



بررسی و ارزیابی رفتار سازه های فولادی قاب مقاوم
خمش ناشی از پس لرزه

افشین حسینی

پایان نامه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران گرایش زلزله

استاد راهنما

دکتر احمد نیکنام

دی ماه ۱۳۸۵



تقدیم به

صبوریهای پدر و مادرم
و مهربانیهای خواهرم

چکیده

تا کنون در مهندسی زلزله به اثر پس لرزه ها بر سازه ها توجه چندانی نشده است ، مطالعات و تحلیل های لرزه ای سازه ای و تحلیل احتمالاتی خطر زلزله بر روی زلزله های اصلی متمرکز شده است ، در حالی که وقوع پس لرزه های شدید نشان داده اند که می توانند باعث خسارتهای بیشتر و یا گاهی اوقات فروریزش و تخریب سازه هایی که در اثر زلزله اصلی خسارت چندانی ندیده اند شوند .

در این تحقیق به مدل کردن نرخ وقوع پس لرزه ها در منطقه میچ در استان کرمان پرداخته می شود ، سپس به تحلیل احتمالاتی خطر زلزله اصلی و خطر پس لرزه در این منطقه و بررسی اثر پس لرزه ها بر سازه قاب خمشی فولادی و محاسبه ظرفیت سازه خسارت دیده از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیر خطی افزاینده پرداخته می شود . جهت محاسبه ظرفیت سازه خسارت دیده از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی ، منحنی پوش آور سازه تا حالت خسارت مورد نظر بدست می آید سپس از سازه باربرداری شده تا برش پایه به صفر برسد که این بیانگر اثر زلزله اصلی است ، دوباره سازه بارگذاری شده منحنی پوش آور آن در این حالت خسارت بدست می آید که این نیز بیانگر اثر پس لرزه بر سازه است ، از روی این منحنی پوش آور با استفاده از ابزار SPO2IDA منحنی IDA سازه خسارت دیده و سپس ظرفیت آن برای رسیدن به حالت خسارت بدتر محاسبه می شود .

محاسبه ظرفیت سازه خسارت دیده امکان بررسی احتمال افزایش خسارت در سازه در اثر وقوع پس لرزه را به ما می دهد . با محاسبه این احتمال طراحی آگاهانه تر سازه های مهم و حیاتی از جمله بیمارستانها فراهم می شود .

تقدیر و تشکر

با تقدیر و تشکر فراوان از استاد ارجمند جناب آقای دکتر احمد نیکنام
که با راهنمائیهای دلسوزانه مرا در انجام این تحقیق یاری رساندند .

فهرست مطالب

مقدمه :

۲	۱- مقدمه
۸	۲- پس لرزه ها
۱۰	۳- محدوده خطر پس لرزه ها
۱۰	۴- خطر پس لرزه در ایران

فصل اول : مدل کردن پس لرزه ها

۱۳	۱-۱ مقدمه
۱۳	۱-۲ ساختگاه مورد مطالعه
۱۴	۱-۳ تاریخچه مدل کردن پس لرزه ها
۱۶	۱-۴ مدل <i>Reasenber & Jones (1989)</i>
۱۹	۱-۵ مدل کردن پس لرزه های منطقه ساختگاه با مدل <i>Reasenber & Jones (1989)</i>
۱۹	۱-۵-۱ سری های پس لرزه ها
۲۰	۱-۵-۲ محاسبه پارامترهای مدل <i>Reasenber & Jones</i>
۲۰	۱-۵-۲-۱ برآورد پارامتر <i>b</i>
۲۷	۱-۵-۲-۲ برآورد پارامتر <i>c</i>
۲۷	۱-۵-۲-۳ برآورد پارامترهای <i>a</i> و <i>p</i>
۲۸	۱-۵-۳ احتمال رخداد پس لرزه با بزرگای <i>M</i> یا بیشتر در محدوده خطر پس لرزه

