بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده عمران و محیط زیست

پایان نامه دوره دکتری

تعیین شتاب طیفی مناطق مختلف و اثرات حوزه نزدیک با استفاده از طیف خطر یکنواخت

توسط:

حسن آقابراتی

استاد راهنما:

دکتر محسن تهرانی زاده

زمستان ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ: ۱۳۸۸/۲/۲۰
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: حسن آقابراتی | دانشجوی آزاد ● | بورسیه ○ | معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۱۲۲۴۹۰۸ | دانشکده: عمران و محیط زیست | رشته تحصیلی: عمران | گروه: سازه

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: دکتر محسن تهرانی زاده | درجه و رتبه: استاد

نام و نام خانوادگی: | درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: | درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: | درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی :

تعیین شتاب طیفی مناطق مختلف و اثرات حوزه نزدیک با استفاده از طیف خطر یکنواخت

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی:

Estimation of Acceleration Response Spectra in Near-Source Regions and Near-Source Effects on Design Response Spectrum (Uniform Hazard Spectra)

نوع پروژه: کارشناسی ○ | ارشد ○ | دکترا ● | سال تحصیلی: ۱۳۸۷

کاربردی ● | بنیادی ○ | توسعه‌ای ○ | نظری ●

تاریخ شروع :۱۳۸۵/۱۱/۲۰ | تاریخ خاتمه :۱۳۸۷/۱۲/۲۱ | تعداد واحد :۲۴ | سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: رابطه تجربی حرکت زمین، زلزله پوسته ای کم عمق، حوزه نزدیک، مکانیزم گسلش، فرادیواره

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Empirical Ground-Motion, Shallow Crustal Earthquake, Near-Source, Mechanism

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۲۶۲	تصویر ● جدول ● نمودار ● نقشه ○ واژه‌نامه ○		تعداد مراجع ۱۲۵	تعداد صفحات ضمائم ۱۴
زبان متن	فارسی ●	انگلیسی ○	چکیده	فارسی ●	انگلیسی ●
یادداشت					

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو: توصیه می شود که بودجه های پژوهشی دانشگاه افزایش یابد.

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:۱۳۸۷/۱۲/۲۱**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت PDF همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه
۲ : ارائه به کتابخانه دانشکده (شامل دو جلد پایان نامه به همراه نسخه الکترونیکی فرم در لوح فشرده طبق نمونه اعلام شده در صفحه خانگی کتابخانه مرکزی)
مرکزی)

بسمه تعالی

اینجانب بر خود لازم می دانم که به پاس از رهنمودهای ارزنده و همچنین راهنمایی های آموزنده استاد ارجمند جناب آقای دکتر محسن تهرانی زاده در مراحل مختلف مطالعاتی، پژوهشی و تحلیلی و همچنین تدوین این پایان نامه کمال سپاسگزاری و قدردانی را تقدیم نمایم. همچنین از هیئت داوران محترم که در مراحل مختلف در جهت بهتر شدن این مطالعه رهنمودهای ارزنده ای داشته اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقدیم به پدر و مادر گرامی ام

به پاس از یاری ها و فداکاری های ایشان

بنام خدا

تعهد نامه اصالت اثر تاریخ: 1387/12/21

اینجانب حسن آقابراتی متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی امیرکبیر بوده و به دستاورد های دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات و روال متعارف ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

حسن آقابراتی

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه دکتری متعلق به دانشگاه صنعتی امیرکبیر می باشد. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی امیرکبیر ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

چکیده:

هدف این پروژه تهیه شتاب طیفی مناطق نزدیک گسل و اثرات حوزه نزدیک می باشد. برای بدست آوردن شتاب طیفی مناطق مختلف ارائه روابط کاهندگی (Attenuation Relationships) مناسب برای ساختگاه های حوزه نزدیک (Near-Source) مورد نیاز است. در راستای این پژوهش تعداد 751 رکورد حوزه نزدیک با شرایط میدان آزاد (Free-Filed) از 57 رخداد حرکت نیرومند زمین انتخاب شده اند. رکوردهای انتخابی پردارش شده هستند که بر اساس حداکثر دوره نتاوب قابل قبول در آنالیز ها مشارکت داده شده اند. انتخاب رکوردها بر مبنای تعریف حوزه نزدیک با معیارهای $0 \le R_{rup} \le 60 km$ و $5.2 \le M_W < 7.9$ بوده است. رکوردهای انتخابی همه مربوط به رخداد های پوسته ای کم عمق در مناطق تکتونیکی فعال هستند با فرض اینکه متوسط حرکت این رخداد ها در فواصل کوتاه یکسان باشد. رخداد های جدیدی نظیر Denali, Alaska 2002، Hector Mine, Western United States 1999، Kocaeil, Turkey 1999، Douze, Turkey 1999، Chi-chi, Taiwan 1999 و Kobe, Japan 1995 در توسعه بانک اطلاعاتی داده های حوزه نزدیک بکار گرفته شده اند. پارامترهای انتخاب شده حداکثر بیشینه شتاب افقی (متوسط هندسی) و قائم زمین (Peak Ground Acceleration) و همچنین شبیه شتاب طیفی مولفه افقی (متوسط هندسی) و قائم زمین (Pseudo Spectral Acceleration) بوده است. همچنین رابطه کاهندگی حداکثر تغییر مکان زمین (Peak Ground Displacement) نیز ارائه شده است. این پارامتر ها در محدوده دوره تناوب صفر تا 10 ثانیه بدست آمده اند که با توجه به کیفیت داده ها بویژه داده های مربوط به شتاب نگارهای آنالوگ مقادیر طیفی بالای 4 ثانیه با ملاحظات ویژه ای قابل کاربرد هستند. همچنین عدم قطعیت در تخمین پارامترهای PGA و PSA و انحراف استاندارد رابطه مورد بحث و بررسی قرار گرفته که می توانند ملاحظات جدیدی جهت تهیه طیف‌های احتمالی خطر زلزله برای PGA و PSA باشند.

