پردیس بین المللی ارس

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش زلزله

عـنـوان

ارزیابی عملکرد و مقاوم سازی لرزه ای سازه های فولادی آسیب دیده در زلزله

(مطالعه موردی ساختمان فولادی ۲ طبقه با قاب خمشی آسیب دیده در زلزله نورتریج)

استاد راهنما

دکتر عبدالرحیم جلالی

استاد مشاور

دکتر حسین غفارزاده

پژوهشگر

طاهره ایرانی نعمت آباد

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به روح به وسعت آسمان پدرم

آموزگار اراده و پشتکار، مادرم

همراه صمیمی و وفادار، همسرم

و معصومیت و پاکی فرزندم

و خواهر دلسوز و مهربانم

با تشکر و سپاس از استاد دانشمند و پر مایه ام جناب آقای دکتر جلالی

استاد راهنمای پایان نامه که از محضر پر فیض تدریسشان ، بهره ها برده ام.

با امتنان بیکران از مساعدت های بی شائبه ی جناب آقای دکتر غفارزاده

استاد مشاور پایان نامه که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.

و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم

چکیده

در این مطالعه به بررسی و ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه های با قاب خمشی فولادی آسیب دیده در زلزله پرداخته شده است و با مقایسه Drift ها و تغییر شکل نسبی طبقات در سازه مدل شده قبل از آسیب با سازه مدل شده بعد از وارد شدن زلزله نورتریج راهکارهایی جهت بهبود و ارتقای سح عملکرد این سازه ها ارائه گردیده است.

ابتدا با بررسی آسیب های سازه ای اتفاق افتاده در زلزله های اخیر به طبقه بندی انواع آسیب پرداخته شده و سپس براساس نوع آسیب روشهایی برای افزایش مقاومت و سختی سازه پیشنهاد می گردد. سپس براساس نوع آسیب پیمایش شده و با استفاده از نرم افزار Perform 3D نسخه ۵ و با استفاده از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی و بادست یابی به منحنی های نیاز ـ ظرفیت و مقایسه تغییر شکل ها نتایج بدست آمده ما را به استفاده از مهاربندهایی برای کنترل تغییر شکل هدایت کرد.

از آنجا که پیشتر تمام روشها و آئین نامه ها معطوف به افزایش مقاومت و مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها قبل از آسیب می باشند لذا این مطالعه در نوع خود اولین گام برای بررسی سازه های واقعی آسیب دیده می باشد.

کلمات کلیدی:

قاب خمشی فولادی، ارزیابی عملکرد لرزه ای، مقاوم سازی، تحلیل دینامیکی غیرخطی

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات و روش تحقیق	
۱-۱- مقدمه و بیان مساله	۷
۱-۲- اهداف تحقیق	۸
۱-۳- ساختمان مورد مطالعه	۸
۱-۴- روش تحقیق	۹
فصل دوم: مطالعات پیشین	
۲-۱- تعاریف و مفاهیم	۱۱
۲-۱-۱- زلزله چیست؟	۱۱
۲-۱-۲- دلایل رخداد زلزله	۱۲
۲-۱-۳- مکانیزم خرابی در زلزله	۱۳
۲-۱-۴- امواج زلزله	۱۴
۲-۱-۵- شدت و بزرگای زلزله	۱۶
۲-۱-۵-۱- شدت زلزله	۱۶
۲-۱-۵-۲- نحوه تعیین شدت زلزله با روش مرکالی اصلاح شده	۱۷
۲-۱-۵-۳- مقیاسهای بزرگی زلزله	۱۸
۲-۱-۶- انرژی زلزله	۱۹
۲-۱-۶-۱- تاثیر گسل ها در انرژی زلزله	۲۰
۲-۱-۷- شتاب نگاشت و رکورد زمین لرزه	۲۱
۲-۱-۸- مهندسی زلزله براساس عملکرد	۲۲
۲-۱-۸-۱- تعریف اهداف عملکردی	۲۳
۲-۱-۸-۲- تعریف سطوح عملکردی	۲۴
۲-۱-۸-۳- تعریف سطوح خطر زمین لرزه	۲۶
۲-۱-۸-۴- انتخاب اهداف عملکرد	۲۹
۲-۱-۹- فنون بهسازی	۳۰
۲-۱-۹-۱- اصلاح موضعی اجزا	۳۰
۲-۱-۹-۲- حذف یا کاهش نامنظمی ها و ناپیوستگی های موجود	۳۱
۲-۱-۹-۳- سخت کردن کل سازه	۳۲
۲-۱-۹-۴- مقاوم سازی کل سازه	۳۳
۲-۱-۹-۵- کاهش جرم	۳۳
۲-۱-۹-۶- جداسازی لرزه ای	۳۳
۲-۱-۹-۷- روشهای اتلاف انرژی	۳۴
۲-۱-۱۰- دینامیک سازه ها و روشهای تحلیل آن	۳۴
۲-۱-۱۱- روش های تحلیل دینامیکی سازه ها	۳۵
۲-۱-۱۲- روش تحلیل دینامیکی طیفی با استفاده از آنالیز مدها	۳۷
۲-۱-۱۳- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی	۳۷
۲-۲- سیستم قاب خمشی فولادی	۳۸

