(\frac{T}{T_0} \right)$	$0 < T < T_0$	$B = 1 + S \left(\frac{T}{T_0} \right)$
بخش دوم	$B_1 = S + 1$	$T_0 < T < T_s$	$B = S + 1$
بخش سوم	$B_1 = (S + 1) \left(\frac{T_s}{T} \right)$	$T > T_s$	$B = (S + 1) \left(\frac{T_s}{T} \right)^{2/3}$

نقطه شروع نمودار طیف بازتاب بر روی محور قائم در ویرایش سوم به ازای هر چهار ساختگاه مورد مطالعه برابر است اما در ویرایش چهارم نقطه شروع نمودارها برای ساختگاه‌های مختلف متفاوت است. با دقت در جنس خاک ساختگاه نوع سوم و چهارم مشخص است که نسبت به خاک‌های نوع اول و دوم از انعطاف و نرمی بیشتری برخوردار هستند که این ویژگی می‌تواند سبب افزایش طیف بازتاب و نقطه شروع آن در خاک‌های نوع III و IV نسبت به خاک نوع I و II شوند.

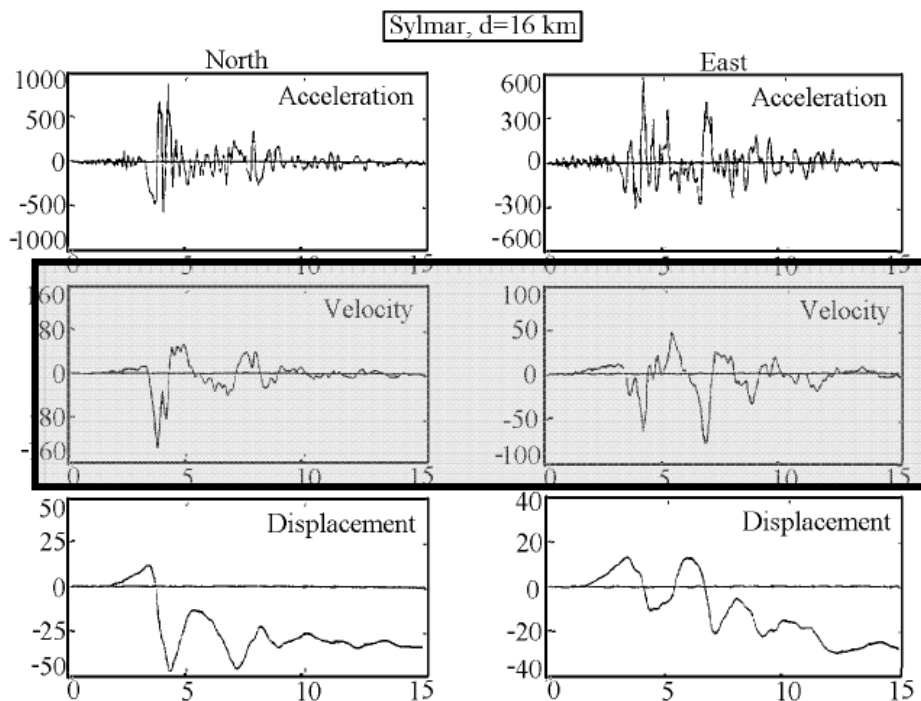
طبقه بندی خاک در آیین نامه NEHRP مطابق جدول (ت-۲-۳) است:

شکل (ت-۲-۳): طبقه بندی خاک در آیین نامه NEHRP (Bozorgnia and Bertero, 2006)

NEHRP Category	Description	Mean Shear Wave Velocity to 30 m
A	Hard Rock	> 1500 m/s
B	Firm to hard rock	760-1500 m/s
C	Dense soil, soft rock	360-760 m/s
D	Stiff soil	180-760 m/s
E	Soft clays	< 180 m/s
F	Special study soils, e.g., liquefiable soils, sensitive clays, organic soils, soft clays > 36 m thick	