فصل دوم : تحلیل احتمالاتی خطر زلزله اصلی

۳۳	۲-۱ مقدمه
۳۴	۲-۲ تحلیل احتمالاتی خطر زلزله (<i>PSHA</i>)
۳۴	۲-۳ مراحل انجام تحلیل احتمالاتی خطر زلزله
۳۷	۲-۴ شناسایی چشمه های لرزه زای (گسلها) گستره ساختگاه
۳۷	۲-۴-۱ خصوصیات گسلهای فعال ساختگاه
۴۲	۲-۵ ویژگیهای لرزه خیزی گستره ساختگاه
۴۲	۲-۵-۱ پیشینه لرزه خیزی گستره ساختگاه
۴۲	۲-۵-۱-۱ زمین لرزه های تاریخی در گستره ساختگاه
۴۳	۲-۵-۱-۲ زمین لرزه های قرن بیستم
۵۲	۲-۵-۲ جمع آوری فهرست یا کاتالوگ زمین لرزه ها
۵۳	۲-۵-۳ عمق کانونی زمین لرزه ها
۵۵	۲-۵-۴ بزرگای زمین لرزه

۵۷	۲-۶ برآورد پارامترهای لرزه خیزی
۵۹	۲-۶-۱ برآورد پارامترهای لرزه خیزی به روش <i>Least Square</i>
۶۰	۲-۶-۲ برآورد پارامترهای لرزه خیزی به روش <i>Kijko – Sellevoll</i>
۶۱	۲-۶-۳ برآورد پارامترهای لرزه خیزی به روش تقسیم بندی ایالت‌های لرزه زای ایران (توکلی ۱۹۹۶)
۶۴	۲-۷ انتخاب رابطه کاهندگی
۶۵	۲-۷-۱ رابطه کاهندگی <i>Ambraseys et al (1996) & Simpson (1996)</i>
۶۶	۲-۷-۲ رابطه کاهندگی <i>Sadigh et al (1993) & Sadigh et al (1997)</i>
۶۷	۲-۷-۳ رابطه کاهندگی زارع و همکاران ۱۹۹۹
۶۸	۲-۷-۴ رابطه کاهندگی <i>Youngs et al (1997)</i>
۶۹	۲-۸ رابطه بین طول گسیختگی گسل و بیشینه بزرگای تولید شده
۷۱	۲-۹ نتایج تحلیل خطر
۷۵	۲-۱۰ طیف با خطر ثابت <i>Uniform Hazard Spectrum</i>

فصل سوم : تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه

۷۷	۳-۱ مقدمه
۷۸	۳-۲ تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه چیست (<i>APSHA</i>)؟
۸۱	۳-۳ تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه ساختگاه میچ
۸۸	۳-۳-۱ مقایسه نتایج تحلیل احتمالاتی خطر زلزله اصلی و پس لرزه
۸۹	۳-۳-۲ اثر مدت زمان T بر روی خطر پس لرزه
۹۲	۳-۳-۳ اثر زمان گذشته بعد از زلزله اصلی (t) بر روی خطر پس لرزه
۹۴	۳-۳-۴ اثر دوره تناوب سازه (T_0) بر روی تحلیل خطر پس لرزه
۹۵	۳-۴ مقایسه احتمال فراگذشت زلزله اصلی و پس لرزه به ازای دوره تناوب خاص

فصل چهارم : اثر پس لرزه بر سازه های قاب خمشی فولادی

۹۷	۴-۱ مقدمه
۹۸	۴-۲ محاسبه ظرفیت سازه خسارت دیده
۹۹	۴-۳ محاسبه احتمال عبور سازه خسارت دیده از DS_i به DS_j
۱۰۱	۴-۴ ابزار <i>SPO2IDA</i>
۱۰۳	۴-۵ طراحی سازه پنج طبقه فولادی قاب خمشی و تعیین حالات خسارت DS_i
۱۰۷	۴-۶ تحلیل استاتیکی غیرخطی (<i>Nonlinear Static Push-Over</i>)
۱۱۰	۴-۷ تعیین حالت‌های مختلف خسارت DS_i
۱۱۱	۴-۸ محاسبه ظرفیت سازه در حالت خسارت DS_i جهت رسیدن به DS_j ، $(Sa_{cap}^{DS_i, DS_j})$
۱۱۵	۴-۹ مقایسه نتایج <i>SPO2IDA</i> با <i>IDA</i> ناشی از شتابنگاشت‌های منطقه برای عبور سازه از DS_1 به DS_2
۱۱۸	۴-۱۰ محاسبه احتمال عبور سازه از حالت DS_i به DS_j و بدتر در اثر وقوع پس لرزه