در توسعه روابط کاهندگی حوزه نزدیک سعی شده از مدل هایی استفاده شود که برون یابی این مدل ها تا حد امکان بشکل مناسب امکان پذیر باشد. جهت کمک به برون یابی مدل ها از مدل های تحلیلی مناسب نیز کمک گرفته شده است. مبنای فرم توابع تحلیل باقیمانده و نتایج شبیه سازی حرکات نیرومند زمین بوده است. بر این اساس توابعی برای مدل سازی اثرات بزرگای، فاصله، فرادیواره، نوع مکانیزم گسیختگی، عمق گسیختگی تا سطح، پاسخ خطی و غیر خطی ساختگاه، پاسخ رسوبات کم عمق و عمیق ارائه شده که با حرکات نیرومند حوزه نزدیک زمین سازگاری دارند. بر اساس تحلیل باقیمانده روابط کاهندگی ارائه شده نسبت به پارامترهای منبع (بزرگای، شیب و عمق گسیختگی تا سطح) و ساختگاه (فاصله و سرعت امواج برشی ساختگاه) غیر بایاسی هستند و متوسط باقیمانده صفر است. مقایسه ای بین روابط کاهندگی ارائه شده در این پروژه و روابط توسعه یافته قبلی جهت کنترل رفتار و توانایی مدل های ارائه شده انجام گرفته است.

کلمات کلیدی: رابطه تجربی حرکت زمین، زلزله پوسته ای کم عمق، حوزه نزدیک، مکانیزم گسلش، فرادیواره، عمق به سطح گسیختگی، پاسخ غیر خطی خاک، عمق رسوبات

فهرست مطالب **صفحه**

فصل اول- طیف‌های خطر یکنواخت و رابطه کاهندگی 1

1-1- مقدمه 1
2-1- رابطه کاهندگی 2
3-1- پارامترهای حرکت نیرومند زمین 4
4-1- تاریخچه روابط کاهندگی 8
5-1- مدل های کاهندگی جدید 8
6-1- رابطهٔ کاهندگی خاور میانه و فلات ایران 14

فصل دوم- خصوصیات حرکات نیرومند حوزه نزدیک 21

1-2- مقدمه 21
2-2- بانک اطلاعاتی حرکت‌های نیرومند زمین 22
3-2- اثرات فاصله و عمق رسوب بر دامنه طیفی حرکات حوزه نزدیک 24
4-2- مکانیزم گسلش زلزله‌های حوزه نزدیک 25
5-2- شرایط ساختگاهی مناطق حوزه نزدیک 25
6-2- شرایط خاص انتخاب رکوردها 28
7-2- استخراج رابطه کاهندگی با تحلیل رگرسیون 28
8-2- مطالعات پیشین در روابط حوزه نزدیک حرکات زمین 30
9-2- اثرات رهنمودی حوزه نزدیک 34
10-2- شبیه سازی حرکات نیرومند در حوزه نزدیک 41
11-2- اثرات توپوگرافی سطحی و هندسه حوزه 45

فصل سوم- بانک اطلاعاتی داده ها 48

1-3- معرفی 48
2-3- مدل های تحلیلی 49
3-3- معرفی ساختار و مراحل پروژه 51
4-3- انتخاب داده 52
5-3- زلزله های غیر قابل کاربرد 53
6-3- زلزله هایی که اطلاعات منبع ندارند 54
7-3- ایستگاه هایی که رکورد حوزه آزاد ندارند و یا قابل کاربرد بعنوان حوزه آزاد نیستند 64

فهرست مطالب **صفحه**

3-8- رکوردهای خارج شده بسبب نداشتن V_{S30} 64
3-9- ایستگاه های هم موقعیت 65
3-10- ایستگاه هایی که پارامترهای حرکت زمین ندارند یا اینکه کیفیت پایینی دارند 68
3-11- انتخاب فاصله بر مبنای تعریف حوزه نزدیک 70
3-12- مجموعه نهایی داده انتخابی 71

فصل چهارم - فرم توابع مدل کاهندگی 80

4-1- مقدمه 80
4-2- روش های رگرسیونی 81
4-3- اساس مدل کاهندگی 82
4-4- مقیاس بندی فاصله 83
4-5- مقیاس بندی بزرگای 85
4-6- تشدید ساختگاه 92
4-7- اثرات عمق به سطح 98
4-8- فاکتورهای نوع گسلش 103
4-9- اثرات فرا دیواره 104
4-10- اثرات جهت پذیری 118
4-11- مقیاس بندی عمق خاک 128
4-12- انحراف استاندارد 136

فصل پنجم - مدل رگرسیونی 141

5-1- مدل رگرسیونی 141
5-2- متودولوژی رگرسیون 144
5-3- تحلیل رگرسیون 146
5-4- نتایج 161
5-5- شکل طیف دوره تناوب بلند 182

فصل ششم – تجزیه و تحلیل نتایج مدل تحلیلی 192

6-1- مقایسه تغییرات بیشینه شتاب زمین با فاصله 192

فهرست مطالب **صفحه**

6-2- مقایسه رابطه کاهندگی توسعه یافته با مدل های کاهندگی که در سالها اخیر توسعه یافته اند 197
6-3- نتایج مدل تحلیلی 205
6-4- ارزیابی کاهندگی شتاب طیفی با فاصله R_{rup} 205
6-5- اثرات بزرگای بر دامنه شتاب طیفی 206
6-6- اثرات نوع مکانیزم گسلش و ساختگاه بر دامنه شتاب طیفی 208
6-7- تحلیل باقیمانده درون- رخداد 213
6-8- اثرات عمق رسوبات بر دامنه شتاب طیفی 214
6-9- مقایسه با روابط کاهندگی قبلی 215
6-10- برآورد تحلیل خطر یکنواخت و طیف خطر برای یک گستره طرح 220