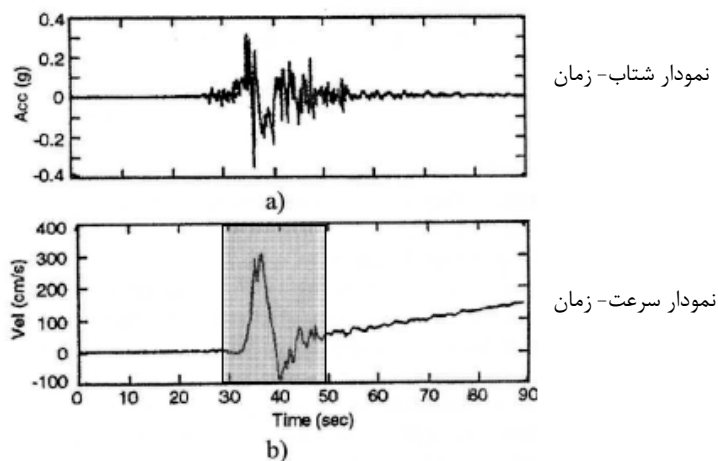
نقشه توزیع $V_s(30)$ در تهران بزرگ بر اساس طبقه بندی استاندارد ۲۸۰۰ و آیین نامه NEHRP به ترتیب مطابق شکل‌های (ت-۲-۶) و (ت-۲-۷) است.

در شکل (ت-۲-۹) رکوردهای تاریخچه‌های زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی زلزله‌نورثریج در جهت‌های مختلف نشان داده شده است. مدت زمان لرزه شدید زمین در طیف شمال-جنوب آن تقریباً بین ثانیه‌های ۳ تا ۵ اتفاق می‌افتد به طوری که در این بازه زمانی طیف شتاب-زمان دارای بیشترین ارتعاشات است و تک پالس موجود در طیف سرعت-زمان نیز در این بازه زمانی اتفاق می‌افتد. مدت زمان لرزه شدید زمین در طیف شرق-غرب آن تقریباً بین ثانیه‌های ۳ تا ۸ اتفاق می‌افتد به طوری که در این بازه زمانی طیف شتاب-زمان دارای بیشترین ارتعاشات است و پالس‌های موجود در طیف سرعت-زمان نیز در این بازه زمانی اتفاق می‌افتد. با دقت در شکل طیف جابه‌جایی-زمان مشخص است که پدیده جابه‌جایی ماندگار (پرتابش) در هر دو جهت اتفاق می‌افتد و مقدار آن در جهت شمال-جنوب بیشتر از مقدار شرق-غرب است.



شکل (ت-۲-۹): رکوردهای زلزله‌نورثریج ۱۹۹۴ در حوزه نزدیک گسل (Gioncu and Mazzolani, 2011)

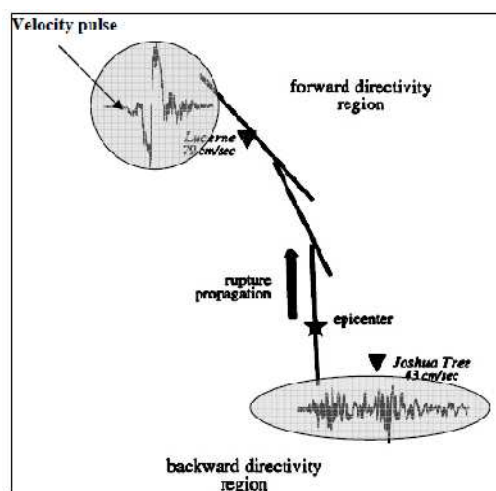
در شکل (ت-۲-۱۰) تاریخچه شتاب و سرعت زلزله چی چی بر حسب زمان نشان داده شده‌اند که در آن مشخص است که پالس‌های سرعت در مدت زمانی اتفاق می‌افتند که نمودار شتاب-زمان دارای بیشترین ارتعاشات است.



شکل (ت-۲-۱۰): تاریخچه شتاب و سرعت زلزله جی جی بر حسب زمان

در سال ۱۹۹۹ (Gioncu and Mazzolani, 2011)

در شکل (ت-۲-۱۱) اثر جهت پذیری پیش ران و اثر جهت پذیری پس ران در طیف‌های سرعت-زمان زلزله لندرس مشخص است. طیفی که دارای اثر جهت پذیری پیش ران است دارای پالس‌های نیرومند است، در حالی که در طیف جهت پذیری پس ران عاری از پالس‌های نیرومند است. مقدار PGV در ایستگاه Lucerne که دارای اثر جهت پذیری پیش ران است و در ایستگاه Joshua Tree که دارای اثر جهت پذیری پس ران است به ترتیب برابر با ۷۹ و ۴۳ سانتیمتر بر ثانیه است.