فصل پنجم : نتیجه گیری

نتیجه گیری ۱۲۲

پیشنهاد برای تحقیقات آینده ۱۲۴

پیوست ۱

ضرایب روابط کاهش دهنده طیفی ۱۲۶

پیوست ۲

کاتالوگ زلزله های اصلی در گستره ۲۰۰ کیلومتری ساختمانگاه ۱۳۲

پیوست ۳

کاتالوگ پس لرزه ها ۱۳۹

پیوست ۴

نمونه فایل ورودی *SEISRISKIII* ۱۷۳

پیوست ۵

شتابنگاشتهای استفاده شده در تحلیل *IDA* ۱۷۸

فهرست اشکال

- شکل (۱) : سازه خسارت دیده در زلزله کوبه و ناپایدار شده ۳
- شکل (۲) : موقعیت زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ Kocaeli ترکیه ۴
- شکل (۳) : ساختمانی که در اثر زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ Kocaeli ترکیه خسارت اندکی دیده و طبقه اول آن در زیر آب فرو رفته ۵
- شکل (۴) : همان ساختمان شکل (۳) که در اثر پس لرزه با بزرگای $M_w=5.9$ ویران شده ۵
- شکل (۵) : موقعیت زلزله ۳۱ اکتبر ۲۰۰۲ در Molise ایتالیا ۶
- شکل (۶) : اتصال ستون بتنی بعد از زلزله ۳۱ اکتبر ۲۰۰۲ در Molise ایتالیا که سالم مانده است ۷
- شکل (۷) : همان اتصال ستون بتنی شکل (۶) بعد از وقوع پس لرزه ۷
- شکل (۸) : سازه ای که در اثر پس لرزه 6.2 ریشتری در نزدیکی دریاچه Big Bear در کالیفرنیا فرو ریخت ۸
- شکل (۹) : پس لرزه های زلزله Whittier-Narrows که با گذشت زمان نرخ رخداد آنها کاهش یافته است ۹
- شکل (۱۰) : شمای کلی از رفتار پس لرزه ها ۹
- شکل (۱۱) : اسکان افراد در پارکها هفته ها بعد از زلزله ۱۳۸۵/۱/۱۱ سیلاخور به دلیل وحشت از وقوع پس لرزه ۱۱
- شکل (۱-۱) : موقعیت ساختگاه میچ در استان کرمان که با * مشخص شده ۱۳
- شکل (۱-۲) : توزیع نرمال ضرایب رابطه Reasenberg & Jones ۱۸
- شکل (۱-۳) : پارامتر $b = 1.643$ ناشی از پس لرزه های زلزله 1981/06/11 ۲۱
- شکل (۱-۴) : پارامتر $b = 0.9532$ ناشی از پس لرزه های زلزله 1981/07/28 ۲۲
- شکل (۱-۵) : پارامتر $b = 0.7994$ ناشی از پس لرزه های زلزله 1998/03/14 ۲۳
- شکل (۱-۶) : پارامتر $b = 0.7415$ ناشی از پس لرزه های زلزله 1999/03/04 ۲۴
- شکل (۱-۷) : پارامتر $b = 0.6483$ ناشی از پس لرزه های زلزله 2003/12/26 ۲۵
- شکل (۱-۸) : پارامتر $b = 0.7953$ ناشی از پس لرزه های زلزله 2006/02/28 ۲۶
- شکل (۱-۹) : احتمال رخداد پس لرزه با بزرگای $5 \leq M \leq 7$ بعد از وقوع زلزله اصلی با بزرگای $M_m=7$ از زمان S تا T ۳۰
- شکل (۱-۱۰) : همان نمودار شکل (۱-۹) به شکل کانتور می باشد ۳۰
- شکل (۱-۱۱) : احتمال رخداد پس لرزه با بزرگای $M \geq 4$ بعد از زلزله های اصلی با بزرگای $M_m=6,6.5,7$ از زمان S تا $T = S+7$ روز ۳۱
- شکل (۲-۱) : موقعیت سه بعدی گسل و ساختگاه در محاسبه $f(R)$ توسط Cornell ۳۵
- شکل (۲-۲) : مراحل چهار گانه تحلیل احتمالاتی خطر زلزله ۳۶
- شکل (۲-۳) : گسل گلباف و یک چاله تکتونیکی در مجاورت آن ۳۸
- شکل (۲-۴) : گسل کوتاه تر بم ۴۰
- شکل (۲-۵) : گسلهای گسترده ساختگاه با توجه به نقشه گسلهای فعال ایران (به شعاع 200 Km) ۴۰
- شکل (۲-۶) : شماره بندی گسلهای فعال گسترده ساختگاه که در تحلیل استفاده شده اند ۴۱
- شکل (۲-۷) : موقعیت زلزله 1923/09/22 لاله زار ۴۴
- شکل (۲-۸) : موقعیت زلزله 1948/07/05 گلباف ۴۵
- شکل (۲-۹) : موقعیت زلزله 1969/09/02 سیرچ ۴۵
- شکل (۲-۱۰) : موقعیت زلزله 1981/06/11 گلباف ۴۶
- شکل (۲-۱۱) : موقعیت زلزله 1981/07/28 سیرچ ۴۸

