

بلند نام تو شرح تمام، هستی است



دانشگاه اراک

دانشکده فنی مهندسی

کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه

طیف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا

پژوهشگر

محمد رضا شهری

استاد راهنما

دکتر علیرضا آذربخت

پاییز ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

طيف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا

توسط:

محمد رضا شهری

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی عمران - سازه

از دانشگاه اراک

اراک - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: ^{۲۴}.....
دکتر علیرضا آذربخت (استاد راهنما)..... استادیار
دکتر مهدی موسوی (دانشگاه اراک)..... استادیار
دکتر حمید هاشمی (دانشگاه اراک)..... استادیار

پاییز ۱۳۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خود گذشتگی.
به پاس عاطفه ی سرشار و گرمای امید بخش وجود شان.
به پاس قلب رئوف و مهربان شان که فریادرس است و ترس در پناه شان به شجاعت می گراید.
و به پاس محبت های بی دریغ شان که هرگز فروکش نمی کند.

پاسکزاری

آنگاه که بخت بایه یاد توست بخت بایه زیباست. پیش از هر چیز پروردگارم را شاکرم که توفیق داد بهترین سال های عمرم در کسب دانش بگذرد، چنانم را به نور علم روشن و دستانم را به فضیلت قلم آشنا کرده و دلم را به اشتیاق آموختن و جانم را به بی تابی دانستن شرافت بخشید. اگر چه در کلام نمی گنجد زرف ترین پاس خود را از استاد عزیز و کرانه درم جناب آقای دکتر علیرضا آذربخت دارم. برای من مایه افتخار است که شاگرد ایشان بوده ام. هرگز بحث بی راکه در جلسات، همگنی داشته ایم فراموش نخواهم کرد. از اینکه دانش وسیع خود را در اختیارم گذاشتید بی نهایت سپاسگزارم. مسلمانانه بی های شما سالها هدایت کردن خواهد بود. همچنین بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ استاد کرانه در جناب آقای دکتر مهدی موسوی که بزرگوارانه و صبورانه در مسیر انجام پایان نامه یاری ام نمودند تشکر و قدردانی نمایم.

مجتربنا شهری

دانشکده فنی مهندسی اراک، پائیزه ۱۳۹۰

چکیده

انتخاب شتاب نگاشت های زمین لرزه در دهه اخیر به عنوان یکی از موضوعات مهم در تحلیل لرزه ای سازه ها به شمار می رود. بدین منظور می بایست مجموعه ای از شتاب نگاشت های زلزله با ویژگی های خاص که متناسب با شرایط ساختگاه باشد انتخاب شوند. در اغلب آیین نامه ها رویکرد انتخاب بر مبنای تطابق میانگین مجموعه رکوردهای انتخاب شده با طیف هدف (مانند طیف با خطر یکسان) است. تحقیقات زیادی نشان داده اند که طیف با خطر یکسان طیف محافظه کارانه بوده و نمی تواند هدف مناسبی در نظر گرفته شود. اخیراً طیف میانگین شرطی توسط بیکر ارائه گردیده است که از مزایای شاخص اپسیلون بهره برده است. همبستگی که میان مقادیر شبه شتاب طیفی در دوره تناوب های مختلف وجود دارد مهمترین ویژگی طیف میانگین شرطی است. بکارگیری طیف میانگین شرطی به میزان زیادی در برآورد پاسخ سازه ها تأثیر گذار است و از پراکندگی آنها می کاهد. از سویی دیگر شاخص شکل طیفی جدیدی با نام اتا توسط موسوی و همکاران معرفی شده که به شکل ترکیب خطی میان شاخص اپسیلون رایج و اپسیلون حداکثر سرعت زمین ارائه شده است. در مطالعه حاضر طیف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا به عنوان هدف مناسب در انتخاب معرفی شده است. شتاب نگاشت های انتخاب شده بر این مبنای عنوان ورودی برای تحلیل دینامیکی فزاینده در نظر گرفته شده اند و سیستم سه طبقه بتن مسلح تحت تحریک این مجموعه قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که طیف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا می تواند طیف هدف قابل اعتمادتر در نظر گرفته شود.

کلید واژه ها: انتخاب شتاب نگاشت ها، طیف با خطر یکسان، شاخص اپسیلون، شاخص اتا، طیف میانگین شرطی.

