

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه

ارائه رابطه کاهندگی تابع شدت اریاس با استفاده از الگوریتم‌های هوشمند

نگارنده: علی توسلیان

استاد راهنما

دکتر محمد شامخی امیری

استاد مشاور

دکتر عطیه اسحاقی

بهمن ۱۳۹۷

تقدیم اثر

سپاس خداوند مهربان را که ما را در مسیر علم و دانش و خدمت به خلق قرار داد و در اولین گام این مسیر بی‌انتها ما را یاری نمود. این پایان‌نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم :

که از نگاهشان صلابت

از رفتارشان محبت

و از صبرشان ایستادگی را آموختم.

شکر و قدردانی

در ابتدا لازم می‌دانم از زحمات استاد محترم راهنما، جناب آقای دکتر محمد شامخی امیری تقدیر نمایم که راهنمایی این پایان‌نامه را تقبل نمودند و در مراحل مختلف این پژوهش با سعه صدر یاری نمودند. امیدوارم همواره ستوده‌ترین توفیق الهی شامل حالشان باشد.

از سرکار خانم دکتر عطیه اسحاقی که بعنوان مشاور در این پژوهش اینجانب را از راهنمایی ارزنده‌شان بهره‌مند ساختند و همچنین از سازمان محترم مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی بخصوص دکتر محمد شکرچی‌زاده ریاست محترم این مرکز به جهت در اختیار گذاشتن داده‌های شتابنگاری کمال تشکر را دارم.

تعمدنامه

اینجانب **علی توسلیان** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارائه رابطه کاهندگی تابع شدت اریاس با استفاده از الگوریتم های هوشمند تحت راهنمایی دکتر شامخی امیری** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

زلزله یکی از خطرهایی است که در طول سالیان گذشته تلفات و خسارات مالی زیادی را در اقصی نقاط دنیا به جای گذاشته است. این خود دلیلی شده است تا امروزه مطالعات تحلیل خطر زلزله بصورت جدی تر مورد بررسی قرار گیرد. ایران نیز در یکی از مناطق لرزه خیز دنیا یعنی نوار آلپ-همالیا قرار گرفته است که هر ساله زلزله های زیادی را تجربه می کند. تابع شدت اریاس بعنوان یکی از پارامترهای مهم جنبش نیرومند زمین، کمک زیادی در تجزیه و تحلیل خطر لرزه ای می کند که به موجب آن می توان پایداری شیب ها در اثر زلزله را تخمین زد. هدف این پژوهش، ارائه رابطه کاهندگی تابع شدت اریاس در فلات ایران با استفاده از روش های هوشمند می باشد. در این پژوهش از ۱۰۱۲ داده شتاب نگاری استفاده شده است. در ابتدا داده هایی که نیازمند فیلتر شدن بودند اصلاح گردیده و سپس تمام داده ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. در این پژوهش پارامترهایی از قبیل بزرگای زلزله، فاصله کانونی، سرعت موج برشی خاک و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر، بعنوان متغیر برای رابطه کاهندگی بعنوان تابع مورد نظر، استفاده شده است. بزرگای زلزله از نوع بزرگای گشتاوری (M_w) و با اندازه های بالای ۴ در این رابطه بکار گرفته شده است. در پارامتر موقعیت جغرافیایی ایران به دو ناحیه البرز-ایران مرکزی و ناحیه زاگرس تقسیم شده است. الگوریتم توسعه ژنی (GEP) که نوعی الگوریتم هوشمند است در این پژوهش بعنوان روش رگرسیون گیری و محاسبه تابع هدف مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت این روش در این است که در ابتدا الگویی برای تابع هدف مشخص نشده و الگو هم توسط روش هوشمند بصورت بهینه ارائه گردیده است. تابع برازندگی نیز براساس ریشه حداقل مربعات خطا (RMSE) تعریف گردیده است. در نهایت رابطه کاهندگی براساس این تابع برازندگی محاسبه شده و نتایج مشاهده شده با نتایج سایر محققان مقایسه شده است. نتایج مطابقت مناسبی را با ۴ رابطه پیش از خود بخصوص رابطه ارائه شده توسط جیبسون، از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: رابطه کاهندگی، تابع شدت اریاس، الگوریتم توسعه ژنی، زاگرس، البرز-ایران مرکزی.

فهرست مطالب

ل	فهرست جداول
م	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۲-۱ ضرورت انجام تحقیق.....
۴	۳-۱ اهداف پایان نامه.....
۶	۴-۱ روش تحقیق.....
۶	۵-۱ ساختار پایان نامه.....
۷	فصل ۲: مبانی نظری و پیشینه پژوهش
۸	۱-۲ مقدمه.....
۸	۲-۲ تحلیل خطر.....
۸	۱-۲-۲ روش تحلیل خطر تعینی.....
۹	۱-۱-۲-۲ شناسایی چشمه های لرزه زا.....
۱۰	۲-۱-۲-۲ تعیین زمین لرزه کنترلی برای هر گسل.....
۱۰	۳-۱-۲-۲ انتخاب روابط کاهندگی برای پارامترهای جنبش زمین.....
۱۳	۴-۱-۲-۲ محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین.....
۱۳	۲-۲-۲ روش تحلیل خطر احتمالاتی.....
۱۴	۱-۲-۲-۲ شناسایی چشمه های لرزه ای و بررسی لرزه خیزی منطقه.....

۲-۲-۲-۲ محاسبه رابطه فراوانی زلزله‌ها و بزرگای آنها و محاسبه چگالی و توزیع	۱۵
احتمال.....	
۳-۲-۲-۲ انتخاب رابطه کاهندگی.....	۱۶
۴-۲-۲-۲ محاسبه و به‌دست آوردن منحنی خطر لرزه‌ای سایت مورد نظر.....	۱۶
۳-۲-۲-۲ مدل‌های تحلیل خطر به روش احتمالاتی.....	۱۸
۱-۳-۲-۲ مدل خطر لرزه‌ای.....	۱۸
۲-۳-۲-۲ مدل خطر ژئودتیک.....	۱۸
۳-۳-۲-۲ مدل خطر ژئولوژیکی.....	۲۰
۴-۳-۲-۲ مدل خطر ترکیبی.....	۲۰
۵-۳-۲-۲ مدل خطر زلزله مصنوعی.....	۲۱
۳-۲ تاریخچه رابطه کاهندگی.....	۲۱
۴-۲ تابع شدت اریاس.....	۳۲
۱-۴-۲ تعریف.....	۳۲
۲-۴-۲ تاریخچه.....	۳۳

فصل ۳: روش تحقیق ۳۷

۱-۳ الگوریتم هوشمند توسعه ژنی.....	۳۸
۱-۱-۳ تعریف واژگان.....	۳۸
۲-۱-۳ مقدمه.....	۴۰
۳-۱-۳ الگوریتم توسعه ژنی.....	۴۱
۴-۱-۳ ژنوم.....	۴۳
۱-۴-۱-۳ خواندن آزاد چارچوب‌ها و ژن‌ها.....	۴۳
۲-۴-۱-۳ ژن‌ها در الگوریتم توسعه ژنی.....	۴۶

۴۹	۳-۴-۱-۳ کروموزوم‌های چند ژنی.....
۵۰	۳-۴-۱-۴ فنوتیپ و درختان توسعه.....
۵۱	۳-۴-۱-۴ اطلاعات کدگذاری: ترجمه.....
۵۱	۳-۴-۱-۴ تعاملات در زیر درختان توسعه.....
۵۵	۳-۱-۵ توابع برازندگی و انتخاب آن.....
۵۵	۳-۱-۵-۱ توابع برازندگی.....
۵۷	۳-۱-۵-۲ انتخاب.....
۵۷	۳-۱-۶ تولید با اصلاح.....
۵۸	۳-۱-۶-۱ تکرار.....
۵۸	۳-۱-۶-۲ جهش.....
۶۰	۳-۱-۶-۳ انتقال و قرار دادن اعضا به دنبال هم.....
۶۰	۳-۱-۶-۳ اعضای IS (IS elements).....
۶۱	۳-۱-۶-۳ اعضای RIS (RIS elements).....
۶۲	۳-۱-۶-۳ انتقال ژن.....
۶۳	۳-۱-۶-۴ نوترکیبی.....
۶۳	۳-۱-۶-۴ نوترکیبی یک نقطه‌ای.....
۶۴	۳-۱-۶-۴ نوترکیبی دو نقطه‌ای.....
۶۵	۳-۱-۶-۴ نوترکیبی ژنی.....
۶۷	۳-۲-۲ توابع متغیر ورودی.....
۶۷	۳-۲-۱ داده‌های شتاب‌نگاری.....
۶۷	۳-۲-۱-۱ دلایل استفاده از داده‌های شتاب‌نگاری.....

۶۸	 تصحیح شتاب‌نگاشت‌ها. ۲-۱-۲-۳
۶۹	 (Mw) بزرگا ۲-۲-۳
۷۲	 (R) فاصله ۳-۲-۳
۷۳	 (Vs) سرعت موج برشی ۴-۲-۳
۷۴	 (N) موقعیت جغرافیایی منطقه ۵-۲-۳
۷۶	 کاتالوگ نهایی داده‌های مورد استفاده. ۶-۲-۳
۷۷	 روش انجام کار. ۳-۳
۷۷	 استخراج متغیرهای مورد نیاز از داده‌ها. ۱-۳-۳
۷۹	 اصلاح و محاسبه تابع شدت اریاس داده‌ها. ۲-۳-۳
۷۹	 رگرسیون‌گیری به روش الگوریتم توسعه ژنی. ۳-۳-۳
۸۱	 تنظیمات مربوط به الگوریتم توسعه ژنی. ۱-۳-۳-۳
۸۲	 داده‌های آموزشی و آزمایشی. ۱-۱-۳-۳-۳
۸۲	 تعیین تابع برازندگی. ۲-۱-۳-۳-۳
۸۳	 تعیین آرگومان در هر تابع. ۳-۱-۳-۳-۳

فصل ۴: یافته‌های پژوهش و آنالیز داده‌ها ۸۵

۸۶	 مقدمه. ۱-۴
۸۶	 ارائه رابطه. ۲-۴
۸۸	 بررسی مدل ارائه شده. ۳-۴
۹۶	 مقایسه روابط کاهندگی ارائه شده برای تابع شدت اریاس در این پژوهش با برخی دیگر از روابط ارائه شده. ۴-۴

فصل ۵: نتیجه‌گیری ۱۰۹

۱۱۰	 مقدمه. ۱-۵
-----	------------------

۱۱۰ ۵-۲ نتیجه گیری

۱۱۱ ۵-۳ پیشنهادات

۱۱۳ پیوست

۱۳۸ مراجع

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) محدوده مناسب جهت انتخاب فرکانس تصحیح رکوردها..... ۶۹
- جدول (۲-۳) طبقه‌بندی خاک بر اساس آئین نامه ۲۸۰۰..... ۷۴
- جدول (۳-۳) مختصات چندضلعی در نظر گرفته شده بعنوان ناحیه زاگرس..... ۷۵
- جدول (۴-۳) نمونه‌ای از جدول تشکیل شده برای داده‌ها..... ۷۸
- جدول (۵-۳) نمونه‌ای از جدول ورودی به نرم‌افزار الگوریتم توسعه ژنی..... ۸۰
- جدول (۶-۳) تنظیمات در نظر گرفته شده برای استفاده از الگوریتم توسعه ژنی..... ۸۱
- جدول (۷-۳) نمایش تعداد آرگومان در نظر گرفته شده برای هر تابع..... ۸۳

فهرست اشکال

شکل (۱-۲)	گام‌های روش تحلیل خطر تعینی.....	۹
شکل (۲-۲)	انواع فاصله‌های چشمه لرزه‌زا تا سایت مورد نظر.....	۱۰
شکل (۳-۲)	گام‌های روش تحلیل خطر احتمالاتی.....	۱۴
شکل (۴-۲)	نمایش شماتیک مدل زلزله سرشتی.....	۱۵
شکل (۵-۲)	تابع توزیع چگالی برای مدل زلزله سرشتی و مدل نمایی قطع شده.....	۱۶
شکل (۶-۲)	منحنی خطر برای یک ساختگاه فرضی.....	۱۷
شکل (۱-۳)	فلوچارت الگوریتم توسعه ژنی.....	۴۲
شکل (۲-۳)	درخت توسعه معادله (۱-۳).....	۴۴
شکل (۳-۳)	ژن معادله (۱-۳).....	۴۴
شکل (۴-۳)	یک ژن بصورت K-expressions.....	۴۴
شکل (۵-۳)	درخت توسعه ژن شکل (۴-۳).....	۴۵
شکل (۶-۳)	ژن با طول ژن ۲۱ ، طول سر ۱۵ و طول دم ۱۱.....	۴۶
شکل (۷-۳)	درخت توسعه ژن شکل (۶-۳).....	۴۷
شکل (۸-۳)	ژن جدید ایجاد شده از ژن شکل (۶-۳).....	۴۷
شکل (۹-۳)	درخت توسعه ژن شکل (۸-۳).....	۴۷
شکل (۱۰-۳)	ژن جدید ایجاد شده از ژن شکل (۶-۳).....	۴۸
شکل (۱۱-۳)	درخت توسعه ژن شکل (۱۰-۳).....	۴۸
شکل (۱۲-۳)	ژن جدید ایجاد شده از ژن شکل (۶-۳).....	۴۸
شکل (۱۳-۳)	درخت توسعه ژن شکل (۱۲-۳).....	۴۹
شکل (۱۴-۳)	کروموزوم تشکیل شده از ۳ ژن.....	۵۰
شکل (۱۵-۳)	درخت توسعه ژن‌های شکل (۱۴-۳).....	۵۰
شکل (۱۶-۳)	کروموزوم ۲ ژنی.....	۵۲
شکل (۱۷-۳)	(الف). درخت توسعه هر کدام از ژن‌ها (ب). درخت توسعه نهایی بعد از ترجمه و استفاده از تابع اتصال جمع.....	۵۲
شکل (۱۸-۳)	K-expression درخت توسعه شکل (۱۷-۳) (ب).....	۵۲
شکل (۱۹-۳)	کروموزوم بولی ۳ ژنی.....	۵۳
شکل (۲۰-۳)	درخت توسعه هر کدام از ژن‌ها.....	۵۳
شکل (۲۱-۳)	درخت توسعه نهایی بعد از ترجمه و استفاده از تابع اتصال جمع.....	۵۴
شکل (۲۲-۳)	K-expression درخت توسعه شکل (۲۱-۳).....	۵۴

شکل (۳-۲۳) کروموزوم ۳ ژنی.....	۵۹
شکل (۳-۲۴) کروموزوم جهش یافته کروموزوم شکل (۳-۲۳).....	۵۹
شکل (۳-۲۵) کروموزوم ۲ ژنی.....	۶۰
شکل (۳-۲۶) کروموزوم ۲ ژنی تغییر یافته.....	۶۱
شکل (۳-۲۷) کروموزوم ۲ ژنی.....	۶۱
شکل (۳-۲۸) کروموزوم ۲ ژنی تغییر یافته.....	۶۲
شکل (۳-۲۹) کروموزوم ۳ ژنی.....	۶۳
شکل (۳-۳۰) کروموزوم ۳ ژنی تغییر یافته.....	۶۳
شکل (۳-۳۱) کروموزوم های ۲ ژنی پدر و مادر.....	۶۳
شکل (۳-۳۲) کروموزوم های جدید ایجاد شده.....	۶۴
شکل (۳-۳۳) کروموزوم های ۲ ژنی پدر و مادر.....	۶۴
شکل (۳-۳۴) کروموزوم های جدید ایجاد شده.....	۶۵
شکل (۳-۳۵) کروموزوم های ۳ ژنی پدر و مادر.....	۶۵
شکل (۳-۳۶) کروموزوم های جدید ایجاد شده.....	۶۶
شکل (۳-۳۷) اشباع شدگی انواع مختلف بزرگا.....	۷۲
شکل (۳-۳۸) فواصل تعریف شده برای مدل های مختلف کاهندگی.....	۷۳
شکل (۳-۳۹) محدوده نواحی زاگرس و البرز-ایران مرکزی.....	۷۵
شکل (۳-۴۰) نمودار پراکندگی بزرگا بر حسب فاصله و سرعت موج برشی.....	۷۶
شکل (۳-۴۱) نمودار تعداد رکوردها بر حسب بزرگا و موقعیت جغرافیای منطقه.....	۷۷
شکل (۴-۱) زیردرخت توسعه مربوط رابطه کاهندگی برای تابع شدت اریاس.....	۸۷
شکل (۴-۲) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۱۰۰) در بزرگاهای	
۴,۵ ، ۵,۵ و ۶,۵ و با سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s.....	۸۸
شکل (۴-۳) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۱۰۰) در بزرگاهای	
۴,۵ ، ۵,۵ و ۶,۵ و با سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s.....	۸۹
شکل (۴-۴) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۱۰۰) در بزرگاهای	
۴,۵ ، ۵,۵ و ۶,۵ و با سرعت موج برشی ۶۰۰ m/s.....	۹۰
شکل (۴-۵) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۱۰۰) در بزرگاهای	
۴,۵ ، ۵,۵ و ۶,۵ و با سرعت موج برشی ۸۰۰ m/s.....	۹۱
شکل (۴-۶) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵	
۱۵۰-۱۰۰ کیلومتر و با سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s.....	۹۲
شکل (۴-۷) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵	
۱۵۰-۱۰۰ کیلومتر و با سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s.....	۹۳

شکل (۴-۸) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵-	۹۴
۱۵۰-۱۰۰ کیلومتر و با سرعت موج برشی ۶۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۹) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵-	۹۵
۱۵۰-۱۰۰ کیلومتر و با سرعت موج برشی ۸۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۰) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا ۴ Mw= و	۹۷
سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۱) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا ۵ Mw= و	۹۸
سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۲) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا ۶ Mw= و	۹۹
سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۳) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا ۷ Mw= و	۱۰۰
سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۴) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگای ۴ Mw= و	۱۰۱
سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۵) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگای ۵ Mw= و	۱۰۲
سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۶) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگای ۶ Mw= و	۱۰۳
سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s.....	
شکل (۴-۱۷) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگای ۷ Mw= و	۱۰۴
سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s.....	
شکل (۷-۱۸) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا، فاصله ۵۰ کیلومتر، سرعت موج	۴۰۵
برشی ۴۰۰ m/s.....	
شکل (۷-۱۹) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا، فاصله ۱۰۰ کیلومتر، سرعت موج	۱۰۶
برشی ۴۰۰ m/s.....	
شکل (۷-۲۰) مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا، فاصله ۱۵۰ کیلومتر، سرعت موج	۱۰۷
برشی ۴۰۰ m/s.....	

فصل اول : مقدمه

۱-۱. مقدمه

هر ساله وقوع حوادث طبیعی در کشورهای مختلف دنیا موجب زیان‌های اقتصادی و تلفات انسانی بسیار زیادی می‌شود. رویارویی با قهر طبیعت یکی از مظاهر ضعف انسان در برابر بسیاری از پدیده‌های این جهان است. یکی از مهم‌ترین حوادث طبیعی، زلزله است که در حال حاضر پیش‌بینی زمان و مکان دقیق وقوع آن امکان پذیر نیست و سعی و تلاش دانشمندان برای انجام این هدف هنوز در مرحله تحقیق می‌باشد. به همین دلیل وقوع ناگهانی زلزله در بیشتر اوقات جوامع بشری را (به ویژه جوامعی که نسبت به احتمال وقوع آن بی‌توجه بوده و اصول ایمنی در برابر زلزله را رعایت نکرده‌اند) غافلگیر می‌کند و نتایج نامطلوبی به‌جای می‌گذارد. باید این واقعیت را پذیرفت که پدیده زلزله مانند پدیده‌هایی همچون بارش باران و برف برای مردم کشورهای لرزه‌خیز، پدیده‌ای متناوب و همیشگی محسوب می‌شود و اگر قرار باشد پس از هر زلزله یک فاجعه انسانی رخ دهد، این کشورها هیچگاه روی آرامش را به خود نخواهند دید. در نتیجه بهترین راه برای مقابله با این پدیده مطالعه و تحقیق و افزایش آگاهی در مورد آن است.

کشورهای مختلفی درگیر پدیده زلزله هستند و هرکدام خسارت‌های جانی و مالی مختلفی را در زمان‌های مختلف متحمل شده‌اند. ژاپن در حد فاصل سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۹۵، ۱۴ زلزله با بزرگای بیشتر از ۶/۵ را تجربه کرده است که در مجموع بیش از ۸۰۰۰ نفر جان خود را بر اثر زلزله از دست دادند اما زلزله فوکوشیما یکی از نقاط عطف تاریخ زلزله‌ای جهان بود. این زلزله با بزرگی حدود ۹ از بزرگترین زلزله ژاپن از سال ۱۹۰۰ میلادی بوده است که تمام محاسبات دقیق محققان ژاپنی و دیگر کشورها را دگرگون کرد. آمریکا هم جزء کشورهای زلزله‌خیز است بطوریکه ایالت‌های کالیفرنیا و آلاسکا در آمریکا زلزله‌های شدیدی را تجربه کرده‌اند. شیلی کانون رخداد بزرگ‌ترین زلزله تاریخ بوده است و بزرگ‌ترین زلزله تاریخ با بزرگای گشتاوری ۹/۵ در این کشور در سال ۱۹۶۰ میلادی به‌وقوع پیوسته است. چین، هند و نیوزیلند دیگر کشورهای زلزله‌خیز هستند [۱].

کشور ما ایران نیز به دلیل قرارگیری روی کمربند لرزه‌ای فعال آلپ - هیمالیا از مناطق لرزه‌خیز دنیا محسوب می‌شود و هر چندگاه یکبار زلزله‌ای مخرب در بخش‌های مختلف آن روی می‌دهد. زلزله‌های بزرگی که در سال‌های اخیر رخ داده‌اند که موجب خسارات جانی و مالی زیادی شده‌اند، از جمله می‌توان به زلزله رودبار و منجیل گیلان (۱۳۶۹) با بزرگای $7/3$ که به موجب آن بیش از ۴۰ هزار نفر کشته، ۲۰۰ هزار نفر بی‌خانمان شدند [۲]، زلزله بم کرمان (۱۳۸۲) با بزرگای $6/5$ که باعث تخریب بنای تاریخی ۲۰۰۰ ساله ارگ بم شد و همچنین شهری که ۹۰ هزار نفر جمعیت داشت بیش از یک سوم از ساکنانش را از دست داد، در آمار رسمی ۳۳ هزار نفر کشته، هزاران نفر زخمی و هزاران زن و کودک بی‌سرپرست شدند، زلزله شنبه بوشهر (۱۳۹۲) با بزرگای $6/3$ ، سراوان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۳) با بزرگای $7/8$ [۳] و زلزله ازگله کرمانشاه (۱۳۹۶) با بزرگای $7/3$ اشاره نمود.

۲-۱. ضرورت انجام تحقیق

درک کامل مراحل مختلف وقوع زلزله و اثر آنها بر حرکات زمین، لازمه‌ی مطالعه و تحقیق در زمینه ژئوتکنیک لرزه‌ای است. علم زلزله‌شناسی در طی سال‌های متمادی با شناخت بیشتر ساختار و رفتار داخلی زمین، پیشرفت‌های قابل توجهی کرده است. بنابراین هر چند وقوع زلزله با پیچیدگی‌های زیادی همراه است، درعین حال درک مطلوبی از مکانیزم وقوع زلزله در اغلب مناطق لرزه‌خیز جهان حاصل شده است. مهندسان و زلزله‌شناسان در شناخت و تعیین پارامترهای جنبش نیرومند زمین تلاش‌های زیادی انجام دادند بخصوص در سال‌های اخیر براساس روش‌های مختلف تجربی و تئوری پیشرفت‌های زیادی داشتند و روش‌های مختلفی با هدف تخمین جنبش نیرومند زمین ارائه شده است.

حرکت زمین بر روی خاک به : مکانیک چشمه زلزله، بزرگای، زمین‌شناسی منطقه، توپوگرافی سطح، فاصله سایت تا منبع و خواص دینامیکی انتشار ماده نسبت داده می‌شود [۴]. همچنین برخی پارامترها مثل رفتار غیرخطی خاک، جهت‌داری، انتشار گسیختگی، اثرات حوزه و اثر افت تنش بر روابط پیش‌بینی جنبش زمین حتی در مواردی بیشتر از برخی متغیرهای مستقل فوق مؤثرند [۵].

ثبت شتاب حاصل از رویداد زمین‌لرزه را که توسط دستگاه شتاب‌نگار به ثبت می‌رسد، شتاب‌نگاشت می‌گویند. ثبت جنبش نیرومند زمین که در اثر زمین‌لرزه‌های متوسط و بزرگ ایجاد می‌شود از اهمیت خاصی برخوردارند. ثبت این داده‌ها برای فهم طبیعت فرایندهای شکست پوسته لرزه‌زا، الگوی تابش امواج لرزه‌ای از چشمه و الگوی عبور امواج کاربرد دارد. همچنین ثبت جنبش نیرومند می‌تواند در توسعه روابط تجربی و خصوصیات جنبش نیرومند، مؤثر باشد. اهداف اصلی لرزه‌شناسی جنبش نیرومند، بهبود فهم و درک علمی فرایندهای فیزیکی مؤثر بر جنبش نیرومند و توسعه برآوردهای قابل اعتماد خطرات لرزه‌ای برای کاهش خسارات جانی و مالی در طی زمین‌لرزه‌های آتی، به‌منظور طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه هستند. امروزه از اطلاعات جنبش نیرومند زمین (شتاب‌نگاشت‌ها) بطور گسترده در پروژه‌های تحلیل خطر زمین‌لرزه، طراحی مقاوم سازه‌ها در برابر زمین‌لرزه، محاسبه و بدست آوردن طیف‌های طراحی، تدوین روابط کاهندگی و بسیاری زمینه‌های مطالعاتی دیگر استفاده می‌شود.

۱-۳. اهداف پایان‌نامه

در این پژوهش از این اطلاعات جهت تدوین یک رابطه کاهندگی^۱ جدید مورد استفاده قرار گرفته است. هدف اصلی از تولید رابطه کاهندگی، استفاده در تحلیل خطر زلزله است. یکی از اصلی‌ترین ویژگی‌های رابطه کاهندگی که در فصل بعد به آن اشاره خواهد شد ماهیت "منطقه‌ای" رابطه است که کاربرد آن در یک منطقه دارای تغییرات محدودی از لحاظ خصوصیات ساختار تکتونیکی است، که به موجب آن تأثیرات انواع گسل کاهش می‌یابد. دوم اینکه، این رابطه برای پیش‌بینی زمین‌لرزه‌های خاص نیست، بلکه به‌منظور ارزیابی خطرات احتمالی طراحی شده است. با توجه به محدودیت‌های دانش کنونی در مورد خواص ساختارهای زلزله در ایران، برآورد میزان لرزه‌خیزی به‌جای در نظر گرفتن سیستم‌های گسل واحد، بصورت منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود و تحت عنوان تعداد زلزله رخ داده در سال که دارای مرکز زلزله موجود در آن منطقه لرزه‌خیزی هستند؛ تعریف می‌شود. بنابراین ارزیابی خطر در یک سایت با

^۱ Attenuation relation

ترکیب نرخ لرزه خیزی برای قسمت‌های کوچک منطقه لرزه‌نگاری به کمک یک رابطه کاهندگی که خود باید تابعی از فاصله مرکز زلزله باشد نه تابع فاصله گسیختگی گسل؛ تخمین زده می‌شود [۶].

برای انجام پروژه حاضر در ابتدا باید برآورد صحیحی از پارامترهای قابل پذیرش در جنبش نیرومند زمین ناشی از وقوع زمین‌لرزه صورت گیرد. بدین منظور تعیین بزرگای زلزله و فاصله آن از ساختگاه مورد نظر جزئی از اطلاعات پایه در ارزیابی خطر زمین‌لرزه می‌باشند. از سوی دیگر تجربیات کسب شده از زمین-لرزه‌های رویداده و رفتار سازه‌ها در مقابل آنها، نشان‌دهنده ضرورت تصحیح نحوه برآورد پارامترهای قابل پذیرش جنبش نیرومند زمین پس از وقوع هر زمین‌لرزه و همچنین ضرورت ارزیابی مجدد معیارهای طراحی لرزه‌ای سازه‌های مهندسی با اهمیت است. مناسب‌ترین و فراگیرترین روش اینگونه برآوردها تا به امروز می‌توان به بکارگیری معادلات و روابط کاهندگی اشاره نمود که ساده‌ترین شکل آن، جنبش نیرومند زمین بر حسب تابعی از بزرگا و فاصله بیان می‌شود.

روابط کاهندگی در مجموع به دو روش تجربی و نظری محاسبه می‌شوند. در روش تجربی از شتاب-نگاشت‌های جنبش نیرومند زمین حاصل از زمین‌لرزه‌های ثبت شده، استفاده می‌شود ولی در روش نظری از مدل‌های لرزه شناختی برای ایجاد مصنوعی جنبش نیرومند زمین استفاده می‌شود. این دو روش مکمل یکدیگر می‌باشند، زیرا تابعی که از روش‌های نظری بدست می‌آید توسط روش‌های تجربی برازش می‌شود و همچنین در روش‌های نظری داده‌های تجربی برای شناسایی و مدل کردن پارامترها بکار گرفته می‌شوند.

در این پژوهش هدف رسیدن به رابطه‌ای است که علاوه بر بزرگا و فاصله، تابعی از سرعت موج برشی خاک و ناحیه منطقه مورد نظر باشد که از مهم‌ترین پارامترهای جنبش نیرومند زمین در ارزیابی خطر زمین‌لرزه هستند.

۱-۴. روش تحقیق

برای بدست آوردن رابطه کاهندگی اولین گام جمع‌آوری داده‌های شتاب‌نگاری است، بدین منظور ۱۰۱۲ داده شتاب‌نگاری جمع‌آوری شده است. اصلاحات مورد نیاز بر روی این داده‌ها صورت گرفته و سپس پارامترهای ورودی برای این رابطه از آن استخراج گردیده است. در انتها برای بدست آوردن رابطه کاهندگی از روش هوشمند الگوریتم توسعه زنی استفاده شده است.