نتایج و پیشنهادات 235
پیشنهادات 239
فهرست منابع و مراجع 240
پیوست الف- فرآیند تصحیح رکوردها 246
پیوست ب - تحلیل رگرسیون 255

فهرست جداول

صفحه

جدول (2-1): رابطه بین گروه‌های ساختگاهی و سرعت امواج برشی ساختگاه 27
جدول (2-2): ضرایب سامرویل و همکاران برای مدل جهت پذیری منبع 40
جدول (3-1): محدودیت ها و نیازمندی های مدل 49
جدول (3-2): لیست زلزله هایی که بعلت شرایط تکتونیکی در آنالیز قابل کاربرد نیستند 55
جدول (3-3): رخداد هایی که عمق کانونی ندارند 56
جدول (3-4): زلزله های زاویه گسیختگی و زاویه شیب گسل ندارند 58
جدول (3-5): رخداد هایی که مکانیزم کانونی آنها تخمین زده شده است 59
جدول (3-6): نتایج تخمین عمق به سطح از مدل یانگز 60
جدول (3-7): رکورهایی که عدم قطعیت بالایی در تخمین پارامترهای منبع دارند 63
جدول (3-8): کلاس ها و توصیف کلاس های $GMX\ C1$ 65
جدول (3-9): ایستگاههایی که تعریف کلاس بندی $GMX\ C1$ ندارند 66
جدول (3-10): ایستگاه هایی که پارامتر V_{S30} ندارند 68
جدول (3-11): ایستگاه هایی که یک مولفه افقی دارند 69
جدول (3-12): رکوردهای با کیفیت پایین که توسط لی و همکاران معرفی شده اند 70
جدول (3-13): مجموعه نهایی رخداد های بکار برده شده جهت توسعه رابطه کاهندگی 72
جدول (3-14): توزیع تعداد رکورد بر زلزله 75
جدول (4-1): تغییرات ضرایب تشدید غیر خطی ساختگاه بر مبنای تحلیل تجربی 94
جدول (4-2): مجموعه داده های مربوط به تکانه اصلی رخداد ها که بر روی فرا دیواره قرار دارند 105
جدول (4-3): ضرایب مدل سازی پاسخ سه بعدی حوزه SCEC 133
جدول (5-1): مراحل فرآیند یکنواخت سازی ضرایب 147
جدول (6-1): خلاصه ای از مجموعه داده های انتخابی در مدل های انتخاب شده 198
جدول (6-2): فرم توابع بکار رفته در مدل ها 199
جدول (6-3): گروه های ساختگاهی آیین نامه NEHRP 213

فهرست شکل ها

صفحه

شکل(1-1): تعاریف مختلف برای فاصله لرزه زا تا ساختگاه 7
شکل(2-1): توزیع رکوردهای حوزه نزدیک بر اساس بزرگای و فاصله 24
شکل(2-2): انواع گسل ها و ساز و کار آنها 26
شکل(2-3): رکورد شتاب و سرعت زمین زلزله نورتریج کالیفرنیا 1994 در ایستگاه رینالدی (S48W) 36
شکل(2-4): الگوی تشعشع تغییرات دامنه امواج برشی افقی و فشاری 37
شکل(2-5): شکل الگوی تشعشع برای گسل عمودی امتداد لغز 37
شکل(2-6): شمای هندسی پارامترهای تعریف شده که در مدل مهندسی اثرات جهت پذیری منبع بکار برده شده اند 40
شکل(2-7): مشخصه حرکات نیرومند حوزه نزدیک زمین 45
شکل(2-8): پالس‌های سرعت رکورد حرکات نیرومند حوزه نزدیک 46
شکل (3-1): شبیه سازی سه بعدی پاسخ حوزه بر اساس $V_S = 1000\,m/s$ 51
شکل (3-2): تعریف پارامترهای منبع 55
شکل (3-3): توزیع زلزله ها نسبت به بزرگای برای رخدادهایی بر مبنای مدل گسل محدود 56
شکل (3-4): وابستگی پریودی تعداد رکوردها در زیرمجموعه انتخابی 75
شکل (3-5): وابستگی پریودی تعداد زلزله ها در زیرمجموعه انتخابی بر اساس حداقل فرکانس قابل کاربرد 76
شکل (3-6): توزیع بزرگای- فاصله برای مجموعه داده ها در T=0 76
شکل (3-7): توزیع بزرگای- فاصله برای مجموعه داده ها در T=2 (sec) 76
شکل (3-8) توزیع بزرگای- فاصله برای مجموعه داده ها در T=5 (sec) 77
شکل (3-9) توزیع بزرگای- فاصله برای مجموعه داده ها در T=10 (sec) 77
شکل(3-10): همبستگی بین زاویه گسیختگی و عمق به سطح بین داده های انتخابی 78
شکل(3-11): همبستگی بین زاویه گسیختگی و بزرگای بین داده های انتخابی 78
شکل(3-12): همبستگی بین زاویه بزرگای و عمق به سطح بین داده های انتخابی 79
شکل (4-1): مقایسه بین وابستگی بزرگای به شیب فاصله برای داده های کلی و تایوانی 84
شکل (4-2): مقایسه باقیمانده درون- رخداد در امتداد و انتهای گسیختگی 86
شکل (4-3): مقایسه باقیمانده درون- رخداد در امتداد و انتهای گسیختگی 86
شکل (4-4): مقایسه باقیمانده درون- رخداد $M = 5.9$ در امتداد و انتهای گسیختگی 86
شکل (4-5): مقایسه باقیمانده درون- رخداد $M = 6.2$ در امتداد و انتهای گسیختگی 87
شکل (4-6): مقایسه باقیمانده درون- رخداد $M = 6.3$ در امتداد و انتهای گسیختگی 87
شکل (4-7): شبیه سازی بزرگای در فواصل کوتاه از شبیه سازی یک بعدی رخداد امتداد لغز 89
شکل (4-8): مقایسه مقیاس بندی PGA - زلزله امتداد لغز بر مبنای شبیه سازی یک بعدی 89
شکل (4-9): تغییرات PGA در حالت اشباع کامل با فاصله برای بزرگاهای مختلف 90
شکل (4-10): شکل طیف پاسخ نرمالیزه شده بر مبنای مدل منبع نقطه ای در فاصله 30 کیلومتر 91
شکل (4-11): مقایسه برون یابی مدل های $n = 2$ و $n = 3$ با شکل طیف نرمالیزه شده مدل منبع نقطه ای 91
شکل (4-12): ضریب کنترل کننده تابع تشدید خطی بر حسب پریود 95
شکل (4-13): مقایسه ضرایب تابع غیر خطی در پریود های مختلف 95
شکل (4-14): انتخاب ضرایب تشدید غیر خطی c_{22}، استفاده از برازش تابع درجه دوم 96
شکل (4-15): انتخاب ضرایب تشدید غیر خطی c_{23} 96
شکل (4-16): تشدید ساختگاه در دوره تناوب T=0.2 (sec) برای ساختگاه های مختلف 97
شکل (4-17): تشدید ساختگاه در دوره تناوب T=3.0 (sec) برای ساختگاه های مختلف 98
شکل (4-18): باقیمانده درون- رخدادی PGA نسبت به زاویه گسیختگی و عمق به سطح 99