۲-۲-۱- قاب ساختمانی	۳۸
۲-۲-۲- گروه بندی ساختمانها بر حسب سیستم سازه ای باربر جانبی	۳۹
۲-۲-۲-۱- باربری و شکل پذیری	۴۲
۲-۲-۲-۲- مقایسه از نظر اجرایی	۴۲
۲-۲-۲-۳- ملاحظات معماری و ایمنی در آتش سوزی	۴۲
۲-۲-۳- سیستم قاب خمشی فولادی	۴۲
۲-۲-۳-۱- قاب خمشی معمولی	۴۴
۲-۲-۳-۲- قاب خمشی متوسط	۴۴
۲-۲-۳-۳- قاب خمشی ویژه	۴۵
۲-۲-۳-۴- اتصالات در قاب های ساختمانی	۴۷
۲-۲-۳-۴-۱- انواع اتصالات تیر به ستون	۴۷
۲-۳- مروری برمطالعات گذشته	۴۹
فصل سوم: جزئیات مدل	
۳-۱- مقدمه	۵۴
۳-۲- آشنایی با مدل سازه	۵۴
۳-۳- بارگذاری سازه	۵۸
۳-۴- تعریف المانهای سازه ای	۵۸
۳-۵- تعریف اطلاعات سازه	۵۸
۳-۶- بارگذاری زمین لرزه	۶۸
۳-۷- بررسی نتایج تحلیل و توزیع تغییر مکان سازه	۶۹
۳-۸- روش بهسازی	۷۰
فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات	
۴-۱- نتیجه گیری	۸۲
۴-۲- ارائه راهکار	۸۴
۴-۳- پیشنهادات	۸۴
منابع و مآخذ	۸۶