شکل (ت-۲-۱۱): اثر جهت پذیری در طول زلزله لندرس (Gioncu and Mazzolani, 2011)

$$\Omega_{OU} = \frac{V_y}{V_{UD}} \quad (\text{ت-۳-۶})$$

$$\Omega_{OW} = \frac{V_y}{V_{UW}} \quad (\text{ت-۳-۷})$$

$$\Omega = (\Omega_{OU} \text{ or } \Omega_{OW}) F_1 F_2 F_3 \dots F_n \quad (\text{ت-۳-۸})$$

$$R = R_\mu \Omega \quad (\text{ت-۳-۹})$$

$$R_w = R_\mu \Omega Y \quad (\text{ت-۳-۱۰})$$

در رابطه (ت-۳-۱۰) Y ضریبی به میزان $1/5-1/4$ است که برای تبدیل طراحی بر اساس حد نهایی و حد مجاز به یکدیگر می‌باشد که این مقدار در استاندارد ۲۸۰۰ ایران برابر با $1/4$ می‌باشد.

ضریب اضافه مقاومت (Ω):

ضریب اضافه مقاومت در نتیجه تشکیل تدریجی و غیر همزمان مفاصل پلاستیک در اعضای سازه‌های نامعین و افزایش مقاومت سازه در رفتار غیرخطی تا حد مقاومت نهایی بوجود می‌آید و لازمه افزایش مناسب مقاومت طی این روند، وجود درجه نامعینی کافی در سازه است. بر اساس رابطه (IV) یادآوری می‌شود که ضریب اضافه مقاومت به پارامترهای دیگری مانند اثر ناسازه‌ها (F_1) اثر سرعت بارگذاری (F_2) نسبت تنش حد تسلیم واقعی به اسمی، اثر تغییرات در توزیع نیروی جانبی زلزله بین طبقات و غیر بستگی دارد.

در تفسیر آیین نامه NEHRP2000، اضافه مقاومت سازه به سه جزء تقسیم می‌شود:

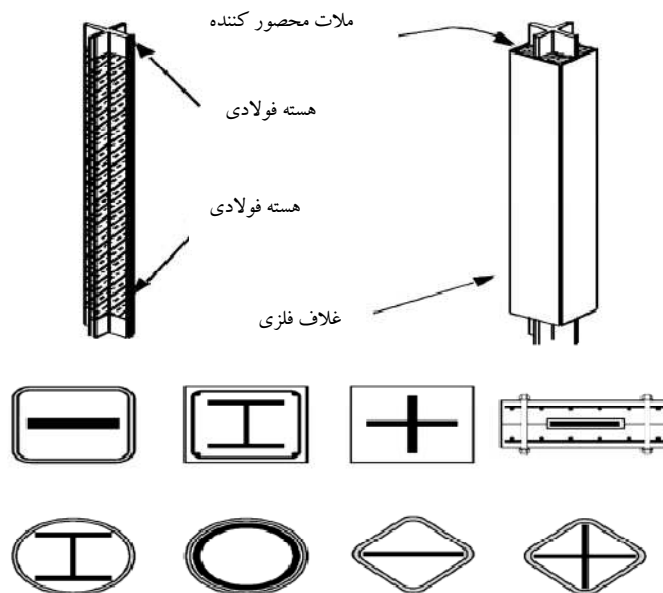
اضافه مقاومت سیستم (Ω_S)، اضافه مقاومت طراحی (Ω_D) و اضافه مقاومت مصالح (Ω_M)

اضافه مقاومت سیستم (Ω_S):

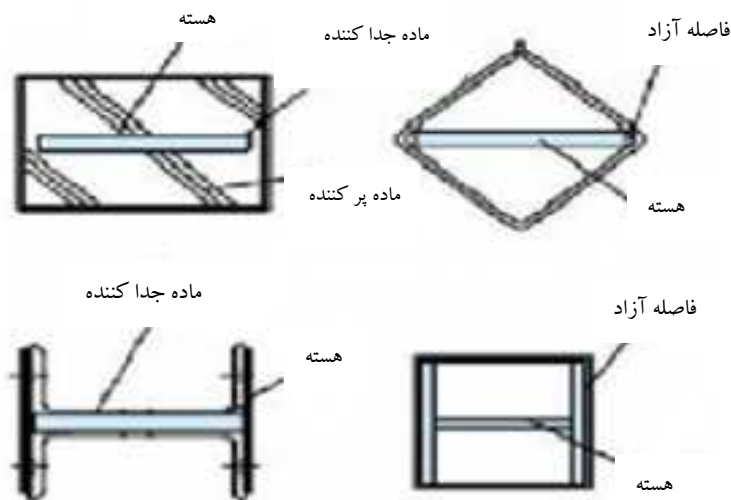
اضافه مقاومت سیستم از تقسیم حداکثر نیروی جانبی که سازه می‌تواند در برابر آن پایداری کند (F_n) به نیرویی که در آن جاری شدن نخستین عضو رخ می‌دهد (F_2) حاصل می‌گردد. این مقدار به درجه نامعینی سازه وابسته است و درجه نامعینی بر حسب تعداد و نحوه چیدمان المان‌های مقاوم جانبی مقادیر متفاوتی بدست می‌دهد.