شکل (4-19): باقیمانده درون- رخدادی T=0.2 (sec) نسبت به زاویه گسیختگی و عمق به سطح 99
شکل (4-20): باقیمانده درون- رخدادی T=2 (sec) نسبت به زاویه گسیختگی و عمق به سطح 100
شکل (4-21): باقیمانده درون- رخدادی PGA نسبت به عمق به سطح 100
شکل (4-22): مدل خطی برای مقیاس بندی عمق به سطح رخدادهای معکوس و امتداد لغز در PGA 102
شکل (4-23): مدل خطی برای مقیاس بندی عمق به سطح رخدادهای معکوس و امتداد لغز در T=2 (sec) 102
شکل (4-24): وابستگی باقیمانده درون- رخدادی برای PGA به زاویه گسیختگی پس از حذف وابستگی عمق به سطح 103
شکل(4-25): باقیمانده درون- رخدادی از تحلیل های اولیه برای اثرات فرادیواره برای رخداد چی- چی 109
شکل(4-26): باقیمانده درون- رخدادی از تحلیل های اولیه برای اثرات فرادیواره برای رخداد نورتریج 109
شکل(4-27): باقیمانده درون- رخدادی از تحلیل های اولیه برای اثرات فرادیواره برای رخداد لوما پریتا 109
شکل (4-28): باقیمانده درون- رخدادی از تحلیل های اولیه برای اثرات فرادیواره برای رخداد نورث پالم اسپرینگ 110
شکل (4-29): باقیمانده درون- رخدادی از تحلیل های اولیه برای اثرات فرادیواره برای رخداد ویتیر نروز 110
شکل (4-30): باقیمانده درون- رخدادی از تحلیل های اولیه برای اثرات فرادیواره برای رخداد کاپه مندوسینو 110
شکل (4-31): باقیمانده طیف شتاب برای رخداد معکوس با بزرگای 7/0 (تابعی از موقعیت فرادیواره و فرو دیواره) 112
شکل (4-32): باقیمانده طیف شتاب برای رخداد معکوس با بزرگای 6/5 (تابعی از موقعیت فرادیواره و فرو دیواره) 113
شکل (4-33): باقیمانده طیف شتاب برای رخداد معکوس با زاویه شیب 30 درجه 113
شکل (4-34): تغییرات باقیمانده درون- رخدادی برای رخداد های معکوس نسبت به فاصله جوینر- بور R_{JB} 114
شکل (4-35): تعریف فواصل L و l_x در مدل فرا دیواره 115
شکل (4-36): تغییرات باقیمانده درون- رخدادی فرادیواره 116
شکل (4-37): تغییرات باقیمانده درون- رخدادی نسبت به بزرگای 117
شکل (4-38): تغییرات باقیمانده درون- رخدادی نسبت به زاویه شیب 117
شکل (4-39): تغییرات باقیمانده درون- رخدادی نسبت به عمق به سطح گسیختگی 118
شکل (4-40): تصویر پلان (تصویر سمت راست) و مقطع عرضی (تصویر سمت چپ) پارامترهای جهت پذیری 119
شکل (4-41): باقیمانده شتاب طیفی برای رخداد امتداد لغز SD بصورت یک تابع از امتداد لغزش جهت پذیری 123
شکل (4-42): باقیمانده شتاب طیفی برای رخداد امتداد لغز SH بصورت یک تابع از امتداد لغزش جهت پذیری 124
شکل (4-43): متوسط اثرات جهت پذیری از شبیه سازی URS در دوره تناوب 5 ثانیه برای رخداد امتداد لغز 124
شکل (4-44): متوسط اثرات جهت پذیری از شبیه سازی URS در دوره های مختلف تناوب- امتداد لغز 124
شکل (4-45): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=1.5 (sec) 125
شکل (4-46): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=3 (sec) 125
شکل (4-47): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=5 (sec) 125
شکل (4-48): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=10 (sec) 126
شکل (4-49): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=1.5 (sec) ((XLCOS(theta)) 126
شکل (4-50): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=3 (sec) ((XLCOS(theta)) 126
شکل (4-51): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=5 (sec) ((XLCOS(theta)) 127
شکل (4-52): باقیمانده درون- رخدادی اثرات جهت پذیری در دوره تناوب T=10 (sec) ((XLCOS(theta)) 127
شکل(4-53): همبستگی بین پارامتر جهت پذیری XLCOS(theta) و بزرگای 127
شکل(4-54): مقایسه متوسط اثرات جهت پذیری برای بزرگای های مختلف در دوره تناوب T=5 (sec) 128
شکل (4-55): همبستگی بین V_{S30} و $Z_{1.5}$ 130
شکل (4-56): همبستگی بین $Z_{2.5}$ و $Z_{1.5}$ 130
شکل (4-57): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{1.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=1.5 (sec)- 130
شکل (4-58): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{1.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=3 (sec)- 131
شکل (4-59): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{1.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=5 (sec)- 131