فهرست شکل ها و جداول

شکل ۱-۱- موقعیت هندسی ترک ستون در ناحیه بال پایینی تیر	۹
شکل ۲-۱- جهت ارتعاش ذرات و انتشار موج	۱۵
شکل ۲-۲- تصویر یک گسل	۲۰
شکل ۲-۳- ماتریس اهداف عملکردی	۲۴
شکل ۲-۴- ارتباط بین سطوح خسارت و سطوح عملکردی سازه	۲۶
جدول ۲-۱- سطوح خطر زمین لرزه و پارامترهای خطر لرزه ای	۲۸
شکل ۲-۵- مجموع هزینه ها برای اهداف طراحی عملکردی مختلف	۳۰
شکل ۲-۶- اتصال خمشی تیر به ستون در قاب خمشی	۴۳
شکل ۲-۷- انواع اتصال و رفتار خمشی آن ها	۴۹
شکل ۳-۱- پلان طبقات مدل سازه ای	۵۵
شکل ۳-۲- برش ارتفاع از مدل سازه ای به صورت دو بعدی	۵۶
شکل ۳-۳- مدل سازه ای قاب سه طبقه به صورت سه بعدی	۵۷
شکل ۳-۴- نمودار نواحی حدی عملکردی تیر	۵۹
شکل ۳-۵- نمودار نواحی حدی عملکردی ستون	۶۳
شکل ۳-۶- شتاب نگاشت زلزله نورتریج	۶۸
شکل ۳-۷- تصویر تغییر شکل یافته سازه در مود سوم ارتعاشی	۶۹
شکل ۳-۸- مدل سه بعدی با قاب مهاربندی شده	۷۱
شکل ۳-۹- نمودار تغییر مکان بام در جهت H1 قبل از مهاربندی	۷۲
شکل ۳-۱۰- نمودار تغییر مکان بام در جهت H1 بعد از مهاربندی	۷۳
شکل ۳-۱۱- نمودار تغییر مکان بام در جهت H2 قبل از مهاربندی	۷۴
شکل ۳-۱۲- نمودار تغییر مکان بام در جهت H2 بعد از مهاربندی	۷۵
شکل ۳-۱۳- نمودار drift طبقه اول در جهت H1 قبل از مهاربندی	۷۶
شکل ۳-۱۴- نمودار drift طبقه اول در جهت H1 بعد از مهاربندی	۷۷
شکل ۳-۱۵- نمودار drift طبقه اول در جهت H2 قبل از مهاربندی	۷۸
شکل ۳-۱۶- نمودار drift طبقه اول در جهت H2 بعد از مهاربندی	۷۹
شکل ۳-۱۷- نمودار drift طبقه دوم در جهت H2 قبل از مهاربندی	۸۰
شکل ۳-۱۸- نمودار drift طبقه اول در جهت H2 بعد از مهاربندی	۸۱

فصل اول

کلیات و روش تحقیق

۱-۱- مقدمه و بیان مساله

با توجه به واقع شدن ایران بر روی یکی از دو کمربند زلزله خیز جهان و وجود گسل های فراوان، وقوع زلزله در فلات ایران امری طبیعی است. ایران جزء ده کشور بلاخیز و ششمین کشور زلزله خیز دنیاست که زلزله مسبب بیشترین تلفات انسانی در آن می باشد و کمربند زلزله ۹۰ درصد از خاک کشور ما را در برگرفته است. بنابراین با در نظر گرفتن آسیب های وارده به ساختمانهای مختلف، با مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای سازه ها، از وقوع تلفات جانی در مقیاس وسیع می توان جلوگیری نمود.

بررسی های کتابخانه ای نشان می دهد که اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه به بررسی آسیب پذیری یا مقاوم سازی لرزه ای سازه ها در مرحله طراحی و قبل از اجرا و با در نظر گرفتن سناریوهای وقوع زلزله پیش از رخداد زلزله پرداخته اند. بررسی محتوای آئین نامه های لرزه ای در کشور اعم از آئین نامه ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم و آئین نامه فولاد ایران و روشهای مقاوم سازی معمول نیز حاکی از این ادعاست. ولی آنچه که بسیار حائز اهمیت می باشد این است که با وجود تعداد بسیار زیادی از ساختمانهایی که پس از زلزله دچار آسیب گردیده اند، بازسازی و مقاوم سازی اینگونه ساختمانها بسیار ضروری می نماید. این در حالی است که هیچگونه آئین نامه لرزه ای و دستورالعمل بهسازی برای افزایش سطح عملکرد ساختمانهایی که پس از زلزله دچار آسیب های مختلف گردیده اند وجود ندارد. فلذا نظر به لزوم تدوین آئین نامه های بهسازی لرزه ای پس از تخریب زلزله، به عنوان یک گام مقدماتی در این زمینه، در این مطالعه به ارزیابی عملکرد یک ساختمان با قاب خمشی فولادی آسیب دیده در اثر زلزله ۱۹۹۴ نورتریج کالیفرنیا پرداخته می شود تا بتوان با استفاده از روشهای مقاوم سازی آن را به سطح عملکرد مطلوب برسد. همچنین مقاوم سازی از دیدگاه کلی (قاب) و هم چنین از دیدگاه جزیی شامل اجزاء و گره ها مورد بحث قرار می گیرد به نحوی که افزایش مقاومت و سختی و مهار انرژی