۱-۵. ساختار پایان‌نامه

در فصل اول مقدمه‌ای از این پژوهش ارائه شده است که در آن به ضرورت انجام این پژوهش و همچنین اهداف مورد نظر پرداخته شده است.

در فصل دوم به تاریخچه و پیشینه کارهای انجام شده در زمینه تحلیل خطر، تابع شدت اریاس و روابط کاهندگی پرداخته شده است. همچنین به تشریح روش‌های مورد استفاده در تحلیل خطر و مراحل انجام آن‌ها و معرفی تابع شدت اریاس پرداخته شده است.

فصل سوم روش‌شناسی این پژوهش است. در این فصل بطور کامل در رابطه با الگوریتم توسعه زنی توضیح داده شده است. سپس به تشریح توابع متغیر ورودی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت پرداخته شده است. در انتهای فصل سوم روش انجام این پژوهش و کارهای انجام شده بطور کامل توضیح داده شده است.

در فصل چهارم یافته‌های این پژوهش ارائه می‌شود. سپس به مقایسه رابطه حاضر با چهار رابطه ارائه شده توسط محققان دیگر، یعنی رابطه مهدویفر که برای منطقه البرز-ایران مرکزی ارائه شده، رابطه رجبی برای منطقه زاگرس ارائه شده و روابط ویلسون و جیبسون که از روابط جهانی می‌باشند، پرداخته شده است.

فصل پنجم فصل ارائه نتایج پژوهش می‌باشد. پیشنهادها و موارد مورد استفاده رابطه حاضر بیان شده است.

فصل دوم : مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۱-۲. مقدمه

در این فصل ابتدا به تحلیل خطر و روش‌های آن پرداخته شده است. سپس ارتباط تحلیل خطر با رابطه کاهندگی و همچنین تأثیرات آن بر این تحلیل ارائه شده است. در ادامه مروری بر تاریخچه کارهای انجام شده در زمینه رابطه کاهندگی صورت گرفته است. در انتها تابع شدت اریاس تعریف شده و برخی از روابط ارائه شده رابطه کاهندگی تابع شدت اریاس توسط محققان مختلف ارائه شده است.

۲-۲. تحلیل خطر

تحلیل خطر زلزله تخمین کمی خطرات لرزش زمین در یک محل به‌خصوص می‌باشد. در تحلیل خطرپذیری از پارامترهایی چون فاصله، بزرگا، روابط کاهندگی، شرایط خاک محلی و ... استفاده شده و پارامتر مشخصی از حرکت زمین در سایت مورد نظر پیش‌بینی می‌شود. برای تحلیل خطر لرزه‌ای دو روش تعینی و احتمالاتی وجود دارد که در ادامه به آنها خواهیم پرداخت [۷]:

۱-۲-۲. روش تحلیل خطر تعینی^۱

در این روش که به اختصار (DSHA) نامیده می‌شود، کلیه پارامترها مثل بزرگای زمین‌لرزه و فاصله چشمه تا سایت به‌طور قطعی انتخاب شده و سپس تحلیل خطر انجام می‌گیرد. تحلیل خطر به روش تعینی از چهار گام اصلی تشکیل می‌شود که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است:

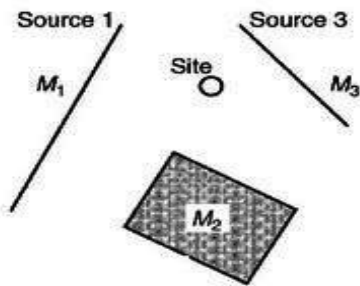
(۱) شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا؛

(۲) تعیین زمین‌لرزه کنترلی برای هر گسل؛

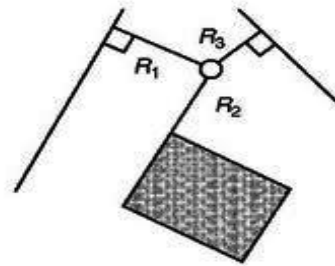
(۳) انتخاب روابط کاهندگی برای پارامترهای جنبش زمین؛

(۴) محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین.

^۱ Deterministic Seismic Hazard Analysis

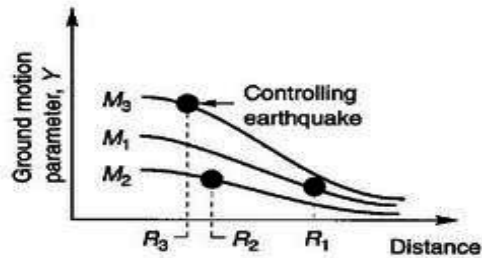


گام دوم: تعیین زمین لرزه کنترلی برای هر گسل



گام اول: شناسایی چشمه های لرزه زا

$$Y = \begin{Bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_N \end{Bmatrix}$$

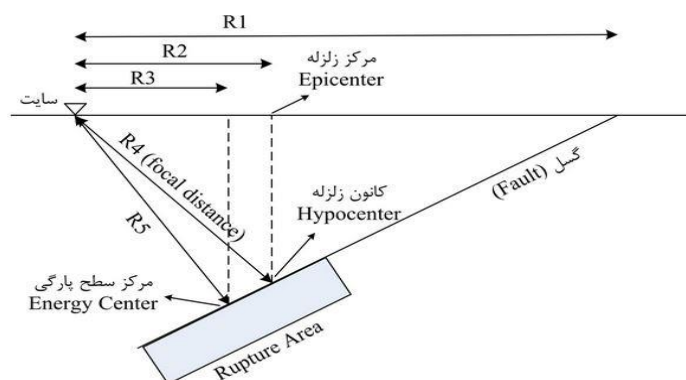


گام سوم: انتخاب روابط کاهش دگی برای پارامترهای جنبش زمین / گام چهارم: محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین

شکل (۲-۱): گام های روش تحلیل خطر تعیینی [۷]

۲-۱-۲-۱. شناسایی چشمه های لرزه زا

شناسایی و مشخص نمودن تمامی منابع لرزه ای که قادر به ایجاد حرکات شدید زمین هستند. منظور از مشخص نمودن، تعریف هندسه هر منبع و پارامترهای لرزه ای آن است. برای شناسایی یک چشمه لرزه ای از اطلاعات بدست آمده از علوم مختلفی مانند ژئوفیزیک، لرزه شناسی و زمین شناسی استفاده می شود. فاصله چشمه لرزه ای تا محل برای هر چشمه لرزه ای در اغلب روش های تحلیل خطر تعیینی، نزدیک ترین فاصله بین منبع لرزه ای تا ساختگاه مورد استفاده قرار می گیرد. این فاصله بر مبنای فاصله تا مرکز سطحی یا فاصله کانونی و ... می تواند باشد. در شکل (۲-۲) انواع فاصله های چشمه لرزه زا تا سایت مورد نظر نشان داده شده است.



شکل (۲-۲): انواع فاصله‌های چشمه لرزه‌زا تا سایت مورد نظر [۷]

۲-۱-۲-۲. تعیین زمین لرزه کنترلی برای هر گسل

زلزله کنترلی زمین لرزه‌ای است که انتظار می‌رود بعد از وقوع حداکثر پارامتر حرکتی زمین مانند حداکثر شتاب زمین (PGA)^۱ را در ساختمان ایجاد نماید. زلزله کنترلی براساس مقایسه میزان ارتعاش تولید شده توسط زلزله در فاصله آن از ساختمان تعیین و انتخاب می‌شود.

۲-۱-۲-۳. انتخاب روابط کاهندگی برای پارامترهای جنبش زمین

پارامترهای جنبش نیرومند زمین با دور شدن از منبع زمین لرزه سیر نزولی را طی می‌کنند، که این مطلب نشان‌دهنده میرایی جنبش نیرومند زمین می‌باشد. میزان این میرایی به عوامل مختلفی از جمله شرایط زمین‌شناسی و نوع حرکت گسل مرتبط است. بنابراین میزان این میرایی در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. برای محاسبه و برآورد خطر زمین لرزه در یک سایت یا تهیه نقشه‌های خطر لرزه‌ای مناطق، ما به رابطه‌ای نیاز داریم که بتواند میزان کاهش پارامترهای جنبش نیرومند زمین را به پارامترهایی همچون فاصله سایت از منبع زمین لرزه، شرایط تکتونیکی و زمین‌شناسی و بزرگای زلزله و ... پیوند دهد، که به این رابطه، رابطه کاهندگی می‌گویند. مطالعه زلزله‌های مختلف نشان داده است که منبع موج‌های زلزله

^۱ Peak Ground Acceleration

مخصوصاً در زلزله‌های بزرگ معمولاً چندین کیلومتر زیر سطح زمین قرار دارد. مقدار انرژی که به سطح زمین می‌رسد در منطقه نسبتاً وسیعی در طول گسل یکسان خواهد بود و کاهش بیشینه شتاب زمین در حین دور شدن از گسل در فاصله‌ای معادل با بعد قائم گسیختگی گسل به کندی صورت می‌گیرد و در فواصل دورتر کاهش بیشینه شتاب زمین سریعتر می‌گردد. در مورد زلزله‌های کوچک که طول گسیختگی گسل کوچک است منحنی‌های هم‌شتاب در سطح زمین تقریباً دایره‌ای شکل خواهد بود ولی در مورد زمین‌لرزه‌های بزرگ که طول گسیختگی گسل در آنها خیلی طویل‌تر می‌باشد منحنی‌های هم‌شتاب کشیده‌تر و بصورت بیضی‌وار در خواهند آمد.

رابطه کاهندگی ارتباط بین یک پارامتر جنبش نیرومند زمین (مثل PGA)، با بزرگا و فاصله را بیان می‌دارد و تابع چند پارامتر می‌باشد که مهم‌ترین آنها به شرح زیر می‌باشند:

(۱) خصوصیات چشمه - بزرگا - نوع گسلش و فاصله از چشمه لرزه‌زا؛

(۲) مسیر عبور موج، انعکاس و جذب انرژی به خاطر خصوصیت موادی که از آنها عبور می‌کند؛

(۳) زمین‌شناسی ساختگاه، توپوگرافی ساختگاه.

جهت محاسبه حداکثر مقادیر پارامترهای جنبش نیرومند زمین (شتاب، سرعت، جابجایی) قوانین متعددی بر حسب بزرگا و فاصله کانونی وجود دارد که در تحلیل خطر زلزله از آنها استفاده می‌گردد. یکی از عناصر کلیدی در برآورد احتمالی خطر در یک منطقه رابطه کاهندگی انتخابی است. بر اساس مطالعات انجام شده تا به امروز، انتخاب رابطه کاهندگی بیشترین عدم قطعیت نهایی در برآورد خطر در منطقه مورد نظر را رقم می‌زند.

روابط کاهندگی برای استفاده در تحلیل خطر را می‌توان به ۳ گروه زیر تقسیم‌بندی کرد:

(۱) روابط بومی، داده‌های لرزه‌ای کشور مبنای توسعه آن بوده است؛

(۲) روابط منطقه‌ای، بر پایه داده‌های منطقه‌ای ارائه شده‌اند. بعنوان مثال رابطه توسعه یافته برای منطقه خاورمیانه؛

(۳) روابط جهانی، بر پایه داده‌های سراسر دنیا توسعه یافته‌اند. بعنوان مثال رابطه توسعه یافته در پروژه NGA^۱.

رابطه‌ای که در این پروژه مد نظر است بر پایه داده‌های لرزه‌ای کشور است که از شبکه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی جمع‌آوری شده است. پس می‌توان گفت رابطه ارائه شده در این پروژه از نوع روابط بومی است، چیزی که در ایران به دلیل محدودیت‌های دانش کنونی در مورد خواص ساختارهای زلزله در ایران آنطور که باید و شاید به آن پرداخته نشده است [۸].

عمومی‌ترین پارامترهای مورد استفاده در مطالعات تحلیل خطر زلزله همانند حداکثر شتاب زمین (PGA) عموماً از روابط کاهندگی که با استفاده از تحلیل رگرسیون داده‌های جنبش نیرومند زمین توسعه داده شده است، محاسبه می‌گردد.

شکل عمومی یک رابطه کاهندگی در بسیاری از تحقیقات بصورت زیر می‌باشد:

$$\text{Log } Y = a + F_1(M) + F_2(R) + F_3(S) + \varepsilon \quad (1-2)$$

(Y) پارامتر مورد نظر جنبش نیرومند زمین است که مستقیماً با بزرگای (M) و به‌طور عکس با فاصله (R) ارتباط دارد. ضرایب ثابت این رابطه به‌طور تجربی با استفاده از روش‌های آماری و از روی شتاب‌نگاشت‌ها انتخاب می‌شوند. (ε) خطای تصادفی با مقدار میانگین صفر و انحراف معیار σ می‌باشد. پارامترهای دیگری نیز نظیر شرایط ساختگاهی، نوع گسلش، ضخامت آبرفت و ... قابل مدل کردن بصورت ریاضی می‌باشند که بصورت کلی بصورت $F_3(S)$ در رابطه فوق نشان داده شده است [۹].

¹ Next Generation Attenuation

۲-۲-۱-۴. محاسبه پارامترهای طراحی جنبش زمین

خطر زلزله به وسیله یک یا چند پارامتر حرکتی ایجاد شده از وقوع زلزله کنترلی مانند سرعت حداکثر، شتاب و یا شتاب طیفی که از روابط کاهندگی بدست می‌آید، در محل سایت تعریف می‌شود [۱۰].

۲-۲-۲. روش تحلیل خطر احتمالاتی^۱

همانطور که از نام روش پیداست در این روش قطعیتی برای پارامترها وجود ندارد. تحلیل خطر احتمالاتی (PSHA) زلزله برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با در نظر گرفتن عدم قطعیت در اندازه و موقعیت و اثر شدت لرزش یک زلزله در آینده موضوع بسیار مهمی است. هدف روش تحلیل خطر احتمالاتی زلزله، بررسی و لحاظ این عدم قطعیت‌ها است. به منظور ارزیابی خطرپذیری یک سازه در مقابل زلزله ابتدا باید احتمال لرزش زمین در محل سایت از محدوده سطوح شتاب مورد نظر را بدست آورد.

این تحلیل در نهایت به رسم منحنی خطر زلزله در محل ساختگاه منجر می‌شود که به کمک آن می‌توان طیف طرح ساختگاه که مبنای طراحی لرزه‌ای سازه‌های خاص در برابر زلزله است را بدست آورد. همانند تحلیل خطر تعینی، تحلیل خطر احتمالاتی نیز از چهار گام تشکیل شده است که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است:

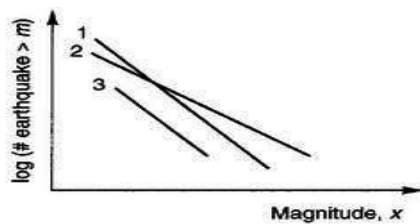
(۱) شناسایی چشمه‌های لرزه‌ای و بررسی لرزه‌خیزی منطقه؛

(۲) محاسبه رابطه فراوانی زلزله‌ها و بزرگای آنها و محاسبه چگالی و توزیع احتمال؛

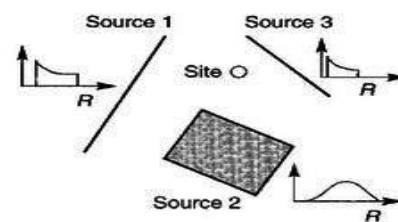
(۳) انتخاب رابطه کاهندگی؛

(۴) محاسبه و بدست آوردن منحنی خطر لرزه‌ای سایت مورد نظر.

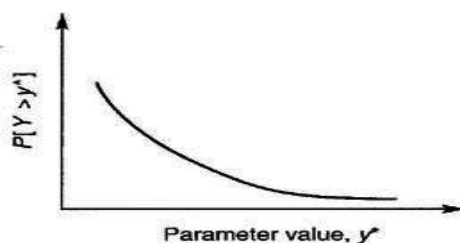
^۱ Probabilistic Seismic Hazard Analysis



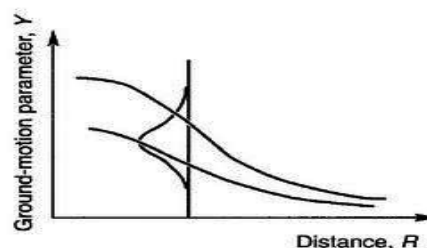
گام دوم محاسبه رابطه فراوانی زلزله ها و بزرگای آنها و محاسبه چگالی و توزیع احتمال



گام اول شناسایی چشمه های لرزه ای و بررسی لرزه خیزی منطقه



گام چهارم محاسبه و بدست آوردن منحنی خطر لرزه ای سایت مورد نظر



گام سوم انتخاب رابطه کاهندگی

شکل (۲-۳): گام های روش تحلیل خطر احتمالاتی [۱۰]

۲-۲-۲-۱. شناسایی چشمه های لرزه ای و بررسی لرزه خیزی منطقه

برای بررسی لرزه خیزی در محدوده مطالعاتی انتخاب شده، تمام زلزله های به وقوع پیوسته از بانک داده های لرزه ای استخراج می شوند. مشخصات و ویژگی های زمین لرزه های تاریخی با استفاده از کاتالوگ زمین لرزه های تاریخی و یا با استفاده از علم دیرینه لرزه شناسی بدست می آیند. چشمه های لرزه ای و مکانیسم حرکتی و مشخصات هندسی آنها باید به گونه ای ساده شوند که بتوان آنها را بعنوان چشمه نقطه ای، خطی، سطحی و یا حجمی در نظر گرفت.

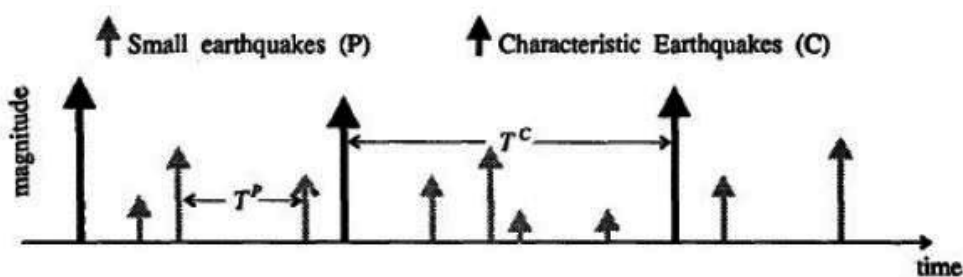
۲-۲-۲-۲. محاسبه رابطه فراوانی زلزله‌ها و بزرگای آنها و محاسبه چگالی و

توزیع احتمال

رابطه‌ی فراوانی- بزرگای زلزله‌ها بیان‌کننده نحوه توزیع تعداد زلزله‌ها در بزرگای مختلف است. برای بدست آوردن آن معمولاً از دو مدل زیر استفاده می‌شود:

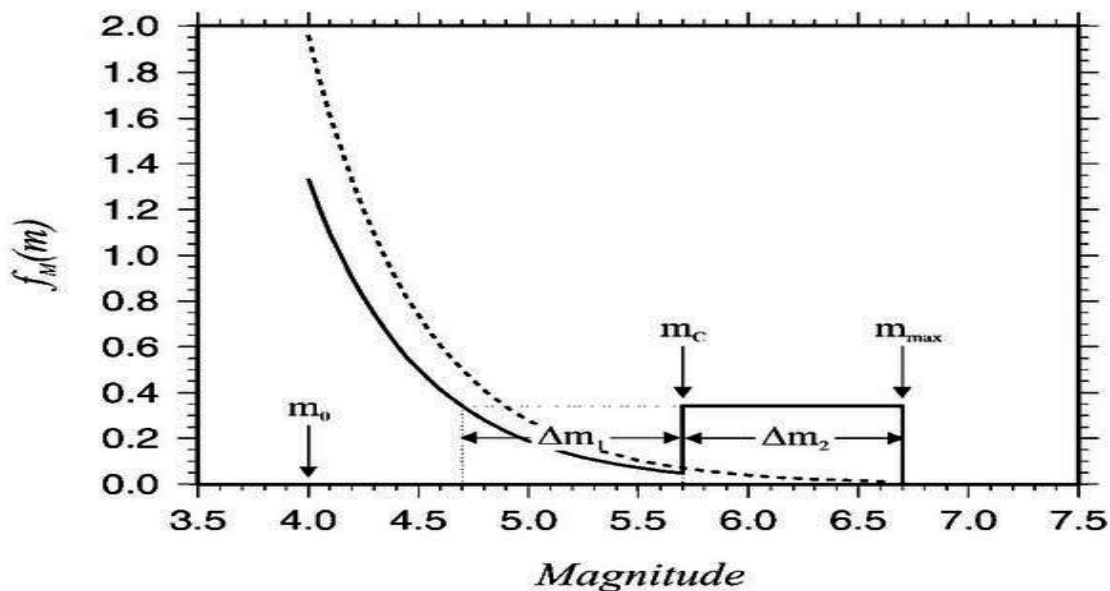
الف- مدل نمایی (Exponential model): این مدل به مدل گوتنبرگ-ریشتر هم معروف است. از دیدگاه توزیع بزرگای زلزله، مدل رایج نمایی و تعدادی از گونه‌های مختلف آن و مدل‌های غیر نمایی مورد استفاده است. مدل نمایی برای توزیع بزرگای زلزله، برای یک ناحیه نتایج مناسبی می‌دهد اما برای یک گسل خاص نرخ تکرار زلزله‌های بزرگ را کمتر از میزان واقعی تخمین می‌زند.

ب) مدل زلزله سرشتی (Characteristic Earthquake model): زلزله سرشتی بیان‌کننده زلزله با بزرگای مشخص و دوره تکرارهای بخصوصی است که در گسل منبع آن رخ می‌دهد. در شکل (۴-۲) نمایش شماتیک زلزله سرشتی نشان داده شده است:



شکل (۴-۲): نمایش شماتیک مدل زلزله سرشتی [۱۰]

در شکل (۵-۲) تابع توزیع چگالی برای مدل زلزله سرشتی و مدل نمایی قطع شده نشان داده شده است:



شکل (۲-۵): تابع توزیع چگالی برای مدل زلزله سرشتی (خط ممتد) و مدل نمایی قطع شده (خط چین) [۱۰]

۲-۲-۲-۳. انتخاب رابطه کاهندگی

پارامترهای ورودی در PSHA از قبیل ابعاد گسل، حداکثر بزرگا، رابطه کاهندگی و طول گسیختگی معمولاً از یک سری داده‌های محدود تعیین می‌شوند که حاوی عدم قطعیت‌های بسیاری هستند. درخت منطقی یک ابزار مناسب برای وارد کردن این عدم قطعیت‌ها در تحلیل خطر زلزله می‌باشد. استفاده از درخت منطقی این اجازه را می‌دهد که عدم قطعیت‌های موجود در پارامترها با نسبت دادن میزان احتمال درست بودن مقادیر آنها وارد تحلیل شوند. نتیجه نهایی این فرایند یک درخت منطقی است که در پایان هر شاخه (گره پایانی) به یک مقدار برای PSHA می‌توان رسید. هریک از این مقادیر دارای وزنی می‌باشند که در پایان به آنها اعمال می‌شوند.

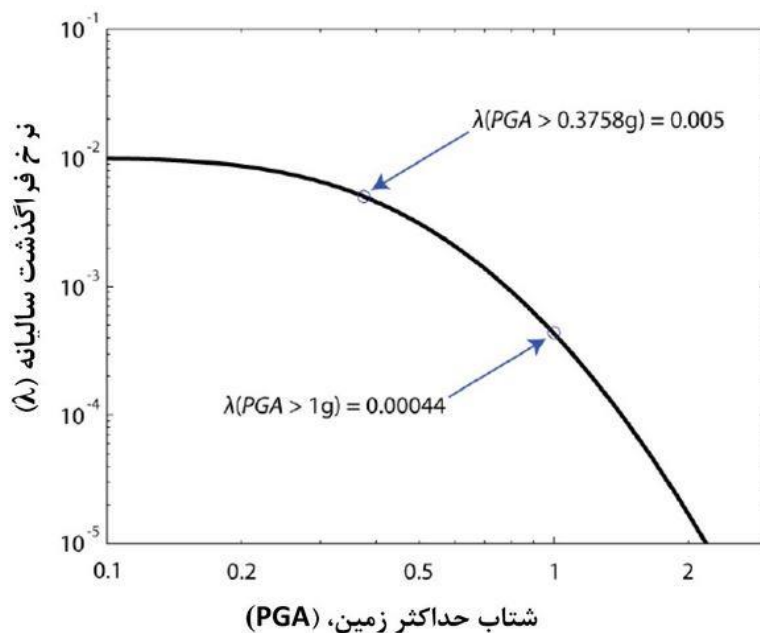
۲-۲-۲-۴. محاسبه و بدست آوردن منحنی خطر لرزه‌ای سایت مورد نظر

تابع چگالی احتمال فاصله نقطه آغاز گسلش زمین تا محل ساختگاه $F_R(r)$ ، با تقسیم‌بندی هر چشمه لرزه‌زا به جزیهای کوچکتر و اندازه‌گیری فاصله هر جز از محل ساختگاه و انجام محاسبات فراوانی نمونه‌ها بدست می‌آید. با داشتن تابع چگالی احتمال بزرگای هر چشمه $F_M(m)$ ، تابع چگالی احتمال فاصله

نقطه آغاز گسلش زمین تا محل ساختگاه $F_R(r)$ و تابع توزیع احتمال رخداد سطوح مختلف شدت لرزه‌ای به شرط رخداد بزرگای m در فاصله r از ساختگاه، $P(IM > x/m, r)$ می‌توان احتمال فراگذشت پارامتر جنبش زمین از یک سطح مشخص را از رابطه زیر بدست آورد:

$$P(IM > x) = \sum_{i=1}^{n_{sources}} \lambda(M_i > M_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x|m, r) f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dr dm \quad (2-2)$$

در رابطه فوق، $P(M > m_{min})$ نرخ رخداد زلزله‌های بزرگتر از m_{min} برای چشمه i ام است. $P(IM > x)$ احتمال رخداد سالیانه $x < IM$ است که IM پارامتر جنبش زمین مورد نظر است (مانند شتاب حداکثر زمین یا شتاب طیفی در پریود مشخص و...). با محاسبه نرخ رخداد سالیانه سطوح مختلف پارامتر جنبش زمین با استفاده از فرایند انتگرال‌گیری فوق و ترسیم نتیجه حاصل، منحنی موسوم به منحنی خطر حاصل می‌شود. شکل (۶-۲) نمونه‌ای از یک منحنی خطر را برای شتاب حداکثر (PGA) در یک ساختگاه فرضی نشان می‌دهد [۸].



شکل (۶-۲): منحنی خطر برای یک ساختگاه فرضی [۸]

۲-۲-۳. مدل‌های تحلیل خطر به روش احتمالاتی

تحلیل خطر به روش احتمالاتی را می‌توان با توجه به نوع اطلاعات مورد استفاده به مدل‌های زیر تقسیم‌بندی کرد [۱۱]:

۲-۲-۳-۱. مدل خطر لرزه‌ای

هدف از ارائه این مدل پیش‌بینی خطر زلزله‌های آتی براساس زلزله‌های گذشته است.

➤ مزایای مدل خطر لرزه‌ای بدین شرح می‌باشد:

- (۱) پتانسیل زلزله در مجاورت محل‌هایی که در واقعیت دارای زلزله می‌باشند، متمرکز می‌شود؛
- (۲) این مدل یک تخمین‌زننده سر راست است؛
- (۳) این مدل به‌نحوی وابسته به زمان می‌باشد و با تکمیل کاتالوگ در طول زمان برآورد خطر نیز دقیق‌تر و کامل‌تر می‌شود؛
- (۴) همواره نرخ لرزه‌خیزی مشاهده شده در بزرگای مینیمم را بازتولید می‌کند؛
- (۵) بعنوان یک کنترل واقعی برای دیگر روش‌های تخمین‌زننده استفاده می‌شود.

➤ مشکلات مدل خطر لرزه‌ای بدین شرح می‌باشد:

- (۱) نمونه‌های لرزه‌خیزی محدود می‌باشند، چرا که تخمین برای نرخ زلزله‌های با بزرگای بزرگ‌تر باید با استفاده از برون‌یابی نرخ زلزله‌های کوچک‌تر صورت گیرد؛
- (۲) گسل‌های غیرفعال تاریخی بدون هیچ خطری هستند.

۲-۲-۳-۲. مدل خطر ژئودتیک

اطلاعات ژئودزی از این جهت ارزشمندند که می‌توان نرخ زلزله‌ها را برای گسل‌هایی که اطلاعات آنها مستند نشده و یا با استفاده از روش‌های سنتی غیرقابل دستیابی هستند، بدست آورد. از سوی دیگر

تأییدی مستقل از نرخ تغییر شکل‌ها در مناطقی که زمین‌شناسان برای آنها گسل ثبت کرده‌اند، فراهم می‌کند. همچنین اطلاعات ژئودزی ابزاری است برای قضاوت در مورد سازگاری تغییرشکل‌های معاصر با زلزله‌های تاریخی ثبت شده.

➤ مزایای مدل خطر ژئودتیک بدین شرح می‌باشد:

- (۱) کاملاً براساس نرخ کرنش بوده و نیاز به قیدهای کمی دارد؛
- (۲) مرزهای خطا در نقشه‌ها به‌خوبی مشخص است؛
- (۳) این رویکرد پوشش جغرافیایی گسترده‌ای حتی در مواقعی که اطلاعات کمی از گسل‌ها در دسترس باشد، ارائه می‌دهد؛
- (۴) کرنش‌های ژئودتیکی بصورت آهسته با زمان تغییر می‌کنند، بنابراین نقشه‌های خطر تولید شده از آنها بیان بهتری از آینده نزدیک نسبت به روش‌های ژئولوژیکی دارند.

➤ مشکلات مدل خطر ژئودتیک بدین شرح می‌باشد:

- (۱) تبدیل کرنش ژئودتیکی به کرنش لرزه‌ای یکتا نیست؛
- (۲) برخی از کرنش‌ها غیر لرزه‌ای یا غیرتکتونیکی هستند، برای مثال در اثر تزریق یا خروج آب و ماگما؛
- (۳) الگوهای جغرافیایی کرنش ژئودتیکی لحظه‌ای، منعکس‌کننده الگوهای ممان لرزه‌ای آزاد شده نمی‌باشند؛
- (۴) نرخ زلزله‌ها بصورت غیر مستقیم توسط رابطه گوتنبرگ-ریشتر تعیین می‌شوند.