فصل اول

- ۱- مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته ۱
- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- هدف از مطالعه ۳
- ۳-۱- طیف هدف و کاربرد آن ۴
- ۴-۱- مدل های پیش بینی حرکت یا جنبش زمین (مدل های کاهندگی) ۵
- ۱-۴-۱- مدل بور و آتکینسون ۶
- ۲-۴-۱- مدل کمپل و بزرگنیا ۷
- ۵-۱- مروری بر تحلیل خطر لرزه ای ۸
- ۱-۵-۱- روش های احتمالاتی در برابر روش های تعینی ۹
- ۲-۵-۱- شناخت منابع تولید زلزله ۱۱
- ۳-۵-۱- شناخت بزرگای زمین لرزه و نحوه توزیع آنها ۱۱
- ۴-۵-۱- تعیین فواصل زمین لرزه ها از ساختگاه و شناخت توزیع آنها ۱۱
- ۵-۵-۱- ارائه مدل پیش بینی جنبش زمین ۱۲
- ۶-۵-۱- منحنی خطر، ترکیب احتمالات به دست آمده ۱۳
- ۶-۱- طیف با خطر یکسان ۱۴
- ۷-۱- تحلیل تفکیک، یکی از نتایج تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی ۱۵
- ۸-۱- شاخص اپسیلون و ارتباط آن با سطوح خطر ۱۹
- ۹-۱- اپسیلون به عنوان شاخص شکل طیفی ۲۰
- ۱۰-۱- انا شاخص توانمند تر پیش بینی کننده شکل طیفی ۲۲
- ۱۱-۱- تعیین انا هدف برای سطوح مختلف خطر ۲۶
- ۱۲-۱- همبستگی میان مقادیر شتاب طیفی برای مدل های کاهندگی ۲۷
- ۱-۱۲-۱- محاسبه ضرایب همبستگی ۲۸
- ۲-۱۲-۱- مدل پیش بینی بیکر ۲۰۰۶ ۲۸
- ۳-۱۲-۱- مدل پیش بینی بیکر ۲۰۰۸ ۲۹
- ۱۳-۱- معایب استفاده از طیف با خطر یکسان ۳۲
- ۱۴-۱- طیف میانگین شرطی بر اساس اپسیلون ۳۳
- ۱۵-۱- تحلیل دینامیکی غیر خطی فزاینده ۳۶
- ۱۶-۱- انتخاب شتاب نگاشت ها ۳۸

- ۳۸ Eurocode 08 نامۀ آیین ها در آیین نامۀ ۱-۱۶-۱- انتخاب شتاب نگاشت ها در آیین نامۀ
- ۳۸ NEHRP 2003 نامۀ آیین ها در آیین نامۀ ۲-۱۶-۱- انتخاب شتاب نگاشت ها در آیین نامۀ
- ۳۹ FEMA 356 نامۀ آیین ها در آیین نامۀ ۳-۱۶-۱- انتخاب شتاب نگاشت ها در آیین نامۀ
- ۴۰ الگوریتم ژنتیک ۱۷-۱-
- ۴۲ ظرفیت فروریزش سازه ۱۸-۱-

فصل دوم

- ۴۶ طیف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا ۲-
- ۴۷ ۱-۲- مقدمه :
- ۴۷ ۲-۲- طیف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا
- ۵۱ ۳-۲- مدل پیش بینی برای شاخص شکل طیفی اتا
- ۵۱ ۱-۳-۲- مجموعه شتاب نگاشت های مورد استفاده در مطالعه
- ۵۳ ۲-۳-۲- بررسی مقادیر محاسبه شده برای اپسیلون
- ۵۴ ۳-۳-۲- مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج بیکر ۲۰۰۶
- ۵۵ ۴-۳-۲- مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج بیکر ۲۰۰۸
- ۵۷ ۵-۳-۲- محاسبه ضرایب همبستگی
- ۵۸ ۶-۳-۲- به دست آوردن مقادیر همبستگی شاخص اتا و ارائه مدل
- ۶۱ ۴-۲- جمع بندی

فصل سوم

- ۶۲ ۳- بکارگیری طیف هدف در تحلیل دینامیکی غیر خطی
- ۶۳ ۱-۳- مقدمه
- ۶۳ ۲-۳- اثر پالایش شتاب نگاشت ها بر اساس اپسیلون و اتا روی سیستم چند درجه آزاد
- ۷۲ ۳-۳- اثر انتخاب شتاب نگاشت ها بر اساس طیف هدف روی سیستم چند درجه آزاد

فصل چهارم

- ۷۸ ۴- بحث و نتیجه گیری
- ۷۹ ۱-۴- مقدمه
- ۷۹ ۲-۴- معایب استفاده از طیف با خطر یکسان

- ۳-۴- طیف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا ۸۰
- ۴-۴- مدل پیش بینی ضریب همبستگی ۸۱
- ۵-۴- بکارگیری شاخص اتا به جای شاخص اسپیلون ۸۱
- ۶-۴- بکارگیری طیف E-CMS در انتخاب شتاب نگاشت های زمین لرزه ۸۳
- ۷-۴- پیشنهادات جهت مطالعات آینده ۸۴

پیوست ها ۸۷

- پیوست الف: مجموعه ۲۶۷ شتاب نگاشت استخراج شده از پایگاه PEER ۸۸
- پیوست ب: مجموعه ۳۹ شتاب نگاشت استخراج شده از پایگاه PEER ۹۴
- پیوست ج: مشخصات سازه بتنی ۸ طبقه در مطالعه حاضر ($T=1.71 \text{ sec}$) ۹۵
- پیوست د: مشخصات سازه بتنی نامنظم مورد بررسی در مطالعه ($T_1=0.85 \text{ sec}$) ۹۶

منابع و مراجع ۹۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: تعیین ضرایب برای ترکیبات مختلف اپسیلون در رابطه اتا ۲۴
- جدول ۱-۳: مقادیر اپسیلون هدف در سطوح خطر مختلف ۶۴
- جدول ۲-۳: مقادیر میانگین فروریزش در چهار سطح خطر متفاوت ۶۵
- جدول ۳-۳: مقدار MAF برای روش های مختلف پالایش ۶۶
- جدول ۴-۳: مشخصات ۳۰ سیستم مورد مطالعه ۶۷
- جدول ۵-۳: مقادیر MAF برای ۳۰ سیستم چند درجه آزاد ۶۸
- جدول ۶-۳: مقادیر میانگین فروریزش در سطوح خطر متفاوت ۷۷
- جدول ۱-۴: مقدار MAF برای روش های مختلف پالایش ۸۲