ساختمانهای با قاب فولادی در زلزله های آینده مدنظر این مطالعه می باشد. انتظار می رود ساختمانهای بازسازی شده در اثر زلزله های بعدی به شرایط زیر برسند:

ـ در اثر زلزله های ضعیف هیچ آسیبی نبینند. (سطح عملکرد۱)

ـ در اثر زلزله های با شدت متوسط دچار آسیب های جزیی و غیر سازه ای شوند. (سطح عملکرد۲)

ـ در اثر زلزله های با مقیاس بزرگ دچار آسیب سازه ای یا غیر سازه ای شده اما فروشکست کلی جلوگیری شود. (سطح عملکرد۳)

۱-۲- اهداف تحقیق

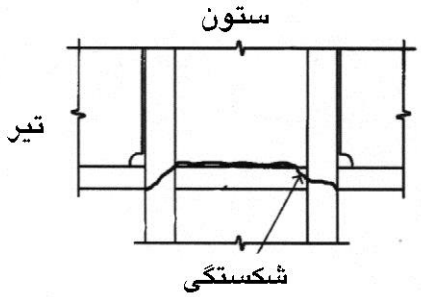
در این تحقیق به بررسی مطالعه موردی یک ساختمان که در اثر زلزله نورتریج دچار شکست های اساسی در ستون ها شده است پرداخته می شود. هدف از انجام مطالعه بیان علل آسیب های جدی وارده به ستون ها و بررسی تاثیر این آسیب ها بر ایمنی لرزه ای ساختمان می باشد.

۱-۳- ساختمان مورد مطالعه

در مطالعه حاضر به بررسی عملکرد لرزه ای ساختمان با کاربری خدمات اساسی که در زلزله نورتریج آسیب دیده است پرداخته می شود. این ساختمان دارای دو طبقه سازه ای با قاب خمشی متوسط بوده که براساس آئین نامه ساختمان کالیفرنیا طراحی گردیده است. در طراحی این ساختمان برای محاسبه بار جانبی ضریب اهمیت ۱,۵ درنظر گرفته شده است و بنابراین نسبت به یک ساختمان استاندارد از نیروی جانبی بزرگتری برخوردار است. سیستم فونداسیون شامل شمع بتنی مسلح می باشد. نوع خاک ساختگاه از نوع D در نظر گرفته شده است.

۱-٤- روش تحقیق

اطلاعات مربوط به اتصالات آسیب دیده در اثر زلزله از پیمایشی که بلافاصله پس از زمین لرزه انجام شده است اقتباس گردید. از بین کل ۳۶ ستون، ۳۱ ستون قابهای خمشی فولادی روی ستون های ردیف A و F مورد بررسی قرار گرفتند و ۱۰ ستون (۳۲ درصد ستون های بازرسی شده) دارای آسیب بودند. ۴ ستون از قابهای روی ردیف ستون های ۱ و ۵ بررسی شده و در یک مورد آسیب یافت شد. قاب های جهت NS دارای ۴ اتصال با آسیب از نوع P بوده اند که شامل شکست در جان تیر از بین ۱۰ اتصال آسیب دیده گزارش شده بود که نرخ بالا قابل ملاحظه است. بقیه اتصالات آسیب دیده دارای آسیب از نوع C در بال ستون ها بودند. شکل () نشان دهنده هندسه ترکهای وارده به ستون در موقعیت بال پائینی تیر می باشد.