۲-۲-۳-۳. مدل خطر ژئولوژیکی

هدف از توسعه چنین مدلی تخمین پتانسیل زلزله به طور مستقیم از اطلاعات گسل های فعال می باشد. تفاوت روش ژئولوژیکی با ژئودتیکی این است که تنها در مجاورت یک گسل مشخص پتانسیل لرزه خیزی تعریف می شود، به همین دلیل مدل ژئولوژیکی به سیستم گسل ها نیاز دارد.

➤ مزایای مدل خطر ژئولوژیکی به شرح زیر می باشد:

- (۱) پتانسیل زلزله در مجاورت گسل های معلوم قرار دارد؛
- (۲) تخصیص مناسبی برای نرخ لغزش های که به خوبی مقید شده اند و گسل های آرام از نظر تاریخی، دارد؛
- (۳) مطابقت خوبی با روش های سنتی تحلیل خطر زلزله دارد؛
- (۴) تبدیل خطر گسل-محور به خطر شبکه-محور.

➤ مشکلات مدل خطر ژئولوژیکی بدین شرح می باشد:

- (۱) زمین شناسان هیچگاه نمی توانند محل تمامی گسل ها و نرخ لغزش آنها را مشخص کنند؛
- (۲) نرخ ژئولوژیکی لزوماً نرخ زلزله های تاریخی را بازتولید نمی کند؛
- (۳) نرخ زلزله ها بصورت غیر مستقیم توسط رابطه گوتنبرگ-ریشتر تعیین می شوند؛
- (۴) روش های ژئولوژیکی هیچ وجه روشنی از وابستگی آنها به زمان فراهم نمی کنند.

۲-۲-۳-۴. مدل خطر ترکیبی

همانطور که ذکر شد هرکدام از سه مدل ژئودتیکی، ژئولوژیکی و لرزه ای دارای نقاط ضعف و قوت می باشند. لذا با توجه به اینکه خروجی هر سه مدل از یک جنس است، می توان با میانگین گیری از سه مدل فوق یک مدل ترکیبی که امکان قوی ترین تخمین از نرخ لرزه خیزی را داراست، ارائه داد.

۲-۳-۵. مدل خطر زلزله مصنوعی

یکی از مشکلات اساسی در تخمین خطر زلزله کمبود زلزله‌های بزرگ ثبت شده می‌باشد. این کمبود باعث عدم قابلیت اطمینان به نتایج حاصل از زلزله‌های کوچکتر می‌شود. لذا هدف از ارائه این مدل شبیه‌سازی زلزله‌ها به‌ویژه زلزله‌های بزرگ توسط مدل‌های کامپیوتری می‌باشد. تمام شبیه‌سازی‌های لرزه‌ای براساس توازنی بین تنش وارد بر گسل و مقاومت اصطکاکی آن است. بدین‌صورت که با توجه به تناوب تجمع تنش در گسل و سپس توازن مجدد آن با وقوع زلزله، شبیه‌سازی صورت می‌گیرد [۵].

۲-۳. تاریخچه رابطه کاهندگی

مدل‌های کاهندگی بیش از نیم قرن سابقه دارند. در سال ۱۹۵۴ نیومن^۱ بعنوان آغازگر این بحث، مدل کاهندگی بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین را بر پایه زمین‌لرزه‌های آمریکا و شتاب‌نگاشت‌های آنها را بصورت رابطه‌ای که مستقل از بزرگای زمین‌لرزه می‌باشد ارائه نمود.

$$\text{Log } I_a = 4.79 - 1.92 \text{ Log } D \quad (2-2)$$

D فاصله دستگاه شتاب‌نگار تا مرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها می‌باشد.

بعد از مدل نیومن در سال‌های بین دهه ۶۰ تا ۷۰ میلادی مدل‌های کاهندگی جنبش نیرومند زمین توسط محققانی همچون استوا^۲ و بلوم^۳ برای زمین‌لرزه‌های آمریکا، میلن^۴ و داونپورت^۵ برای زمین‌لرزه‌های کانادا و آمریکا تهیه گردید که همه‌ی این مدل‌ها به یکدیگر نزدیک بوده‌اند. فاصله کانونی و بزرگای زمین‌لرزه‌ها تنها پارامترهای بکار رفته در تمام این مدل‌ها بودند.

¹ Newman

² Esteva

³ Blume

⁴ Milne

⁵ Davenport

در سال‌های بین دهه ۷۰ تا دهه ۸۰ میلادی و به‌ویژه پس از زلزله سن‌فرناندوی کالیفرنیا مدل‌های کاهندگی بیشتری با ثبت نگاشت‌های زیادی از شتاب این زمین‌لرزه ارائه گردید. از آن جمله می‌توان پژوهش‌های میلن و داونپورت (۱۹۶۹)، استوا (۱۹۷۰)، کلود^۱ و پرز^۲ (۱۹۷۱)، دنووان^۳ (۱۹۷۳)، استوا و ویلاورد^۴ (۱۹۷۳)، ارفال^۵ و لاهود^۶ (۱۹۷۴)، مک‌گایر^۷ (۱۹۷۴)، کاتایاما^۸ (۱۹۷۴)، دونوان و بورنستین^۹ (۱۹۷۸)، کرنل (۱۹۷۹) و ... را نام برد. در تمام مدل‌ها از داده‌های زمین‌لرزه‌ای شتاب‌نگاری غرب آمریکا به‌ویژه کالیفرنیا استفاده شده است. بزرگای زمین‌لرزه‌های به‌کار گرفته شده بین $M_S = 4$ تا $M_S = 7$ بوده و فاصله دستگاه‌های شتاب‌نگار از کانون زمین‌لرزه بین ۵ تا حداکثر ۳۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است [۹].

همانطور که گفته شد در این مدل‌ها تنها از بزرگا و فاصله کانونی زمین‌لرزه‌ها استفاده شده است که نشان‌دهنده سادگی این مدل‌ها است. اما با گذشت زمان مدل‌های کاهندگی به مدل‌هایی کاملاً پیچیده تبدیل شده است که علاوه بر لحاظ شدن پارامترهای مختلفی مانند بزرگا، فاصله، جنس خاک، شرایط تکتونیکی و ...، در آنها، با تکیه بر پیشرفت علوم کامپیوتری و مبتنی بر آنالیزهای آماری احتمالاتی، دقیق‌تر نیز گردیده است.

از دهه ۸۰ میلادی با دستیابی به داده‌های شتاب‌نگاشتی بیشتر، با دقیق‌تر شدن پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل‌های کاهندگی نظیر بزرگا، فاصله، شرایط ژئوتکنیکی ایستگاه‌های ثبت‌کننده شتاب جنبش نیرومند زمین از یک سو و در نظر گرفتن عدم یقین در محاسبات و به‌کارگیری روش‌های گوناگون ریاضی کاربردی در پردازش داده‌های جنبش نیرومند زمین نظیر روش وزنی غیر خطی، کمترین مربعات،

¹ Cloud

² Perez

³ Donovan

⁴ Villaverde

⁵ Orphal

⁶ Lahoud

⁷ McGuire

⁸ Katayama

⁹ Bornstein

روش دو مرحله‌ای برگشتی و ... از سوی دیگر، تغییراتی اساسی در مدل‌های کاهندگی رخ داده است. حاصل فرایند این تلاش‌ها یافتن مدل‌های کاهندگی بوده است که در آنها شرایط ژئوتکنیکی ساخت‌گاه مورد نظر از قبیل بسترهای سنگی و خاکی و پارامترهایی به‌منظور در نظر گرفتن سازوکار زمین‌لرزه‌ها و برآورد میزان شتاب جنبش نیرومند زمین برای سطوح خطر ۵۰ و ۸۴ درصد مورد توجه قرار گرفته است.

- مدل کاهندگی اسپینوسا^۱ (۱۹۸۰) بر پایه زمین‌لرزه‌های شرق آمریکا، برای بزرگای بین $M_L = 4$ تا $M_L = 7.5$ و فواصل بین ۵ تا ۳۰۰ کیلومتر ارائه شده است [۱۲].

- مدل کاهندگی باتیس^۲ (۱۹۸۱) بر پایه زمین‌لرزه‌های منطقه کالیفرنیا در آمریکا برای بزرگای $M_b = 5$ تا $M_b = 6.5$ و فواصل ۱۰ تا ۳۵۰ کیلومتر ارائه شد و همچنین وی بر پایه زمین‌لرزه‌های آمریکای مرکزی مدل جداگانه‌ای با شرایط دیگر ارائه کرد [۱۳].

- مدل کاهندگی کمپبل^۳ (۱۹۸۱) بر پایه زمین‌لرزه‌های جهان که دارای بزرگای بین ۵ تا ۷.۷ و در فواصل کمتر از ۵۰ کیلومتری ایستگاه ثبت‌کننده شتاب جنبش نیرومند زمین به‌وقوع پیوسته‌اند، برای ساختگاه سنگی و ساختگاه خاکی با ضخامت بیش از ۱۰ متر تهیه و ارائه گردید [۱۴].

- مدل کاهندگی هنکز^۴ و مک‌گایر (۱۹۸۱) بر پایه زمین‌لرزه‌های کالیفرنیا برای بزرگای $M_L = 4$ تا $M_L = 6.5$ و فواصل بین ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتری ایستگاه ثبت‌کننده شتاب زمین ارائه شده است [۱۵].

- مدل هاسگوا^۵ و همکاران (۱۹۸۱) بر پایه زمین‌لرزه‌های کانادا برای بزرگای بر حسب بزرگای محلی (M_L) و بزرگای حجمی (M_b) بین ۴.۵ تا ۷ و فواصل بین ۱۰ تا ۲۰۰ کیلومتری ایستگاه ثبت‌کننده شتاب زمین ارائه شده است. این مدل کاهندگی قادر به برآورد بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی و قائم جنبش نیرومند زمین می‌باشد [۸].

¹ Espinosa

² Battis

³ Campbell

⁴ Hanks

⁵ Hasegawa

- مدل کاهندگی بور^۱ و همکاران (۱۹۸۲) بر پایه زمین‌لرزه‌های غرب آمریکا، برای ساختگاه‌های خاکی و سنگی و برای بزرگای زمین‌لرزه بر حسب بزرگای محلی (M_L) و فواصل مختلف ارائه شده است [۱۶].

- مدل کاهندگی بولت و آبراهامسون^۲ (۱۹۸۲) بر پایه زمین‌لرزه‌های شمال غربی آمریکا برای فواصل کمتر از ۳۷۰ کیلومتری ایستگاه‌های ثبت‌کننده شتاب زمین، برای بسترهای سنگی و خاکی و برای سه بازه‌ی بزرگای زمین لرزه $5 \leq M_s \leq 5/9$ ، $6 \leq M_s \leq 6/9$ ، $7 \leq M_s \leq 7/9$ ارائه شده است [۱۷].

- مدل کاهندگی ناتلی و هرمن^۳ (۱۹۸۴) برای دره می‌سی‌سی‌پی با زمین‌لرزه‌هایی به بزرگای بین ۴/۵ تا ۷/۵ بر حسب بزرگای موج سطحی (M_s) و فواصل بین ۳ تا ۲۰۰ کیلومتری ایستگاه ثبت‌کننده شتاب زمین ارائه شده است. این مدل با احتساب خطای تخمین مدل کاهندگی برای برآورد بیشینه شتاب‌های افقی و قائم جنبش نیرومند زمین همراه بوده است [۱۸].

- مدل کاهندگی پتروفسکی و مارسلینی (۱۹۸۸) بر پایه زمین‌لرزه‌های کشورهای اروپایی برای بسترهای خاکی و سنگی و برای بزرگای $3 \leq M \leq 7$ و فواصل ۸ تا ۲۰۰ کیلومتری ایستگاه‌های ثبت‌کننده شتاب جنبش نیرومند زمین ارائه گردیده است [۱۹].

- مدل کاهندگی آتکینسون^۴ و بور (۱۹۸۸) بر پایه زمین‌لرزه‌های شمال غربی آمریکا برای بزرگای گشتاوری در $5 \leq M_s \leq 7$ و فواصل ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتری ایستگاه‌های ثبت‌کننده شتاب جنبش نیرومند زمین ارائه شده است. در این مدل ژرفای کانونی زمین‌لرزه‌ها ۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است [۲۰].

¹ Boore

² Bolt & Abrahamson

³ Nuttli & Herman

⁴ Atkinson

- مدل کاهندگی جویئر^۱ و بور (۱۹۸۸) با توجه به اطلاعات بیشتر از زمین‌لرزه‌های رویداده در شمال غربی آمریکا مدل قبلی را مورد بازنگری قرار داده است. در این مدل ضریبی برای بسترهای خاکی در نظر گرفته شده است [۲۱].

- مدل کاهندگی کمپیل (۱۹۸۹) با توجه به اطلاعات بیشتر از زمین‌لرزه‌های جهان مدل قبلی را مورد بازنگری قرار داده است. در این مدل که یک مدل جهانی نامیده شده است، مؤلفه‌های افقی و قائم بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین برای ساز و کارهای راندگی و امتدادلغز یا نرمال و ساختگاه‌های سنگی و خاکی، قابل محاسبه است. در این مدل بزرگای زمین‌لرزه‌های کوچکتر از ۶، M_L و برای بزرگای بزرگتر از ۶، M_s در نظر گرفته شده است [۲۲].

- مدل کاهندگی تامورا^۲ و همکاران (۱۹۹۰) بر پایه زمین‌لرزه‌های کانادا برای بزرگای M_L یا M_b بین ۴/۵ تا ۷ و فواصل بین ۱۰ تا ۲۰۰ کیلومتری از ایستگاه ثبت کننده شتاب زمین ارائه شده است. این مدل کاهندگی قادر به برآورد بیشینه شتاب مؤلفه‌های افقی و قائم جنبش نیرومند زمین می‌باشد [۲۳].

- مدل کاهندگی کمپیل (۱۹۹۰) با انجام محاسبات مجدد، مدل قبلی را مورد بازنگری قرار داد و مدل کاهندگی کامل‌تری با منظور نمودن ضرایب جدید ارائه نمود [۲۴].

- مدل کاهندگی امبرسیز و بومر^۳ (۱۹۹۱) بر پایه زمین‌لرزه‌های کشورهای اروپایی، ترکیه، ایران، پاکستان و فلسطین برای بازه بزرگای $4 \leq M_s \leq 7/5$ و فواصل کمتر از ۲۰۰ کیلومتری ایستگاه‌های ثبت کننده شتاب جنبش نیرومند زمین ارائه شده است [۲۵].

¹ Joyner

² Tamura

³ Ambraseys & Bommer

- مدل کاهندگی تئودولیدیس و پاپازاچوز^۱ (۱۹۹۱) بر پایه داده‌های شتاب‌نگاشتی زمین‌لرزه‌های کشورهای یونان، ژاپن و آلاسکا برای بازه بزرگای $4/5 \leq M_s \leq 7$ و فواصل بین ۵ تا ۲۴۰ کیلومتر ارائه گردیده است [۲۶].

- مدل کاهندگی تنتو^۲ و همکاران (۱۹۹۲) بر پایه داده‌های شتاب‌نگاشتی زمین‌لرزه‌های ایتالیا برای بازه بزرگای $6/6 \leq M_L \leq 4$ و در بازه فاصله $170 \leq R \leq 3/2$ کیلومتر ارائه گردید [۲۷].

- مدل‌های کاهندگی صدیق^۳ و همکاران (۱۹۹۳) بر پایه داده‌های شتاب‌نگاشتی زمین‌لرزه‌های غرب آمریکا برای بزرگای کمتر از ۶/۵ و بیش از ۶/۵ ارائه گردید. این مدل‌ها نیز برای بسترهای سنگی و ساز و کارهای راندگی و امتدادلغز یا نرمال بصورت جداگانه کاربرد دارد [۲۸].

در اواخر سال ۱۹۹۳ یک کارگاه تخصصی تحت عنوان جنبش نیرومند زمین در کالیفرنای آمریکا با همکاری کشورهای لرزه‌خیز مانند آمریکا و ژاپن برگزار گردید و آخرین مدل‌های کاهندگی بصورت جهانی و یا قاره‌ای و حتی ناحیه‌ای، به‌ویژه از کشورهای لرزه‌خیز جهان در مجموعه مقالات این کارگاه تخصصی به چاپ رسید که چکیده‌ای از برخی مدل‌های ارائه شده بیان می‌شود [۲۹]:

- مدل کاهندگی آبراهامسون و سیلوا^۴ (۱۹۹۷)، در این مدل از ۶۵۵ نگاشت ثبت شده از ۵۸ زمین‌لرزه رویداده استفاده شد. مدل‌های کاهندگی تجربی طیف پاسخ برای مؤلفه‌های میانگین افقی و قائم و برای زمین‌لرزه‌های کم عمق در نواحی فعال زمین‌ساختی بدست آمده است. در این مدل همچنین با تعیین یک ضریب، امکان مشخص کردن تفاوت بین فرادیواره و فروادیواره گسل وجود دارد. پاسخ ساختگاه بصورت غیر خطی بوده و بیشینه سطح شتاب در روی سنگ وابسته می‌باشد [۳۰]. در این مقاله برای بزرگا و فاصله محدودیتی ذکر نشده است.

¹ Theodulisdis & Papazachos

² Teneto

³ Sadigh

⁴ Silva

$$\ln Sa(g) = f_1(M.r_{rup}) + F f_3(M) + H_W f_4(M.r_{rup}) + S f_5(Pga_{rock}) \quad (3-2)$$

$Sa(g)$: طیف پاسخ شتاب بر حسب (g)

M : بزرگای گشتاور (M_W)

R : فاصله که بر حسب r_{rup} (نزدیک ترین فاصله از سطح گسیختگی) و ضریب ثابت C_4 با استفاده از رابطه

$$R = (r_{rup}^2 + C_4^2)^{1/2} \quad \text{ذیل محاسبه می شود:}$$

F : نوع گسلش (۱ برای معکوس، ۰/۵ برای معکوس / مایل و صفر برای غیر از آن)

S : ضریب ساختگاه (صفر برای سنگ یا خاک کم عمق، ۱ برای خاک عمیق)

H_W : ضریب ساختگاه (صفر برای سنگ یا خاک کم عمق، ۱ برای خاک عمیق)

- مدل اتکینسون و بور (۱۹۹۷): این مدل کاربرد یک مدل آماری برای ارزیابی مقدماتی از روابط جنبش زمین در مورد ساختگاه های سنگی ناحیه کاسکادیا واقع در شمال غرب اقیانوس آرام می باشد. پارامترهای مورد استفاده در این مقاله از آنالیز تجربی داده های لرزه نگاشتی این ناحیه بدست آمده است. رابطه مورد استفاده برای بزرگای کوچکتر از ۷ و فواصل کمتر از ۱۰۰ کیلومتر مناسب است [۳۱].

$$\ln Y = C_1 + C_2(M - 6) + C_3(M - 6)^2 - \ln r_{hypo} - C_4 r_{hypo} \quad (4-2)$$

Y : بیشینه شتاب، سرعت و طیف پاسخ شتاب

C_1 تا C_4 : ضرایب ثابت رابطه

M : بزرگای گشتاور (M_W)

r_{hypo} : فاصله از کانون زمین لرزه

- مدل کاهندگی صدیق و همکاران (۱۹۹۷): مدل های کاهندگی صدیق و همکاران در سال ۱۹۹۷ بر پایه داده های شتاب نگاشتی زمین لرزه های باختر آمریکا برای بزرگای کمتر از ۶/۵ و بیش از ۶/۵ ارائه

گردید. این مدل‌ها نیز برای بسترهای سنگی و ساز و کارهای راندگی و امتدادلغز یا نرمال بصورت جداگانه کاربرد دارد:

$$\ln Y = C_1 + C_2 M + C_3 \ln(r_{rup} + C_4 \exp(C_5 M) + C_6 + C_7(8.5 - M)^{2.5} \quad (5-2)$$

که در مدل بالا $M=M_w$ بوده و تا فاصله ۱۰۰ کیلومتر معتبر می‌باشد [۳۲].

- مدل کاهندگی یانگز^۱ و همکاران (۱۹۹۷): رابطه کاهندگی به منظور محاسبه بیشینه شتاب و طیف پاسخ شتاب افقی برای زمین لرزه‌های رویداده در مناطق فرورانشی فصل مشترکی و درون ورقه‌ای برای سنگ و خاک داده شده است. برای استفاده از این رابطه بزرگا باید بزرگتر از ۵ و فاصله بین ۱۰ تا ۵۰۰ کیلومتر باشد [۳۳].

$$\ln Y = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln[r_{rup} + 1.7818 \exp(0.554M)] + 0.00607H + 0.3846Z_T \pm Sd \quad (6-2)$$

Y: بیشینه شتاب و یا طیف پاسخ شبه شتاب افقی

H: عمق (کیلومتر)

M: بزرگای گشتاور (M_w)

r_{rup} : نزدیک‌ترین فاصله به گسیختگی

Z_T : نوع چشمه (فصل مشترکی = ۰ - درون ورقه‌ای = ۱)

- مدل کاهندگی مگاواتی^۲ و همکاران (۲۰۰۵): در این تحقیق مدل جنبش زمین بصورت زیر ارائه شده است:

$$\ln Y = a_0 + a_1 M_w + a_2 M_w^2 + a_3 \ln R + a_4 R + a_5 H + \varepsilon \quad (7-2)$$

¹ Youngs

² Megawati

که معادله بالا بر اساس بزرگای گشتاوری و فاصله سطحی و عمق کانونی بیان می‌شود [۳۴].

در ایران هم محققان مختلفی در طی دو دهه اخیر روابط کاهندگی مختلفی را با استفاده از داده‌های داخلی و هم داده‌های خارجی ارائه کردند که به اختصار می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مدل کاهندگی زارع و همکاران (۱۹۹۹): از داده‌های ۵۰ ایستگاه شتاب‌نگاری برای تعیین رابطه زیر استفاده کرد. این رابطه برای زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای بین ۴ تا ۶ و فاصله کانونی بین ۹ تا ۱۳۳ کیلومتر برای مؤلفه افقی داده‌های ایران مناسب است [۳۵].

$$\text{Log}A = 0.360M - 0.0003X - d\text{Log}X + c_i S_i \quad (۸-۲)$$

M: بزرگای زلزله

X: فاصله کانونی با واحد کیلومتر

d: امواج حجمی برابر یک و امواج سطحی برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

C: اگر سرعت موج برشی از ۷۰۰ بیشتر باشد برابر $C_1 = -0.916$

اگر سرعت موج برشی بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ باشد برابر $C_2 = -0.862$

اگر سرعت موج برشی بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ باشد برابر $C_3 = -0.900$

اگر سرعت موج برشی از ۳۰۰ کمتر باشد برابر $C_4 = -0.859$

آخرین عبارت نشان‌دهنده اثر سایت است.

- مدل کاهندگی خادمی و همکاران (۲۰۰۲) [۳۶]:

$$Y = 0.04031 \times \exp(0.41734M)(R + 0.001 \times \exp(0.65M))^{-0.35112} - 0.03585 S \quad (۹-۲)$$

M: بزرگای زلزله

R: فاصله تا منبع لرزه‌زا

S: اگر خاک در گروه ۱ و ۲ بر اساس آئین‌نامه ایران باشد برابر صفر

اگر خاک در گروه ۳ و ۴ بر اساس آئین‌نامه ایران باشد برابر یک

- مدل کاهندگی مهدویان (۲۰۰۶): برای ناحیه زاگرس با بزرگای حجمی (M_b) بزرگتر از ۵ و یا بزرگای

موج سطحی (M_s) بزرگتر از ۴/۵ رابطه زیر ارائه شد [۳۷]:

$$\log Y = 1.861 + 0.201M - 0.544\log R - 0.0091R \quad (۱۰-۲)$$

M: بزرگای زلزله

R: فاصله تا منبع لرزه‌زا

- مدل کاهندگی عدنان و سوهاتریل^۱ (۲۰۰۹): با استفاده از ۴۸۱ داده مربوط به ۴۰ زلزله با بزرگای

بیشتر از ۵ در مالزی انجام شده است. عمق کانونی داده‌ها از ۱۶/۲ کیلومتر تا ۵۷۶ کیلومتر می‌باشد.

رابطه بصورت زیر ارائه گردید [۳۸]:

$$\ln Y = C_1 + C_2M + C_3M^{C_4} + C_5\ln[R + C_6\exp(C_7M)] + C_8H \quad (۱۱-۲)$$

M: بزرگای زلزله

R: فاصله تا منبع لرزه‌زا

H: عمق کانونی

$$C_1 = -0.469 . C_2 = 7.108 \times 10^{-4} . C_3 = 0.457 . C_4 = -0.033 . C_5 = 2.122 \times 10^{-3} . C_6 = 235088.5 . C_7 = 0.665 . C_8 = -2.860 \times 10^{-7}$$

- شاه و همکاران^۲ (۲۰۱۲): از داده‌های مربوط به ۱۰ ایستگاه شتاب‌نگاری در کشور پاکستان بین

سال‌های ۲۰۰۵ (زلزله مظفرآباد با بزرگای ۷/۶) تا ۲۰۱۰ استفاده نمودند. در این رابطه داده‌ها دارای

بزرگای گشتاوری بین ۷/۶-۴/۷ و فاصله کمتر از ۱۷۵ کیلومتر مورد استفاده قرار گرفت [۳۹].

¹ Adnan and Suhatriil

² Shah et al.

$$\ln Y = a + bM + c \ln R \quad (12-2)$$

M: بزرگای زلزله

R: فاصله تا منبع لرزه‌زا

$$a = -6.0985, b = 1.4004, c = -1.5357$$

- کومار و همکاران^۱ (۲۰۱۷): برای این رابطه از داده‌های شبکه شتاب‌نگاری جهانی استفاده شد که از مجموع ۲۱۶ داده، ۱۱۱ داده مربوط به ۷ زلزله با بزرگای بین ۶/۸-۴/۲ که با استفاده از دستگاه آنالوگ ضبط شده‌اند و ۱۰۵ داده دیگر مربوط به ۱۷ زلزله با بزرگای ۶/۸-۴ می‌باشد که از دستگاه دیجیتالی برای ثبت زلزله استفاده شده است. داده‌های مورد استفاده در بازه زمانی بین ۲۰۱۱-۱۹۸۶ می‌باشد و عمق کانونی آن‌ها بین ۵-۱۲۲ کیلومتر و فاصله از کانون زمین‌لرزه غالب داده‌ها بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد [۴۰].

$$\log A = -1.497 + 0.3882M - 1.19 \log(X + e^{0.2876M}) \quad (13-2)$$

M: بزرگای زلزله

X: فاصله کانونی با واحد کیلومتر

- شوشتری و همکاران^۲ (۲۰۱۸): از داده‌های مربوط به مجمع‌الجزایر مالایی و کشور ژاپن که بزرگای آن ۵-۹/۱. فاصله از کانون زمین‌لرزه تا ۱۳۰۰ کیلومتر بود، استفاده نمود که می‌توان به زلزله توهوگو ژاپن با بزرگای ۹/۱ در سال ۲۰۱۱ اشاره نمود [۴۱].

$$\log Y = aM + bR - \log(R + c10^{aM}) + d + S_k \quad (14-2)$$

M: بزرگای زلزله

¹ Kumar et al.

² Shoushtari et al.

R: فاصله تا منبع لرزه‌زا

S_k : اگر سرعت موج برشی بین ۱۵۰۰-۷۶۰ متر بر ثانیه باشد برابر $S_B = -0.2571$

اگر سرعت موج برشی بین ۷۶۰-۳۶۰ متر بر ثانیه باشد برابر $S_C = 0.1464$

اگر سرعت موج برشی بین ۳۶۰-۱۸۰ متر بر ثانیه باشد برابر $S_D = 0.3654$

اگر سرعت موج برشی از ۱۸۰ کمتر باشد متر بر ثانیه برابر $S_E = 0.3428$

$$a = 0.4683 . b = -0.002159 . C = 0 . d = 0.6524$$

از جمله روابط دیگر می‌توان به رابطه نوروزی (۲۰۰۵)، بزرگنیا (۲۰۱۶)، صداقتی (۲۰۱۷)، زعفرانی (۲۰۱۸) اشاره نمود.

۲-۴. تابع شدت اریاس

۲-۴-۱. تعریف

تابع شدت اریاس^۱ یکی از پارامترهای لرزه‌ای است که معمولاً در تجزیه و تحلیل خطر لرزه‌ای برای تشخیص پتانسیل آسیب‌رسانی زلزله استفاده می‌شود و بعنوان مقیاسی از لرزش‌های مرتبط با زلزله از نظر مقدار انرژی ذخیره شده توسط یک سری بی‌نهایت از نوسانگرهای دارای وزن واحد، با یک درجه آزادی و فرکانس از صفر تا بی‌نهایت تعریف شده است. این پارامتر با انتگرال مربع مدول شتاب زمین در تمام تاریخچه زمانی یک زلزله نسبت مستقیم دارد. به‌طور معمول، این پارامتر بر اساس یک نوسان‌ساز بدون میرایی، با توجه به رابطه زیر مورد سنجش قرار می‌گیرد [۴]:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^{T_d} a(t)^2 dt \quad (2-15)$$

¹ Arias Intensity

که در این رابطه I_A تابع شدت اریاس در واحد سرعت، m/s است و $a(t)$ تاریخچه زمانی شتاب زمین در واحد میانگین گرانش معادل $(9/81)$ متر بر مجذور ثانیه) می‌باشد، همچنین t زمان بر اساس ثانیه و T_d کل مدت زمان حرکت زمین خواهد بود.

تابع شدت اریاس پارامتری است که شامل ویژگی‌هایی نظیر دامنه و مدت زمان حرکت زمین برای طیف گسترده‌ای از فرکانس‌های ثبت شده است؛ بنابراین در مقایسه با پارامترهای مبتنی بر حداکثر مقادیر حرکت زمین، به‌منظور ارزیابی اثرات زلزله برای اهداف مهندسی بسیار مؤثرتر می‌باشد. در واقع، تابع شدت اریاس به‌منظور ایجاد رابطه متناسب با آسیب زلزله بیان شده است و برای توصیف لرزش‌های با قابلیت ایجاد زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴].