اضافه مقاومت طراحی (Ω_D):

میزان نسبت نیروی برش پایه طراحی به مقدار F_E/R که پس از طراحی در سازه بوجود می‌آید (که در شکل ت-۳-۲ با نقطه یک نشان داده شده است) به سیستم سازه‌ای بستگی دارد. در سیستم‌های با سختی زیاد که مقاومت اعضای سازه در طراحی کنترل کننده است، مثل سیستم‌های دارای مهاربندی ضربدری و یا دیوار



شکل (ت-۳-۴): نمایی از اجزای تشکیل دهنده‌ی مهاربندهای کماتش تاب با مقاطع مختلف (Kim and Park, 2009)



شکل (ت-۳-۵): چند نمونه از روش‌های جلوگیری از کماتش هسته (سلمان پور و اربابی، ۱۳۸۹)

علی‌رغم شباهت ظاهری که قاب‌هایی متشکل از مهاربندهای کماتش تاب با قاب‌های مهاربندی متداول همگرا دارند تفاوت‌های عمده‌ای در رفتارشان وجود دارد. مهاربندهای کماتش تاب دارای چرخه‌های هیسترتیک پایدار می‌باشند که در طی چرخه‌های بارگذاری- باربرداری پر تکرار مقاومت و سختی آنها دچار

با بررسی ویرایش‌های سوم و چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مشخص است که بند الف از بخش ۳-۹-۱ که مربوط به اعمال اثر مولفه قائم زلزله برای طراحی کل سازه ساختمان‌هایی که در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد واقع شده‌اند در ویرایش چهارم نسبت به ویرایش سوم اضافه شده است.

۳-۹-۳ مقدار نیروی قائم از رابطه (۳-۱۰) محاسبه می‌شود. در مورد بالکن‌ها و پیش‌آمدگی‌ها، این نیرو باید در هر دو جهت رو به بالا و رو به پایین و بدون منظور نمودن اثر کاهش بارهای ثقلی در نظر گرفته شود.

$$F_V = 0.6AIW_p \quad (۳-۱۰)$$

در این رابطه:

I و A مقادیری هستند که برای محاسبه نیروی برشی پایه منظور شده‌اند.
 W_p : در مورد بند الف بالا بار مرده و در مورد سایر بندها بار مرده به اضافه کل سربار است.
 نیروی قائم زلزله باید در هر دو جهت رو به بالا و رو به پایین، جداگانه به سازه اعمال شود.
 در نظر گرفتن نیروی قائم در جهت رو به بالا در طراحی پی ساختمان ضروری نیست.

رابطه ارائه شده جهت برآورد نیروی مولفه قائم زلزله در ویرایش‌های سوم و چهارم استاندارد ۲۸۰۰ به صورت ذیل می‌باشند که با قیاس آنها مشخص است که این میزان در ویرایش چهارم به میزان ده درصد کاهش یافته است:

$$F_V = 0.7AIW_p \quad (\text{ت-۳-۱۴}) \quad (\text{ویرایش سوم})$$

$$F_V = 0.6AIW_p \quad (\text{ت-۳-۱۵}) \quad (\text{ویرایش چهارم})$$

۳-۹-۳ نیروهای قائم و افقی زلزله باید همزمان با بارهای مرده و زنده ترکیب شده و در طراحی اعضای سازه به کار رود. در این ترکیب ضوابط بند (۳-۱-۴) باید رعایت شود و سازه باید برای بیشینه اثر این ترکیبات طراحی گردد.

مولفه قائم زلزله:

در یک نگاه کلی می‌توان مولفه قائم زلزله را در دسته بندی‌های ذیل بررسی نمود.

* کلیات

* مولفه‌های متعامد افقی و مولفه قائم زلزله

* نکاتی در ارتباط با همپایه نمودن و مقیاس شتاب نگاشت‌ها در حالت اعمال تحریکات سه مولفه‌ای

بررسی ترکیبات بارگذاری لرزه‌ای در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰:

۱- صد درصد نیروی زلزله، در هر امتداد افقی با ۳۰ درصد نیروی زلزله، در امتداد عمود بر آن و ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد قائم.