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: مقادیر شتاب طیفی در برابر فاصله برای شتاب نگاشت های مختلف ۶
- شکل ۱-۲: مقایسه مدل کاهندگی کمپل و بور ۲۰۰۸ با فرض $M=7.2$ و $R=11\text{km}$ ۸
- شکل ۱-۳: تحلیل خطر لرزه ای تعیینی برای ساختگاه فرضی ۹
- شکل ۱-۴: نقشه محل ساختگاه در برگیرنده دو منبع تولید زمین لرزه و مدل کاهندگی ۱۰
- شکل ۱-۵: نحوه محاسبه فاصله صفحه گسلش از ساختگاه ۱۲
- شکل ۱-۶: منحنی خطر متناظر با گسل های فرضی برای معیار شدت PGA ۱۴
- شکل ۱-۷: منحنی خطر برای ساختگاه فرضی و دوره تناوب های مختلف ۱۵
- شکل ۱-۸: طیف با خطر یکسان برای دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال (۲٪ در ۵۰ سال) ۱۵
- شکل ۱-۹: سهم بزرگای مختلف در تولید خطر (a) $PGA>0.2g$ (b) $PGA>1g$ ۱۷
- شکل ۱-۱۰: نتایج تحلیل تفکیک برای دوره تناوبی ۰/۳ ثانیه ۱۸
- شکل ۱-۱۱: نتایج تحلیل تفکیک برای دوره تناوبی ۱ ثانیه ۱۸
- شکل ۱-۱۲: اختلاف میان مدل کاهندگی و طیف با خطر یکسان ۱۹
- شکل ۱-۱۳: شاخص اپسیلون بیانگر اختلاف مابین مدل کاهندگی و UHS ۲۰
- شکل ۱-۱۴: ۲۰ شتاب نگاشت مقیاس شده با مقادیر اپسیلون بزرگتر از ۲/۲۵ و کوچکتر از ۲/۲۴ ۲۲
- شکل ۱-۱۵: مقایسه طیف میانگین شتاب نگاشت های با اپسیلون مثبت، صفر و منفی ۲۲
- شکل ۱-۱۶: همبستگی میان پاسخ دو سیستم یک درجه آزاد و اپسیلون شتاب طیفی ۲۳
- شکل ۱-۱۷: همبستگی پاسخ غیر خطی یک سیستم یک درجه آزاد و دو اپسیلون متفاوت ۲۳
- شکل ۱-۱۸: مقایسه ضرایب همبستگی انا و اپسیلون به عنوان پیش بینی کننده پاسخ غیر خطی ۲۵
- شکل ۱-۱۹: طیف پاسخ مقیاس شده ۱۰ شتاب نگاشت با مقادیر اتای کمتر از ۲- و بیشتر از ۲ ۲۶
- شکل ۱-۲۰: مقایسه میانگین دو مجموعه شتاب نگاشت با اتای مثبت و اتای منفی ۲۶
- شکل ۱-۲۱: مقایسه ضرایب همبستگی به دست آمده از مدل با ضرایب واقعی ۲۹
- شکل ۱-۲۲: ضرایب همبستگی شاخص اپسیلون به کمک مدل های کاهندگی متفاوت ۳۰
- شکل ۱-۲۳: کانتور و تغییرات ضرایب همبستگی اپسیلون ۳۱
- شکل ۱-۲۴: طیف مدل کاهندگی و طیف با خطر یکسان برای سناریوی فرضی در برابر طیف شتاب نگاشت Newhall-W Pico Canyon ۳۲
- شکل ۱-۲۵: مقادیر اپسیلون به دست آمده از ۵۳۴ شتاب نگاشت در پریود ۱ و ۲ ثانیه ۳۳
- شکل ۱-۲۶: تغییرات ضریب همبستگی اپسیلون در محدوده پریود ها با فرض پریود سازه برابر ۱ ثانیه ۳۴
- شکل ۱-۲۷: طیف میانگین شرطی در برابر طیف مدل کاهندگی و UHS ۳۶
- شکل ۱-۲۸: مقایسه طیف میانگین شرطی و تک شتاب نگاشت Castaic Old Ridge Route ۳۶
- شکل ۱-۲۹: تحلیل دینامیکی فزاینده برای ۳۵ شتاب نگاشت ۳۷
- شکل ۱-۳۰: طیف هدف در آیین نامه FEMA ۳۹
- شکل ۱-۳۱: اجزای الگوریتم ژنتیک به شکل شماتیک ۴۱
- شکل ۱-۳۲: انطباق طیف میانگین شتاب نگاشت ها بر طیف هدف ۴۲
- شکل ۱-۳۳: منحنی IDA برای چند شتاب نگاشت به همراه نقاط متناظر ظرفیت فروریزش ۴۴
- شکل ۱-۳۴: انطباق توزیع نرمال داده ها با مقادیر تجربی ۴۴