۲-۴-۲. تاریخچه

تابع شدت اریاس نخستین بار در سال ۱۹۷۰ توسط آرتور اریاس معرفی شد و پس از آن به‌طور گسترده-ای در مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای به‌کار رفته است. در دو دهه گذشته، محققان مختلف رابطه‌های کاهندگی را به‌طور خاص برای شدت اریاس ارائه کرده‌اند، که برخی بر اساس مطالعات منطقه‌ای، و برخی هم بر اساس مجموعه داده‌های جهانی می‌باشند.

-ویلسون و کایفر^۱ در سال ۱۹۸۵ به‌طور خاص بر اساس ارزیابی خطر لرزه‌ای زمین‌لغزش یک رابطه میان شدت اریاس، بزرگا و فاصله منبع به فرم زیر پیشنهاد کردند [۴۲]:

$$\log I_a = -4.1 + M - 2\log R \quad (2-16)$$

که در آن M بزرگای گشتاوری زلزله است و R فاصله سایت از منبع لرزش براساس کیلومتر می‌باشد. ضرایب این رابطه حاصل ملاحظات نظری و یک سری عبارت ثابت از یک مجموعه داده شامل ۳۰ زلزله

^۱ Wilson & Keefer

بزرگ، که در کالیفرنیا اتفاق افتاده است، می‌باشد. با استفاده از رویکرد یکسان، اما با داده‌های اضافی، ویلسون نتیجه‌ی تقریباً یکسانی را برای ترم ثابت معادله بدست آورد یعنی ۳/۹۹ به جای ۴/۱.

-جیبسون^۱ در سال ۱۹۸۷ از مجموعه داده‌های مشابهی مانند ویلسون و کایفر استفاده کرد، اما تلفیق اطلاعات زمین‌لرزه ۱۹۷۸ طبرستان ایران، مقادیر زیادی از تابع شدت اریاس را به مجموعه داده اضافه کرد. رگرسیون چندگانه معادله زیر را ارائه داده است [۴۳]:

$$\log I_a = 0.98M - 1.35 \log R - 4.9 \quad (17-2)$$

ضریب همبستگی محاسبه شده توسط جیبسون برای این رابطه، ۰/۴۸ بوده است. در این رابطه (I_a) تابع شدت اریاس بر اساس متر بر ثانیه، (M) بزرگای گشتاوری، (R) فاصله منبع زمین‌لرزه تا سایت مورد نظر که واحد آن کیلومتر می‌باشد.

-سبتا و پاگلیس^۲ در سال ۱۹۹۶ با استفاده از تعریف متفاوت‌تری از تابع پیش‌بینی شدت اریاس نسبت به معادله ویلسون، یک رابطه مبتنی بر اثرات منطقه را بر اساس یک پایگاه داده شتاب‌سنج ایتالیایی شامل ۹۵ داده ناشی از ۱۷ زمین‌لرزه با قدرت ۴/۶ تا ۶/۸ ارائه کردند [۴۴]:

$$\log I_a = 0.729 + 0.911M - 1.8181 \log \sqrt{R^2 + 28.1} + 0.244s_1 + 0.139s_2 \pm 0.397 \quad (18-2)$$

در این رابطه (M) بزرگای گشتاوری زلزله، (I_a) تابع شدت اریاس بر اساس متر بر ثانیه (m/s) و (R) فاصله سایت از منبع لرزش بر اساس کیلومتر (Km) می‌باشد. (S_1 ، S_2) نمایانگر پارامترهای شرایط

¹ Jibson

² Sabetta & Pugliese

منطقه می‌باشند (۰، ۰) برای سنگ‌های سخت، (۱، ۰) برای خاک‌های کم‌عمق و (۰، ۱) برای خاک‌های عمیق در نظر گرفته می‌شود.

-هاوان و همکاران^۱ روابط کاهندگی تابع شدت اریاس را برای چهار کلاس از شرایط سایت براساس داده‌های لرزه‌ای قوی ثبت شده در زلزله چی‌چی تایوان را ارائه کرده‌اند که بصورت ذیل می‌باشد [۴۵]:

$$\ln I_a = aM + b \ln R + C \quad (19-2)$$

ضرایب از طریق رگرسیون دو مرحله‌ای که به منظور جداسازی تعیین وابستگی فاصله و بزرگا استفاده شد، بدست آمده است.

-تراواسارو و همکاران^۲، در سال ۲۰۰۳ با استفاده از ۱۲۰۸ داده حرکت قوی زمین حاصل از ۷۵ زمین‌لرزه در مرزهای فعال بین صفحات لیتوسفریک، همچنین برخی مناطق ایران، رابطه‌ای برای کاهندگی اریاس به شرح ذیل ارائه کرده است [۴۶]:

$$\ln I_a = b_1 + b_2(M - 6) + b_3 \ln \left(\frac{m}{6} \right) + b_4 \ln R + (b_5 + b_6(M - 6))S_C + (b_7 + b_8(M - 6))S_D + b_{10}F_N + b_{11}F_R \quad (20-2)$$

در این معادله، عبارات دارای نقش در مکانیزم شکست مرتبط با منبع معرفی شده‌اند. F_N و F_R متغیرهایی هستند که نوع گسل، معکوس و عادی را نشان می‌دهند، و S_C و S_D به ترتیب بیانگر شرایط سایت برای کلاس‌های C و D می‌باشند که تأثیر آن وابسته به بزرگای زلزله است.

-مهدوی‌فر و همکاران^۳، در سال ۲۰۰۷ به دنبال این بودند که وابستگی پارامترهای لرزش نسبت به فاصله را در یک فرم پیچیده‌تر از یک رابطه لگاریتمی ساده، با معرفی ترکیبی از یک رابطه لگاریتمی و

¹ Hwang et al.

² Travarou et al.

³ Mahdavi et al.

یک رابطه خطی به منظور نشان دادن اثر ترکیبی گسترش هندسی و کاهندگی غیرالاستیک بر روی کاهش دامنه امواج لرزه‌ای، ارائه دهند. بدین منظور ارائه رابطه کاهش تابع شدت اریاس برای البرز و مرکز ایران بر اساس ۱۳۶۸ داده شتاب‌نگاری ناشی از ۱۹ زلزله ثبت شده که دارای بزرگای ۳/۸-۷/۴ و فاصله بین ۵/۸ تا ۶۳ کیلومتر بصورت زیر ارائه گردید [۴۷]:

$$\text{Log } I_a = -3.88 + 0.81M - \text{Log}R - 0.002R \quad (21-2)$$

که در آن (I_a) شدت اریاس بر اساس متر بر ثانیه و (M) بزرگای گشتاور و (R) فاصله بین منبع تا محل زلزله بر حسب کیلومتر می‌باشد که از رابطه $\sqrt{r^2 + h^2} = R$ بدست می‌آید و (R) بعنوان نزدیک‌ترین فاصله بین شتاب‌نگار و گسیختگی گسل در عمق h معرفی می‌شود.

-رجبی و همکاران^۱ (۲۰۱۰) با استفاده از نرم‌افزار متلب اقدام به رگرسیون‌گیری داده‌ها کردند. از داده‌های مربوط به ناحیه زاگرس استفاده و فرمول زیر را ارائه کردند [۶]:

$$\text{Log}I_a = 0.512M - 0.017R - 0.279\text{Log} R - 2.848 S_1 - 2.961 S_2 - 3.123 S_3 - 2.714 S_4 \quad (22-2)$$

در این رابطه (I_a) تابع شدت اریاس بر اساس متر بر ثانیه، (M) بزرگای گشتاوری، (R) فاصله سطحی منبع زمین‌لرزه تا سایت مورد نظر بر حسب کیلومتر، (S_1, S_2, S_3, S_4) برای خاک نوع ۱ بصورت (۱،۰،۰،۰)، برای خاک نوع ۲ بصورت (۰،۱،۰،۰)، برای خاک نوع ۳ بصورت (۰،۰،۱،۰) و برای خاک نوع ۴ بصورت (۰،۰،۰،۱) می‌باشد.

¹ Rajabi et al.

فصل سوم : روش تحقیق

۳-۱. الگوریتم هوشمند توسعه ژنی

۳-۱-۱. تعریف واژگان

ابتدا، قبل از آغاز این فصل لازم دیده شد برای درک بهتر این مبحث توضیحات مختصری از عبارات مورد استفاده در این فصل ارائه گردد:

-جمعیت

در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، برای هر مسأله تعدادی جواب ممکن وجود دارد که بهترین جواب از بین آن‌ها انتخاب می‌شود. به مجموعه این جواب‌ها جمعیت می‌گویند.

-فرد

به هر یک از جواب‌های ممکن در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، فرد می‌گویند.

-ژنوتیپ^۱

به تمام اطلاعات ژنتیکی یک فرد یا قسمتی از آن ژنوتیپ می‌گویند.

-فنوتیپ^۲

به صفات ظاهری یک موجود زنده فنوتیپ می‌گویند که در حقیقت منعکس‌کننده نتایج برهم کنش یا تعامل جنس نمونه و محیط زیست موجود مزبور هستند.

¹ Genotype

² Phenotype

-تابع برازندگی^۱

تابع برازندگی تابعی است که هدف مسائل بهینه کردن آن است. در بعضی از توابع، از آن بعنوان تابع هدف نیز استفاده می‌شود.

-کدان^۲

کدان واحد اصلی رمز ژنتیک است که شامل توالی سه‌گانه نوکلئوتیدهای اصلی می‌باشد.

-والدین

الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، در هر نسل برای ایجاد نسل بعد از خود، تعداد مشخصی از افراد که معمولاً دارای برازندگی بهتری هستند را انتخاب می‌کند. به این افراد انتخاب شده والدین می‌گویند.

-فرزندان

افرادی که در نسل جدید تشکیل می‌شوند را فرزندان می‌گویند.

-آرگومان^۳

به تعداد شاخه‌هایی که از هر گره در درخت توسعه (ET) انشعاب پیدا می‌کند، آرگومان گویند.

-ترانسپوزون^۴

به اعضای که قابلیت جابه‌جایی دارند و یا توالی‌هایی از DNA هستند که مکان خود را روی ژنوم عوض می‌کنند.

¹Fitness Function

² Codon

³ Argument

⁴ Transposon

۳-۱-۲. مقدمه

الگوریتم توسعه ژنی^۱ (GEP) که در سال ۱۹۹۹ توسط فریرا^۲ ابداع شد، مانند الگوریتم ژنتیک^۳ (GAs) و برنامه‌نویسی ژنتیکی^۴ (GP) یک الگوریتم ژنتیکی است که از افراد بعنوان جمعیت استفاده می‌کند. افراد را با توجه به برازندگی انتخاب می‌کند و تنوع ژنتیکی را با استفاده از یک یا چند اپراتورهای ژنتیکی معرفی می‌کند. تفاوت اساسی بین این سه الگوریتم در ماهیت افراد است، بطوریکه در الگوریتم ژنتیک (GAs) افراد رشته‌های خطی با طول ثابت هستند که به آن کروموزوم گفته می‌شود؛ در برنامه‌نویسی ژنتیکی (GP) افراد نهادی غیر خطی از اندازه‌ها و اشکال مختلف هستند که به آن درخت تجزیه^۵ گفته می‌شود؛ و در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) افراد بصورت رشته‌های خطی با طول ثابت (کروموزوم) که بعداً بعنوان نهادهای غیرخطی از اندازه‌ها و اشکال مختلف بیان می‌شوند (درختان توسعه^۶) برنامه‌نویسی می‌شوند [۴۸].

با یک دید کلی مشاهده می‌شود که تفاوت بین الگوریتم ژنتیک (GAs) و برنامه‌نویسی ژنتیکی (GP) کاملاً سطحی است. هر دو سیستم تنها از یک نوع نهاد استفاده می‌کنند که هر دو بعنوان ژنوم و بدن عمل می‌کنند. این نوع سیستم‌ها هر کدام دارای محدودیت هستند:

در نمونه‌های الگوریتم ژنتیک (GAs)، اگر دستکاری ژنتیکی به راحتی انجام شود، پیچیدگی‌های عملکردی خود را از دست می‌دهند.

در نمونه‌های برنامه‌نویسی ژنتیکی (GP)، اگر بیش از یک مقدار معینی از پیچیدگی‌های عملکردی را ارائه دهند، دوباره ساختن آن با اصلاحات مورد نظر بسیار دشوار است.

¹ Gene Expression Programming

² Ferreira

³ Genetic Algorithms

⁴ Genetic Programming

⁵ Parse Tree

⁶ Expression Trees

تعامل کروموزوم‌ها و درختان توسعه در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، یک سیستم ترجمه صریح را برای ترجمه زبان کروموزوم‌ها به زبان درختان توسعه (ETs) نشان می‌دهد. ساختار سازمان‌یافته کروموزوم‌ها در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، یک رابطه فنوتیپ کاملاً کارآمد است، همانطور که هرگونه اصلاحاتی که در ژنوم ایجاد شده همیشه از درختان توسعه (ETs) یا برنامه‌های صحیح، درست استفاده شده است. در واقع، مجموعه‌ای متنوع از اپراتورهای ژنتیکی که برای معرفی تنوع ژنتیکی در جمعیت الگوریتم توسعه ژنی (GEP) ایجاد شده، همیشه درختان توسعه (ETs) معتبر را تولید می‌کنند. بنابراین، الگوریتم توسعه ژنی (GEP) یک سیستم زندگی مصنوعی است که فراتر از یک سیستم صرفاً کپی کننده است، که قادر به انطباق و تکامل است.

مهم‌ترین مزایای استفاده از یک سیستم مانند الگوریتم توسعه ژنی (GEP) عبارتند از:

(۱) کروموزوم‌ها؛ نهادهای ساده هستند: خطی، فشرده، نسبتاً کوچک، دستکاری ژنتیکی آسان

(تکثیر، جهش، ترکیب دوباره، حمل و نقل و ...)

(۲) درختان توسعه (ETs)؛ منحصراً بیان کروموزوم‌های مربوطه می‌باشند؛ نهادهایی هستند که بر

اساس انتخاب آنها عمل می‌کنند و با توجه به انطباق، آنها با اصلاح انتخاب می‌شوند.

با توجه به این ویژگی‌ها، الگوریتم توسعه ژنی (GEP) بسیار متنوع است و بسیار پیشرفته‌تر از فناوری‌های تکاملی موجود است.

۳-۱-۳. الگوریتم توسعه ژنی

نمودار جریان یک الگوریتم توسعه ژنی (GEP) در شکل (۳-۱) نشان داده شده است. این فرایند با تولید تصادفی از کروموزوم‌های جمعیت اولیه آغاز می‌شود. سپس کروموزوم‌ها بیان می‌شوند و برازندگی هر فرد ارزیابی می‌شود. بعد از آن، افراد با توجه به برازندگی به‌منظور تولید دوباره با اصلاحات انجام شده،

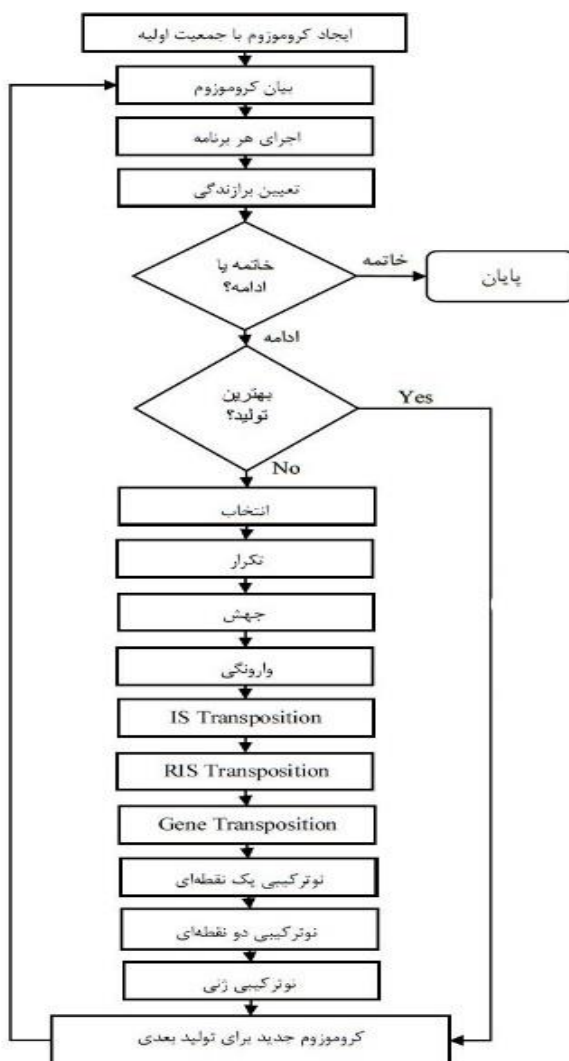
انتخاب می‌شوند و فرزندان با صفات جدید به‌وجود می‌آورند. افراد این نسل جدید به‌نوبه خود تحت فرایند تکاملی مشابه قرار می‌گیرند:

(۱) بیان ژنوم‌ها؛

(۲) مقابله با محیط انتخابی؛

(۳) تولید دوباره با اصلاحات انجام شده.

این روند برای تعداد مشخصی از نسل‌ها تکرار می‌شود یا آنقدر تکرار می‌شود تا زمانی که یک راه حل مناسب پیدا شود [۴۹].



شکل (۳-۱): فلوچارت الگوریتم توسعه ژنی [۵۰]

توجه به این نکته ضروری است که بازتولید تنها شامل تکرار نیست، بلکه شامل عمل اپراتورهای ژنتیکی است که قادر به ایجاد تنوع ژنتیکی هستند. در طی تکرار، ژنوم کپی می‌شود و به نسل بعدی منتقل می‌شود. بدیهی است، تکرار تنها نمی‌تواند تنوع را معرفی کند، تنها با عمل اپراتورهای باقیمانده تنوع ژنتیکی به جمعیت می‌رسد. این اپراتورها به‌طور تصادفی کروموزوم‌هایی را که باید اصلاح شوند، انتخاب می‌کنند. بنابراین، در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، یک کروموزوم ممکن است توسط یک یا چند اپراتور در یک زمان اصلاح شود یا اصلاً اصلاح نشود [۵۰].

۳-۱-۴. ژنوم

ژنوم یا کروموزوم شامل یک رشته خطی و نمادین با طول ثابت است که از یک یا چند ژن تشکیل شده است. در ادامه نشان داده خواهد شد که علی‌رغم طول ثابت، کروموزوم‌ها در الگوریتم توسعه ژنی می‌توانند درختان توسعه را با اندازه‌ها و اشکال مختلف کدگذاری کنند.

۳-۱-۴-۱. خواندن آزاد چارچوب‌ها و ژن‌ها

ساختار سازمان‌یافته ژن‌ها در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، از روش خواندن آزاد چارچوب‌ها^۱ (ORFs) بهتر قابل درک است. در زیست‌شناسی، یک خواندن آزاد چارچوب (ORF) یا توالی کدگذاری یک ژن، با کدان "شروع" آغاز می‌شود، با کدان‌های اسید آمینه ادامه می‌یابد و با کدان "پایان" خاتمه پیدا می‌کند.

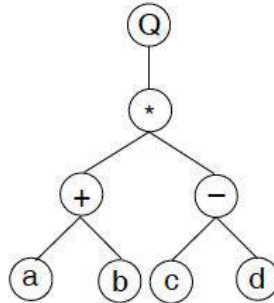
در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) همیشه نقطه شروع از ابتدای یک ژن است ولی نقطه انتهایی آن ممکن است همیشه با انتهای ژنی همخوانی نداشته باشد. برای ژن‌ها در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) رایج است که مناطق کدگذاری نشده از نقطه پایان فراتر می‌روند ولی چون در توسعه کار تأثیری ندارند آن‌ها را در نظر نمی‌گیریم [۵۰].

^۱ Open Reading Frames

بعنوان مثال، عبارت جبری را در نظر بگیرید:

$$\sqrt{(a+b) \times (c-d)} \quad (1-3)$$

که درخت توسعه آن به شکل زیر است:



شکل (۲-۳): درخت توسعه معادله (۱-۳) [۵۰]

Q نشان‌دهنده عملگر رادیکال است. خواندن درست درخت توسعه بصورت چپ به راست و از بالا به پایین است. این نوع نمایش نمودار در واقع فنوتیپ افراد در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) است، که بصورت زیر از ژنوتیپ به راحتی می‌توان به این نتیجه رسید:

0 1 2 3 4 5 6 7
Q * + - a b c d
شکل (۳-۳): ژن معادله (۱-۳) [۵۰]

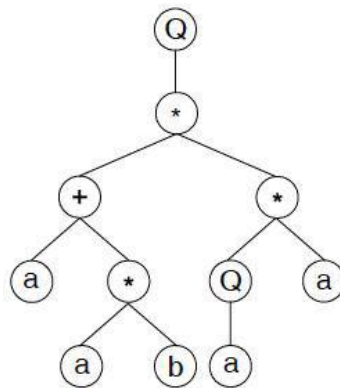
شکل (۳-۳) خواندن آزاد چارچوب (ORF) است، از Q در موقعیت صفر شروع شده و به d در موقعیت ۷ ختم می‌شود. فریرا این ORF را K-expressions نامید [۵۰].

معکوس روش بالا، یعنی تبدیل K-expressions به درخت توسعه نیز ساده است.

K-expressions زیر را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
Q * + * a * Q a a b a
شکل (۴-۳): یک ژن بصورت K-expressions [۵۰]

موقعیت شروع (موقعیت $\circ$) ریشه درخت توسعه است. سپس، زیر ریشه، هر تابع براساس ظرفیتی که دارد آرگومان تعریف می‌شود، این کار تا آنجایی ادامه پیدا می‌کند که در انتهای درخت فقط ترمینال (متغیرها یا ثابت‌هایی که در هر مسأله تعریف می‌شوند) استفاده می‌شوند. آرگومان در ترمینال‌ها برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. در این مورد، درخت توسعه بصورت زیر تشکیل شده است:



شکل (۳-۵): درخت توسعه ژن شکل (۳-۴) [۵۰]

اگر فقط به ساختار خواندن آزاد چارچوب‌ها (ORFs) در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) توجه شود، به‌غیر از موارد ساده و ابتدایی، دیدن مزایای استفاده از چنین روشی، سخت یا حتی غیرممکن است. اما، هنگامی که خواندن آزاد چارچوب‌ها (ORFs) در زمینه تجزیه و تحلیل یک ژن استفاده شوند، مزایای چنین روشی آشکار می‌شود. همانطور که قبلاً گفته شد، کروموزوم در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) دارای طول ثابت است و از یک یا چند ژن مساوی تشکیل شده است. به‌همین ترتیب طول ژن نیز ثابت می‌شود. بنابراین، در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، چیزی که تغییر می‌کند طول ژن نیست، بلکه طول ORF‌ها است. در واقع طول ORF ممکن است برابر یا کمتر از طول ژن باشد. در مورد اول، نقطه پایان با انتهای ژن منطبق است و در مورد دوم، نقطه پایان در محلی از انتهای ژن است.

۳-۱-۴. ژن‌ها در الگوریتم توسعه ژنی

ژن‌ها در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) از سر^۱ و دم^۲ تشکیل می‌شوند. سر حاوی نمادهایی است که نشان‌دهنده توابع (با F نمایش داده می‌شود) و ترمینال‌ها (با T نمایش داده می‌شود) است، در حالی که دم تنها شامل ترمینال‌ها است. بنابراین دو الفبای مختلف در مناطق مختلف در یک ژن اتفاق می‌افتد. برای هر مسأله، طول سر برابر با (h) و طول دم برابر با (t) انتخاب می‌شود که تابعی از طول سر می‌باشد، و تعداد آرگومان‌های تابع با آرگومان بیشتر (n) است و توسط معادله زیر ارزیابی می‌شود:

$$t = h(n - 1) + 1 \quad (۲-۳)$$

ژنی با تابع و ترمینال‌های مقابل در نظر بگیرید:

$$F=\{Q,*,/,-,+\} \quad T=\{a,b\}$$

در اینجا $n=۲$ گرفته شد و بعنوان نمونه $h=۱۰$ و $t=۱۱$ در نظر گرفتیم. از مجموع طول سر و طول دم، طول ژن (A) بدست می‌آید. پس با توجه به فرمول زیر طول ژن برابر با ۲۱ می‌شود:

$$A=h+t=10+11=21 \quad (۳-۳)$$

یکی از این ژن‌ها در زیر نشان داده شده که دم این ژن بصورت پررنگ‌تر نوشته شده است:

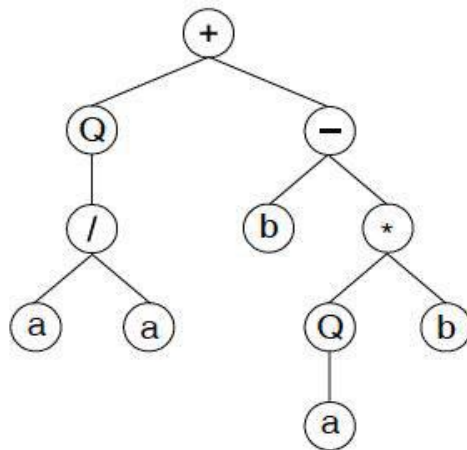
$$\begin{array}{cccccccccccccccccccc} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 0 \\ + & Q & - & / & b & * & a & a & Q & b & a & a & b & a & a & b & b & a & a & a & b \end{array}$$

شکل (۶-۳): ژن با طول ژن ۲۱، طول سر ۱۵ و طول دم ۱۱ [۵۰]

¹ Head

² Tail

درخت توسعه آن نیز بصورت زیر رسم شده است:



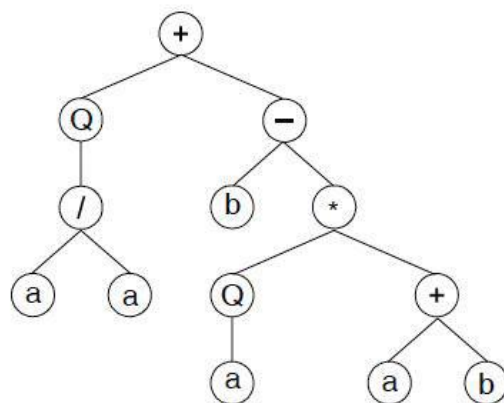
شکل (۷-۳): درخت توسعه ژن شکل (۶-۳) [۵۰]

در این مورد، ORF در موقعیت ۱۰ پایان یافته در حالی که انتهای ژن در موقعیت ۲۰ است.

فرض کنید یک جهش در موقعیت ۹ رخ داده است و "b" به "+" تغییر پیدا می‌کند. سپس ژن زیر بدست می‌آید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
+ Q - / b * a a Q + **a a b a a b**
شکل (۸-۳): ژن جدید ایجاد شده از ژن شکل (۶-۳) [۴۶]

درخت توسعه آن نیز بصورت زیر رسم شده است:



شکل (۹-۳): درخت توسعه ژن شکل (۸-۳) [۵۰]

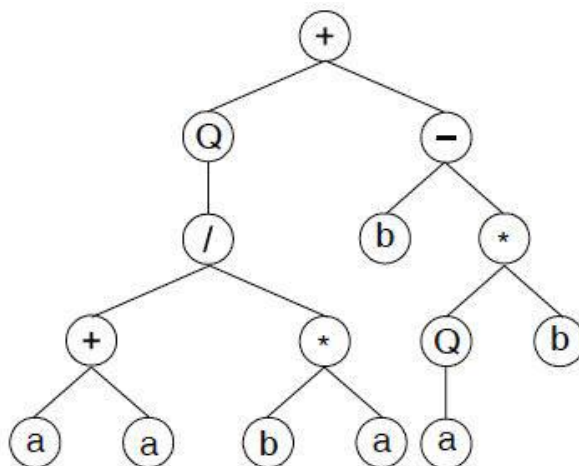
در این مورد، موقعیت پایان دو واحد به سمت راست یعنی به موقعیت ۱۲ انتقال می‌یابد.

حال تغییراتی در ژن شکل (۳-۶) اعمال می‌کنیم. بدین‌صورت که در موقعیت ۷ و ۸ نمادها را به‌ترتیب

به "+" و "*" تغییر می‌دهیم. ژن حاصل بصورت زیر بدست می‌آید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
+ Q - / b * + * Q b a a b a a b b a a a b
شکل (۳-۱۰): ژن جدید ایجاد شده از ژن شکل (۳-۶) [۵۰]

درخت توسعه آن نیز بصورت زیر رسم شده است:



شکل (۳-۱۱): درخت توسعه ژن شکل (۳-۱۰) [۵۰]

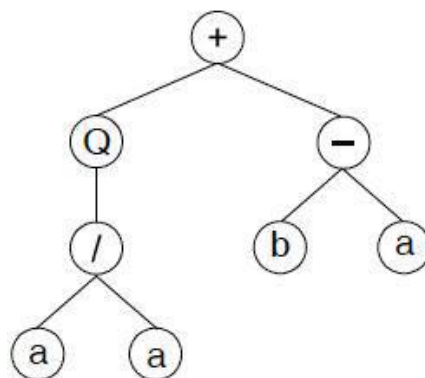
در این مورد، موقعیت پایان چند واحد به سمت راست یعنی به موقعیت ۱۴ انتقال می‌یابد.

برعکس این عمل نیز ممکن است اتفاق بیفتد و ORF کوچکتر شود. بعنوان مثال ژن شکل (۳-۶) را

درنظر بگیرید که جهش در موقعیت ۵ اتفاق بیفتد و "*" به "a" تبدیل شود:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
+ Q - / b a a Q b a a b a a b b a a a b
شکل (۳-۱۲): ژن جدید ایجاد شده از ژن شکل (۳-۶) [۵۰]

درخت توسعه آن نیز بصورت زیر رسم شده است:



شکل (۳-۱۳): درخت توسعه ژن شکل (۳-۱۲) [۵۰]

در این مورد، ORF در موقعیت ۷ پایان یافته و از ژن اصلی ۳ گره کوچک تر شده است.

هر ژن با وجود طول ثابت، پتانسل کدگذاری درختان توسعه در اندازه‌ها و اشکال مختلف را دارا است، ساده‌ترین نوع آن از یک گره تشکیل شده است (در این صورت اولین عضو یک ژن یک ترمینال است) و بزرگترین نوع آن از تعداد زیادی گره بعنوان طول ژن تشکیل شده است.