۲- صد درصد نیروی زلزله، در امتداد قائم با ۳۰ درصد نیروی زلزله، در هر یک از دو امتداد افقی عمود بر هم. با بیان دیگر اگر RS نمایانگر طیف شتاب زلزله در یک جهت باشد و RSx طیف زلزله در جهت X باشد، ترکیبات بارگذاری به صورت روابط (ت-۳-۱۶) خواهیم داشت:

$$COMB 1 = RSx + 0.3RSy + 0.3RSz$$

$$COMB 2 = 0.3RSx + RSy + 0.3RSz \quad (ت-۳-۱۶)$$

$$COMB 3 = 0.3RSx + 0.3RSy + RSz$$

در ترکیبات بارگذاری فوق، جهت‌های X و Y دو مولفه متعامد افقی زلزله هستند و مولفه قائم زلزله با Z نمایش داده شده است.

با توجه به توضیحات بندهای فوق‌الذکر مشخص است که ترکیب بارگذاری مطرح شده در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ تنها در شرایط محدودی که میزان PGA و اثرات سه طیف زلزله در یک محدوده و تقریباً برابر باشند می‌تواند پاسخ لرزه‌ای واقعی سازه را برآورد نماید و در صورت تفاوت قابل ملاحظه بین مولفه‌های افقی با مولفه قائم، ترکیب بارگذاری مذکور سبب کاهش یا تشدید پاسخ لرزه‌ای بدست آمده در راستاهای مختلف خواهد شد.

* پیشنهادات نهایی در ارتباط با چگونگی اعمال اثرات مولفه قائم زلزله:

با توجه به مطالب ارائه شده مشخص است که اعمال اثرات مولفه قائم زلزله در طراحی لرزه‌ای تمام سازه‌ها و برای تمام ساختگاه‌ها ضروری به نظر می‌رسد که در این راستا توجه نمودن به موارد زیر بسیار مهم می‌باشد:

۱- انتخاب زلزله‌ها مناسب: جهت هم پایه نمودن و مقیاس شتاب نگاشت‌ها که معمولاً لازمه‌ی انجام تحلیل دینامیکی سازه‌ها می‌باشد، انتخاب زلزله مناسب بسیار حایز اهمیت است. زلزله مناسب به منظور اعمال اثرات مولفه قائم شتاب زمین در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، زلزله‌ای است که دارای میزان بزرگ و PGA متناسب با شرایط سازه و ساختگاه باشد و همچنین اثرات زلزله‌های حوزه‌های دور و نزدیک گسل با تمام ویژگی‌های آنها بویژه نسبت PGA/PGV را لحاظ نموده باشد.

۲- هم پایه نمودن شتاب نگاشت‌ها می‌بایست متناسب با ترکیبات بارگذاری لرزه‌ای سازه انجام شود.

ضوابط طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای

۱-۴ کلیات

۱-۱-۴ تعریف

اجزای غیر سازه‌ای در ساختمان‌ها به اجزایی اطلاق می‌شود که به سازه اصلی متکی‌اند ولی در تحمل بار جانبی زلزله به آن کمک نمی‌کنند. اجزای معماری مانند دیوارها، نماها و سقف‌های کاذب و نیز تأسیسات مکانیکی و برقی همراه با نگهدارنده‌ها و ادوات اتصال آنها جزو این گروه محسوب می‌شوند.

با نگاهی گذرا به دروس ارائه شده در مقاطع مختلف تحصیلی و همچنین با بررسی ساختمان‌های طراحی شده در اکثر نقاط کشور به سهولت مشخص است که ضعف بزرگی در سیستم آموزشی و اجرایی کشور در ارتباط با عدم بررسی مناسب رفتار لرزه‌ای اجزای غیر سازه‌ای وجود دارد به طوری که با وجود اهمیت قابل توجه رفتار اجزای غیر سازه‌ای در هنگام زلزله و نقش حیاتی آنها، در اکثر ساختمان‌های موجود در کشور تمهیدات لازم جهت مقاوم سازی اجزای غیر سازه‌ای در نظر گرفته نشده است و همچنین دستورالعمل شایسته و کاملی در سطح ملی در ارتباط با طراحی و یا اجرای اجزای غیر سازه‌ای در ساختمان‌های جدید یا مقاوم سازی آنها در ساختمان‌های موجود، وجود ندارد. سوای از اهمیت قابل توجه و نقش حیاتی اجزای غیر سازه‌ای در هنگام وقوع زلزله و حتی بعد از اتمام آن می‌توان به این موضوع اشاره نمود که اجزای غیر سازه‌ای بخش قابل توجهی از هزینه لازم جهت بهره برداری از یک ساختمان را به خود اختصاص می‌دهند، به طوری که در بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که برای ساختن یک ساختمان تجاری (نظیر بیمارستان، هتل و ادارات) هزینه‌های نسبی ساخت اجزای سازه‌ای آنها در حدود ۱۵ الی ۲۵ درصد هزینه کل ساختن ساختمان است و ۷۵ تا ۸۵ درصد هزینه‌های نسبی مربوط به هزینه‌های اجزای غیر سازه‌ای نظیر تأسیسات، وسایل مکانیکی و الکتریکی، وسایل کاربردی، اشکال معماری، تزئینات (به بیان عمومی نازک کاری بکار رفته) و ... است. در شکل (ت-۴-۱) نسبت هزینه‌های اجرا شده در یک ساختمان شامل هزینه‌های اجزای سازه‌ای، اجزای غیر سازه‌ای و وسایل محتوای سازه نشان داده شده است.