شکل (4-60): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{1.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=10 (sec)- 131
شکل (4-61): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{2.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=1.5 (sec)- 132
شکل (4-62): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{2.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=3 (sec)- 132
شکل (4-63): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{2.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=5 (sec)- 132
شکل (4-64): باقیمانده درون- رخدادی بصورت یک تابع از $Z_{2.5}$ برای $115m/s<V_{S30}<410m/s$ T=10 (sec)- 133
شکل (4-65): وابستگی تشدید ساختگاه عمق رسوبات در دوره های تناوب مختلف 134
شکل (4-66): همبستگی بین $\ln(V_{S30}/1500)$ و $\ln(Z_{1.5})$ در بانک داده و رابطه تخمینی 135
شکل (5-1): ضرایب عمق مجازی تخمین زده شده برای مولفه افقی و قائم و اعمال یکنواخت سازی 149
شکل (5-2): مقادیر تخمین زده شده برای ضرایب عمق به سطح رخداد های معکوس و امتداد لغز برای مولفه افقی 151
شکل (5-3): مقادیر تخمین زده شده برای ضرایب عمق به سطح رخداد های معکوس و امتداد لغز برای مولفه قائم 151
شکل (5-4): مقادیر تخمین زده شده برای ضرایب فرا دیواره برای مولفه قائم و یکنواخت سازی آنها 151
شکل (5-5): مقادیر تخمین زده شده برای ضرایب توان دوم بزرگای و مقیاس بندی لگاریتمی فاصله برای مولفه افقی 152
شکل (5-6): مقادیر تخمین زده شده برای ضرایب توان دوم بزرگای و مقیاس بندی لگاریتمی فاصله برای مولفه قائم 152
شکل (5-7): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب گسلش معکوس برای مولفه افقی و قائم 154
شکل (5-8): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب گسلش امتداد لغز برای مولفه افقی و قائم 154
شکل (5-9): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب گسلش نرمال برای مولفه افقی و قائم 155
شکل (5-10): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب مقیاس بندی رسوبات کم عمق برای مولفه افقی و قائم 155
شکل (5-11): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب مقیاس بندی رسوبات عمق برای مولفه افقی و قائم 156
شکل (5-12): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب مقیاس بندی رسوبات عمق برای مولفه افقی و قائم 157
شکل (5-13): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب ثابت برای مولفه افقی و قائم 158
شکل (5-14): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب C_{20} در انحراف استاندارد کل برای مولفه افقی و قائم 159
شکل (5-15): مقادیر تخمین زده شده برای ضریب C_{21} در انحراف استاندارد کل برای مولفه افقی و قائم 159
شکل (5-16): وابستگی بزرگایی انحراف استاندارد کل 160
شکل (5-17): وابستگی پریودی رکوردها 160
شکل (5-18): وابستگی پریودی زلزله ها 161
شکل (5-19): وابستگی باقیمانده بین- رخداد PGA به بزرگای 162
شکل (5-20): وابستگی باقیمانده بین- رخداد PGA به عمق به سطح گسیختگی 162
شکل (5-21): وابستگی باقیمانده بین- رخداد PGA به زاویه گسیختگی 162
شکل (5-22): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=0.2 (sec) به زاویه گسیختگی 163
شکل (5-23): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=0.2 (sec) به بزرگای 163
شکل (5-24): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=0.2 (sec) به عمق به سطح گسیختگی 163
شکل (5-25): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=0.5 (sec) به بزرگای 164
شکل (5-26): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=0.5 (sec) به زاویه گسیختگی 164
شکل (5-27): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=0.5 (sec) به عمق به سطح گسیختگی 164
شکل (5-28): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=1 (sec) به بزرگای 165
شکل (5-29): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=1 (sec) به زاویه گسیختگی 165
شکل (5-30): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=1 (sec) به عمق به سطح گسیختگی 165
شکل (5-31): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=3 (sec) به زاویه گسیختگی 166
شکل (5-32): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=3 (sec) به بزرگای 166
شکل (5-33): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=3 (sec) به عمق به سطح گسیختگی 166
شکل (5-34): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=6 (sec) به بزرگای 167