از مثال‌های بالا می‌توان دریافت که هرگونه تغییر در ژنوم، بدون توجه به اینکه چه قدر عمیق است، همیشه یک درخت توسعه مختص به خود را دارد.

۳-۱-۴. کروموزوم‌های چند ژنی

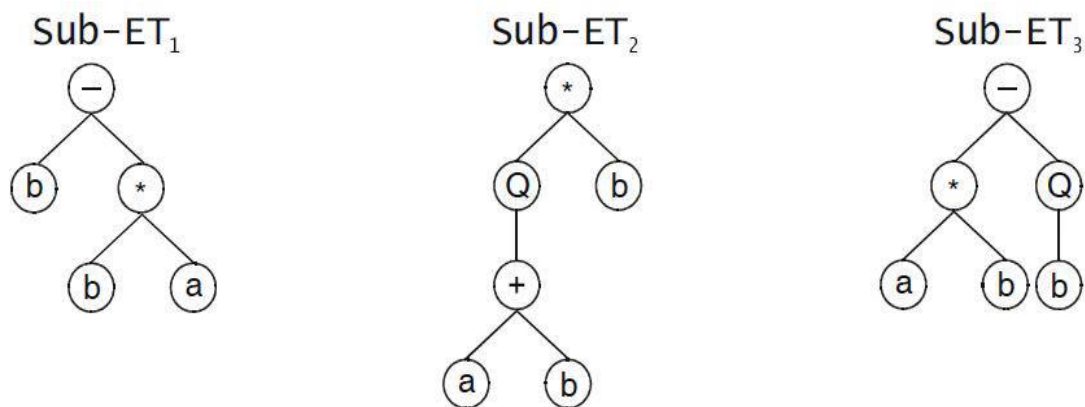
کروموزوم در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) معمولاً از بیشتر از یک ژن با طول مساوی تشکیل شده است. برای هر مسأله یا برای ران گرفتن، تعداد ژن‌ها براساس طول سر خود انتخاب شده‌اند. هر کدام از ژن‌ها دارای یک زیردرخت توسعه (Sub-ET) که با یک دیگر ارتباط برقرار می‌کنند و یک درخت توسعه چند واحدی پیچیده (Multi-coupled ET) را تشکیل می‌دهند.

بعنوان مثال کروموزم زیر را با طول ۲۷ در نظر بگیرید که از ۳ ژن تشکیل شده است (دم‌ها پررنگ تر نوشته شده است):

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8

- b * b a b b a b * Q b + a b b b a - * Q a b b a b a

شکل (۳-۱۴) : کروموزوم تشکیل شده از ۳ ژن [۵۰]



شکل (۳-۱۵) : درخت توسعه ژن‌های شکل (۳-۱۴) [۵۰]

همچنین دارای ۳ ORF است که برای هر کدام از این‌ها کدگذاری انجام شده است. در شکل (۳-۱۴) موقعیت صفر نشان‌دهنده شروع هر ژن است و پایان هر ORF فقط بر روی ساختار زیردرخت توسعه (Sub-ET) مربوط به خود قابل مشاهده است. همانطور که در شکل (۳-۱۵) مشخص است، اولین ORF در موقعیت ۴ زیردرخت توسعه اول (Sub-ET1) پایان می‌یابد. ORF دوم در موقعیت ۵ زیردرخت توسعه دوم (Sub-ET2) به پایان می‌رسد و آخرین ORF نیز در موقعیت ۵ زیردرخت توسعه سوم (Sub-ET3) به پایان می‌رسد. بنابراین، کدگذاری کروموزوم‌ها در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) برای یک یا چند ORF با هر زیردرخت توسعه (Sub-ET) مختص به خود بیان می‌شود. بسته به نوع مسأله، این زیردرختان توسعه (Sub-ETs) ممکن است بطور جداگانه بسته به برازندگی خود انتخاب شوند.

۳-۴-۱-۴. فنوتیپ و درختان توسعه

در طبیعت، فنوتیپ دارای سطوح پیچیده مختلفی است، که به ارگانیزم تبدیل می‌شوند. مثل پروتئین‌ها، ریبوزوم‌ها، سلول‌ها که همه آنها در نهایت در ژنوم رمزگذاری می‌شوند. در تمام موارد، بیان اطلاعات ژنتیکی با رونویسی ژن‌های پروتئین شروع می‌شود و با ترجمه (سنتز پروتئین‌ها) ادامه می‌یابد.

۳-۱-۴-۱. اطلاعات کدگذاری: ترجمه

در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، از ساده‌ترین فرد تا پیچیده‌ترین، بیان اطلاعات ژنتیکی با ترجمه و انتقال اطلاعات از یک ژن به درخت توسعه (ET) آغاز می‌شود. این فرایند در بخش (۳-۱-۴-۲) ارائه شده و در آن کدگذاری ژن‌ها در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) نشان داده شده است. در مقابل طبیعت، بیان اطلاعات ژنتیکی در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) بسیار ساده است. درواقع نکته مهم این است که در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، نیازی به رونویسی وجود ندارد، یعنی پیام در ژن به‌طور مستقیم به درخت توسعه (ET) ترجمه می‌شود.

کروموزوم در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) از یک یا چند ORF تشکیل شده است، و بدیهی است که کدگذاری در افراد، دارای سطوح مختلف پیچیدگی است. ساده‌ترین افراد در یک ژن تنها، کدگذاری می‌شوند و "ارگانیزم" در این مورد (محصول یک ژن تنها) یک درخت توسعه (ET) است. در برخی موارد، ارگانیزم یک زیر درخت توسعه چندگانه (multi-subunit ET) است که در آن زیردرختان توسعه مختلف (Sub-ETs) توسط یک تابع مشخص مرتبط می‌شوند. در برخی موارد دیگر، ارگانیزم از ساختار فضایی زیردرختان توسعه مختلف (Sub-ETs) تشکیل می‌شود (بعنوان مثال، در برنامه‌ریزی و مسائل، با خروجی‌های چندگانه). در مواردی هم، ارگانیزم از ارتباطات زیردرختان توسعه قراردادی (Sub-ETs) با دامنه‌های مختلف (بعنوان مثال، شبکه‌های عصبی) تشکیل می‌شود. با این حال، در همه موارد، کل ارگانیزم در یک ژنوم خطی کدگذاری می‌شود.

۳-۱-۴-۲. تعاملات در زیر درختان توسعه

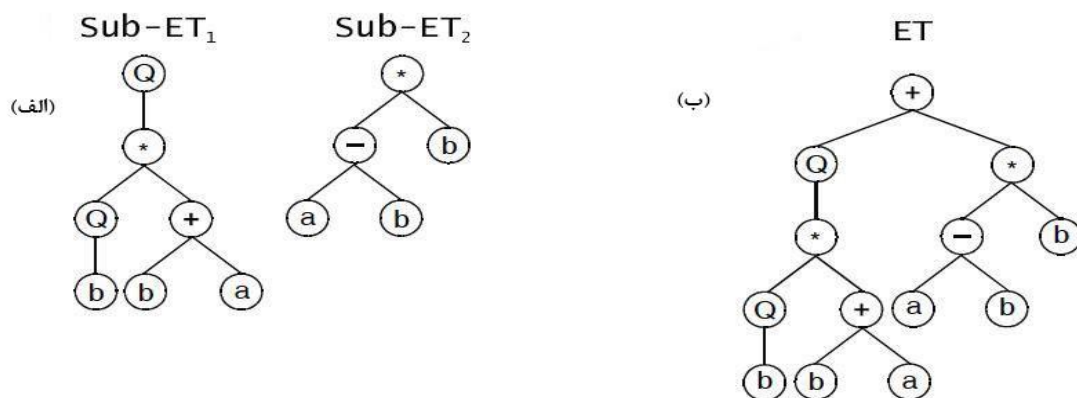
همانطور که مشاهده شد نتایج ترجمه در شکل‌گیری زیردرختان توسعه (Sub-ETs) با پیچیدگی‌های مختلف دیده می‌شود، اما حالت کامل اطلاعات ژنتیکی نیازمند تعامل این زیردرختان توسعه (Sub-

(ETs) با یکدیگر است. یکی از ساده‌ترین تعاملات، اتصال زیردرختان توسعه (Sub-ETs) توسط یک تابع مشخص است.

هنگامی که زیردرختان توسعه (Sub-ETs) بصورت عبارت‌های جبری یا بولی^۱ باشند، هر تابع ریاضی یا بولی با بیش از یک روش می‌تواند برای پیوند زیردرختان توسعه (Sub-ETs) به یک زیر درخت توسعه چندگانه (multi-subunit ET) استفاده شود. بیشتر توابع انتخابی در زیردرختان توسعه جبری "جمع" و "ضرب" هستند و در زیردرختان توسعه بولی از "OR" یا "IF" استفاده می‌شود.

شکل (۳-۱۶) یک کروموزوم ۲ ژنی را نشان می‌دهد که در آن دم‌ها پررنگ‌تر نوشته شده‌اند و شکل (۳-۱۷) اتصال دو زیردرخت توسعه (Sub-ET) را با تابع "جمع" نشان می‌دهد. باید به این نکته توجه داشت که ریشه درخت توسعه نهایی (+) توسط ژنوم کدگذاری نمی‌شود.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 $Q * Q + \mathbf{b b a a a} * - \mathbf{b a b a a b b}$
 شکل (۳-۱۶): کروموزوم ۲ ژنی [۵۰]



شکل (۳-۱۷): (الف) درخت توسعه هرکدام از ژن‌ها (ب) درخت توسعه نهایی بعد از ترجمه و استفاده از تابع اتصال جمع [۵۰]

همچنین درخت توسعه نهایی می‌تواند بصورت K-expression زیر خطی کدگذاری شود:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2
 $+ Q * * - \mathbf{b Q} + \mathbf{a b b b a}$
 شکل (۳-۱۸): K-expression درخت توسعه شکل (۳-۱۷) (ب) [۵۰]

¹ Boolean

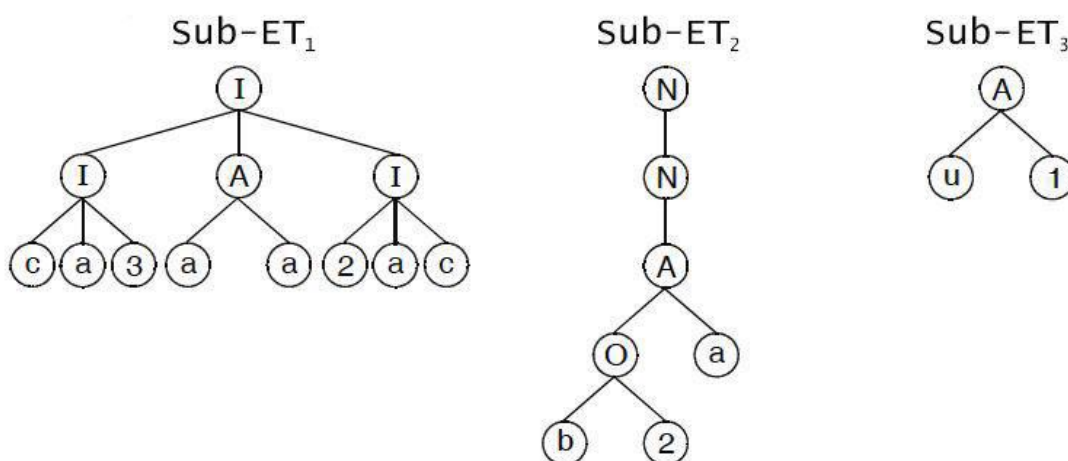
با این حال، برای محاسبه راه حل مسائل پیچیده، استفاده از کروموزوم‌های چندگانه بیشتر مؤثر است. زیرا آنها اجازه ساخت ساختار پیچیده و سلسله مراتبی را می‌دهند، جایی که هر ژن برای یک بلوک کوچک کدگذاری می‌کند.

این بلوک‌های کوچک از یکدیگر جدا می‌شوند، بنابراین می‌توانند مستقل باشند. بعنوان مثال، اگر سعی شود یک راه حل برای مسأله رگرسیون نمادین تک‌ژنی ایجاد شود، میزان موفقیت به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در این صورت پیدا کردن بلوک‌های کوچک با محدودیت بیشتر مواجه می‌شود، زیرا آنها دیگر به‌طور مستقل نمی‌توانند تکامل پیدا کنند. این نوع آزمایش نشان می‌دهد که الگوریتم توسعه ژنی (GEP) یک سیستم اختراع سلسله مراتبی قدرتمند است که به راحتی قادر به محاسبه بلوک‌های ساده و استفاده از آنها در ساختارهای پیچیده‌تر است [۵۰].

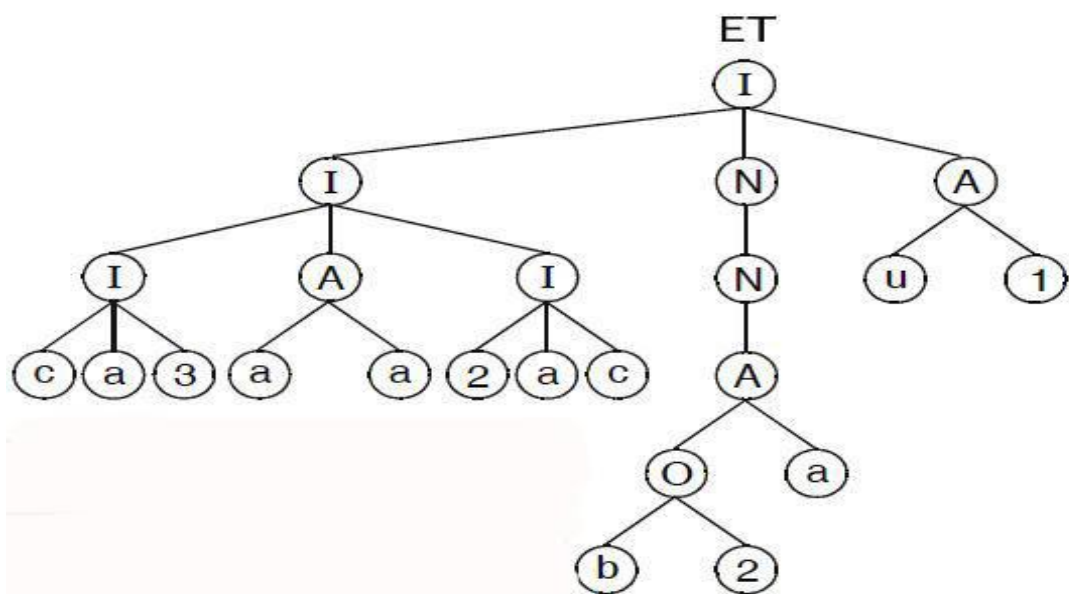
شکل (۳-۱۹) مثال دیگری از تعاملات زیردرختان توسعه هست. در این مثال از ۳ زیر درخت توسعه بولی با تابع اتصال "IF" استفاده شده است.

012345678901201234567890120123456789012
 IIAIca3aa2ac u NNAOab2u3c31cAu12ua3112cac

شکل (۳-۱۹) : کروموزوم بولی ۳ ژنی [۵۰]



شکل (۳-۲۰) : درخت توسعه هر کدام از ژن‌ها [۵۰]



شکل (۳-۲۱): درخت توسعه نهایی بعد از ترجمه و استفاده از تابع اتصال جمع [۵۰]

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2

I I N A I A I N u 1 c a 3 a a 2 a c A O a b 2

شکل (۳-۲۲): K-expression درخت توسعه شکل (۳-۲۱) [۵۰]

در نهایت، بیان کامل کروموزوم‌ها نیازمند به اجرای پیوسته برنامه‌های کوچک است، بدین صورت که اولین زیردرخت توسعه (Sub-ET) کمی کار انجام می‌دهد، دومی از ادامه آن شروع به کار می‌کند و این روند تا آخرین زیردرخت توسعه ادامه پیدا می‌کند. برنامه نهایی حاصل کار صحیح تمام برنامه‌های کوچک است.

نوع تابع اتصال^۱، تعداد ژن‌ها و طول هر کدام از ژن‌ها، به‌طور پیش فرض برای هر مسأله انتخاب می‌شوند. بنابراین، ما همیشه می‌توانیم با استفاده از یک کروموزوم تک‌ژنی، به تدریج طول سر را افزایش دهیم؛ اگر خیلی بزرگ شود، می‌توانیم تعداد ژن‌ها را افزایش دهیم و یک تابع اتصال برای اتصال آنها انتخاب کنیم. می‌توانیم این کار را با تابع "جمع" یا "OR" شروع کنیم، اما در موارد دیگر، ممکن است

^۱ Linking Function

تابع اتصال دیگری، مناسب‌تر باشد. این ایده برای یافتن یک راه حل مناسب است و الگوریتم توسعه ژنی (GEP) ابزار یافتن آن را فراهم می‌کند.

۳-۱-۵. توابع برازندگی و انتخاب آن

در این بخش، دو نمونه از توابع برازندگی شرح داده خواهد شد. موفقیت در یک مسأله به میزان زیادی به نحوه طراحی تابع برازندگی بستگی دارد: هدف باید به درستی و روشنی تعریف شود تا سیستم در مسیر درست محاسبه کند [۵۱-۵۲].

۳-۱-۵-۱. توابع برازندگی

یکی از کاربردهای مهم الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، رگرسیون نمادین یا یافتن تابع است، جایی که هدف آن یافتن بیانی است که برای همه موارد برازندگی دارای یک خطای مشخص از مقدار صحیح به خوبی انجام شود. برای برخی از برنامه‌های کاربردی ریاضی استفاده از خطاهای نسبی کم یا مطلق برای پیدا کردن یک راه حل مناسب بسیار مفید است. اما اگر دامنه انتخاب بیش از حد محدود شود، جمعیت بسیار آهسته تکامل می‌یابد و قادر به یافتن راه حل صحیح نمی‌باشد. از سوی دیگر، اگر برعکس آن اتفاق بیفتد و دامنه انتخاب گسترده‌تر شود، راه حل‌های متعدد با حداکثر مقدار برازندگی ظاهر خواهد شد که از راه حل‌های مناسب فاصله دارد، یعنی جواب‌ها قابل استفاده نمی‌باشند.

برای حل این مشکل، یک استراتژی تکاملی در نظر گرفته شده است که اجازه، پیدا کردن راه حل‌های بسیار خوب بدون توقف در محاسبه را به ما می‌دهد. بنابراین، این سیستم بهترین راه حل ممکن با حداقل خطا را به ما می‌دهد. برای آن یک حد بسیار وسیع برای انتخاب انجام کار داده شده است، بعنوان مثال، یک خطای نسبی که ۲۰٪ است، اجازه می‌دهد تا روند تکاملی شروع شود. در واقع، این افراد اولیه معمولاً بسیار نامناسب هستند، اما نسل اصلاح شده خود را با انتخاب بازسازی می‌کنند و جمعیت‌ها به طرز شگفت‌انگیزی سازگاری پیدا می‌کنند که به موجب آن راه حل‌هایی را پیدا می‌کنند

که به تدریج به یک راه حل کامل نزدیک می‌شوند. از نظر ریاضی، اگر F_i یک تابع برازندگی برنامه i باشد که بصورت معادله (۳-۴) بیان شده است که خطای آن یک خطای مطلق است و معادله (۳-۵)، که خطای آن یک خطای نسبی است:

$$f_i = \sum_{j=1}^{C_t} (M - |C_{(i,j)} - T_{(j)}|) \quad (۳-۴)$$

$$f_i = \sum_{j=1}^{C_t} \left(M - \left| \frac{C_{(i,j)} - T_{(j)}}{T_{(j)}} \cdot 100 \right| \right) \quad (۳-۵)$$

که در آن M دامنه انتخاب است، C_{ij} مقادیر بازگشتی از کروموزوم فردی i برای تابع برازندگی j (خارج از توابع برازندگی C_t) و T_j مقدار هدف برای تابع برازندگی j است. باید توجه داشت که برای بهترین جواب، $f_i = f_{\max} = C_t \cdot M$ و $C_{(i,j)} = T_j$ باید برقرار باشد. نکته دیگر این است که با این نوع تابع برازندگی سیستم می‌تواند راه حل بهینه برای خود پیدا کند.

در یکی دیگر از کاربردهای مهم الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، یادگیری مفهوم بولی یا منطق سنتز، تابع برازندگی یک فرد یک تابع از توابع برازندگی است که به درستی عمل می‌کند. با این حال، برای اکثر برنامه‌های بولی، ضروری است که افرادی را که می‌توانند حدود ۵۰ درصد از توابع برازندگی را حل کنند، حذف شوند، زیرا این تنها نشان‌دهنده ۵۰ درصد احتمال درستی حل یک عمل بولی دوتایی است. بنابراین، توصیه می‌شود تنها افرادی را که قادر به حل بیش از ۵۰ تا ۷۵ درصد توابع برازندگی هستند انتخاب شود. در زیر این علامت، ارزش نمادین برازندگی را می‌توان بعنوان مثال $f_i = 1$ در نظر گرفت. به‌طور معمول، روند تکامل با افراد نامناسب آغاز می‌شود، زیرا آنها در جمعیت اولیه به راحتی می‌توانند ایجاد شوند. با این حال، در نسل‌های آینده، افراد بسیار متناسب شروع به ظاهر شدن می‌کنند و به سرعت در جمعیت گسترش می‌یابند. برای مسائل آسان، مانند توابع بولی با ۲ تا ۵ آرگومان، این واقعاً مهم نیست، اما برای مسائل پیچیده‌تر، انتخاب خط پایین برای حل مناسب است. برای این مسائل، تابع برازندگی زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

$$\text{If } n \geq \frac{1}{2}C_t . \text{ then } f_t = n ; \text{ else } f_t = 1 \quad (6-3)$$

N تعداد توابع برازندگی صحیح مورد استفاده و C_t تعدا کل توابع برازندگی است.

۳-۱-۵-۲. انتخاب

در تمام مسائل ارائه شده در این پژوهش، افراد با توجه به برازندگی نمونه‌گیری رولت‌ویل^۱ همراه با همسان‌سازی^۲ از بهترین افراد انتخاب شدند (نخبه‌گرایی ساده). مطالعات مقدماتی طرح‌های مختلف انتخاب پیشنهاد می‌شود:

(۱) انتخاب رولت‌ویل با نخبه‌گرایی یا بدون نخبه‌گرایی؛

(۲) مسابقه انتخاب با نخبه‌گرایی یا بدون نخبه‌گرایی؛

(۳) انواع مختلفی از انتخاب قطعی با نخبه‌گرایی یا بدون نخبه‌گرایی؛

که تا زمانی که همسان‌سازی بهترین فرد تضمین شود (نتایج نشان داده نمی‌شود). تفاوت خاصی بین آنها وجود ندارد، بعضی از برنامه‌ها در یک مسأله بهتر عمل می‌کنند، دیگر برنامه‌ها در مسائل دیگر. اما برای مسائل پیچیده‌تر به نظر می‌رسد انتخاب رولت‌ویل با نخبه‌گرایی بهترین است.

۳-۱-۶. تولید با اصلاح

با توجه به برازندگی و شانس رولت، افراد برای تولید با اصلاح مجدد انتخاب می‌شوند، ایجاد تنوع ژنتیکی لازم، امکان ران‌های بلند مدت را فراهم می‌آورد.

به جز برای تکرار، که در آن ژنوم‌های تمام افراد انتخاب شده دقیقاً کپی می‌شوند، تمام اپراتورهای باقیمانده به‌طور تصادفی کروموزوم را انتخاب می‌کنند تا تحت یک اصلاح خاص قرار گیرند. با این حال،

¹ Roulettewheel Sampling

² Cloning

به جز جهش، هر اپراتور مجاز به تغییر یک کروموزوم بیش از یک بار نیست. بعنوان مثال، برای یک نرخ انتقال برابر ۰/۷، یعنی ۷ از ۱۰ کروموزوم‌های مختلف به‌طور تصادفی انتخاب شده‌اند.

علاوه بر این، در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، یک کروموزوم ممکن است توسط یک یا چند اپراتور ژنتیکی انتخاب شود که تنوع در جمعیت را نشان می‌دهند. همچنین ویژگی دیگری که الگوریتم توسعه ژنی (GEP) را از برنامه‌نویسی ژنتیکی (GP) مجزا می‌کند این است که در آن یک نهاد هرگز در یک زمان توسط بیش از یک اپراتور اصلاح نمی‌شود. بنابراین، در الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، اصلاح بعضی از اپراتورهای ژنتیکی در طول تولید جمع‌آوری می‌شوند و تولید فرزندان^۱، بسیار متفاوت از والدین می‌کند.

۳-۱-۶-۱. تکرار

تکرار گرچه حیاتی است، اما به‌تنهایی کمکی به تنوع ژنتیکی نمی‌کند. در واقع تکرار، همراه با انتخاب، تنها قادر به ایجاد رانش ژنتیکی است. با توجه به برازندگی و شانس رولت، کروموزوم‌ها به درستی به نسل بعدی کپی می‌شوند. فرد مؤید این است که احتمال توانایی فرزندان بیشتر را بیشتر کند. بنابراین، در طی تکرار، ژنوم افراد انتخاب شده آنقدر کپی می‌شوند که نتیجه خروجی آن رولت شوند. رولت به اندازه افرادی که در جمعیت وجود دارند می‌چرخد، و همیشه اندازه جمعیت را حفظ می‌کند.

۳-۱-۶-۲. جهش

جهش در هرجایی از کروموزوم رخ می‌دهد. با این حال، ساختار سازمان‌یافته کروموزوم‌ها باید تغییر نپذیر باقی بماند. در سر، هر نماد می‌تواند به یک‌دیگر (تابع یا ترمینال) تغییر کند؛ در دم‌ها، ترمینال‌ها فقط می‌توانند به ترمینال‌های دیگر تغییر کنند. به این ترتیب، ساختار سازمان‌یافته کروموزوم‌ها حفظ می‌شود و همه افراد جدید تولید شده توسط جهش، ساختار درستی دارند.

¹ Offspring

به‌طور معمول، نرخ جهش (Pm) معادل دو نقطه جهش در هر کروموزوم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کروموزوم ۳ ژنی زیر را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 - + - + **a b a a a / b b / a b a b b** * Q * + **a a a b a**

شکل (۲۳-۳): کروموزوم ۳ ژنی [۵۰]

فرض کنید جهش عضو در موقعیت صفر در ژن اول به "Q" تغییر پیدا کند؛ عضو در موقعیت ۳ در ژن

دوم به "Q" تغییر پیدا کند و همچنین عضو در موقعیت ۱ در ژن سوم به "b" تغییر پیدا کند، داریم:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 Q + - + **a b a a a / b b Q a b a b b** * b * + **a a a b a**

شکل (۲۴-۳): کروموزوم جهش‌یافته کروموزوم شکل (۲۳-۳) [۵۰]

توجه داشته باشید که اگر یک تابع به یک ترمینال جهش یابد و یا برعکس این عمل اتفاق بیفتد، یا

یک تابع از یک آرگومان به یک تابع از ۲ آرگومان جهش یابد یا برعکس این عمل اتفاق بیفتد، درخت

توسعه (ET) به‌طور قابل ملاحظه‌ای تغییر پیدا می‌کند. همچنین توجه داشته باشید که جهش در ژن

۲ نمونه‌ای از جهش خنثی است زیرا در ناحیه کدگذاری نشده در ژن رخ داده است.

لازم به ذکر است که در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) هیچ محدودیتی در نوع جهش و تعداد جهش در

یک کروموزوم وجود ندارد.

در طبیعت، نقطه جهش در دنباله‌ای از یک ژن می‌تواند کمی ساختار پروتئین را تغییر دهد و یا اصلاً

تغییر ندهد، به این نوع جهش، جهش خنثی می‌گویند که زیاد هم اتفاق می‌افتد. (بعنوان مثال، جهش

در اینترون‌ها^۱، جهش‌هایی که در نتیجه همان آمینو اسید به‌علت فراوانی کد ژنتیکی اتفاق می‌افتد).

در اینجا، اگرچه جهش‌های خنثی وجود دارد (مثلاً جهش در منطقه کدگذاری نشده)، جهش در

کدگذاری شده در یک ژن تأثیر زیادی دارد که معمولاً باعث تغییر شکل درخت توسعه می‌شود.

^۱ Introns

۳-۱-۶-۳. انتقال و قرار دادن اعضا به دنبال هم

اعضای قابل انتقال از الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، قطعاتی از ژنوم هستند که می‌توانند فعال شوند و به مکان دیگری در کروموزوم بروند. در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) سه نوع اعضای قابل انتقال وجود دارد:

- ۱) قطعات کوتاه با حداقل یک تابع یا ترمینال در موقعیت اول که به سر ژن‌ها منتقل می‌شود، به غیر از ریشه (اعضای IS)؛
- ۲) قطعات کوتاه با حداقل یک تابع در موقعیت اول که می‌تواند به ریشه ژن‌ها منتقل شود (ریشه اعضای IS یا اعضای RIS)؛
- ۳) تمام ژن‌هایی که به آغاز کروموزوم‌ها منتقل می‌شوند.

۳-۱-۶-۳-۱. اعضای IS (IS elements)

هر دنباله‌ای در ژنوم ممکن است یک عضو IS باشد، بنابراین این اعضا به‌طور تصادفی از سراسر کروموزوم انتخاب می‌شوند. یک نسخه از ترانسپوزون ساخته شده که می‌تواند در هر موقعیت به سر یک ژن وارد شود، به جز در موقعیت شروع.