شکل (ت-۴-۱۵): فروریزی آجرهای نما در یک ساختمان در اثر زلزله شبیلی در سال ۲۰۱۰ (FEMA E-74, 2011)



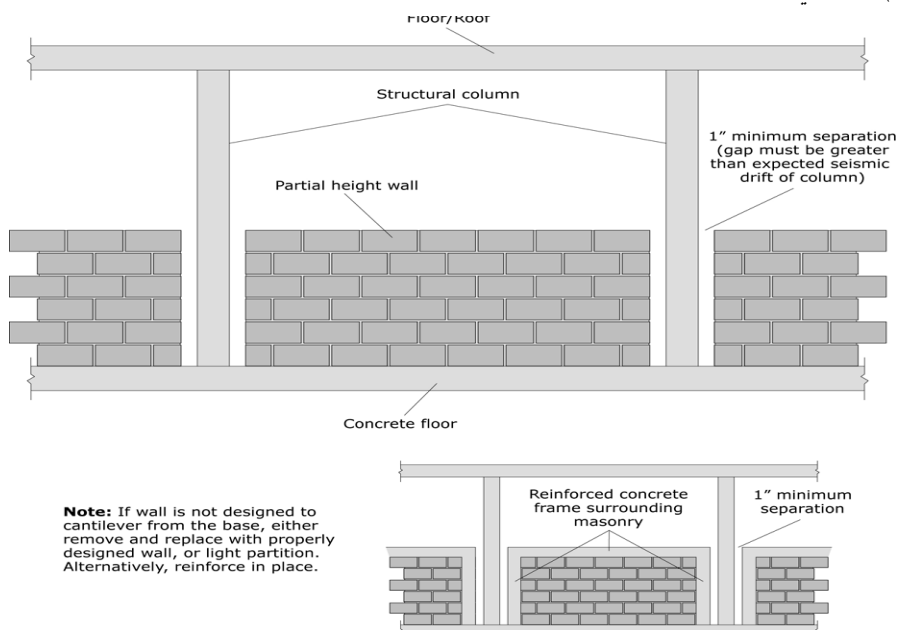
شکل (ت-۴-۱۶): فروریزی شیشه‌ها در یک سازه در اثر زلزله شبیلی در سال ۲۰۱۰ (FEMA E-74, 2011)

از جمله مواردی که در سازه‌ها می‌تواند منجر به ایجاد آسیب‌های لرزه‌ای قابل توجه شود پدیده ستون کوتاه است. در شکل (ت-۴-۲۲) نمونه‌ای از این آسیب‌های لرزه‌ای نشان داده شده است.



شکل (ت-۴-۲۲): خسارت بوجود آمده در ستون کوتاه در زلزله پرو در سال ۲۰۰۱ (FEMA E-74, 2011)

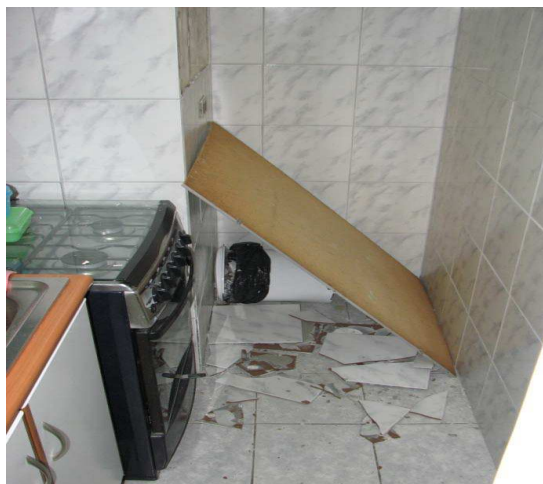
به جهت جلوگیری از پدیده‌ی ستون کوتاه می‌توان دیوارها را از ستون جدا کرد و به جهت تعادل دیوارها آنها را با میله‌گردهایی سراسری به کف طبقه متصل نمود و یا دیوارها را با کلاف محصور نمود. به شکل (ت-۴-۲۳) دقت کنید.