- شکل (۲-۱۲) : موقعیت زلزله 1989/11/20 جنوب گلباف ۴۹
- شکل (۲-۱۳) : موقعیت زلزله 1998/03/14 گلباف ۵۰
- شکل (۲-۱۴) : ارگ بم پیش از زلزله ۵۲
- شکل (۲-۱۵) : ارگ بم بعد از زلزله ۵۲
- شکل (۲-۱۶) : موقعیت زلزله 2003/12/26 بم ۵۲
- شکل (۲-۱۷) : پراکندگی ژرفای کانونی زمین لرزه های روی داده در قرن حاضر در گستره سد مخزنی نساء
(مهندسین مشاور مهتاب قدس ۱۳۶۹) ۵۴
- شکل (۲-۱۸) : رابطه تبدیل Mb به Ms ۵۶
- شکل (۲-۱۹) : زلزله های رخ داده در شعاع ۲۰۰ کیلومتری ساختگاه پس از حذف پیش لرزه ها و پس لرزه ها ۵۸
- شکل (۲-۲۰) : برآورد پارامتر b به روش L.S.M ۵۹
- شکل (۲-۲۱) : تقسیم بندی ایران به ۲۰ ایالت لرزه زمین ساخت ، توکلی (۱۹۹۶) ۶۲
- شکل (۲-۲۲) : شماره ایالت‌هایی که گسل‌های ساختگاه در آنها قرار می گیرند ۶۳
- شکل (۲-۲۳) : رابطه کاهندگی 96 Ambraseys & Simpson ۶۶
- شکل (۲-۲۴) : رابطه کاهندگی (Sadigh et al (1997) & Sadigh et al (1993) ۶۷
- شکل (۲-۲۵) : رابطه کاهندگی زارع ۹۹ ۶۸
- شکل (۲-۲۶) : رابطه کاهندگی 97 Youngs ۶۹
- شکل (۲-۲۷) : درخت منطقی و ضرائب آن که در تحلیل استفاده شده ۷۲
- شکل (۲-۲۸) : نتایج تحلیل خطر با $b = 0.5937$ به روش L.S.M ۷۳
- شکل (۲-۲۹) : نتایج تحلیل خطر با پارامتر b به روش Kijko ۷۳
- شکل (۲-۳۰) : نتایج تحلیل خطر با پارامتر b به روش ایالت‌های لرزه زای توکلی ۷۴
- شکل (۲-۳۱) : نتیجه نهایی تحلیل خطر زلزله اصلی در ساختگاه میچ ۷۴
- شکل (۲-۳۲) : طیف با خطر ثابت 2% , 5% , 10% , 50% احتمال فراگذشت در 50 سال عمر مفید سازه .. ۷۵
- شکل (۳-۱) : موقعیت ساختگاه و گسل شماره ۳ مسبب زلزله اصلی و پس لرزه ها ۸۲
- شکل (۳-۲) : درخت منطقی و ضرائب آن که در تحلیل خطر پس لرزه استفاده شده است ۸۳
- شکل (۳-۳) : نمودار تحلیل خطر پس لرزه با رابطه کاهندگی 96 Ambraseys & Simpson ۸۴
- شکل (۳-۴) : نمودار تحلیل خطر پس لرزه با رابطه کاهندگی 97 Sadigh ۸۵
- شکل (۳-۵) : نمودار تحلیل خطر پس لرزه با رابطه کاهندگی 99 Zare ۸۶
- شکل (۳-۶) : نتیجه نهایی تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه در ساختگاه میچ ۸۷
- شکل (۳-۷) : مقایسه نتایج تحلیل احتمالاتی خطر زلزله اصلی و پس لرزه ۸۸
- شکل (۳-۸) : اثر مدت زمان T بر روی تحلیل خطر پس لرزه ۸۹
- شکل (۳-۹) : نسبت نتایج تحلیل خطر پس لرزه با طول مدت های مختلف به تحلیل خطر پس لرزه با $T = 1$ روز ۹۰
- شکل (۳-۱۰) : مقایسه نتایج تحلیل خطر پس لرزه با طول مدت یک سال ($T = 365$) و کران بالای ثابت
یک سال ($T + t = 366$) ۹۲
- شکل (۳-۱۱) : اثر زمان گذشته بعد از زلزله اصلی (t) بر روی خطر پس لرزه ۹۳
- شکل (۳-۱۲) : منحنی های خطر پس لرزه با $t = 1, 7, 30$ روز و $T = 365$ ۹۴
- شکل (۳-۱۳) : اثر دوره تناوب سازه T_0 بر روی تحلیل خطر طیفی پس لرزه ۹۵
- شکل (۳-۱۴) : مقایسه احتمال فراگذشت شتاب طیفی به ازای $T_0 = 0.5$ Sec زلزله اصلی و پس لرزه ۹۵
- شکل (۴-۱) : سطوح مختلف خسارت بر روی منحنی پوش آور ۹۸
- شکل (۴-۲) : منحنی چهار خطی پوش آور ، ورودی نرم افزار SPO2IDA ۱۰۱