به‌طور معمول، مقدار IS transposition (Pis) ۰/۱ است و مجموعه‌ای از سه عضو IS با طول‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. اپراتور انتقال، کروموزوم‌ها را به‌طور تصادفی انتخاب می‌کند، شروع عضو IS، منطقه هدف و طول ترانسپوزون را انتخاب می‌کند. کروموزوم ۲ ژنی زیر را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
* - + * a - + a * b b a b b a a b a b a b Q * * + a b Q b b * a a b b a a a a b b a
شکل (۳-۲۵): کروموزوم ۲ ژنی [۵۰]

فرض کنید که دنباله "bba" در ژن ۲ (موقعیت ۱۲ تا ۱۴) بعنوان یک عضو IS انتخاب شده باشد و منطقه هدف، بند ۶ در ژن ۱ (بین موقعیت ۵ و ۶) باشد. سپس یک برش در بند ۶ ایجاد می‌شود و بلوک "bba" به محل ورودی کپی می‌شود، کروموزوم زیر بدست می‌آید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 * - + * a - **b b a** + b a b b a a b a b a b Q * * + a b Q b b * a a **b b a** a a a b b a
 شکل (۳-۲۶) : کروموزوم ژنی تغییر یافته [۵۰]

در طول انتقال، دنباله بالادست منطقه ورودی بدون تغییر باقی می‌ماند، درحالی که دنباله پایین دست از عضو IS کپی شده را از دست می‌دهد، در انتهای سر، مانند بسیاری از نمادها، طول عضو IS (در این مورد دنباله $a * b$ حذف شد) توجه داشته باشید که با وجود این ورود، ساختار سازمان یافته کروموزوم‌ها حفظ می‌شود، بنابراین همه افرادی که تازه ایجاد شده‌اند بصورت درست تشکیل شده‌اند. همچنین توجه داشته باشید که انتقال می‌تواند باعث تغییر شکل اساسی در درخت توسعه شود.

۳-۱-۶-۲. اعضای RIS (RIS elements)

تمام اعضای RIS با یک تابع شروع می‌شوند و از این جهت از میان دنباله سرها انتخاب می‌شوند. یک نقطه در سر به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود و ژن پایین دست را تا زمانی که یک تابع پیدا شود اسکن می‌کند. این تابع بعنوان موقعیت شروع در عضو RIS انتخاب می‌شود. اگر هیچ تابعی پیدا نشد، کاری انجام نمی‌دهد.

معمولاً، مقدار انتقال ریشه (pris) از ۰/۱ است و مجموعه‌ای از سه عضو RIS با اندازه‌های مختلف استفاده می‌شود. این اپراتور بصورت تصادفی کروموزوم، ژنی که اصلاح می‌شود، شروع عنصر RIS و طول آن را انتخاب می‌کند. کروموزوم ژنی زیر را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 - b a * + - + - Q / a b a b a b b b a a a Q * b / + **b b a** b b a a a a a a a b b b
 شکل (۳-۲۷) : کروموزوم ژنی [۵۰]

فرض کنید که دنباله "bb+" در ژن ۲ بعنوان عضو RIS انتخاب شده است. سپس، یک نسخه از ترانسپوزون در ریشه ژن ساخته می‌شود، داریم:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 - b a * + - - - Q / a b a b a b b b a a a + **b b** Q * b / + **b b** a a a a a a a b b b
 شکل (۳-۲۸): کروموزوم ۲ ژنی تغییر یافته [۵۰]

در طول انتقال ریشه، کل سر تغییر می‌کند تا عضو RIS را جایگزین کند، در عین حال، آخرین نماد سر را از دست می‌دهد. همانند اعضای IS، دم ژن در معرض انتقال قرار می‌گیرد و تمام ژن‌های اطراف آن بدون تغییر باقی می‌مانند. باید توجه داشت، برنامه‌های جدید ایجاد شده درست است، زیرا ساختار سازمان‌یافته کروموزوم‌ها حفظ شد.

تغییرات ناشی از انتقال ریشه بسیار شدید است، زیرا ریشه خود اصلاح شده است. در طبیعت، اگر یک عنصر قابل انتقال در ابتدای دنباله کدگذاری یک ژن وارد شده باشد، که موجب تغییر شکل جهش شود، پروتئین کد شده را بطور اساسی دچار تغییر می‌کند. مانند جهش و IS transposition، ورودی ریشه دارای قدرت تغییر شکل فوق‌العاده‌ای است که برای ایجاد تنوع ژنتیکی عالی است.

۳-۱-۶-۳. انتقال ژن

در انتقال ژن، کل ژن بعنوان یک ترانسپوزون عمل می‌کند و خود را به نقطه شروع کروموزوم انتقال می‌دهد. در مقابل شکل‌های انتقال، در انتقال ژن ترانسپوزون (ژن) از جای منشأ خود حذف می‌شود. به این ترتیب، طول کروموزوم ثابت می‌ماند.

کروموزوم برای انتقال ژن بصورت تصادفی انتخاب می‌شود و یکی از ژن‌های آن (به جز اول، بدیهی است) بصورت تصادفی برای انتقال انتخاب می‌شود. کروموزوم زیر را که شامل ۳ ژن است را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 $* a - * a b b a b - Q Q / a a a b b Q + a b a b a b b$
 شکل (۳-۲۹) : کروموزوم ۳ ژنی [۵۰]

فرض کنید ژن ۲ برای انتقال ژن انتخاب شده است. سپس کروموزوم زیر بدست می‌آید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 $- Q Q / a a a b b * a - * a b b a b Q + a b a b a b b$
 شکل (۳-۳۰) : کروموزوم ۳ ژنی تغییر یافته [۵۰]

۳-۱-۴. نو ترکیبی

در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) سه نوع نو ترکیبی وجود دارد:

(۱) یک نقطه‌ای؛

(۲) دو نقطه‌ای؛

(۳) نو ترکیبی ژنی.

در تمام موارد، دو کروموزوم پدر و مادر به‌طور تصادفی انتخاب شده و برای تبادل برخی مواد بین آنها جفت می‌شوند.

۳-۱-۴-۱. نو ترکیبی یک نقطه‌ای

در طول نو ترکیبی یک نقطه‌ای، نقطه تقاطع کروموزوم‌ها بصورت تصادفی برای تشکیل دو کروموزوم فرزند انتخاب شده است. کروموزوم پدر و مادر زیر را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 $- b + Q b b a b b / a Q b b b a a b$
 $/ - a / a b a b b - b a - a b a a a$
 شکل (۳-۳۱) : کروموزوم‌های ۲ ژنی پدر و مادر [۵۰]

فرض کنید بند ۳ در ژن ۱ (بین موقعیت ۲ و ۳) بصورت تصادفی بعنوان نقطه تقاطع انتخاب شد. سپس، کروموزوم‌های جفت شده در این بند قطع شوند، و تبادل مواد بین آنها از پایین دست نقطه تقاطع انجام گیرد و فرزندان زیر را تشکیل دهند:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 - b + / a b a b b - b a - a b a a a
 / - a Q b b a b b / a Q b b b a a b
 شکل (۳-۳) : کروموزوم‌های جدید ایجاد شده [۵۰]

با این نوع نوترکیب، اغلب اوقات، فرزندان با جزئیات متفاوتی از والدین ایجاد می‌شوند. نوترکیب یک نقطه‌ای، مانند اپراتورهای ذکر شده فوق، یک منبع بسیار مهم برای تغییر ژنتیک است، که بعد از جهش، یکی از اپراتورهایی که باید در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) انتخاب شود. میزان نوترکیبی یک نقطه‌ای (p1r) به میزان اپراتورهای دیگر وابسته است. به‌طور معمول میزان جهانی تقریباً ۰/۷ (مجموع سه نوع نوترکیب) استفاده می‌شود.

۳-۱-۶-۴-۲. نوترکیبی دو نقطه‌ای

در نوترکیبی دو نقطه‌ای کروموزوم‌ها جفت می‌شوند و دو نقطه از نوترکیبی به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند. مواد بین نقاط نوترکیبی بین دو کروموزوم مبادله می‌شود و بعد از آن دو کروموزوم فرزند تشکیل می‌شود. کروموزوم‌های پدر و مادر زیر را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 + * a * b b c c c a c * b a Q * a c a b a b-[1]
 * c b b + c c c b c c + + * * b a c b a a b-[2]
 شکل (۳-۳) : کروموزوم‌های ۲ ژنی پدر و مادر [۵۰]

فرض کنید بند ۷ در ژن ۱ (بین موقعیت‌های ۶ و ۷) و بند ۳ در ژن ۲ (بین موقعیت‌های ۲ و ۳) بعنوان نقاط تقاطع انتخاب شوند. سپس کروموزوم‌های جفت شده در این نقاط برش داده می‌شوند، مبادله مواد بین نقاط تقاطع شکل می‌گیرد و باعث تشکیل فرزندان زیر می‌شود:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
 $+ * a * b b c c b c c + + * Q * a c a b a b - [3]$
 $* c b b + c c c c a c * b a * b a c b a a b - [4]$
 شکل (۳-۳۴) : کروموزوم‌های جدید ایجاد شده [۵۰]

توجه داشته باشید که ژن اول، در هر دو والدین، تقسیم از پایین دست نقطه پایان انجام می‌شود. در واقع، مناطق کدگذاری نشده در کروموزوم‌های الگوریتم توسعه ژنی (GEP)، مناطق ایده‌آل هستند که کروموزوم‌ها را می‌توان بدون دخالت ORF‌ها از هم جدا کرد. همچنین توجه داشته باشید که ژن دوم کروموزوم ۱ نیز از پایین دست نقطه پایان برش داده می‌شود. با این حال، ژن دوم کروموزوم ۲ از بالای دست نقطه پایان تقسیم شد و درخت زیر توسعه را دچار تغییرات زیادی کرد. همچنین توجه داشته باشید که زمانی که این کروموزوم‌ها دوباره ترکیب شدند، منطقه کدگذاری نشده ژن ۲ از کروموزوم ۱ فعال شد و با کروموزوم ۳ یکپارچه شد.

قدرت تبدیل نوترکیبی دو نقطه‌ای بیشتر از نوترکیبی یک نقطه‌ای است و برای حل مسائل پیچیده‌تر مفیدتر است، به‌ویژه زمانی که کروموزوم‌های چندگانه متشکل از چندین ژن استفاده شود.

۳-۱-۶-۴-۳. نوترکیبی ژنی

در نوترکیبی ژنی یک ژن کامل در طول تقاطع مبادله می‌شود. ژن‌های مبادله شده بصورت تصادفی انتخاب می‌شوند و همان موقعیت خود در کروموزوم‌های پدر و مادر را تصرف می‌کنند. کروموزوم‌های پدر و مادر زیر را در نظر بگیرید:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8 0 1 2 3 4 5 6 7 8
 $/ a a - a b a a a / a * b b a a a b / Q * + a a a a b$
 $/ - * / a b b a b Q + a Q b a b a a - Q / Q b a a b a$
 شکل (۳-۳۵) : کروموزوم‌های ۳ ژنی پدر و مادر [۵۰]

فرض کنید که ژن ۲ برای مبادله انتخاب شده است. در این مورد فرزندان زیر تشکیل می‌شود:

$$\begin{array}{cccccccccccccccccccc}
 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
 / & \mathbf{a} & \mathbf{a} & - & \mathbf{a} & \mathbf{b} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{Q} & + & \mathbf{a} & \mathbf{Q} & \mathbf{b} & \mathbf{a} & \mathbf{b} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & / & \mathbf{Q} & * & + & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{b} \\
 / & - & * & / & \mathbf{a} & \mathbf{b} & \mathbf{b} & \mathbf{a} & \mathbf{b} & / & \mathbf{a} & * & \mathbf{b} & \mathbf{b} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{b} & - & \mathbf{Q} & / & \mathbf{Q} & \mathbf{b} & \mathbf{a} & \mathbf{a} & \mathbf{b} & \mathbf{a}
 \end{array}$$

شکل (۳-۳۶) : کروموزوم‌های جدید ایجاد شده [۵۰]

افراد تازه ایجاد شده حاوی ژن‌های هر دو والدین هستند. توجه داشته باشید که با این نوع از نو ترکیبی، ژن‌های مشابه می‌توانند مبادله شوند، اما اغلب اوقات، ژن‌های رد و بدل شده بسیار متفاوت هستند و مواد جدید به جمعیت معرفی می‌شوند.

قابل ذکر است که این اپراتور قادر به ایجاد ژن‌های جدید نیست: افراد ایجاد شده ساختار متفاوتی از ژن‌های موجود دارند. در حقیقت، وقتی که نو ترکیبی ژنی بعنوان منبع منحصر به فرد تنوع ژنتیکی مورد استفاده قرار گیرد، مسائل پیچیده‌ای را می‌توان با استفاده از جمعیت‌های اولیه بسیار بزرگ به‌منظور فراهم کردن تنوع لازم ژن‌ها حل کرد. با این حال، قدرت ساخت در الگوریتم توسعه ژنی (GEP) تنها براساس ترکیب ژن‌ها و یا ساخت بلوک‌ها نیست، بلکه در ایجاد با ثبات مواد ژنتیکی جدید است.

در نهایت، به‌منظور طراحی الگوریتم توسعه ژنی پنج گام زیر باید انجام گیرد [۴۸]:

- ۱- تعریف تابع برازندگی؛
- ۲- تعریف ترمینال‌ها و توابع؛
- ۳- تعیین ساختار کروموزوم‌ها (تعداد در نسل، طول ژن‌ها و تعداد آن‌ها)؛
- ۴- تعیین تابع اتصال ژن‌ها؛
- ۵- تعیین مشخصات عملگرها و در انتها اجرای الگوریتم.

۳-۲. توابع متغیر ورودی

۳-۲-۱. داده‌های شتاب‌نگاری

برای بدست آوردن رابطه کاهندگی نیاز به جمع‌آوری داده‌های ثبت شده است که از نظر تعداد و دقت دارای کیفیت لازم باشند. در این پژوهش، از داده‌های شتاب‌نگاری ثبت شده از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۸ که از نظر مهندسی قابل استفاده باشد، استفاده شد. این رکوردها از شبکه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی که در حال حاضر مهم‌ترین شبکه ملی ثبت و پایش رخداد زلزله در داخل کشور هست جمع‌آوری شده است. در انتخاب رکوردها، در دسترس بودن اطلاعات زلزله، از قبیل دقت و صحت بزرگا، فاصله از منبع زمین‌لرزه و امکان تعیین نوع خاک ساختگاه در نظر گرفته شد. پراکندگی داده‌های انتخابی به گونه‌ای است که شامل بیشتر مناطق کشور بوده است.

۳-۲-۱-۱. دلایل استفاده از داده‌های شتاب‌نگاری

در حال حاضر، ثبت زمین‌لرزه‌ها، بیشتر توسط لرزه‌نگارها و شتاب‌نگارها انجام می‌شود. لرزه‌نگارها دستگاه‌های بسیار حساسی هستند که قادرند حرکات فوق‌العاده ضعیف زمین، ناشی از رویداد زمین‌لرزه-ها را با دقت بسیار زیادی ثبت کنند. به‌طور کلی، داده‌های حاصل از دستگاه‌های لرزه‌نگاری را نمی‌توان به‌طور مستقیم در مهندسی زلزله استفاده کرد، زیرا در فواصل نزدیک به مرکز زمین‌لرزه، قادر به ثبت حرکات قوی زمین نمی‌باشند، بدلیل اینکه در فواصل نزدیک به مرکز زمین‌لرزه، عمدتاً این دستگاه‌ها به حالت اشباع در آمده و قادر به ثبت مناسب و صحیح حرکات قوی زمین نمی‌باشند. پارامترهایی که توسط پایگاه‌های لرزه‌نگاری گزارش می‌شود، معمولاً شامل بزرگای زلزله، عمق زلزله و مختصات زمانی و مکانی می‌باشد. در گزارش زمین‌لرزه‌ها توسط سازمان‌ها و نهادهای مختلف تفاوت‌هایی وجود دارد، این تفاوت‌ها به دلیل پیچیدگی در سازوکار زمین‌لرزه‌ها و همچنین پراکندگی و فاصله دستگاه‌های لرزه‌نگار می‌باشد.

برخلاف لرزه‌نگارها، دستگاه‌های شتاب‌نگار برای نصب در نزدیکی مراکز زمین‌لرزه‌ها و گسل‌های فعال و همچنین در سازه‌های مهم نظیر سدها، نیروگاه‌ها، پل‌ها، ساختمان‌های بلند، پالایشگاه‌ها و... بسیار مناسب هستند و می‌توانند نداشت‌هایی را ثبت کنند که در مهندسی زلزله، از اهمیت خاصی برخوردارند. دستگاه‌های شتاب‌نگار دارای فرکانس طبیعی بسیار بالاتری نسبت به فرکانس حرکات زمین هستند و می‌توانند شتاب حاصل از حرکات قوی زمین را ثبت کنند. شتاب‌نگاشت‌های حاصل از جنبش نیرومند زمین دارای شکل‌های بسیار متفاوتی هستند که به مدت دوام، دامنه‌های اوج و محتوای فرکانس آنها بستگی دارد. شتاب‌نگاشت‌ها در زلزله‌شناسی مهندسی برای تحلیل طبیعت جنبش نیرومند زمین نظیر فاصله، عمق، شتاب، ساز و کار گسل مسبب و... استفاده می‌شود. علاوه بر این، شتاب‌نگاشت‌ها در مهندسی زلزله برای تدوین آیین‌نامه‌های زلزله و طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه و خطرپذیری آنها و همچنین مطالعه تأثیر نیروهای ناشی از زمین‌لرزه در سازه‌ها استفاده می‌شود. در تدوین آیین‌نامه ۲۸۰۰ که به‌منظور طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، منتشر شده و هر ۵ سال بازنگری می‌شود، از داده‌های شتاب‌نگاشتی استفاده شده است. به‌علاوه برای طراحی و کنترل پایداری سازه‌های خاص که نمی‌توان به آیین‌نامه متوسل شد، در هر دو مرحله طراحی و تحلیل دینامیکی می‌توان با تکیه بر شتاب‌نگاشت‌های موجود، رفتار سازه طراحی شده را با دقت زیادی ارزیابی نمود [۵۳].

۳-۲-۱-۲. تصحیح شتاب‌نگاشت‌ها

برای اطمینان از رکوردهای جمع‌آوری شده، اصلاحاتی بر روی این رکوردها انجام شد. عوامل مختلفی از قبیل ویژگی‌های ساختگاه و ژئوتکنیکی مثل نوع خاک منطقه، تعداد لایه‌ها، ضخامت و شیب آنها، توپوگرافی، شرایط آب زیرزمینی و ... نقش مهمی در دامنه و محتوای فرکانسی شتاب‌نگاشت و فرکانس تصحیح آنها دارد. طیف دامنه فوریه رکوردهای ثبت‌شده در ساختگاه سنگی در پریودهای کوتاه قوی‌تر است و این در حالی است که در رکوردهای ثبت‌شده در ساختگاه خاکی، طیف فوریه در فرکانس‌های

پایین تر قوی تر است. محدوده مناسب جهت انتخاب فرکانس تصحیح رکوردها در شرایط ساختمانی مختلف که توسط قدرتی و همکاران پیشنهاد شده است در جدول (۱-۳) ارائه شده است [۵۴].

جدول (۱-۳): محدوده مناسب جهت انتخاب فرکانس تصحیح رکوردها [۵۴]

نوع دستگاه ثبت	محدوده مناسب F_L	محدوده مناسب F_H
سنگ	SSA2	۰/۱۵ - ۰/۲
	SMA1	۰/۱۵ - ۰/۲۵
خاک	SSA2	۰/۰۷ - ۰/۲
	SMA1	۰/۱۵ - ۰/۲

در این مطالعه بزرگای زلزله، فاصله منبع زلزله ساختمانی، نوع خاک و موقعیت جغرافیایی منطقه از نظر تحت تأثیر البرز-ایران مرکزی یا زاگرس بودن بعنوان متغیر در نظر گرفته شدند که در ادامه به اختصار توضیح داده خواهند شد. تابع شدت اریاس بعنوان تابع هدف در نظر گرفته شد.

۲-۲-۳. بزرگا (M_w)

اولین پارامتری که بعنوان متغیر در این رابطه کاهندگی مورد استفاده قرار گرفت بزرگا هست. بزرگا در چند نوع مختلف تعریف و ثبت می شود که دلیل آن تنوع امواج زلزله و مؤسساتی و سازمان هایی که وظیفه ثبت زلزله را برعهده دارند، است. در این پژوهش از بزرگای گشتاوری (M_w) استفاده شده است. داده هایی هم که براساس بزرگای موج سطحی (M_s)، بزرگای موج حجمی (M_b) و یا مقیاس محلی ریشتر (M_L) بود، با کمک از رابطه های پیشنهادی نشریه ۶۲۶ به بزرگای گشتاوری تبدیل شدند [۸]:

تبدیل M_s به M_w :

$$M_w = 0.66M_s + 2.11 \quad 2.8 \leq M_s < 6.2 \quad (۷-۳)$$

$$M_w = 0.93M_s + 0.45 \quad 6.2 \leq M_s \leq 8.2 \quad (۸-۳)$$

تبدیل M_b به M_w :

$$M_w = 0.85M_b + 1.03 \quad 3.5 \leq M_b \leq 6.2 \quad (9-3)$$

تبدیل M_L به M_w :

$$M_w = 3.73 \ln(M_L) - 0.51 \quad 4.5 \leq M_L \leq 7.5 \quad (10-3)$$

در انتخاب داده‌های مورد نظر، داده زلزله‌های با بزرگای ۴ و یا بیشتر از آن و در مقیاس بزرگای گشتاوری (M_w) مورد استفاده قرار گرفتند. علت این امر آن است که مقیاس‌های دیگر هر کدام دارای نقص‌هایی می‌باشند که در ادامه بطور خلاصه به آنها اشاره خواهد شد:

مقیاس محلی ریشتر (M_L) محدود به زلزله‌های نسبتاً کوچک و سطحی است که توسط لرزه‌نگارهای ایالت کالیفرنیا یا اطراف آن ثبت شده است. بنابراین نیاز به تعریف بزرگای دیگر برای سایر نقاط جهان که دربرگیرنده زلزله‌های بزرگتر و با عمق کانونی بیشتر و مبتنی بر سایر انواع لرزه‌نگارها باشد، احساس می‌شد.

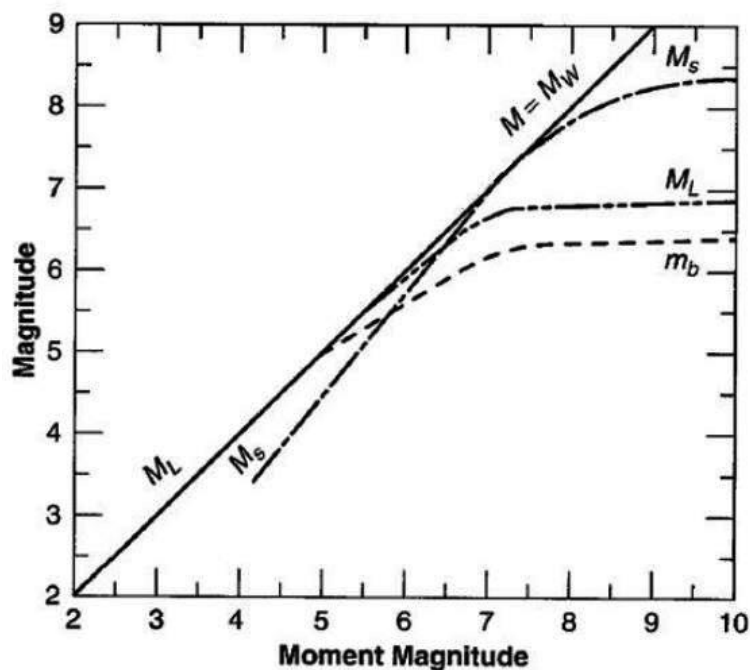
مقیاس بزرگی موج سطحی (M_s) این بزرگا جهانی بوده و مبتنی بر دامنه اندازه‌گیری شده موج رایی با پریود حدود ۲۰ ثانیه است. این بزرگا عمدتاً برای زلزله‌های مخرب به کار می‌رود. با این وجود با توجه به اینکه امواج رایی در عمق‌های کانونی کمتر از ۷۰ کیلومتر و در فواصل بیش تر ۱۰۰۰ کیلومتر به خوبی ایجاد می‌شوند، این بزرگا را نمی‌توان برای زلزله‌های کوچک محلی استفاده نمود [۴].

مقیاس بزرگی موج حجمی (M_b) این بزرگا نیز جهانی بوده و براساس دامنه اندازه‌گیری شده چند سیکل اول موج P بر روی مؤلفه قائم لرزه‌نگاشت می‌باشد. پریود این امواج در حد یک ثانیه است. این بزرگا بهترین بزرگا برای ثبت زلزله‌های عمیق است بدلیل اینکه در زلزله‌های عمیق امواج P به خوبی ثبت می‌شوند. با این وجود کاربرد این بزرگا محدود است، زیرا آن دسته از امواج P که در زیر پوسته گسترش می‌یابند، در فواصل بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر به راحتی ثبت نمی‌شوند. به علاوه با توجه به اینکه بزرگا براساس دامنه چند سیکل اول موج اندازه‌گیری می‌شود، برای زلزله‌های بسیار بزرگ کاربرد ندارد،

زیرا در این زلزله‌ها ممکن است انرژی در سیکل‌های بیشتری نیز تجمع داشته باشد. بنابراین این بزرگا برای زلزله‌های کوچک محلی و یا زلزله‌های خیلی بزرگ کاربرد ندارد.

با توجه به محدودیت‌های مختلف در بزرگ‌های لرزه‌ای فوق، نیاز به بزرگایی است که برای کلیه بزرگاها، مکان‌ها و فاصله‌ها قابل استفاده باشد. به‌علاوه در بزرگ‌های لرزه‌ای فوق مشکل اشباع شدن به‌وجود می‌آید. به این معنی که هر بزرگا از یک مقدار مشخصی به بعد، ثابت می‌ماند و نمی‌تواند زلزله‌های بالاتر از زلزله حد اشباع را شناسایی کند. این موضوع در شکل (۳-۳۷) نشان داده شده است. بنابراین نیاز به بزرگایی است که مشکل اشباع نداشته باشد. همچنین از آنجا که در زلزله‌های بسیار بزرگ بیشتر انرژی توسط امواج با فرکانس کوتاه‌تر آزاد می‌گردد. در نتیجه اکثر محققان ترجیح داده‌اند که برای تخمین انرژی آزاد شده از پارامترهای استاتیکی، نظیر گشتاور لرزه‌ای استفاده نمایند. این بزرگا براساس مفهوم گشتاور لرزه‌ای تعریف شده و کلیه نقایص فوق را مرتفع می‌سازد. بزرگای گشتاوری اساساً وابسته به جابه‌جایی گسل، سطح گسیختگی و خواص مصالح ناحیه شکست می‌باشد [۴].

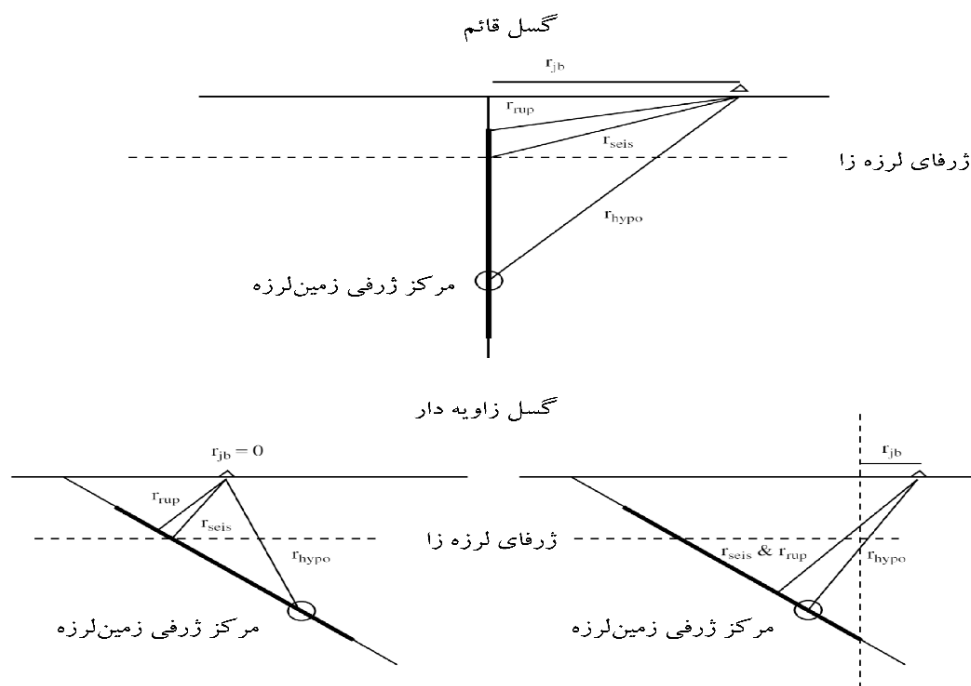
در این پژوهش با توجه به داده موجود و جمع‌آوری شده از شبکه شتاب‌نگاری از داده‌هایی که دارای بزرگای بین ۴ تا ۷/۳ در مقیاس بزرگای گشتاوری بودند استفاده شد.



شکل (۳-۳۷): اشباع شدگی انواع مختلف بزرگا [۴]

۳-۲-۳. فاصله (R)

پارامتر دومی که در این رابطه استفاده شد، فاصله است. فاصله پارامتری بسیار مهم و تأثیرگذار در روابط کاهندگی می‌باشد. زیرا این پارامتر نشان‌دهنده طول مسیر پیموده شده امواج از منبع زمین‌لرزه تا سایت موردنظر است. تعاریف متفاوتی برای فاصله میان چشمه لرزه‌زا نسبت به ساختگاه ارائه شده که می‌توان به نزدیک‌ترین فاصله افقی به تصویر قائم گسیختگی (r_{jb})، نزدیک‌ترین فاصله به سطح گسیختگی (r_{rup})، نزدیک‌ترین فاصله به سطح گسیختگی لرزه‌زا (r_{seis}) و فاصله از کانون زمین‌لرزه (r_{hypo}) اشاره کرد [۵۵]. در این پژوهش از فاصله کانونی یا همان وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای که یکی از اضلاع عمق کانونی و ضلع دیگر فاصله رو مرکزی تشکیل داده است، بعنوان فاصله در نظر گرفته شد. در این پژوهش از داده‌هایی با فواصل بین ۵ تا ۲۵۰ کیلومتر استفاده گردید.