شکل (۱-۱) موقعیت هندسی ترک ستون در ناحیه بال پائینی تیر

برای تهیه مدل کامپیوتری از نرم افزار Perform 3d استفاده گردید. مدل سازه ای شامل سه طبقه سازه ای می باشد که در هر دو جهت شامل شش قاب و هر قاب شامل شش دهنه می باشد.. پس از اجرای مدل جهت انجام تحلیل ها، نیروی زلزله به صورت تاریخچه زمانی در مدل اعمال گردید و سپس جابجایی و تغییر شکل های حاصل با استفاده از نرم افزار شبیه سازی گردید. سپس براساس تحلیل های انجام شده نسبت به طراحی مهاربند جهت مقاوم سازی ساختمان پیشنهاداتی ارائه گردید.

فصل دوم

مروری مطالعات پیشین و

مفاهیم مرتبط

۲-۱- تعاریف و مفاهیم

۲-۱-۱- زلزله چیست؟

زلزله نمودی از قدرت عظیم طبیعت است که در اثر جابجایی نسبی صفحات عظیم تکتونیکی تشکیل دهنده پوسته جامد کره زمین وآزاد شدن انرژی پس از بروز گسیختگی در محل درگیری صفحات تکتونیکی به وقوع می‌پیوندد (گلابچی، طیبات، ۱۳۸۶، ص ۳۲).

در یک بیان اجمالی، زلزله حادثه ای است که در اثر لرزش زمین به وقوع می‌پیوندد و معمولاً در اثر لرزش در پوسته زمین (یعنی لایه‌هایی از سنگ که در زیر خاک سطحی و معمولاً در عمقی حدود ۳۰ الی ۴۰ کیلومتری قراردارند) شکست‌های برشی، کششی یا فشاری به وقوع می‌پیوندد. انتشار لرزشی که در اثر این شکست در پوسته پدید آمده است، زلزله نامیده می‌شود. انرژی آزاد شده در پی حرکات و تکان‌های شدید زمین و رویداد زلزله قادر است در مدت زمان کوتاهی از چند ثانیه تا چند دقیقه، سبب آسیب‌های جانی، مالی و بیخانمانی تعداد بی‌شماری از انسان‌ها گردد. اثر زلزله بر سکونتگاه های انسانی می‌تواند تا حدی شدید باشد که یک دهه و یا بیشتر، برای بهبودی کامل و بازگشت به وضع عادی قبل از زلزله مورد نیاز باشد.

طیف خطرات محیطی ناشی از رویدادهای ژئوفیزیکی و تاثیر آن بر فعالیت‌های انسانی نشانگر این واقعه است که رویداد زلزله، رویدادی کاملاً ناخواسته و دارای مشخصاتی بدین شرح می‌باشد: منطقه وسیعی را شامل می‌شود و شدت و مدت اثر آن بسیار زیاد و تقریباً غیرقابل پیش بینی است. با توجه به اینکه هنوز روش شناخته شده ای برای تغییر مکانیزم زلزله وجود ندارد، تنها با شناخت نحوه عمل و رفتار آن در مناطق شهری و به کارگیری استراتژی‌های مختلف می‌توان سبب تغییر عمل خطر و تغییر آسیب‌های بالقوه گردید، تا بدین ترتیب اثر خطر زلزله را در مناطق شهری به حداقل رساند (اسدی نظری،۱۳۸۳، ص ۷۷-۷۶).

۲-۱-۲- دلایل رخداد زلزله

زلزله به دلایل مختلفی صورت می‌گیرد که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- نظریه تکتونیک صفحه‌ای: این نظریه معتقد است که کل سطح کره زمین از شش صفحه اصلی و صفحات کوچک‌تر تشکیل شده که روی سطح مذاب شناور و دارای فصل مشترکند و فصل مشترک این صفحات در کنار هم ، می‌تواند دارای سه حرکت باشد که یکی دور شدن است و کوه زایی را سبب می‌شود و دوم اینکه صفحات نسبت به هم و به موازات هم حرکت کنند که اصطکاک جزئی داشته و زلزله خفیف ایجاد می‌کند. حالت سوم این است که دو صفحه به هم فشار وارد کرده و حجم زیادی انرژی بین آن‌ها ایجاد شده و به محض غلبه این نیرو به اصطکاک یا از بین رفتن عامل اصطکاک، حجم زیادی انرژی آزاد شده و دو صفحه بر روی هم بلغزند و زلزله‌های شدید ایجاد شوند.