- شکل (۴-۳) : نمونه ای از خروجی ابزار SPO2IDA..... ۱۰۳
- شکل (۴-۴) : پلان و نمای محور ۱ از سازه پنج طبقه ۱۰۴
- شکل (۴-۵) : نمای سه بعدی از سازه پنج طبقه ۱۰۵
- شکل (۴-۶) : مشخصات سقف تیرچه بلوک ۱۰۵
- شکل (۴-۷) : مقاطع قاب محور C ۱۰۶
- شکل (۴-۸) : توزیع بار جانبی نوع اول به روش تحلیل خطی طیفی..... ۱۰۸
- شکل (۴-۹) : توزیع بار جانبی نوع دوم به روش بار یکنواخت ۱۰۸
- شکل (۴-۱۰) : رفتار بار-تغییر شکل مفصلهای استفاده شده در تحلیل..... ۱۰۹
- شکل (۴-۱۱) : منحنی های پوش آور دو نوع توزیع بار ۱۰۹
- شکل (۴-۱۲) : منحنی پوش آور سازه پنج طبقه و حالت های مختلف خسارت آن..... ۱۱۰
- شکل (۴-۱۳) : منحنی پوش آور سازه باربرداری شده و بارگذاری مجدد ، در هر حالت خسارت ۱۱۱
- شکل (۴-۱۴) : منحنی های $IDA(16\%,50\%,84\%)$ و پوش آور سازه پنج طبقه در حالت خسارت DS1 ۱۱۲
- شکل (۴-۱۵) : منحنی های $IDA(16\%,50\%,84\%)$ و پوش آور سازه پنج طبقه در حالت خسارت DS2 ۱۱۳
- شکل (۴-۱۶) : منحنی های $IDA(16\%,50\%,84\%)$ و پوش آور سازه پنج طبقه در حالت خسارت DS3 ۱۱۴
- شکل (۴-۱۷) : منحنی های $IDA(16\%,50\%,84\%)$ و پوش آور سازه پنج طبقه در حالت خسارت DS4 ۱۱۵
- شکل (۴-۱۸) : منحنی های IDA سازه پنج طبقه حاصل از ۸ شتابنگاشت و منحنی IDA میانه آنها..... ۱۱۷
- شکل (۴-۱۹) : مقایسه نتیجه ظرفیت سازه از DS1 به DS2 حاصل از ابزار SPO2IDA و ۸ شتابنگاشت..... ۱۱۷