شکل (5-35): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=6 (sec) به زاویه گسیختگی 167
شکل (5-36): وابستگی باقیمانده بین- رخداد T=6 (sec) به عمق به سطح گسیختگی 167
شکل (5-37): متوسط باقیمانده درون رخداد برای بزرگای بالاتر از 6/5 168
شکل (5-38): وابستگی بزرگایی باقیمانده درون- رخداد برای PGA 169
شکل (5-39): وابستگی بزرگایی باقیمانده درون- رخداد برای T=0.2 (sec) 169
شکل (5-40): وابستگی بزرگایی باقیمانده درون- رخداد برای T=0.5 (sec) 170
شکل (5-41): وابستگی بزرگایی باقیمانده درون- رخداد برای T=1 (sec) 170
شکل (5-42): وابستگی بزرگایی باقیمانده درون- رخداد برای T=3 (sec) 170
شکل (5-43): وابستگی بزرگایی باقیمانده درون- رخداد برای T=6 (sec) 171
شکل (5-44): وابستگی فاصله ای باقیمانده درون- رخداد برای PGA 171
شکل (5-45): وابستگی فاصله ای باقیمانده درون- رخداد برای T=0.2 (sec) 171
شکل (5-46): وابستگی فاصله ای باقیمانده درون- رخداد برای T=0.5 (sec) 172
شکل (5-47): وابستگی فاصله ای باقیمانده درون- رخداد برای T=1 (sec) 172
شکل (5-48): وابستگی فاصله ای باقیمانده درون- رخداد برای T=3 (sec) 172
شکل (5-49): وابستگی فاصله ای باقیمانده درون- رخداد برای T=6 (sec) 173
شکل (5-50): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به V_{S30} برای PGA 173
شکل (5-51): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به V_{S30} برای T=0.2 (sec) 173
شکل (5-52): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به V_{S30} برای T=0.5 (sec) 174
شکل (5-53): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به V_{S30} برای T=1 (sec) 174
شکل (5-54): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به V_{S30} برای T=3 (sec) 174
شکل (5-55): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به V_{S30} برای T=6 (sec) 175
شکل (5-56): وابستگی باقیمانده فرادیواره به فاصله جوینر- بور برای PGA 175
شکل (5-57): وابستگی باقیمانده فرادیواره به بزرگای برای PGA 175
شکل (5-58): وابستگی باقیمانده فرادیواره به زاویه شیب برای PGA 176
شکل (5-59): وابستگی باقیمانده فرادیواره به فاصله جوینر- بور برای T=0.2 (sec) 176
شکل (5-60): وابستگی باقیمانده فرادیواره به بزرگای برای T=0.2 (sec) 176
شکل (5-61): وابستگی باقیمانده فرادیواره به زاویه شیب برای T=0.2 (sec) 177
شکل (5-62): وابستگی باقیمانده فرادیواره به فاصله جوینر- بور برای T=0.5 (sec) 177
شکل (5-63): وابستگی باقیمانده فرادیواره به بزرگای برای T=0.5 (sec) 177
شکل (5-64): وابستگی باقیمانده فرادیواره به زاویه شیب برای T=0.5 (sec) 177
شکل (5-65): وابستگی باقیمانده فرادیواره به فاصله جوینر- بور برای T=1 (sec) 178
شکل (5-66): وابستگی باقیمانده فرادیواره به بزرگای برای T=1 (sec) 178
شکل (5-67): وابستگی باقیمانده فرادیواره به زاویه شیب برای T=1 (sec) 178
شکل (5-68): وابستگی باقیمانده فرادیواره به فاصله جوینر- بور برای T=3 (sec) 178
شکل (5-69): وابستگی باقیمانده فرادیواره به بزرگای برای T=3 (sec) 179
شکل (5-70): وابستگی باقیمانده فرادیواره به زاویه شیب برای T=3 (sec) 179
شکل (5-71): وابستگی باقیمانده فرادیواره به فاصله جوینر- بور برای T=6 (sec) 179
شکل (5-72): وابستگی باقیمانده فرادیواره به بزرگای برای T=6 (sec) 179
شکل (5-73): وابستگی باقیمانده فرادیواره به زاویه شیب برای T=6 (sec) 180
شکل (5-74): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به بزرگای برای PGA در فواصل $R_{rup} < 20\,km$ 180
شکل (5-75): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به بزرگای برای T=0.2 (sec) در فواصل $R_{rup} < 20\,km$ 180