۲- نظریه فرو ریختن غارهای زیر زمینی

۳- آتشفشان‌ها

۴- ایجاد و احداث تاسیسات در سطح زمین: به عنوان مثال اگر سدی در روی زمین ساخته شود یا اگر کوهی یا تپه‌ای تخریب شود، وزن زیاد به علت انباشته شدن آب در پشت سد یا کاهش وزن به علت تخریب کوه سبب بر هم خوردن تعادل صفحات می‌شود که این یکی از علل وقوع زلزله می‌شود.

۵- ریزش‌های جوی: نفوذ آب در لایه‌های خاک و از بین رفتن اصطکاک سبب بروز زلزله می‌شود.

۶- جزر و مد: با نفوذ آب در لایه‌های خاک اصطکاک از میان می‌رود و موجب لغزش صفحات می گردد.

بررسی‌ها نشان داده است نود و پنج درصد از زلزله‌های واقع شده ناشی از تکتونیک صفحه‌ای بوده و مابقی آن‌ها از باقی عوامل ناشی شده است (ترکاشوند، ۱۳۷۵، ص۵- ۴).

۲-۱-۳- مکانیزم خرابی در زلزله

عواملی که در یک زلزله باعث ایجاد خسارت میگردند عبارتند از:

- نیروهای درونی شدید ایجاد شده بر اثر جنبش شدید زمین
- آتش سوزی های ناشی از زمینلرزه
- تغییر در خواص فیزیکی خاکها (نشستها، پدیده آبگونگی و ...)
- آسیب بر اثر جابجائی مستقیم گسلها در محل ساخت سازه ها
- ایراد آسیب بواسطه زمین لغزشها (زمین لغزش عبارتست از فروریزش دامنه شیبها)
- ایراد آسیب بواسطه موجهای بلند ایجاد شده توسط زلزله در دریاها (آبرانش)

از بین عوامل فوق، جنبش شدید زمین، مهمترین عامل خرابی و تلفات جانی در زلزله‌ها میباشد. خطر آتش سوزی پس از زمین لرزه نیز باید مورد تاکید قرار بگیرد. در ایران بدلیل مصالح مورد استفاده تاکنون گزارش زیادی از آتش سوزیهای پس از زلزله دریافت نشده است ولی در برخی مناطق کشورهایی مانند ژاپن و آمریکا، که چوب یکی از مهمترین مصالح استفاده شده در ساختمانها میباشد، همانند زلزله سال ۱۹۰۶ سان فرانسیسکو و یا زلزله ۱۹۲۳ شهر توکیو گزارشهای زیادی در این زمینه وجود دارد.

شاید جابجایی مستقیم در اثر گسلش ترسناکترین جنبه زلزله‌ها از دید عموم مردم باشد، با این حال در مقایسه با جنبش شدید زمین، این گونه آسیب بسیار نادر است. منطقه‌ای که در معرض گسلش قرار دارد، بسیار کمتر از سطحی است که از تکانهای شدید زمین تاثیر می‌پذیرد.