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) : ۶ سری زلزله استفاده شده در مدل کردن نرخ رخداد پس لرزه ۱۹
- جدول (۱-۲) : رابطه M و $\text{Log}(N)$ پس لرزه های زلزله 11/06/1981 ۲۱
- جدول (۱-۳) : رابطه M و $\text{Log}(N)$ پس لرزه های زلزله 28/07/1981 ۲۲
- جدول (۱-۴) : رابطه M و $\text{Log}(N)$ پس لرزه های زلزله 14/03/1998 ۲۳
- جدول (۱-۵) : رابطه M و $\text{Log}(N)$ پس لرزه های زلزله 04/03/1999 ۲۴
- جدول (۱-۶) : رابطه M و $\text{Log}(N)$ پس لرزه های زلزله 26/12/2003 ۲۵
- جدول (۱-۷) : رابطه M و $\text{Log}(N)$ پس لرزه های زلزله 28/02/2006 ۲۶
- جدول (۱-۸) : پارامترهای رابطه Reasenberگ برای منطقه میچ ۲۸
- جدول (۱-۹) : احتمال رخداد پس لرزه بابرگای $M \geq M_m - 3$ از زمان S تا T روز بعد از زلزله اصلی با بزرگای M_m ۲۹
- جدول (۱-۱۰) : احتمال رخداد پس لرزه بابرگای $M \geq M_m - 2$ از زمان S تا T روز بعد از زلزله اصلی با بزرگای M_m ۲۹
- جدول (۱-۱۱) : احتمال رخداد پس لرزه بابرگای $M \geq M_m - 1$ از زمان S تا T روز بعد از زلزله اصلی با بزرگای M_m ۲۹
- جدول (۲-۱) : شماره های گسلها و طول آنها که در تحلیل استفاده شده ۴۱
- جدول (۲-۲) : مشخصات زلزله 22/09/1923 ۴۳
- جدول (۲-۳) : مشخصات زلزله 05/07/1948 ۴۴
- جدول (۲-۴) : مشخصات زلزله 02/09/1969 ۴۵
- جدول (۲-۵) : مشخصات زلزله 11/06/1981 ۴۶
- جدول (۲-۶) : مشخصات زلزله 28/07/1981 ۴۷
- جدول (۲-۷) : مشخصات زلزله 20/11/1989 ۴۹
- جدول (۲-۸) : مشخصات زلزله های رخ داده در گلباف ۴۹
- جدول (۲-۹) : مشخصات زلزله 26/12/2003 ۵۲
- جدول (۲-۱۰) : پراکندگی عمق کانونی زمین لرزه های روی داده در قرن حاضر در گستره ۳۰۰ کیلومتری
ساختگاه سد نساء (مهندسين مشاور مهتاب قدس ۱۳۶۹) ۵۴
- جدول (۲-۱۱) : مقدار پنجره زمانی و مکانی روش Gardner & Knopoff برای حذف پیش لرزه ها و پس لرزه ها ۵۹
- جدول (۲-۱۲) : رابطه N و $\text{Log}(N/T)$ جهت محاسبه پارامتر لرزه خیزی b به روش Least Square ۶۰
- جدول (۲-۱۳) : نتایج حاصل از روش Kijko برای محاسبه پارامتر لرزه خیزی b ۶۱
- جدول (۲-۱۴) : مقدار پارامتر لرزه خیزی β و M_{max} برای هر گسل به روش ایالتهای لرزه زای ایران (توکلی ۱۹۹۶) ۶۳
- جدول (۲-۱۵) : Equivalences between magnitude scales for plate boundary earthquakes : [krinitzsky 1993] ۶۵
- جدول (۲-۱۶) : ضرایب رابطه کاهندگی Sadigh 97 ۶۶
- جدول (۲-۱۷) : ضرایب رابطه کاهندگی زارع ۹۹ ۶۸
- جدول (۲-۱۸) : ضرایب رابطه کاهندگی Youngs 97 ۶۹
- جدول (۲-۱۹) : M_s هر گسل با توجه به رابطه نوروژی ۱۹۸۵ ۷۱
- جدول (۳-۱) : نتیجه تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه با رابطه کاهندگی Ambraseys & Simpson 96 ۸۴
- جدول (۳-۲) : نتیجه تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه با رابطه کاهندگی Sadigh 97 ۸۵
- جدول (۳-۳) : نتیجه تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه با رابطه کاهندگی Zare 99 ۸۶
- جدول (۳-۴) : نتیجه نهایی تحلیل احتمالاتی خطر پس لرزه با استفاده از درخت منطقی ۸۷