شکل (ت-۴-۲۳): نحوه جدا نمودن دیوارها از ستون‌ها جهت جلوگیری از پدیده‌ی ستون کوتاه؛ در شکل پایین نشان داده شده است که می‌توان دیوار جداسازی شده از ستون‌ها را با یک قاب پیرامونی (یا کلاف) به جهت عملکرد مناسب‌تر مسلح نمود (FEMA E-74, 2011)

کرده و دچار خسارات بیشتری نسبت به ستون‌های بلند می‌گردند و از طرفی ایده ستون قوی، تیر ضعیف برآورده نشده و سازه در صورت عدم اعمال تمهیدات ویژه در طراحی آن مستعد خسارات لرزه‌ای قابل توجه می‌شود.

از دیگر خسارات لرزه‌ای محتمل بر اجزای غیر سازه‌ای ساختمان‌ها سقوط قاب‌های عکس، وسایل درون ساختمان، کاشی‌های آشپزخانه و وسایل تزئینی می‌باشد که در ادامه نمونه‌هایی از آنها به تصویر کشیده شده است.



شکل (ت-۴-۲۵): نمایی از سقوط و شکستگی کاشی‌ها و وسایل درون آشپزخانه در اثر زلزله سال ۲۰۱۰ شیلی (FEMA E-74, 2011)



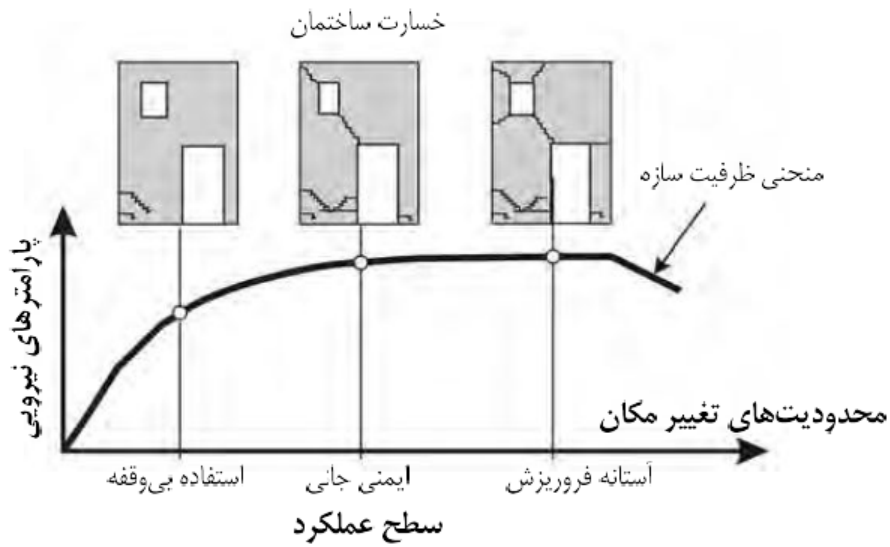
شکل (ت-۴-۲۶): نمایی از بهم ریختگی وسایل درون ساختمان در اثر زلزله سال ۲۰۱۰ شیلی (FEMA E-74, 2011)



شکل (ت-۴-۴۳): نمایی دیگر از خسارات وارد شده بر کولرها و دیگر تجهیزات در زلزله سال ۲۰۱۰ شیلی، این تجهیزات عموماً در تمام ساختمان‌ها وجود دارند (FEMA E-74, 2011)

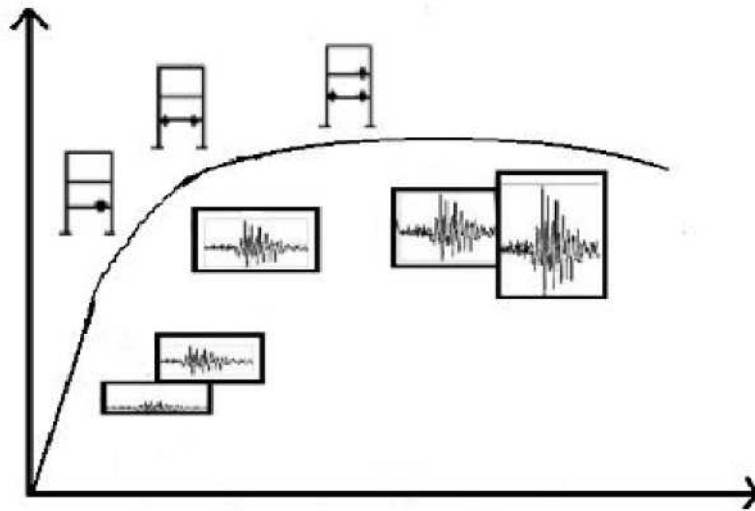


شکل (ت-۴-۴۴): آسیب‌های بوجود آمده بر تانکرها در اثر زلزله سال ۱۹۹۴ نوثریج (FEMA E-74, 2011)