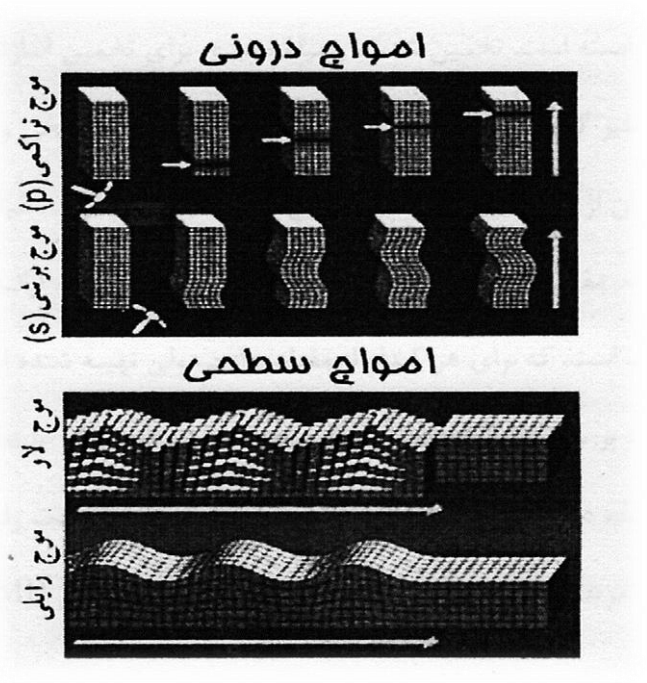
۲-۱-٤- امواج زلزله

امواج زلزله شامل چهار نوع موج می باشد. به طوری که دو نوع از این امواج از نوع امواج حجمی و دو نوع دیگر از امواج که ایجاد می شوند، به آنها امواج سطحی گفته می شود. (برگی، ۱۳۸۹) امواج زلزله شامل انواع امواج زیر می باشد:

امواج حجمی : موج اولیه یا موج P که به آن موج فشاری نیزگفته می شود و امواج ثانویه یا موج S که به آن موج برشی هم گفته می شود.

امواج سطحی: موج لاو (L) و موج رایلی (R)

پس از ایجاد شکست یا گسلش در کانون زلزله امواج حجمی به تمام جهات منتشر می شود. اولین موج، موج P یا موج اولیه می باشد و دارای سرعت بیشتری از امواج دیگر است. سرعت بالای موج P به علت ارتعاشات ذرات در جهت حرکت است. نحوه حرکت این موج در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. موج اولیه از تمام محیطهای جامد، مایع و گاز عبور می کند و باعث تغییر حجم اجسام می شود. عملکرد این موج در هنگام زلزله ایجاد صدا، تکان دادن دربها و پنجره هاست. اگر فرکانس این امواج در حدود شنوایی گوش باشد (بیش از پانزده هرتز) ممکن است به وسیله حیوانات و انسان قابل شنوایی باشد. دومین موج حجمی، موج S یا موج برشی (موج ثانویه) است، که ارتعاش ذرات در جهت عمود به حرکت موج است. این موج مانند امواج الکترومغناطیسی حرکت سینوسی دارد، به همین دلیل سرعت انتشار آن از موج P کمتر است. موج S فقط از محیطهای جامد می گذرد زیرا سیالات تنش های برشی را نمی توانند تحمل کنند و درنتیجه این موج را از خود عبور نمی دهند. نحوه حرکت این موج در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.



شکل (۲-۱) جهت ارتعاش ذرات و انتشار موج

به علت رسیدن امواج حجمی به سطح زمین، امواج سطحی رایلی و لاو ایجاد می شود. امواج لاو اصولا مانند موج S می باشند بطوریکه این موج زمین را در یک صفحه افقی موازی سطح زمین مرتعش می کند. در واقع ارتعاش ذرات عمود بر جهت حرکت امواج می باشد. موج لاو باعث حرکت افقی زمین شده و درنتیجه باعث ایجاد خسارت به سازه ها می شود. در ضمن موج لاو از محیطهای مایع عبور نمی کند فقط در سواحل و کنار آبهای دریاچه ها و اقیانوس ها باعث راندن آب به جلو و عقب می شود. موج چهارم موج رایلی است که باعث ارتعاش امواج در جهت قائم می شود و همانند موج لاو جهت ارتعاش امواج عمود بر جهت حرکت موج است. همچنین جهت ارتعاش امواج رایلی عمود بر جهت ارتعاش امواج لاو است. در شکل (۲-۱) نحوه حرکت این امواج نشان داده شده است. لازم به ذکر است که موج رایلی با افزایش عمق به سرعت از بین می رود. همچنین سرعت انتشار امواج حجمی از امواج سطحی بیشتر است.