- جدول (۴-۱) : ۳۰ زلزله استفاده شده در ابزار SPO2IDA..... ۱۰۲
- جدول (۴-۲) : بارگذاری سازه پنج طبقه..... ۱۰۵
- جدول (۴-۳) : بارگذاری قاب محور C..... ۱۰۷
- جدول (۴-۴) : مشخصات مفصلهای تیرها و ستونهای استفاده شده در تحلیل..... ۱۰۹
- جدول (۴-۵) : مقدار جابجایی نسبی حداکثر بام در هر حالت خسارت..... ۱۱۰
- جدول (۴-۶) : ظرفیت سازه در حالت خسارت DS1 برای عبور به حالت‌های بعدی خسارت..... ۱۱۲
- جدول (۴-۷) : ظرفیت سازه در حالت خسارت DS2 برای عبور به حالت‌های بعدی خسارت..... ۱۱۳
- جدول (۴-۸) : ظرفیت سازه در حالت خسارت DS3 برای عبور به حالت‌های بعدی خسارت..... ۱۱۴
- جدول (۴-۹) : ظرفیت سازه در حالت خسارت DS4 برای عبور به حالت خسارت DS5..... ۱۱۵
- جدول (۴-۱۰) : مشخصات ۸ شتابنگاشت استفاده شده در تحلیل IDA سازه در حالت خسارت DS1..... ۱۱۶
- جدول (۴-۱۱) : احتمال عبور سازه از حالت خسارت DS1 به حالت‌های بعدی خسارت در اثر وقوع پس لرزه..... ۱۱۹
- جدول (۴-۱۲) : احتمال عبور سازه از حالت خسارت DS2 به حالت‌های بعدی خسارت در اثر وقوع پس لرزه..... ۱۱۹
- جدول (۴-۱۳) : احتمال عبور سازه از حالت خسارت DS3 به حالت‌های بعدی خسارت در اثر وقوع پس لرزه..... ۱۱۹
- جدول (۴-۱۴) : احتمال عبور سازه از حالت خسارت DS4 به حالت خسارت DS5 در اثر وقوع پس لرزه..... ۱۱۹

مقدمہ



۱- مقدمه :

در مهندسی زلزله و خصوصاً در مدیریت خطر پذیری لرزه ای تا کنون به اثر پس لرزه ها توجه چندانی نشده است . مطالعات و تحلیل های لرزه ای سازه ای و تحلیل احتمالاتی خطر زلزله بر روی زلزله های اصلی متمرکز شده است ، در حالی که وقوع پس لرزه های زلزله های شدید نشان داده اند که می توانند باعث خسارتهای بیشتر و یا گاهی اوقات فروریزش و تخریب سازه هایی که در اثر زلزله اصلی خسارت چندانی ندیده اند شوند .

زلزله ها معمولاً به شکل گروهی یا رشته ای (Clusters) رخ می دهند . زلزله شناسان سه اصطلاح برای تمیز دادن رخدادها در یک گروه بیان می کنند .

✱ پیش لرزه (Foreshock)

✱ لرزه اصلی (Mainshock)

✱ پس لرزه (Aftershock)