- شکل ۱-۳۵: منحنی خطر برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال و نسبت سالانه فروریزش ۴۵
- شکل ۲-۱: ساختگاه ایده آل فرضی برای به دست آوردن طیف هدف ۴۷
- شکل ۲-۲: منحنی خطر کل برای ساختگاه فرضی مورد بررسی ۴۸
- شکل ۲-۳: مقایسه دو طیف CMS و E-CMS برای $M=7$ و $R=10\text{km}$ و خطر ۲۴۷۵ سال ۴۹
- شکل ۲-۴: مقایسه میان ضرایب همبستگی در محدوده دوره تناوبی ۵۰
- شکل ۲-۵: طیف E-CMS در پیوند های مختلف برای احتمال وقوع ۲ درصد در ۵۰ سال ۵۰
- شکل ۲-۵: کانتور مقادیر ضرایب همبستگی اپسیلون به دست آمده با بکارگیری مدل کمپل ۲۰۰۸ ۵۵
- شکل ۲-۶: کانتور به دست آمده با بکارگیری مدل آبراهامسون ۵۵
- شکل ۲-۷: ضرایب همبستگی به دست آمده از بکارگیری مدل کمپل ۲۰۰۸ ۵۶
- شکل ۲-۸: کانتور ضرایب همبستگی بر اساس مدل کاهندگی کمپل ۲۰۰۸ در مطالعه بیکر ۵۶
- شکل ۲-۹: کانتور ضرایب به دست آمده بر اساس مدل کاهندگی چپو یانگ ۲۰۰۸ و کانتور مدل ارائه شده برای ضرایب همبستگی توسط بیکر ۵۷
- شکل ۲-۱۰: ضریب همبستگی میان دو مجموعه مقادیر اپسیلون متناظر $0/3$ و $0/6$ ثانیه ۵۸
- شکل ۲-۱۱: کانتور مقادیر اختلاف مابین یک مدل تک ضابطه ای با مقادیر ضرایب همبستگی اصلی ۶۰
- شکل ۲-۱۲: کانتور مقادیر ضرایب همبستگی اصلی و کانتور مقادیر ضرایب همبستگی حاصل از بکارگیری مدل یا رابطه ۳۷ ۶۰
- شکل ۳-۱: مشخصات ساختگاه ایده آل مورد مطالعه به شکل شماتیک ۶۴
- شکل ۳-۲: منحنی خطر کل برای ساختگاه فرضی با در نظر گرفتن $T=1.71\text{sec}$ ۶۴
- شکل ۳-۳: منحنی فروریزش سیستم سازه ای در چهار سطح خطر مختلف ۶۵
- شکل ۳-۴: نسبت سالانه فروریزش برای سازه هشت طبقه $T=1.71\text{ sec}$ ۶۶
- شکل ۳-۵ (a): تغییرات MAF برای سازه های 1001,1001a,1002,1003,1004,1008 ۷۰
- شکل ۳-۵ (b): تغییرات MAF برای سازه های 1009,1010,1011,1012,1013,1014 ۷۰
- شکل ۳-۵ (c): تغییرات MAF برای سازه های 1015,1017,1018,1019,1020,1021 ۷۱
- شکل ۳-۵ (d): تغییرات MAF برای سازه های 1022,1023,1024,2061,2062,2063 ۷۱
- شکل ۳-۵ (c): تغییرات MAF برای سازه های 2064,2065,2066,2067,2068,2069 ۷۲
- شکل ۳-۶: نمای سه بعدی سازه بتنی مورد مطالعه ۷۳
- شکل ۳-۷: پلان سازه مورد بررسی (ابعاد بر حسب متر) ۷۴
- شکل ۳-۸: منحنی خطر ساختگاه و طیف CMS و E-CMS برای $T=0.85\text{sec}$ ۷۴
- شکل ۳-۹: طیف ۲۰ رکورد انتخابی و میانگین شان ۷۵
- شکل ۳-۱۰: انطباق میان طیف میانگین ۲۰ رکورد انتخابی و دو طیف CMS و E-CMS ۷۶
- شکل ۳-۱۱: تحلیل دینامیکی فزاینده برای سازه $T=0.85\text{ sec}$ ۷۶
- شکل ۳-۱۲: منحنی فروریزش سازه سه طبقه بتنی برای احتمال وقوع ۲ درصد در ۵۰ سال ۷۷
- شکل ۳-۱۳: منحنی فروریزش در سطوح خطر گوناگون برای سازه $T=0.85\text{sec}$ ۷۷
- شکل ۴-۱: مقایسه طیف های CMS و E-CMS و UHS برای سناریوی فرضی ۸۰
- شکل ۴-۲: کانتور ضرایب همبستگی اصلاح شده شاخص اتا (ρ') با بکارگیری رابطه (۳۷) ۸۱
- شکل ۴-۳: نسبت سالانه فروریزش برای سازه بیست طبقه ($T=2.63\text{sec}$) ۸۲
- شکل ۴-۴: طیف CMS و E-CMS در برابر طیف هدف NRC 1-165 برای سناریوی مشخص ۸۶

- شکل ج-۱: نمای ارتفاع سازه هشت طبقه ۱۰۱۱ ($T=1.71 \text{ sec}$) ۹۵
- شکل د-۱: نمای سه بعدی SPEAR Building ۹۶
- شکل د-۲: پلان و نمای ارتفاع SPEAR Buildin ۹۶
- شکل د-۳: مقاطع تیرها و ستون های سازه (ابعاد بر حسب میلیمتر) ۹۷
- شکل د-۴: جزئیات آرماتورهای طولی تیر بتن مسلح ۹۷
- شکل د-۵: نمودار نیرو (برش پایه) جابجایی (تغییر مکان بام) ساختمان سه طبقه ۹۸