شکل (۳-۳۸): فواصل تعریف شده برای مدل‌های مختلف کاهندگی [۵۵]

۳-۲-۴. سرعت موج برشی (V_s)

میزان بزرگنمایی حرکات زمین به خصوصیات دینامیکی ساختمان که از طریق آزمایش‌های مختلف تعیین می‌شوند، وابسته است. این خصوصیات مجموعه‌ای از پارامترهای دینامیکی خاک بوده که شامل سختی، میرایی و سرعت موج برشی لایه‌های بستر ساختمان می‌باشند. از این میان، سرعت موج برشی و پارامترهای وابسته به آن در لایه‌های قرارگرفته بر روی بستر سنگی یا لرزه‌ای یکی از پرکاربردترین این پارامترها می‌باشد. برخی از خصوصیات مهم جنبش نیرومند زمین نظیر دامنه، محتوای فرکانسی و مدت زمان، متأثر از شرایط ساختمان است که میزان این تأثیر به هندسه، خواص مصالح لایه‌های زیرسطحی، خصوصیات حرکت ورودی و توپوگرافی ساختمان بستگی دارد [۵۶]. مطالعات جهت تعیین نوع ساختمان در ایران در ابتدا بیشتر بر مبنای مشاهدات عینی صورت گرفته است. در ادامه مطالعات جدی‌تری برای تعیین شرایط ساختمانی ایستگاه‌های ثبت زلزله صورت گرفت که می‌توان به مطالعه

صورت گرفته توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله اشاره کرد. پارامتری که بعنوان متغیر و تعیین کننده شرایط ساختگاهی در تعیین روابط کاهندگی در این پژوهش استفاده شده است، سرعت موج برشی می‌باشد. از تفاوت‌های عمده این پژوهش نسبت به مطالعات گذشته، در نظر گرفتن سرعت موج برشی بعنوان یک متغیر است. در صورتی که در تحقیقات گذشته برای لحاظ کردن شرایط ساختگاهی از طبقه‌بندی خاک که عمدتاً شامل بازه‌های بزرگی از سرعت موج برشی بوده استفاده گردیده است. همین فاکتور شاید باعث افزایش دقت پژوهش در تعیین متغیر شرایط ساختگاهی نسبت به سایر تحقیقات انجام شده، باشد.

جدول (۳-۲): طبقه‌بندی خاک بر اساس آئین‌نامه ۲۸۰۰ [۵۷]

نوع زمین	حدود تقریبی Vs (متر بر ثانیه)
I	بیشتر از ۷۵۰
II	$375 \leq Vs \leq 750$
III	$175 \leq Vs \leq 375$
IV	کمتر از ۱۷۵

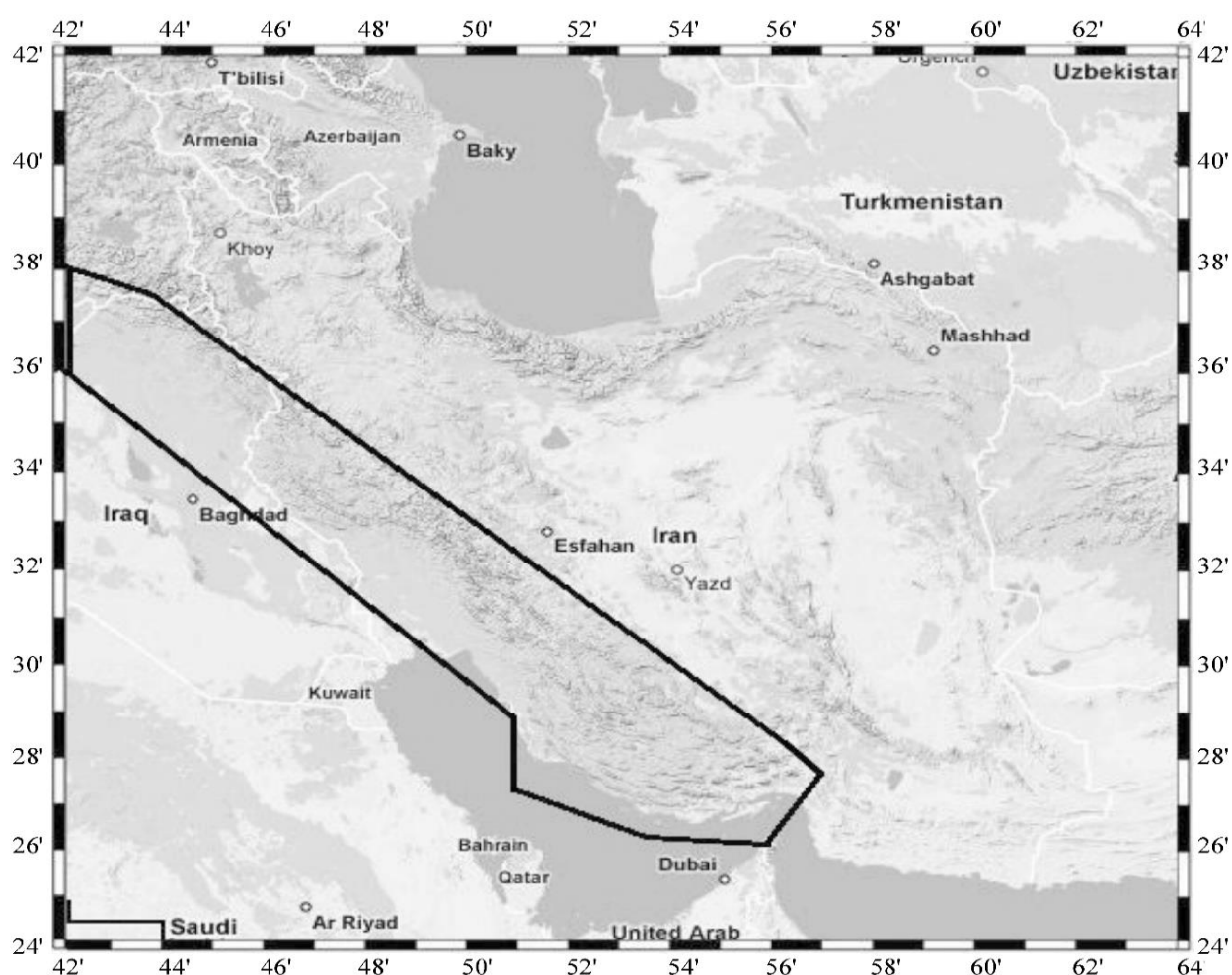
۳-۲-۵. موقعیت جغرافیایی منطقه (N)

آخرین تغییری که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است موقعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر است. تفاوت‌های زمین‌شناسی و زلزله‌شناسی ناحیه البرز-ایران مرکزی با ناحیه زاگرس موجب شده بود تا نتوان یک رابطه کاهندگی واحد برای این دو ناحیه مورد استفاده قرار گیرد. بعنوان مثال می‌توان به رابطه مهدویفر و همکاران ارائه شده برای ناحیه البرز-ایران مرکزی [۴۷] یا رابطه رجبی و همکاران ارائه شده برای ناحیه زاگرس [۶] اشاره نمود. در این پژوهش پارامتری جدید با عنوان موقعیت جغرافیایی برای رابطه کاهندگی استفاده شده است که به موجب آن رابطه‌ای واحد برای هر دو ناحیه البرز-ایران مرکزی و ناحیه زاگرس تحت عنوان رابطه کاهندگی ایران ارائه شده است. با توجه به تقسیم‌بندی که انجام شده حوزه هر کدام از این ناحیه‌ها در شکل (۳-۳۹) نمایش داده شده است. با توجه به این تقسیم بندی مناطق البرز-ایران مرکزی برابر ۱ ($N=1$) و مناطقی که تحت پوشش ناحیه زاگرس هستند برابر

۲ ($N=2$) در نظر گرفته شد. از مجموع ۱۰۱۲ داده شتاب‌نگاری ۵۳۱ داده با $N=1$ و ۴۸۱ داده دیگر دارای $N=2$ هستند. مطابق با شکل (۳-۳۹) محدوده داخل منحنی بعنوان ناحیه زاگرس در نظر گرفته شده است و مختصات این ناحیه در جدول (۳-۳) ارائه شده است.

جدول (۳-۳): مختصات چندضلعی در نظر گرفته شده بعنوان ناحیه زاگرس [۵۲]

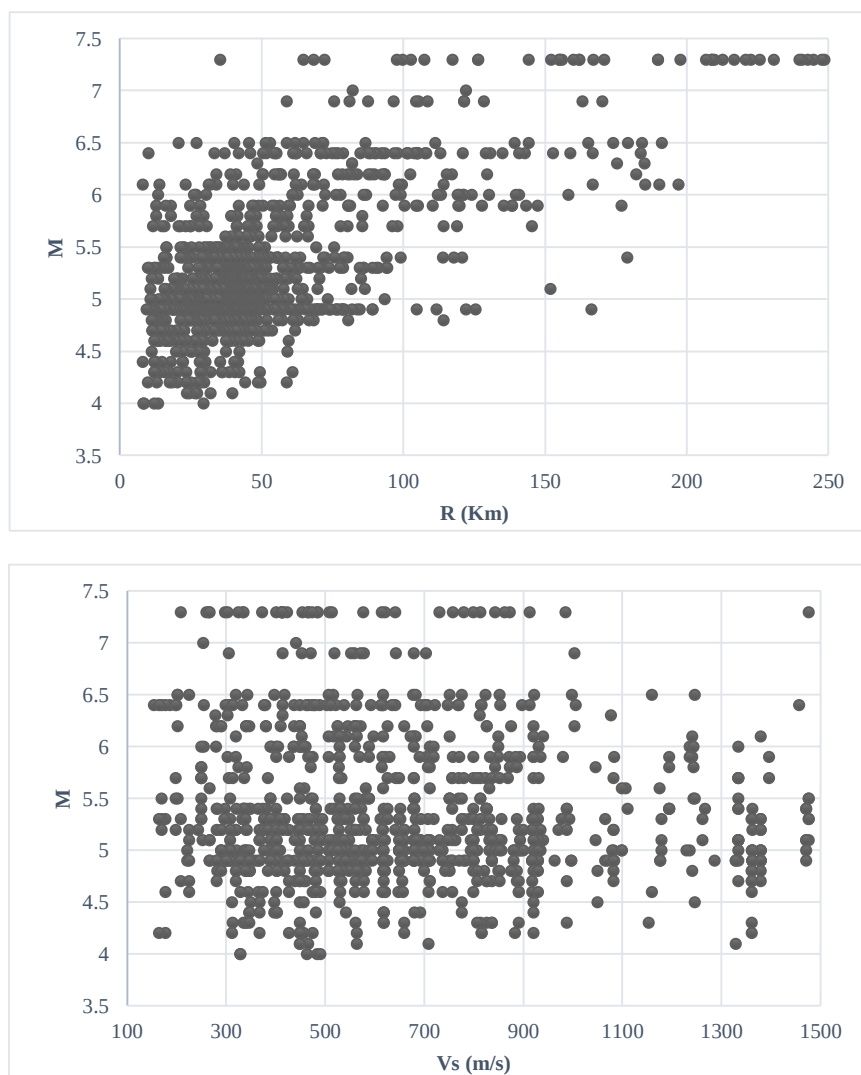
E	42.0	51.0	51.0	53.5	55.8	57.0	56.4	54.0	43.8	42.0
N	36.0	29.0	27.5	26.3	26.2	27.5	28.3	30.2	32.5	38.2



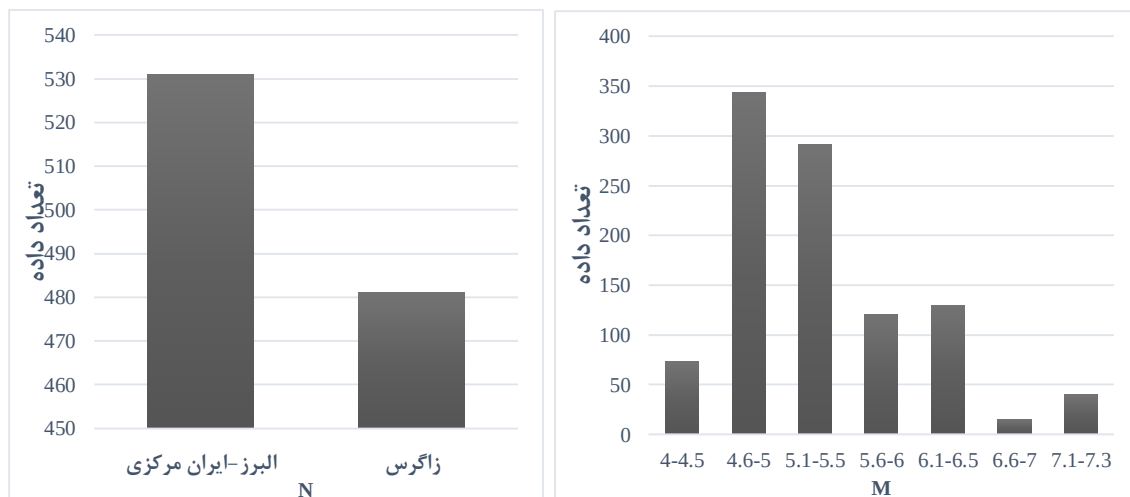
شکل (۳-۳۹) : محدوده نواحی زاگرس و البرز-ایران مرکزی (محدوده داخل منحنی ناحیه زاگرس می‌باشد) [۵۲]

۳-۲-۶. کاتالوگ نهایی داده‌های مورد استفاده

در ابتدا داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بر اساس بزرگا و سپس فاصله مرتب گردیدند. سپس داده‌هایی که نیازمند تصحیح بودند تصحیحات لازم بر روی آن‌ها صورت گرفت. کاتالوگ نهایی این پژوهش که در آن نمودار پراکندگی بزرگا بر حسب فاصله و سرعت موج برشی و همچنین تعداد رکوردها بر اساس بزرگا و موقعیت جغرافیایی مورد استفاده وجود دارد، با توجه به موارد ذکر شده بصورت شکل‌های (۳-۴۰ و ۳-۴۱) حاصل گردید.



شکل (۳-۴۰): نمودار پراکندگی بزرگا بر حسب فاصله و سرعت موج برشی



شکل (۳-۴۱): نمودار تعداد رکوردها برحسب بزرگا و موقعیت جغرافیای منطقه

۳-۳. روش انجام کار

۳-۳-۱. استخراج متغیرهای مورد نیاز از داده‌ها

پس از انتخاب و تهیه داده‌های مورد نظر از شبکه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، اطلاعات مورد نیاز از قبیل بزرگا، فاصله، سرعت موج برشی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه از نظر البرز-ایران مرکزی یا زاگرس بودن، در هر داده استخراج شد و با تشکیل یک جدول مانند جدول (۳-۴) دسته‌بندی این اطلاعات صورت گرفت.

جدول (۳-۴): نمونه‌ای از جدول تشکیل شده برای داده‌ها

Num.	نام ایستگاه	استان	Mw	R	Vs	N	Arias
7351	پلدختر	لرستان	7.3	248.6524	486	2	0.071
7336	معمولان	لرستان	7.3	247.655	986	2	0.006
5323	ماکو	آذربایجان غربی	7	122.1475	441	1	0.023
5329	قطور	آذربایجان غربی	7	82.21922	254	1	0.022
1758	تربت حیدریه	خراسان رضوی	6.9	170.2939	306	1	0.088
1741	فیض آباد	خراسان رضوی	6.9	163.3065	578	1	0.035
3663	باغین	کرمان	6.5	68.73136	516	1	0.015
3687	کرمان ۲	کرمان	6.5	64.77654	202	1	0.035
3702	داوران	کرمان	6.5	61.81424	752	1	0.049
3663	باغین	کرمان	6.5	68.73136	516	1	0.015
3422	بک کندی	قزوین	6.4	183.6981	308	1	0.04
3421.02	آقا بابا	قزوین	6.4	166.7693	617	1	0.016
3374	نوذراآباد	مازندران	6.4	158.8081	438	1	0.014
2778	قهورد	همدان	6.3	81.88406	414	1	0.096
2781	شیرین سو	همدان	6.3	48.50773	813	1	0.152
1870	فهرج	کرمان	6.2	182.2745	280	1	0.026
3636.01	قپان علیا	گلستان	6.2	129.5415	410	1	0.005
3040.03	حاجی آباد	فارس	6.0	30.41381	561	2	0.324
4678.01	سوزا	هرمزگان	6.0	26.68333	1334	2	0.41
4672	بندر خمیر	هرمزگان	6.0	26.68333	679	2	0.006
3041.02	جویم	فارس	6.0	26.07681	1244	2	0.028
4675.01	طبل	هرمزگان	6.0	13.41641	931	2	0.149
1932	ورزقان	آذربایجان شرقی	5.9	176.9209	475	1	0.002
2046	هریس	آذربایجان شرقی	5.9	147.3126	530	1	0.011
2574.03	بابامنیر	فارس	5.6	42.0119	832	2	0.097
2702	بهباد	یزد	5.6	39.11521	458	1	0.01
2809.01	کنار تخته	فارس	5.6	37.12142	450	2	0.434
1506.04	حسینیه علیا	خوزستان	5.5	75.58439	582	2	0.071
1442	دره گز*	خراسان رضوی	5.5	69.28925	770	1	0.033
3569	صالح آباد	ایلام	5.5	51.10773	423	2	0.008
1150	لاهیجان*	گیلان	5.5	49.57822	250	1	0.116
4171	لار	فارس	5.1	16.12452	1179	2	0.011
7687.01	سر پل ذهاب	کرمانشاه	5.1	15.65248	619	2	0.285
3584.01	شوشتر	خوزستان	5.1	10.77033	595	2	0.024
2223.02	نصرآباد	خراسان رضوی	5.0	93.34345	795	1	0.003
4400	کوره	فارس	5.0	73.34848	386	2	0.004

۳-۳-۲. اصلاح و محاسبه تابع شدت اریاس داده‌ها

بعد از جمع‌آوری ۱۰۱۲ داده شتاب‌نگاری مرحله بعدی کار، اصلاح و فیلتر نمودن این داده‌ها است. بعضی از داده‌ها دارای نویز شدیدی هستند که در محاسبه نتایج تأثیرات منفی می‌گذارند و به موجب آن نتیجه کار دور از واقعیت بدست آید، بنابراین به‌منظور اطمینان بیشتر و افزایش دقت در نتیجه کار اصلاحات لازم صورت می‌گیرد. هر یک از این داده‌ها شامل ۳ مؤلفه است که یک شتاب‌نگاشت مربوط به مؤلفه قائم (V) و دو شتاب‌نگاشت دیگر مربوط به مؤلفه‌های افقی (L) و (T) است. در این پژوهش مؤلفه‌های افقی ملاک محاسبات قرار گرفتند. گام بعد، استخراج پارامترهایی همچون بزرگای گشتاوری (Mw)، فاصله کانونی (R)، سرعت موج برشی (Vs) و موقعیت جغرافیایی منطقه (N) برای انجام پژوهش آغاز گردید.

بعد از تعیین پارامترهای ذکر شده، محاسبه تابع شدت اریاس با توجه به رابطه (۲-۱۵) برای هر کدام از داده‌های موجود اقدام شده است. در نتیجه برای هر داده دو تابع شدت اریاس برای دو مؤلفه افقی محاسبه شد. تابع شدت اریاس بزرگتر بعنوان تابع شدت اریاس آن داده، انتخاب و در جدول (۴-۳) قرار داده شد.

۳-۳-۳. رگرسیون‌گیری به روش الگوریتم توسعه ژنی

برای این مرحله از الگوریتم توسعه ژنی استفاده شد. بزرگای گشتاوری (Mw)، لگاریتم فاصله کانونی (Log R)، سرعت موج برشی (Vs) و موقعیت جغرافیایی منطقه از نظر تحت تأثیر البرز-ایران مرکزی یا زاگرس بودن (N) بعنوان متغیرهای ورودی برای الگوریتم توسعه ژنی تعیین شدند و لگاریتم تابع شدت اریاس بعنوان تابع هدف به برنامه معرفی گردید. در نتیجه جدول (۳-۴) تغییر پیدا کرد و بصورت جدول (۳-۵) به برنامه معرفی گردید.

جدول (۳-۵): نمونه‌ای از جدول ورودی به نرم‌افزار الگوریتم توسعه زنی

Mw	LogR	Vs	N	Log(I*1000)
7.3	2.395593	486	2	1.851258
7.3	2.393847	986	2	0.778151
7	2.086885	441	1	1.361728
7	82.21922	254	1	1.342423
6.9	2.231199	306	1	1.944483
6.9	2.213003	578	1	1.544068
6.5	1.837155	516	1	1.176091
6.5	1.811418	202	1	1.544068
6.5	1.791089	752	1	1.690196
6.5	1.837155	516	1	1.176091
6.4	2.264105	308	1	1.60206
6.4	2.222116	617	1	1.20412
6.4	2.200873	438	1	1.146128
6.3	1.913199	414	1	1.982271
6.3	1.685811	813	1	2.181844
6.2	2.260726	280	1	1.414973
6.2	2.112409	410	1	0.69897
6	1.483071	561	2	2.510545
6	1.42624	1334	2	2.612784
6	1.42624	679	2	0.778151
6	1.416254	1244	2	1.447158
6	1.127636	931	2	2.173186
5.9	2.247779	475	1	0.30103
5.9	2.16824	530	1	1.041393
5.6	1.623372	832	2	1.986772
5.6	1.592346	458	1	1
5.6	1.569625	450	2	2.63749
5.5	1.878432	582	2	1.851258
5.5	1.840666	770	1	1.518514
5.5	1.708487	423	2	0.90309
5.5	1.695291	250	1	2.064458
5.1	1.207487	1179	2	1.041393

۱-۳-۳-۳. تنظیمات مربوط به الگوریتم توسعه ژنی

جدول (۳-۶): تنظیمات در نظر گرفته شده برای استفاده از الگوریتم توسعه ژنی

۸۵٪	داده‌های آموزشی	
۱۵٪	داده‌های آزمایشی	
Mw,R,Vs,N	متغیرها	
۳۰	تعداد کروموزوم	تنظیمات کلی
۷	اندازه هد	
۳	تعداد ژن	
Addition (+)	تابع اتصال	
RMSE	تابع برازندگی	
۰/۰۴۴	جهش	پارامترهای ژنی
۰/۱	وارونگی	
۰/۱	IS Transposition	
۰/۱	RIS Transposition	
۰/۳	نو ترکیبی یک نقطه‌ای	
۰,۳	نو ترکیبی دو نقطه‌ای	
۰/۳	نو ترکیبی ژنی	
۰/۳	Gene Transposition	
۲	ثابت‌های عددی	
Addition(+),Subtraction(-), Multiplication(*), Division(/), Power(pow), Square root(sqrt), Exponential(exp), 10^x(pow10), Natural logarithm(ln), Logarithm of base 10(log), Inverse(Inv), Negation(neg), Cube root(3RT),Power of 2(x2), Power of 3(x3)		تابع ریاضی

۳-۳-۱-۱. داده‌های آموزشی و آزمایشی

برای استفاده از این الگوریتم ۸۵٪ داده‌ها بعنوان داده‌های آموزشی و ۱۵٪ دیگر بعنوان داده‌های آزمایشی در نظر گرفته شده‌اند. داده‌های آزمایشی بصورتی انتخاب شده‌اند که متغیرهای این داده‌ها در بازه متغیرهای داده‌های آموزشی هستند. این کار به صحیح‌تر شدن آموزش و آزمایش کمک می‌کند.

۳-۳-۱-۲. تعیین تابع برازندگی

گام بعدی تعیین تابع برازندگی است، این تابع براساس ریشه حداقل مربعات خطا (RMSE) که بوسیله رابطه (۳-۱۱) محاسبه می‌شود، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

$$E = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2} \quad (3-11)$$

در معادله فوق $\hat{Y}_i$ مقادیر پیش‌بینی شده و Y_i مقادیر هدف برای هر مورد می‌باشند و زمانی که این دو مقدار پیش‌بینی شده و هدف برابر گردند، مقدار خطا برابر صفر خواهد شد ($E=0$) و به وضوح می‌توان مشاهده کرد که هرچه مقدار E کمتر باشد، تابع پیش‌بینی و هدف مطابقت بیشتری خواهند داشت. در نهایت تابع ارائه شده توسط معادله (۳-۱۲) بعنوان تابع برازندگی مورد استفاده واقع شد:

$$f = \frac{1000}{1+E} \quad (3-12)$$

با تعریف ارائه شده برای تابع برازندگی، این تابع دارای دامنه تغییرات ۰-۱۰۰۰ بوده که حداکثر مقدار آن نشانه تطابق کامل مقادیر پیش‌بینی و هدف می‌باشد و هرچه مقدار این تابع کمتر باشد، نشان‌دهنده تطابق کمتری خواهد بود.

۳-۳-۳-۱. تعیین آرگومان در هر تابع

جدول (۷-۳): نمایش تعداد آرگومان در نظر گرفته شده برای هر تابع

تعداد آرگومان	نمایش تابع	اسم تابع
2	+	Addition
2	-	Subtraction
2	*	Multiplication
2	/	Division
2	pow	Power
1	sqrt	Square root
1	exp	Exponential
1	pow10	10^x
1	ln	Natural logarithm
1	log	Logarithm of base 10
1	Inv	Inverse
1	neg	Negation
1	3RT	Cube root
1	x2	Power of 2
1	x3	Power of 3

و در انتها، سیستم شروع به ران گرفتن می‌کند. باید تعداد زیادی ران گرفته شود تا بهترین و مناسب-

ترین جواب از بین آن‌ها انتخاب شود.

فصل چهارم : یافته‌های پژوهش و آنالیز داده‌ها

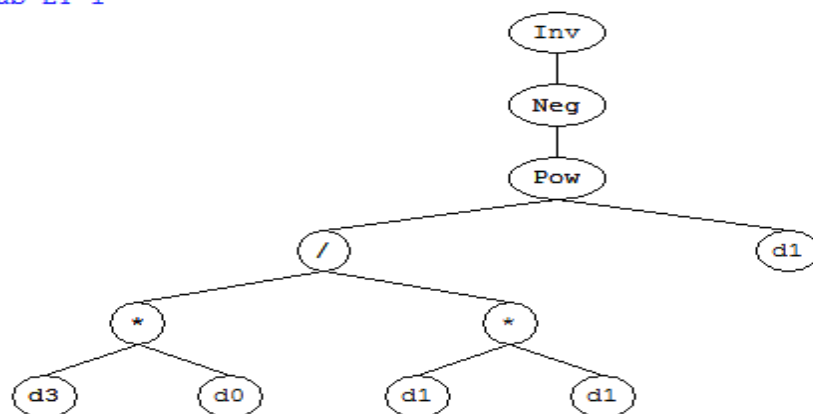
۴-۱. مقدمه

در بخش‌های قبل در مورد متغیرهایی که بر رابطه کاهندگی این پژوهش تأثیرگذار است به تفصیل بحث شد. بزرگای گشتاوری (Mw)، فاصله کانونی (R)، سرعت موج برشی (Vs) و موقعیت جغرافیایی منطقه از نظر تحت تأثیر البرز-ایران مرکزی یا زاگرس بودن (N) بعنوان متغیرهای مؤثر بر رابطه کاهندگی و متغیرهای ورودی برای الگوریتم توسعه ژنی تعیین شدند. سپس اقدام به رگرسیون‌گیری صورت گرفت و بهترین جواب بعنوان رابطه کاهندگی این پژوهش انتخاب و در این فصل ارائه گردید.