شکل (5-76): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به بزرگای برای (sec) T=0.5 در فواصل $R_{rup} < 20\,km$ 181
شکل (5-77): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به بزرگای برای (sec) T=1 در فواصل $R_{rup} < 20\,km$ 181
شکل (5-78): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به بزرگای برای (sec) T=3 در فواصل $R_{rup} < 20\,km$ 181
شکل (5-79): وابستگی باقیمانده درون- رخداد به بزرگای برای (sec) T=6 در فواصل $R_{rup} < 20\,km$ 182
شکل (5-80): طیف تغییر مکان در فاصله $R_{rup} = 20\,km$ و $V_{S30} = 1100\,m/s$ 183
شکل (6-1): مقایسه کاهندگی بیشینه شتاب افقی زمین با فاصله برای ساختگاه خاک عمومی 194
شکل (6-2): مقایسه کاهندگی بیشینه شتاب افقی زمین با فاصله برای ساختگاه سنگ عمومی 194
شکل (6-3): مقایسه طیف رابطه اخیر با طیف های رابطه کاهندگی ایران برای مولفه افقی 196
شکل (6-4): مقایسه طیف رابطه اخیر با طیف های رابطه کاهندگی ایران برای مولفه قائم 196
شکل (6-5): مقایسه شتاب طیفی برای مولفه افقی و قائم در ساختگاه خاک عمومی $V_{S30} = 310\,m/s$ 201
شکل (6-6): مقایسه شتاب طیفی برای مولفه افقی و قائم در ساختگاه سنگ عمومی $V_{S30} = 620\,m/s$ 202
شکل (6-7): تغییرات بیشینه شتاب زمین بر حسب فاصله تا گسیختگی برای ساختگاه خاک عمومی 203
شکل (6-8): تغییرات بیشینه شتاب زمین بر حسب فاصله تا گسیختگی برای ساختگاه سنگ عمومی 204
شکل (6-9): مقایسه انحراف استاندارد مولفه افقی و قائم در بزرگای $M_W = 5.5$ 205
شکل (6-10): مقایسه انحراف استاندارد مولفه افقی و قائم در بزرگای $M_W = 7.5$ 205
شکل (6-11): کاهندگی شتاب طیفی مولفه افقی برای گسلش معکوس و امتداد لغز در ساختگاه سنگ 206
شکل (6-12): کاهندگی شتاب طیفی مولفه افقی برای گسلش معکوس و امتداد لغز در ساختگاه خاک 207
شکل (6-13): کاهندگی شتاب طیفی مولفه قائم برای گسلش معکوس و امتداد لغز در ساختگاه خاک 207
شکل (6-14): کاهندگی شتاب طیفی مولفه قائم برای گسلش معکوس و امتداد لغز در ساختگاه سنگ 208
شکل (6-15): تاثیر بزرگای در شتاب طیفی مولفه افقی و قائم برای گسلش معکوس و امتداد لغز 209
شکل (6-16): اثرات نوع مکانیزم گسیختگی در شتاب طیفی مولفه افقی یرای شرایط ساختگاهی مختلف 210
شکل (6-17): اثرات نوع مکانیزم گسیختگی در شتاب طیفی مولفه قائم یرای شرایط ساختگاهی مختلف 211
شکل (6-18): مقایسه رابطه کاهندگی اخیر با مدل های NGA 212
شکل (6-19): باقیمانده درون- رخداد حرکت زمین بصورت یک تابع از فاصله برای PGA و PSA 214
شکل (6-20): باقیمانده درون- رخداد حرکت زمین بصورت یک تابع از بزرگای برای PGA و PSA 215
شکل (6-21): تشدید دوره تناوب بلند با عمق رسوبات برای مولفه افقی و قائم PSA 216
شکل (6-22): مقایسه شتاب طیفی پیشگوئی شده در ساختگاه سنگ عمومی $V_{S30} = 620\,(m/s)$ با روابط متداول 217
شکل (6-23): مقایسه شتاب طیفی پیشگوئی شده در ساختگاه خاک عمومی $V_{S30} = 620\,(m/s)$ با روابط متداول 217
شکل (6-24): مقایسه انحراف استاندارد مولفه افقی و قائم برای بزرگای M=5.5 با روابط کاهندگی دیگر 218
شکل (6-25): مقایسه انحراف استاندارد مولفه افقی و قائم برای بزرگای M=7.5 با روابط کاهندگی دیگر 219
شکل (6-26): مقایسه بیشینه شتاب زمین برای ساختگاه قرار گرفته بر روی فرادیواره با دیگر روابط (سنگ) 219
شکل (6-27): مقایسه بیشینه شتاب زمین برای ساختگاه قرار گرفته بر روی فرادیواره با دیگر روابط (خاک) 220
شکل (6-28): ناحیه تعریف شده بعنوان گستره طرح 222
شکل (6-29): تقسیم‌بندی گستره ایران به مناطق لرزه زمین ساختی مختلف 223
شکل (6-30): موقعیت مکانی منابع لرزه زا در گستره طرح و موقعیت ایستگاه های انتخابی A و B 229
شکل (6-31): منحنی های تحلیل خطر برای احتمال وقوع سالیانه برای ساختگاه خاک عمومی در موقعیت A و B 231
شکل (6-32): منحنی های تحلیل خطر برای احتمال وقوع سالیانه برای ساختگاه سنگ عمومی در موقعیت A و B 232
شکل (6-33): مقایسه طیف های طراحی در ساختگاه حوزه نزدیک A 233
شکل (6-34): مقایسه طیف های طراحی در ساختگاه حوزه دور B 234

فصل اول

طـیف‌های خــطر یکنواخــت و رابطه کــاهندگی

1-1- مقدمه

طیف خطر یکنواخت (Uniform Hazard Spectra, UHS) در حقیقت طیف پاسخی است که احتمال وقوع تمام نقاط دامنه آن در زمان‌های مختلف تناوب مساوی و برابر با احتمال وقوع طیف بدست آمده باشد [1]. ممکن است طیف‌های خطر یکنواخت به طـیف‌های خطر سـازگار (Hazard Consistent Spectra, HCS) نیز شناخته شوند[2].

برای اولین بار مک گایر (R.K. McGuire) ایده‌ای جهت ساخت طیف پاسخ سیستم یک درجه آزادی ارائه کرد که این ایده منجر به تولید طیف خطر یکنواخت گردید [3]. کرنل (C.A. Cornell) و سیول (R.T. Sewell) این روش را به گونه‌ای بسط دادند که قادر به تولید طیف خطر یکنواخت برای سیستم‌های غیرخطی نیز باشد [4],[5]. هر دو روش ایده اصلی یکسانی دارد که بر اساس استفاده از یک سری روابط خاص کاهندگی(Attenuation Relationship) می‌باشد. روابط کاهندگی چگونگی تغییرات پارامترهای حرکت زمین را توصیف می‌کنند. با توجه به مشخصات و ویژگی های مناسب طیف خطر یکنواخت، در سال‌های اخیر در آیین‌نامه‌ها سعی شده است که به جای طـیف طرح استاندارد از این طـیف استفاده شود.

همانطور که اشاره شد ایده اصلی در ساخت طیف خطر یکنواخت استفاده از روابط کاهندگی در برآورد پارامترهای حرکت زمین می‌باشد. روابط کاهندگی تغییرات پاسخ نوسان کننده را نسبت به پارامترهایی نظیر بزرگی، فاصله ساختگاه تا منبع زلزله، شرایط ساختگاهی, مسیر گسترش موج توصیف می‌کنند. از

ترکیب روابط کاهندگی و تابع چگالی احتمال برای بزرگی و فاصله مورد نظر و همچنین در نظر گرفتن یک احتمال وقوع مشخص، پاسخ سیستم در سطح احتمال مشخص شده تعیین می‌گردد. در مورد طیف‌های غیرخطی می‌توان با معرفی یک فاکتور کاهش که تابعی از سطح تغییرشکل‌های غیر خطی و فرکانس می‌باشد طیف الاستیک را به طیف غیرخطی تبدیل نمود.