۱- فصل اول

مقدمه و مروری بر تحقیقات گذشته

۱-۱- مقدمه

تحلیل سیستم‌های سازه‌ای و بررسی عملکرد سازه‌ها به عنوان یکی از مهمترین موضوعات در زمینه‌ی مهندسی عمران تلقی می‌شود. تاکنون این تحلیل‌ها به صورت مختلف ارائه و بررسی شده‌اند. هرچند که انجام یک تحلیل در گذشته به عنوان یک فرآیند پیچیده محسوب می‌شد ولی پیشرفت تکنولوژی و روی کارآمدن رایانه‌های با قدرت پردازش بالا انجام اینگونه تحلیل‌ها را برای مهندسين تسهیل بخشیده است. این پیچیدگی در محاسبات دلیل اصلی ساده سازی در تحلیل لرزه‌ای سیستم‌های سازه‌ای بوده است. با ارتقای ابزار تحلیل و طراحی و بسط و گسترش علم سازه، تحلیل از حالت ارتجاعی به غیر ارتجاعی و از شکل استاتیکی به دینامیکی ارتقا یافته است. به طوری که امروزه تحلیل دینامیکی غیر خطی (غیر ارتجاعی) مد نظر اکثریت محققان قرار گرفته است. زلزله یکی از مهم ترین پدیده های طبیعی محسوب می شود. البته در گذشته‌ای نه چندان دور رخدادی ناشناخته به حساب می آمد. اما امروزه به زلزله با دید دیگری نگریسته می شود دلیل آن هم این است که زلزله نیز به مانند دیگر پدیده یا رخداد-های کره زمین توسط بشر مدل سازی شده و امروزه به عنوان یکی از ملزومات تحلیل دینامیکی مورد استفاده مهندسين قرار گرفته است. هنگامی که یک سیستم سازه‌ای تحت تحلیل دینامیکی قرار می گیرد انتخاب شتاب نگاشت‌ها موضوعی مهم خواهد بود، چرا که انتخاب با دقت شتاب نگاشت‌ها می تواند باعث کاهش حجم محاسبات شود همچنین به کاربر اجازه می دهد از روش های ساده‌ای چون طیف الاستیک بهره گیرد. موضوع انتخاب شتاب-نگاشت زلزله برای تحلیل دینامیکی امروزه از جمله مهمترین موضوعات مشترک سازه و زلزله به حساب می آید و هیچ گونه اجماع کلی در این زمینه وجود ندارد و برخی مواقع آیین نامه‌ها تحلیل دینامیکی را به نظر طراح محدود می کند. اخیراً برخی آیین نامه‌ها طیفی به عنوان طیف هدف معرفی کرده اند که مبنایی برای انتخاب شتاب نگاشت های زمین لرزه باشد. البته نحوه انتخاب نیز بسته به ضوابط ذکر شده می تواند کاملاً متفاوت باشد. اما به عنوان یک کلیت هر قدر طیف شتاب نگاشت انتخابی به طیف هدف نزدیک تر باشد، شتاب نگاشت انتخابی جهت تحلیل دینامیکی مناسب تر خواهد بود. بنابراین پیش بینی رفتار سازه‌ای و پاسخ سیستم که تحت تحریک پایه قرار گرفته است به کمک طیف هدف پیشنهادی میسر خواهد بود. مطالعه حاضر علاوه بر بررسی مهمترین طیف های هدف پیشنهادی توسط آیین نامه ها و البته محققان، طیف جدیدی را معرفی می کند که به عنوان هدف قابل اعتماد تر در نظر گرفته شده و در حقیقت می تواند جایگزین مناسبی برای طیف های گذشته تلقی شود.