براساس مطالعات انجام شده مشخص شده که۶۷ درصد انرژی زلزله مربوط به امواج سطحی ۲۶ درصد مربوط به موج برشی و تنها ۷درصد مربوط به موج فشاری یا P می باشد. (طلوعی، ۱۳۹۲)

۲-۱-۵- شدت و بزرگای زلزله

برای آگاهی از میزان تاثیر هر پدیده لازم است تا بتوانیم به نحوی آن را به صورت کمی بیان کنیم. برای کمی کردن اندازه زلزله از دو روش مختلف استفاده می شود. یک روش براساس اثرات زلزله در یک ساختگاه و محل خاص، شدت زلزله و دیگری به واسطه اندازه گیری دستگاهی و خصوصیات منشاء زلزله، بزرگای زلزله است. شدت زلزله در هر مکان متفاوت است و با دور شدن از کانون زلزله کم می شود در حالی که بزرگای زلزله همواره ثابت است و به دور شدن از کانون زلزله ارتباطی ندارد چرا که با کل انرژی آزاد شده مرتبط است.

۲-۱-۵-۱- شدت زلزله

یک مقیاس مشاهده ای وغیردستگاهی (به وسیله خاصی نیاز ندارد) است که به فاصله کانون زلزله تا مکان موردنظر، مدت دوام لرزش، نوع خاک و عمق سنگ کف بستگی دارد. در واقع شدت یک زلزله در یک مکان خاص بر مبنای اثرات قابل مشاهده زمین لرزه در آن مکان تعیین می شود. دقت در تعیین شدت زلزله به دقت مشاهده کننده وابسته است. تخمین شدت، وسیله مفیدی برا ی تخمین اندازه زلزله های تاریخی است به ویژه در محل هایی نظیر کشور ایران که کشوری باستانی و با میراث فرهنگی کهن است و لذا اطلاعات مهمی می توان از زلزله های روی داده در گذشته به دست آورد. مقیاس های مختلفی برای تعیین شدت زمین لرزه همانند مقیاس مرکالی اصلاح شده، MSK, EMS98 و ... ارائه شده است. تعیین شدت زمین لرزه بدین ترتیب است که برای هر کدام از مقیاس ها جدولی تهیه شده است و براساس آن میزان آسیب های ناشی از زلزله بر سازه های مختلف ارائه گردیده است و مشاهده گر با تطبیق خسارتهای بوجود آمده از زلزله با موارد ذکر شده در

جدول شدت زلزله را تعیین می کند. مقیاس شدت زلزله مرکالی در سال ۱۹۰۲ بین درجات ۱ تا ۱۰ تعریف شد و در سال ۱۹۳۲ مقیاس اصلاح شده مرکالی (MMI) بین ۱ تا ۱۲ ارائه شد.

مزایای مقیاس مرکالی

- بدون وجود ایستگاه لرزه نگاری می توان شدت زلزله ها را با توجه به خرابی سازه ها اندازه گیری کرد.

- برای زمین لرزه های تاریخی برآوردی می توان ارائه داد.

معایب واحد مرکالی

- گزارشات غیرواقعی و گزافه گویی در شرح زلزله

- دقت این روش برای تعیین شدت زلزله پایین است.

- فقط قابل کاربرد برای مناطق مسکونی است. (جایی که انواع ساختمانها وجود دارد)

۲-۱-۵-۲- نحوه تعیین شدت زلزله با روش مرکالی اصلاح شده

برای تعیین شدت زلزله به روش مقیاس اصلاح شده مرکالی سازه ها براساس مقاومت و کیفیت ساخت به چهار دسته تقسیم می شوند:

۱ـ نوع A: طراحی خوب، همراه با بتن و تیرآهن و ملات خوب، طراحی شده برای نیروهای جانبی زلزله

۲ـ نوع B: دارای تیرآهن و بتن و ملات خوب می باشد. طراحی براساس محاسبات، اما در مقابل نیروهای جانبی مقاوم نیست و برای نیروهای جانبی زلزله طراحی نشده است.

۳ـ نوع C: طراحی معمولی است. در سازه از سیمان استفاده شده ولی در مقابل نیروهای جانبی مقاوم نیست.