2-1- رابطه کاهندگی (Attenuation Relationship)

روابط کاهندگی بطور کلی از تحلیل اطلاعات ثبت شده زلزله‌ها رابطه سازی می‌شوند [6]. این روابط باید بتواند تا حدی تاثیر مسائلی از قبیل بزرگا، فاصله از منبع لرزه ای، اثرات ساختگاهی (جنس ساختگاه)، عمق خاک، عمق سنگ بستر، شرایط آب زیر زمینی، سرعت امواج برشی، سختی سنگ بستر، لایه بندی, مکانیزم گسلش (Faulting Mechanism)، عمق رسوبات (Depth of Sediment)، اثرات حوزه (Basin Effects) و توپوگرافی، تمرکز امواج (Wave Focusing) و اثرات رهنمود منبع لرزه ای (Source Directivity) را بر پارامترهای حرکت زمین نشان دهند. بطور معمول تهیه این روابط از طریق مطالعات آماری اطلاعات ثبت شده از حرکات نیرومند زمین (Strong Ground Motion) و محاسبات رگرسیونی (Regression Analysis) می‌باشد. بنابراین همواره نوعی عدم قطعیت در این روابط وجود خواهد داشت که لازم است به این مسئله توجه شود. روابط کاهندگی متعددی با توجه به نوع و تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده قابل ارائه هستند همچنین تحقیقات زیادی جهت ارائه روابط کاهندگی مناسب برای ساختگاه‌های مختلف انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به تحقیقات آمبریسیز (N.N. Ambraysis)، کمپبل (K.W. Campbel), بزرگ‌نیا (Y. Bozorgnia) کاتایاما (T. Katayama) بور (D.M. Boore) و لام (N.T.K. Lam) اشاره کرد [7],[8],[9],[10],[11],[12].

در ایجاد روابط کاهندگی فرض می‌شود که پراکندگی داده‌ها حول مقدار میانگین از یک توزیع نرمال گاوسی (Normalized Gaussian Distribution) تبعیت می‌کند. خطا در این روابط با یک متغیر دارای توزیع احتمالی گاوسی (Gaussian Probability Distribution) با مقدار میانگین صفر (Zero Mean Value) برآورد می‌شود. با توصیف چنین رابطه ای می‌توان عدم قطعیت‌ها را در محاسبات مربوط به تحلیل خطر لرزه‌ای (Seismic Hazard Analysis) ارائه نمود. در تعریف رابطه کاهندگی لازم است که سازگاری و ارتباط پارامترهای مختلف با یکدیگر بشکل مناسبی بیان شود.

بطور مثال بیشینه حرکت نیرومند زمین تقریبا توزیع نرمال دارد (لگاریتم پارامترها توزیع نرمال دارد). بنابراین برازش داده ها بر روی لگاریتم y انجام می گیرد.

از طرفی بزرگای زلزله عموما بصورت لگاریتم پارامتر حرکت تعریف می شود بنابراین $\ln y$ باید با M تقریبا متناسب باشد.

پراکندگی امواج تنش بهنگام دور شدن از منبع زلزله سبب می شود که دامنه امواج حجمی متناسب با $\frac{1}{R}$ و دامنه امواج سطحی متناسب با $\frac{1}{\sqrt{R}}$ کاهش می یابد.

وسعت محدوده ای که در آن پارگی گسل رخ می دهد با افزایش بزرگا بیشتر می گردد. در نتیجه برخی از امواج که حرکت نیرومند ایجاد می کنند از فاصله R نسبت به ساختگاه و برخی دیگر از فواصل بزرگتر می رسند. بدین لحاظ فاصله موثر، بزرگتر از R بوده و میزان افزایش آن نسبت به R به میزان افزایش بزرگا بستگی دارد.

مقداری از انرژی که توسط موج تنش ها حمل می شود در اثر عبور از میان مصالح جذب می شود. این مصالح میراکننده سبب می شوند که دامنه حرکات زمین بصورت نمایی با R کاهش یابد.

باید توجه داشت که پارامترهای حرکت زمین تحت تاثیر خصوصیات منبع (گسلش امتداد لغز، نرمال و یا معکوس)، خصوصیات ساختگاه (مانند سنگ سخت، سنگ نرم، رسوبی و غیره) نیز می باشند.

با توجه به ملاحظات فوق، یک رابطه تخمینی نمونه برای حرکت زمین می تواند به شکل زیر در نظر گرفته شود.

$$\begin{aligned}&\ln y = C_1 + C_2 M + C_3 M + C_4 + C_5 \ln\left(R + C_6 \exp(C_7 M)\right)\\&+ C_8 R + f(Source) + f(Site) + C_9\\&s_{\ln y} = C_9\end{aligned} \qquad (1\text{-}1)$$

جمله $s_{\ln y}$ عدم قطعیت مقدار پارامتر حرکت زمین را که توسط رابطه کاهندگی بیان می شود مشخص می کند. از نقطه نظر آماری این جمله همان انحراف معیار $\ln y$ در بزرگا و فاصله مورد نظر است. هنگام استفاده از یک رابطه کاهندگی دانستن اینکه پارامتر M و R چگونه در این رابطه تعریف شده و نحوه بهره گیری از آنها به چه صورت است از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نکته مهمی دیگری که باید به آن توجه شود آن است که هر رابطه برای داده‌های منطقه بدست آمده قابل کاربرد است [7].

شرایط زمین شناسی ساختگاهی، مکانیزم گسیختگی منابع لرزه‌ای و ژرفای کانونی بر نحوه تغییرات جنبش‌های نیرومند زمین نسبت به فاصله تاثیر می‌گذارند. اگر روابط کاهندگی بر اساس اطلاعات یک منطقه معین تهیه شود می‌تواند تا حدودی موارد فوق را در رابطه دخالت دهد. در بعضی موارد اطلاعات کافی برای ایجاد رابطه کاهندگی وجود ندارد که در اینگونه موارد بهترین راه حل استفاده از روابط کاهندگی مناطقی است که از نظر شرایط لرزه خیزی و لرزه زمین ساختی به ساختگاه مورد نظر شبیه هستند.

یک رابطه کاهندگی دیگر می‌تواند رابطه کاهندگی طیفی باشد. تفاوت این رابطه با رابطه کاهندگی کلاسیک، این است که پارامترهای این رابطه برای هر دوره تناوب متفاوت است. در اینصورت روابط کاهندگی