۲-۱- هدف از مطالعه

تحلیل دینامیکی خطی یا غیر خطی سیستم سازه‌ای مستلزم بکارگیری شتاب نگاشت های زمین لرزه است. این شتاب نگاشت ها مسلماً باید بر مبنای مناسب و با توجه به هدف تحلیل انتخاب شوند. برخی آیین نامه ها طیف الاستیک به نام طیف هدف یا طیف طرح را ارائه نموده تا اساس انتخاب شتاب نگاشت های ورودی باشند. آیین نامه ASCE7-2005 طیف با خطر یکسان^۱ را مبنای انتخاب قرار داده است [۱] و به کاربر پیشنهاد می‌کند حداقل ۷ شتاب نگاشت را انتخاب کند که طیف میانگین آنها در محدوده مشخص فرکانسی بر طیف هدف منطبق باشد. اما در مطالعاتی که در سال های اخیر انجام شده است، طیف با خطر یکسان که از جمله نتایج بکارگیری تحلیل خطر لرزه‌ای به حساب می‌آید گزینه مناسبی برای این هدف شناخته نشده است. در حقیقت طیف با خط یکسان نمی‌تواند بیانگر یک رخداد تک در نظر گرفته شود [۲]. حتی طیف های انتخابی بر مبنای شتاب طیفی در دوره تناوبی هدف در تمام محدوده فرکانسی شباهتی به طیف مذکور ندارند. اهمیت این مسئله زمانی بیشتر می‌شود که سطح خطر مورد مطالعه افزایش پیدا کرده و به طیف هایی با دامنه بالاتر نیاز پیدا می‌کنیم. البته برای مشکل موجود برخی محققان اقدام به مقیاس کردن شتاب نگاشت ها می‌کنند تا بتوانند گزینه هایی مناسبی برای تحلیل بیابند. اما فلسفه مقیاس کردن همچنان به عنوان یک موضوع باز در زمینه انتخاب شتاب نگاشت ها تلقی می‌شود و هیچ قطعیتی در بکارگیری یا عدم بکارگیری آن وجود ندارد. اما آن چه مسلم است اینکه شتاب نگاشت ثبت شده اصلی نیست. تمام مشکلات مطرح شده به دلیل عدم دسترسی به تعداد زیاد شتاب نگاشت های طبیعی است. تاکنون تنها ۳۵۵۱ شتاب نگاشت ثبت شده وجود دارد که البته برای شرایط مختلف ساختگاه و پارامتر های لرزه‌ای متفاوت به دست آمده اند. استفاده از شتاب نگاشت های مصنوعی و یا نیمه مصنوعی می‌تواند به عنوان یک راه حل مناسب فرض شود اما تحقیقات نشان داده است که ماهیت شتاب نگاشت های تولید شده از این طریق تا به امروز با شتاب-نگاشت های طبیعی متفاوت بوده است [۳]. در سال های اخیر طیف جدیدی به نام طیف میانگین شرطی توسط بیکر و همکاران معرفی شده است که از مزایای شاخص اپسیلون کم می‌گیرد. شاخص اپسیلون به عنوان شاخص شکل طیفی در تحلیل و برآورد پاسخ سازه ها بسیار با اهمیت دیده شده است. طیف مذکور نشان داده است که می‌تواند به عنوان جایگزین مناسب برای طیف با خطر یکسان در نظر گرفته شود. اخیراً شاخص جدیدی به عنوان شاخص شکل طیف الاستیک توسط موسوی و همکاران ارائه گردیده و تحت عنوان شاخص اتا شناخته شده است [۴]. این شاخص همبستگی بیشتری با پاسخ غیر خطی سیستم سازه‌ای نشان داده است. به بیان دیگر همبستگی میان شاخص اتا و پاسخ غیر خطی سیستم سازه‌ای نزدیک به ۵۰ درصد افزایش پیدا کرده است. شاخص اتا در حقیقت یک ترکیب خطی از چند شاخص

¹ Uniform Hazard Spectrum (UHS)

اپسیلون است. البته مهمترین معیار های جنبش زمین که در شاخص اتا در نظر گرفته شده اند حداکثر شتاب طیفی و حداکثر سرعت زمین هستند. مطالعه حاضر به عنوان یک نقطه مشترک برای طیف هدف و شاخص جدید بوده و طیف هدف جدیدتری با نام طیف میانگین شرطی بر اساس شاخص اتا نموده است که در حقیقت از شاخص اتا به جای اپسیلون بهره گرفته است.

۳-۱- طیف هدف و کاربرد آن

طیف هدف در آیین نامه های مختلف تعریف شده و کاربر را ملزم به در نظر گرفتن برخی نکات می کند. از آن جمله آیین نامه ۲۸۰۰ ایران که طیف هدف را تحت عنوان طیف طرح استاندارد یا طیف طرح ویژه ساختگاه معرفی می کند. مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ سه جفت شتاب نگاشت متعلق به مؤلفه های افقی سه زلزله باید انتخاب شوند که آثار بزرگا و فاصله از گسل و منبع تولید زمین لرزه در آن ها دیده شده باشد. همچنین موارد انتخابی باید به مقدار حداکثر شتاب زمین مقیاس شوند و پس از تطابق میانگین آنها با طیف استاندارد شتاب نگاشت ها با در نظر گرفتن ضریب مقیاس شان در تحلیل دینامیکی مورد استفاده قرار بگیرند [۵]. به هر حال محدود کردن شتاب نگاشت های انتخابی که آثار بزرگا و فاصله از گسل و منبع تولید زمین لرزه در آن ها دیده شده از گزینه های انتخاب می کاهد. تا جایی که برای سطوح خطر بالا ممکن است عملاً شتاب نگاشتی برای انتخاب وجود نداشته باشد. طیف هدف مورد بحث در آیین نامه های نام آشنایی چون FEMA 450 و ASCE7-5 طیف با خطر یکسان است [۶] و [۱]. اغلب آیین نامه ها برای انطباق میانگین طیف شتاب نگاشت ها با طیف هدف محدوده فرکانسی مشخصی را پیشنهاد می کنند. به عنوان مثال آیین نامه های ذکر شده محدوده بین (0.2T-1.5T) را به عنوان محدوده مناسب مقایسه، ذکر کرده اند. پارامتر T بیانگر دوره تناوب متناظر با حالت اول ارتعاشی سیستم سازه ای است. دلیل این امر آن است که اثرات حالت های بالاتر ارتعاش و رفتار غیر خطی سیستم نیز در نظر گرفته شده باشند. قابل ذکر است که تمام طیف های مورد بحث طیف های الاستیک بوده و جهت ساده سازی موضوع حالت خطی مبنای انتخاب طیف هدف قرار گرفته است. به هر حال کاربر موظف است با مطالعه دقیق آیین نامه مورد استفاده طیف هدف را استخراج نماید و از آن برای انتخاب شتاب نگاشت ها استفاده نماید. اما به طور کلی طیف هدفی که اثر خود سیستم سازه ای مورد بحث در آن دیده نشده باشد و نتیجه بررسی و تحلیل خطر لرزه ای ساختگاه نباشد یا صرفاً به کمک مقیاس کردن ساده حاصل شده باشد، امروزه در میان محققان جایی نداشته و در اکثر آیین نامه ها نیز جایگزین شان معرفی شده اند. اما طیف با خطر یکسان از جمله مهمترین جایگزین های حال حاضر بوده و معتبر ترین آیین نامه ها نیز این طیف را جایگزین طیف های گذشته نموده اند. طیف UHS به همراه برخی از دیگر طیف های طراحی که در سال های اخیر توسط محققان ارائه گردیده اند و هنوز در آیین نامه ها وارد نشده اند، در ادامه مورد بحث قرار خواهند گرفت.