شکل (ت-پ-۲-۶): نمایی از سطوح عملکرد مختلف سازه (نشریه ۵۲۴، ۱۳۸۹)

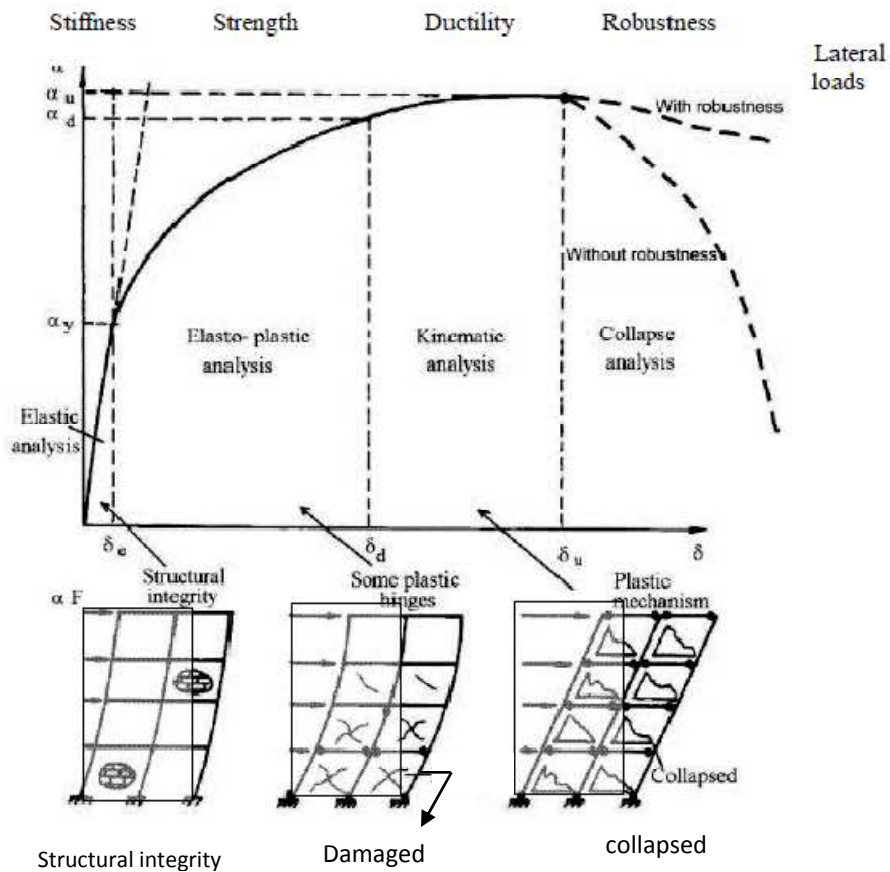
در شکل (ت-پ-۲-۷) مشاهده می‌شود که هرچه میزان شدت زلزله بیشتر باشد مفاصل پلاستیک بیشتری در سازه بوجود می‌آید و میزان خسارت در آن بیشتر است.



شکل (ت-پ-۲-۷): نمایی از میزان شدت زلزله و روند تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه (Gioncu and

Mazzolani, 2011)

در شکل (ت-پ-۲-۱) نمایی کلی از منحنی ظرفیت سازه، عملکرد در سطوح مختلف، روند تشکیل مفاصل پلاستیک با توجه به منحنی ظرفیت و ... نشان داده شده است.



شکل (ت-پ-۲-۱): نمایی از منحنی ظرفیت سازه و خسارات لرزه‌ای بوجود آمده متناسب با آن (Gioncu and Mazzolani, 2011)

۸-۳ زمان تناوب اصلی مؤثر ساختمان

زمان تناوب اصلی مؤثر ساختمان، T_e با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$$

که در آن T_i (برحسب ثانیه) زمان تناوب ارتجاعی است، که با تحلیل مدل سازه با فرض رفتار خطی به دست می‌آید، K_i سختی جانبی ارتجاعی سازه (شیب خط مماس بر منحنی ظرفیت سازه در مبدأ) در