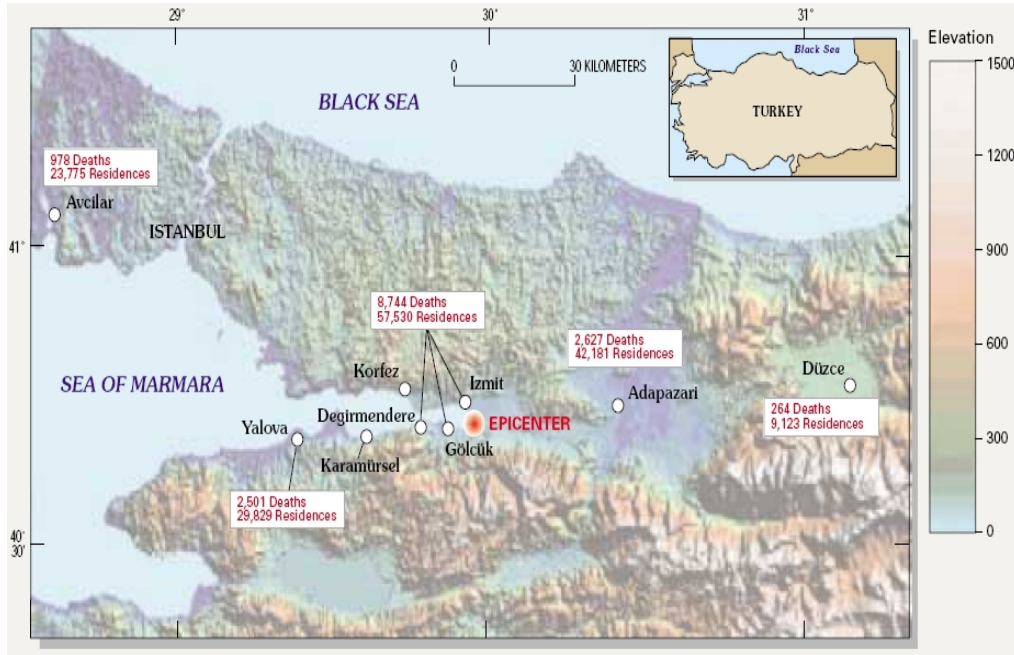
در هر گروه زلزله ای که بیشترین بزرگای را دارد زلزله اصلی خوانده می شود ، به زلزله هایی که پیش از زلزله اصلی رخ می دهند پیش لرزه و به آنها یی که پس از زلزله اصلی رخ می دهند پس لرزه گفته می شود . تعداد پیش لرزه ها معمولاً محدود است ، خسارت در سازه ها در اثر زلزله اصلی رخ می دهد و وقوع پس لرزه ها می تواند باعث خسارت بیشتر و یا فروریزش ساختمانهای خسارت دیده در اثر زلزله اصلی شود . به عنوان مثال در شکل (۱) سازه ای در ژاپن نشان داده شده است که در اثر زلزله کوبه دچار خسارت و ناپایدار شده ، چنین سازه هایی در اثر وقوع پس لرزه ای شدید فرو خواهند ریخت . [1]



شکل (۱) : سازه خسارت دیده در زلزله کوبه و ناپایدار شده [1]

در زیر دو نمونه مثال از وقوع پس لرزه ها که باعث خسارت در سازه ها شده اند آورده می شود :

یک ماه پس از زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ Kocaeli در شمال غربی ترکیه با بزرگای $M_w=7.4$ شکل (۲) پس لرزه ای با بزرگای $M_w=5.9$ رخ داد که در اثر آن ۷ نفر کشته شدند ، ۲۳۹ نفر زخمی و دهها خانه در سه شهر نزدیک مرکز پس لرزه ویران شدند . در شکل (۳) ساختمانی در شهر Golcuk نشان داده شده است که در اثر زلزله اصلی خسارت دیده و طبقه اول آن در زیر آب فرو رفته ولی کل ساختمان پایدارمانده ، اما در اثر این پس لرزه ویران شد . [2] شکل (۴)



شكل (٢): موقعيت زلزله ١٧ آگوست ١٩٩٩ Kocaeli تركيه [2]



شکل (۳) : ساختمانی که در اثر زلزله ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ Kocaeli ترکیه خسارت اندکی دیده و طبقه اول آن در زیر آب فرو رفته . [2]

شکل (۴) : همان ساختمان شکل (۳) که در اثر پس لرزه با بزرگای $M_w=5.9$ ویران شده . [2]





به عنوان مثالی دیگر می توان به زلزله ۳۱ اکتبر ۲۰۰۲ در Molise (۲۲۰ کیلومتری جنوب شرقی رم) ایتالیا با بزرگای $M_w=5.7$ اشاره کرد شکل (۵)، که یک روز پس از آن پس لرزه ای با همان بزرگای $M_w=5.7$ در فاصله ۱۰ کیلومتری مرکز زلزله اصلی رخ داد . در شکل (۶) ستون بتنی از یک ساختمان ۴ طبقه نشان داده شده که در اثر زلزله اصلی Molise خسارت چندانی ندیده ولی در اثر وقوع پس لرزه ، اتصال تیر به ستون خسارت شدید دیده است شکل (۷) .



شکل (۵) : موقعیت زلزله ۳۱ اکتبر ۲۰۰۲ در Molise ایتالیا [3]



شکل (۶) : اتصال ستون
بتنی بعد از زلزله ۳۱
اکتبر ۲۰۰۲ در Molise
ایتالیا که سالم مانده
است. [4]



شکل (۷) : همان اتصال
ستون بتنی شکل (۶) بعد
از وقوع پس لرزه. [4]