۴-۱- مدل های پیش بینی حرکت یا جنبش زمین^۱ (مدل های کاهندگی)

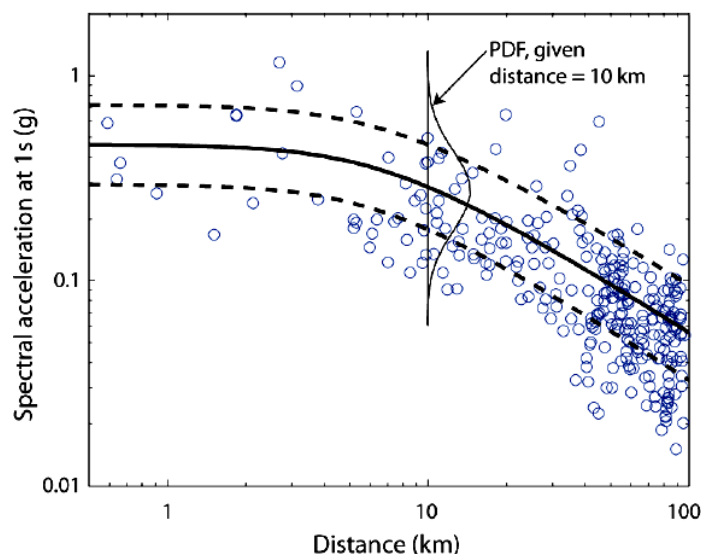
مدل های کاهندگی یا مدل های پیش بینی حرکت زمین مقادیر شدت تحریک را به صورت تابعی از پارامتر های لرزه ای ارائه می کنند. با توجه به اینکه پارامتر های جنبش زمین با دور شدن از منبع زمین لرزه کاهش پیدا می کنند، این مدل ها با عنوان مدل های کاهندگی شناخته می شوند. از جمله معیار های شدت^۲ می توان به شتاب طیفی (Sa)، حداکثر شتاب زمین (PGA)، حداکثر سرعت زمین (PGV) و حداکثر جابجایی زمین (PGD) اشاره نمود. مهمترین پارامتر های لرزه ای که در اکثر مدل های ارائه شده وجود دارند بزرگا و فاصله زمین لرزه تا محل ثبت ارتعاش هستند. به عنوان یک تعریف کلی می توان گفت با افزایش میزان بزرگا و کاهش فاصله منبع زمین لرزه تا ساختگاه پارامتر های جنبش زمین که خروجی مدل کاهندگی خواهند بود افزایش پیدا می کنند. بررسی پارامتر های لرزه ای در برابر معیارهای شدت محققان را به این نتیجه رسانیده است که پارامتر های یاد شده در یک الگوی مشخص قابل بیان و تفسیر هستند. به عنوان مثال شکل (۱-۱) به نحو ساده این حقیقت را نشان می دهد. مقادیر معیار شدت Sa حاصل از یک مجموعه شتاب نگاشت در برابر فواصل رخدادهای متناظر ترسیم شده اند. همانطور که مشخص است در صورتی که داده ها مرتب-سازی شوند یک الگوی مناسب قابل استخراج خواهد بود. به بیان دیگر می توان گفت بین مؤلفه فاصله و معیار شتاب طیفی رابطه ای مشخص وجود دارد. مدل های کاهندگی از ابزار مهم در تحلیل خطر لرزه ای به شمار می روند. این مدل ها معمولاً از روی داده های موجود و به دست آمده از شتاب نگاشت های طبیعی ثبت شده، و با کمک تحلیل رگرسیون و بکارگیری متغیر های مختلف به دست می آیند به نحوی که ارتباطی میان معیار شدت با پارامتر لرزه ای مورد بحث به دست می آید. این معادلات معمولاً به فرم رابطه (۱) بیان می شوند.

$$IM = f(M, R, T, \theta) \quad (1)$$

که در آن IM معیار شدت، M بزرگا، R فاصله، T پیرو و θ پارامتر های دیگر لرزه ای است که در مدل های گوناگون متفاوت است. محققان پارامتر های متفاوتی را در مدل های ارائه شده استفاده نموده اند. در ایجاد یک مدل کاهندگی ابتدا یک مجموعه شتاب نگاشت مناسب مورد بررسی قرار می گیرد و در لیست مطالعه وارد می شوند سپس شتاب نگاشت ها بر اساس اینکه اصلی هستند یا پس لرزه اند دسته بندی و در صورت لزوم اصلاح می شوند.

¹ Ground Motion Prediction Models (GMPMs) or Attenuation Models

² Intensity Measure (IM)



شکل ۱-۱: مقادیر شتاب طیفی در برابر فاصله برای شتاب نگاشت های مختلف [۷]

آنگاه سعی می شود که بهترین مدل انطباق مطابق با فرم کلی معادله (۲) با مجموعه تمامی داده ها به دست آید. البته قابل ذکر است که انتخاب مجموعه شتاب نگاشت ها بر اساس منطقه مورد بررسی و مشخصات تکتونیکی انجام می گیرد به طور مثال یک مدل کاهندگی ممکن است برای منطقه آمریکای مرکزی و شرقی ارائه شود. به طور کلی تمام مدل های ارائه شده نیز بر این اساس شکل گرفته اند.

$$\ln(IM) = \ln(M) + \ln(R) + \ln(M, R) + \ln(\theta) + Error \quad (2)$$

محققانی که در دهه گذشته اقدام به ارائه مدل های کاهندگی نموده اند در سال ۲۰۰۸ زیر نظر مرکز تحقیقاتی PEER اقدام به ارائه مدل های اصلاح شده و به روز شده نمودند. در ادامه به دو نمونه از این مدل ها به صورت مختصر اشاره می گردد [۸]. مهمترین و پر کاربرد ترین این مدل ها در کار محققان عبارت اند از:

۱. مدل بور و آتکینسون [۹].
۲. مدل کمپل و بزرگ نیا [۱۰].
۳. مدل چیو و یانگ [۱۱].
۴. مدل آبراهامسون و سیلوا [۱۲].

۱-۴-۱- مدل بور و آتکینسون

بور و همکاران در سال ۱۹۹۷ اقدام به ارائه مدل کاهندگی نموده و آخرین مدل اصلاح شده و به روز شده را نیز در سال ۲۰۰۸ ارائه نموده اند. مدل سال ۱۹۹۷ (BJF97) از معیار های

شدت تنها مقدار شتاب طیفی را پیش بینی می کند و بر مبنای محدوده پریودهای ۰/۱ تا ۲ ثانیه به دست آمده است [۱۳]. در این مدل علاوه بر دو پارامتر بزرگا و فاصله، نوع گسل و میانگین سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متری زمین (V_{s30})، برای محاسبات ضروری است. البته منظور از پارامتر فاصله در این مدل فاصله جویئر بور (R_{jb}) می باشد. مدل سال ۲۰۰۸ از بکارگیری ۱۵۷۴ شتاب نگاشت به دست آمده از ۵۸ رخداد زلزله در فاصله بین ۰ تا ۴۰۰ کیلومتری حاصل شده است [۹]. علاوه بر اینکه محدوده پریودهای مورد استفاده در مدل به ۰/۱ تا ۱۰ ثانیه تغییر یافته است. همچنین علاوه بر معیار شدت شتاب طیفی دو معیار شدت PGA و PGV نیز از این مدل قابل پیش بینی هستند. این مدل براساس میانگین هندسی دو مؤلفه افقی ارائه گردیده است. محدوده قابل استفاده پارامترها در مدل ۲۰۰۸ به شکل زیر خلاصه شده اند.

- محدوده بزرگای بین ۵ تا ۸.
- فاصله R_{jb} کمتر از ۲۰۰ کیلومتر.
- سرعت موج برشی بین ۱۸۰ تا ۱۳۰۰ متر بر ثانیه.

۱-۴-۲- مدل کمپل و بزرگنیا

کمپل در سال ۱۹۹۷ اقدام به ارائه مدل کاهندگی نموده و آخرین مدل اصلاح شده و به روز شده را نیز در سال ۲۰۰۸ ارائه نموده است. مدل سال ۱۹۹۷ به دو شکل، مدل برای مؤلفه های افقی و یک مدل برای مؤلفه قائم زمین لرزه ارائه شده بود. از جمله پارامترهای مورد استفاده در این مدل می توان به نوع گسل، نوع خاک، عمق تا سنگ بستر اشاره نمود. البته فاصله در این مدل نزدیک ترین فاصله تا محل گسیختگی (R_{rup}) در نظر گرفته شده است [۱۴]. در حالی که مدل اصلاح شده سال ۲۰۰۸ از پارامترهای بیشتری بهره می گیرد. این مدل با بکارگیری ۱۵۶۱ شتاب نگاشت از ۶۴ رخداد زمین لرزه ایجاد شده است. محدوده قابل استفاده پارامترها در مدل ۲۰۰۸ به شکل زیر خلاصه شده اند [۱۰].

- بزرگا برای گسل های (Strike Slip) بین ۴ تا ۸/۵.
- بزرگا برای گسل های معکوس (Reverse Fault) بین ۴ تا ۸.
- بزرگا برای گسل های نرمال (Normal Fault) بین ۴ تا ۷/۵.
- نزدیک ترین فاصله تا گسیختگی بین ۰ تا ۲۰۰ کیلومتر.
- سرعت موج برشی بین ۱۸۰ تا ۱۵۰۰ متر بر ثانیه.
- عمق مربوط به سرعت موج برشی ۲/۵ کیلومتر بر ثانیه (Z_{vs}) بین ۰ تا ۶ کیلومتر.
- فاصله بالاترین نقطه گسل تا سطح زمین (Z_{tor}) بین ۰ تا ۲۰ کیلومتر.
- میانگین زاویه صفحه گسیختگی با سطح افقی (Delta) بین ۱۵ تا ۹۰ درجه.