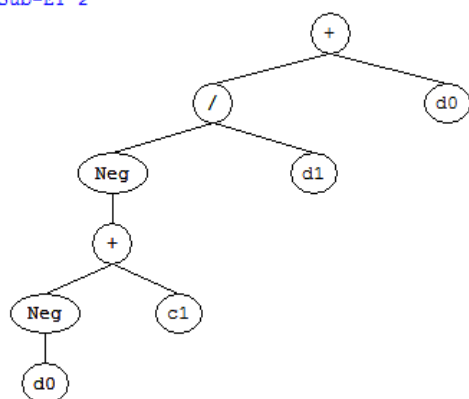
۴-۲. ارائه رابطه

درخت توسعه بهترین جواب بصورت زیر ارائه شد:

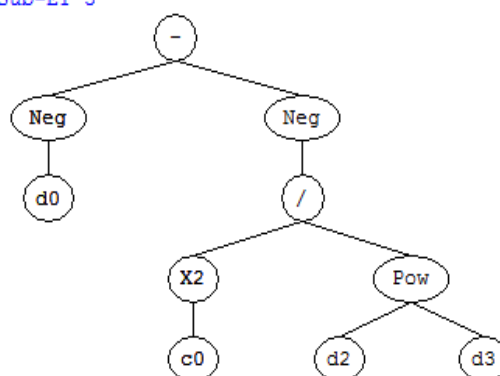
Sub-ET 1



Sub-ET 2



Sub-ET 3



شکل (۱-۴): زیردرخت توسعه مربوط رابطه کاهندگی برای تابع شدت اریاس

با توجه به توضیحاتی که در فصل قبل ارائه شد، رابطه کاهندگی برای تابع شدت اریاس برای ایران معادل با درختان توسعه نشان داده شده در شکل (۱-۴) است. همانطور که گفته شد، تابع اتصال استفاده شده در این پروژه "جمع" است. در نتیجه ۳ زیر درخت توسعه باید با هم جمع شوند. همچنین پارامترهای زیر باید جایگزین پارامترهای موجود در درخت توسعه شوند:

$$d_0=M, \quad d_1=\text{Log}R, \quad d_2=Vs, \quad d_3=N, \quad C_0=7.461, \quad C_1=3.255$$

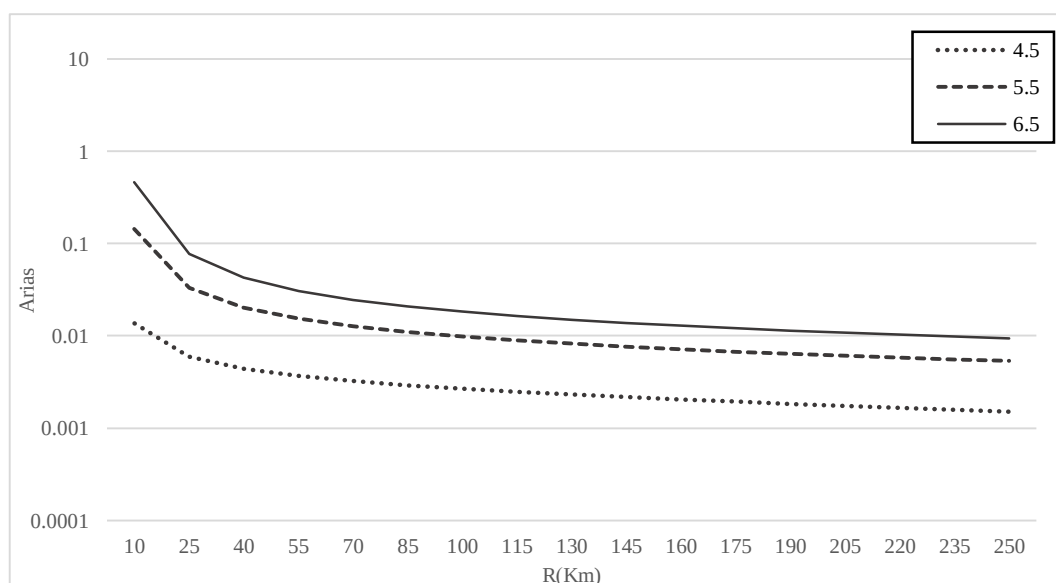
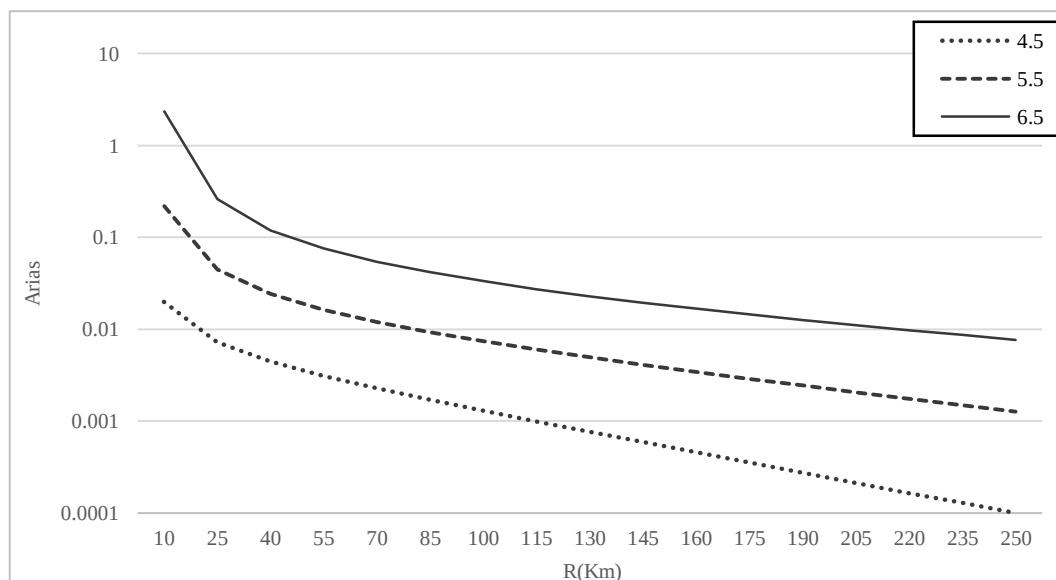
بعد از انجام جایگذاری پارامترهای بالا فرمول زیر بدست می‌آید:

$$\text{Log}I_a = 0.001 \left(- \left(\frac{\text{Log}R^2}{N \cdot M} \right)^{\text{Log}R} + \frac{M-3.255}{\text{Log}R} + \frac{55.67}{Vs^N} \right) \quad (1-4)$$

در این رابطه، (I_a) تابع شدت اریاس بر اساس متر بر ثانیه، (M) برابر با بزرگای گشتاوری، (R) فاصله کانونی که واحد آن کیلومتر است، (Vs) برابر سرعت موج برشی خاک منطقه بر اساس متر بر ثانیه و (N) موقعیت جغرافیایی منطقه که برای مناطقی که در ناحیه البرز-ایران مرکزی قرار دارند برابر ۱ و برای مناطقی که در ناحیه زاگرس قرار دارند برابر ۲ در نظر گرفته شد.

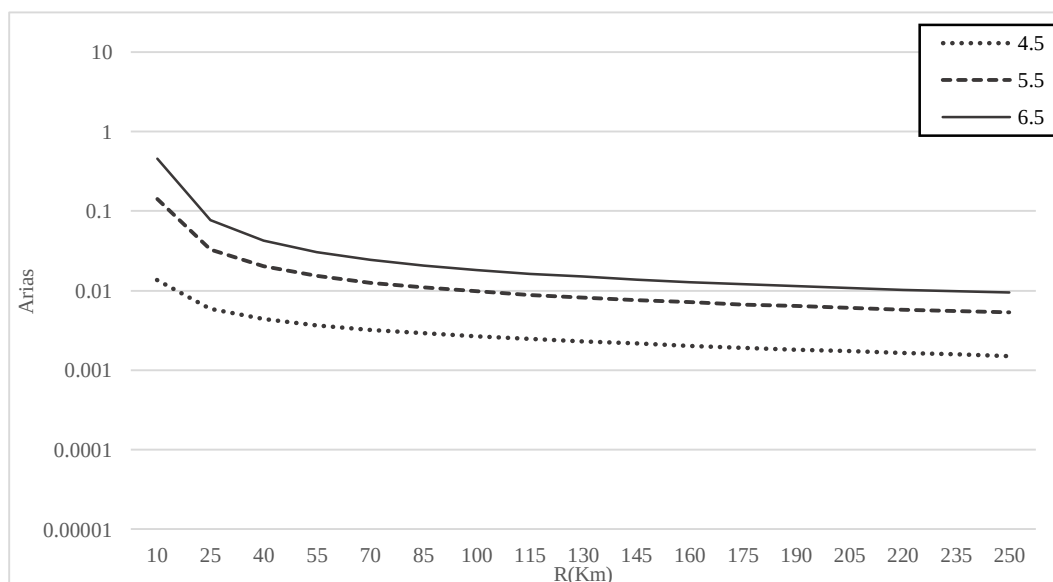
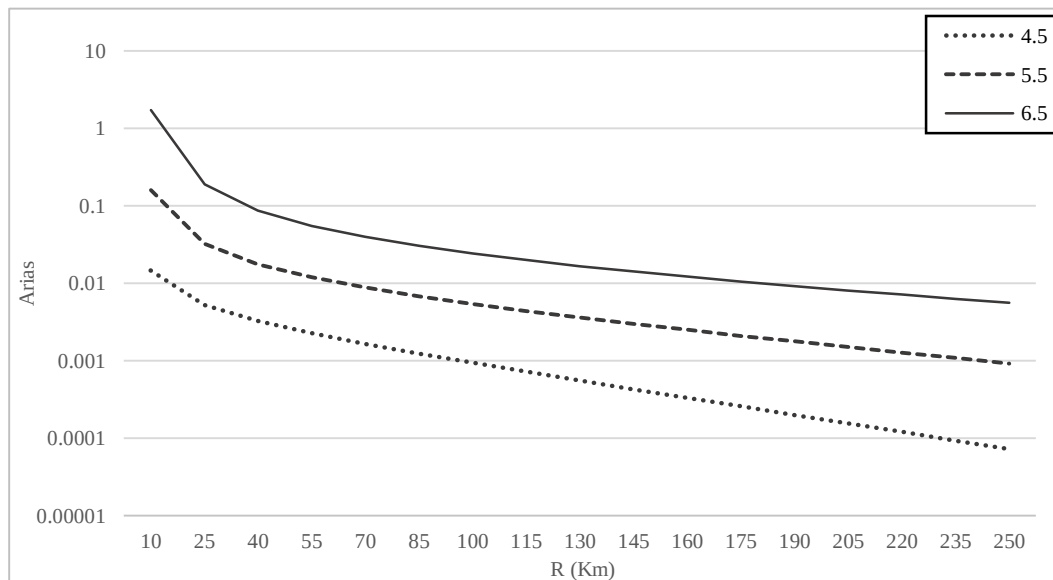
۳-۴. بررسی مدل ارائه شده

در شکل (۲-۴) منحنی تغییرات رابطه ارائه شده با فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر برای زلزله‌هایی با بزرگای ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ محاسبه و رسم شد. سرعت موج برشی ۲۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.



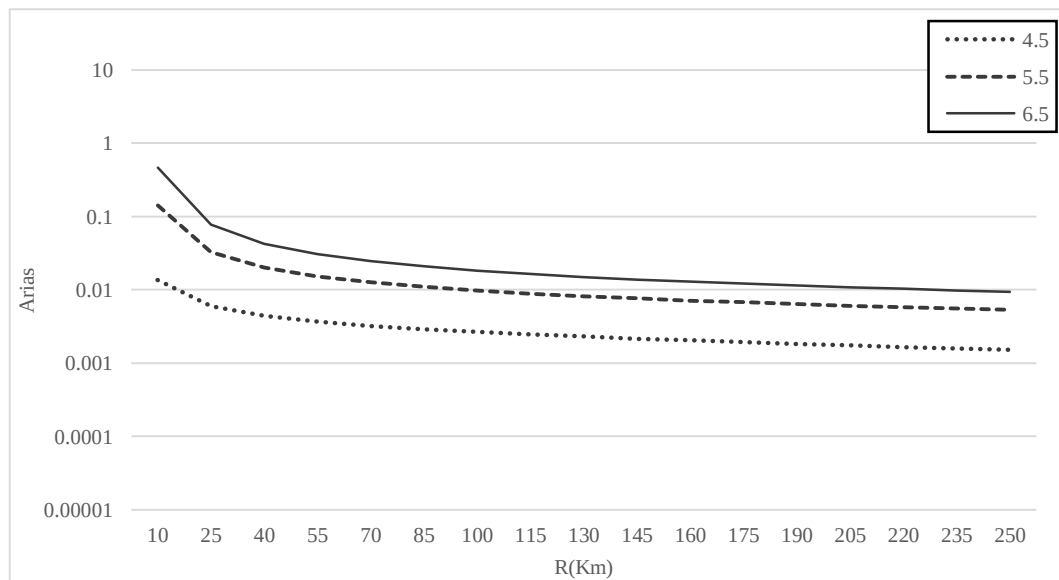
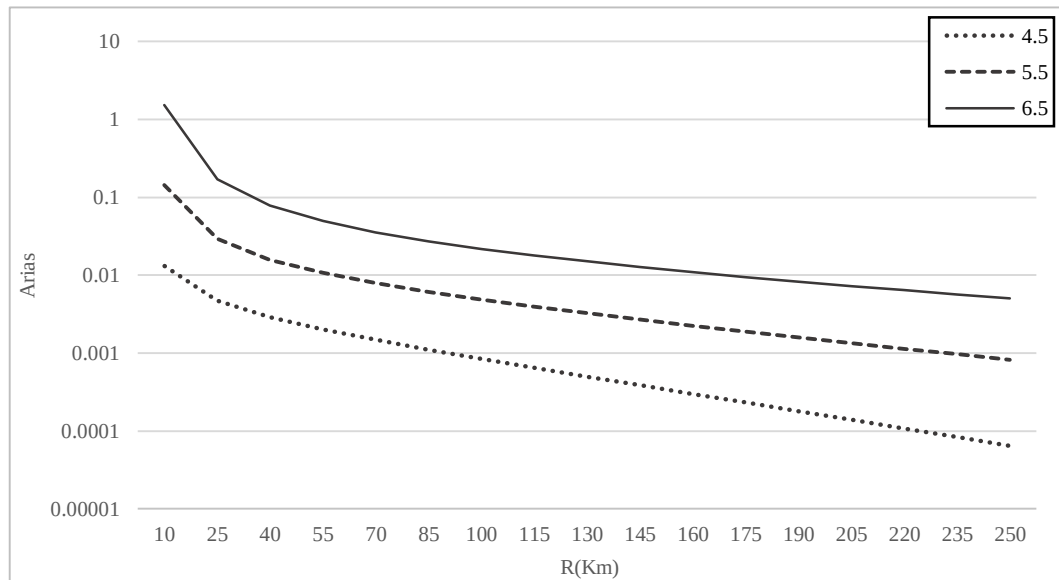
شکل (۲-۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۲۵۰) در بزرگای ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ و با سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۳-۴) منحنی تغییرات رابطه ارائه شده با فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر برای زلزله‌هایی با بزرگای ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ محاسبه و رسم شد. سرعت موج برشی ۴۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود که با افزایش بزرگای تابع شدت اریاس افزایش می‌یابد.



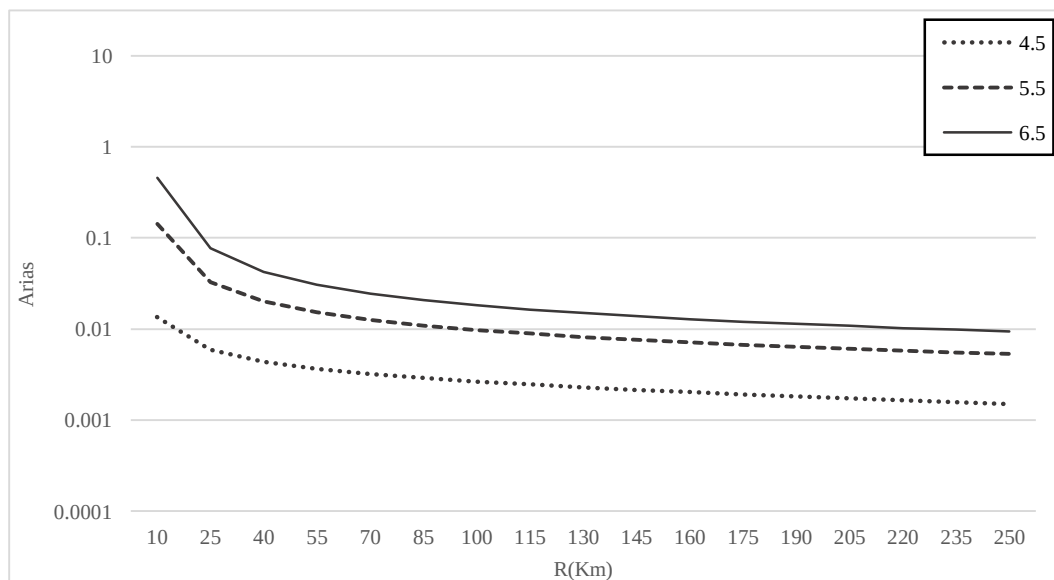
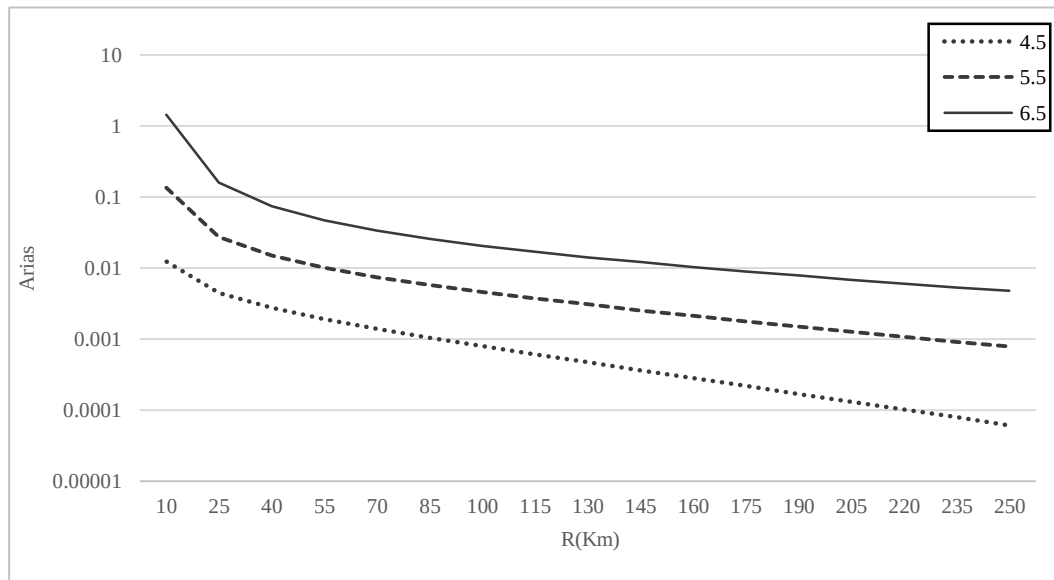
شکل (۳-۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۲۵۰) در بزرگای ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ و با سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۴) منحنی تغییرات رابطه ارائه شده با فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر برای زلزله‌هایی با بزرگای ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ محاسبه و رسم شد. سرعت موج برشی ۶۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. همانطور که ملاحظه می‌شود، با دور شدن از محل وقوع زلزله، شدت اریاس کاهش می‌یابد.



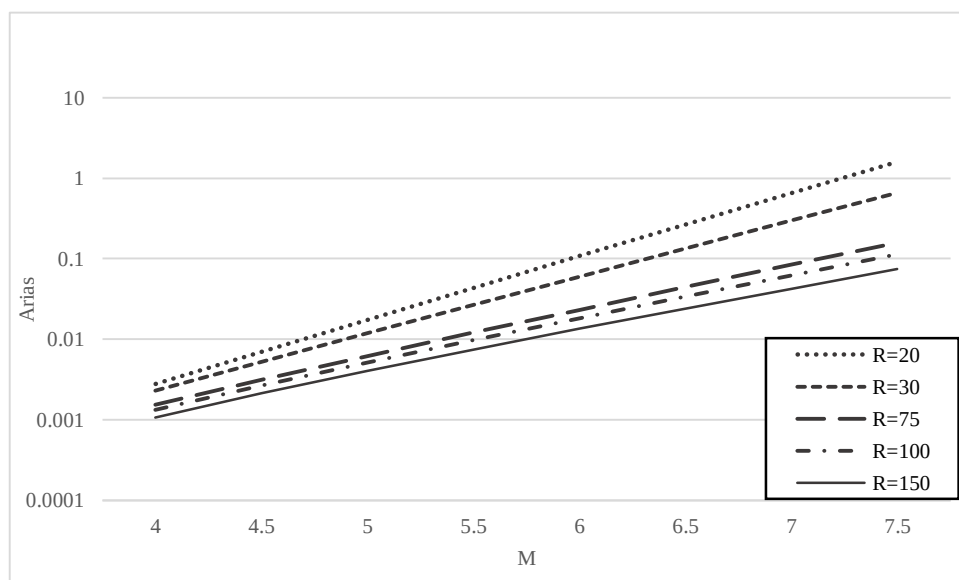
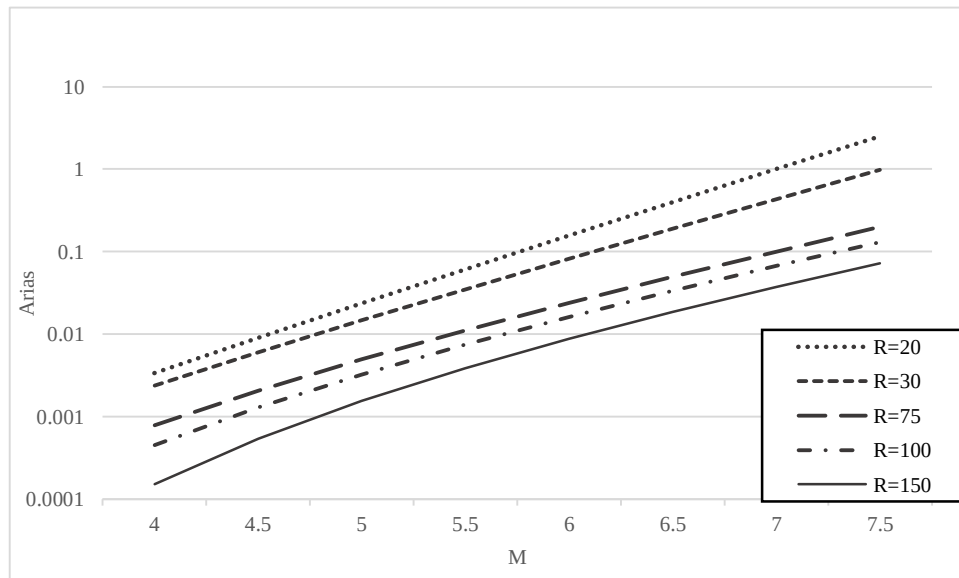
شکل (۴-۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۲۵۰) در بزرگای ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ و با سرعت موج برشی ۶۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۵) همانند شکل قبل منحنی تغییرات رابطه ارائه شده با فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر برای زلزله‌هایی با بزرگای ۴/۵ ، ۵/۵ و ۶/۵ رسم شد ولی سرعت موج برشی برای این نمودار ۸۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.



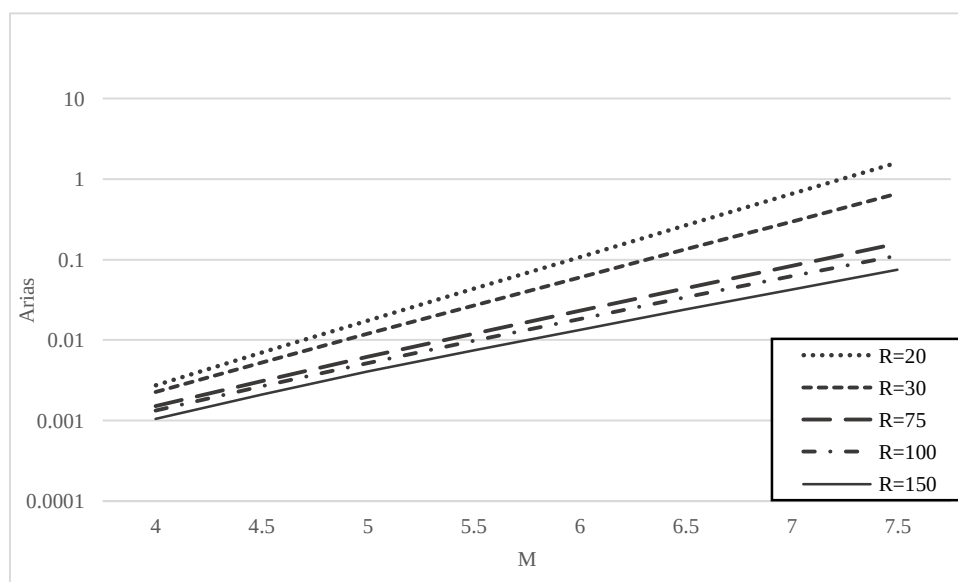
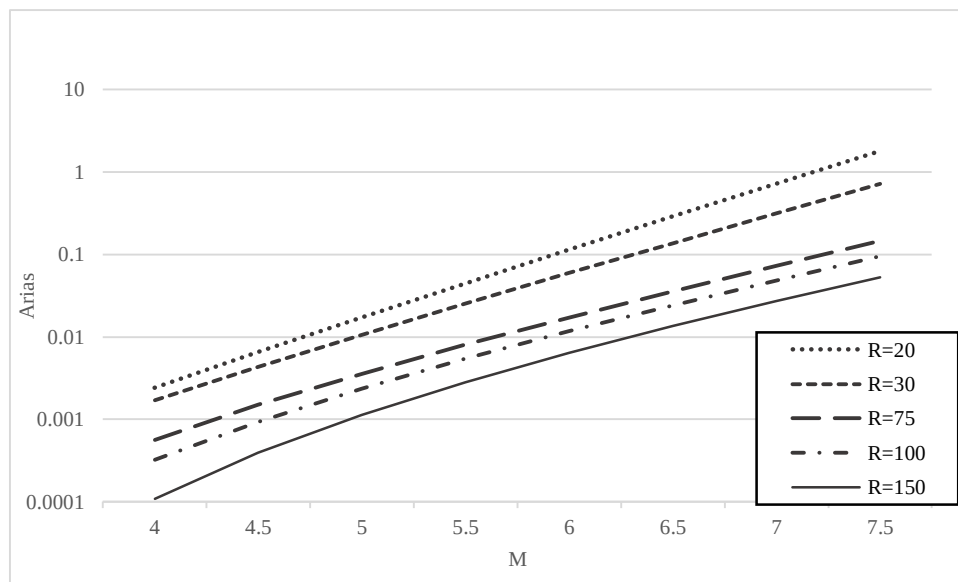
شکل (۴-۵): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (۱۰-۲۵۰) در بزرگای ۴/۵ ، ۵/۵ و ۶/۵ و با سرعت موج برشی ۸۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۶) تغییرات رابطه پیشنهادی نسبت به بزرگای گشتاوری در بازه ۴-۷/۵ ترسیم شد. تغییرات برای فواصل ۲۰، ۳۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتر محاسبه شد. سرعت موج برشی ۲۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. در این نمودارها می‌توان مشاهده نمود که با افزایش بزرگا، مقادیر شدت اریاس افزایش می‌یابد.



شکل (۴-۶): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵-۱۰۰-۱۵۰ کیلومتر و با سرعت موج برشی ۲۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

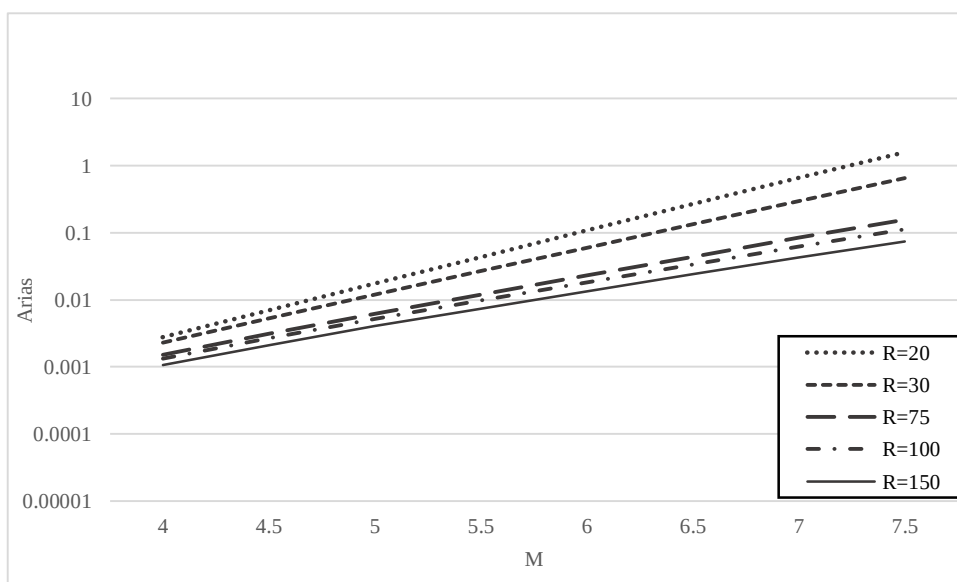
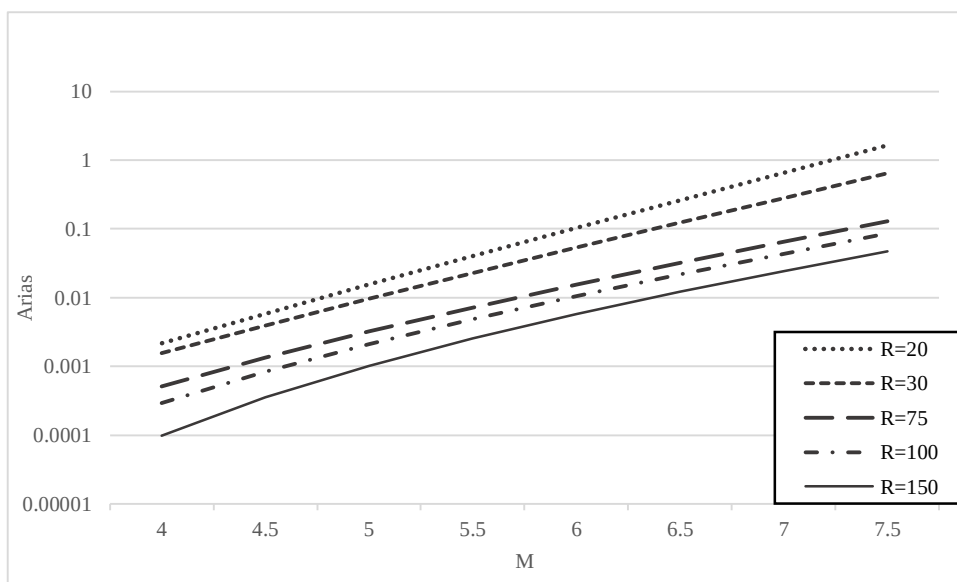
در شکل (۷-۴) تغییرات رابطه پیشنهادی نسبت به بزرگای گشتاوری در بازه ۴-۷/۵ ترسیم شد. تغییرات برای فواصل ۲۰، ۳۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتر محاسبه شد. سرعت موج برشی ۴۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. همانطور که ملاحظه می‌گردد با افزایش فاصله، شدت اریاس کاهش می‌یابد.



شکل (۷-۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵-۱۰۰-۱۵۰ کیلومتر

و با سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

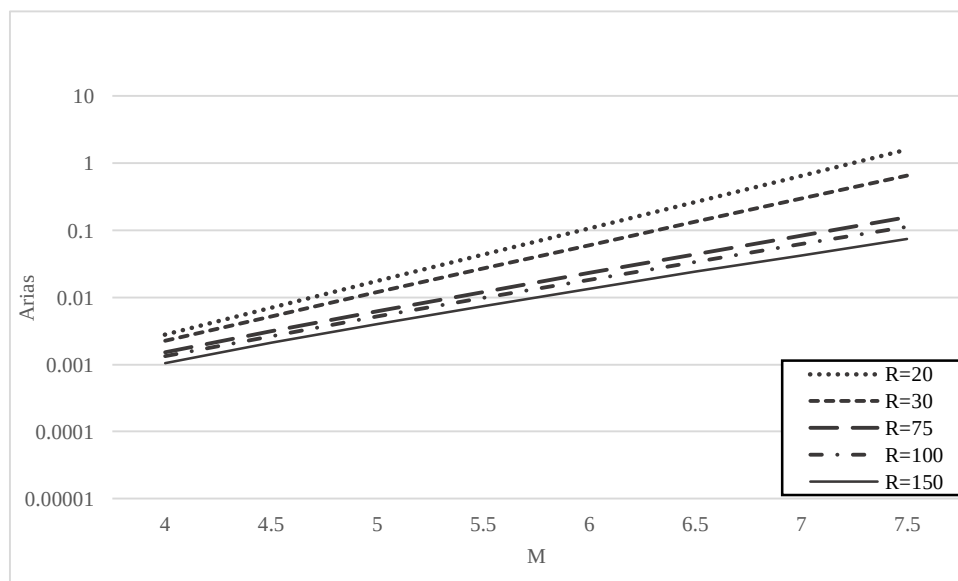
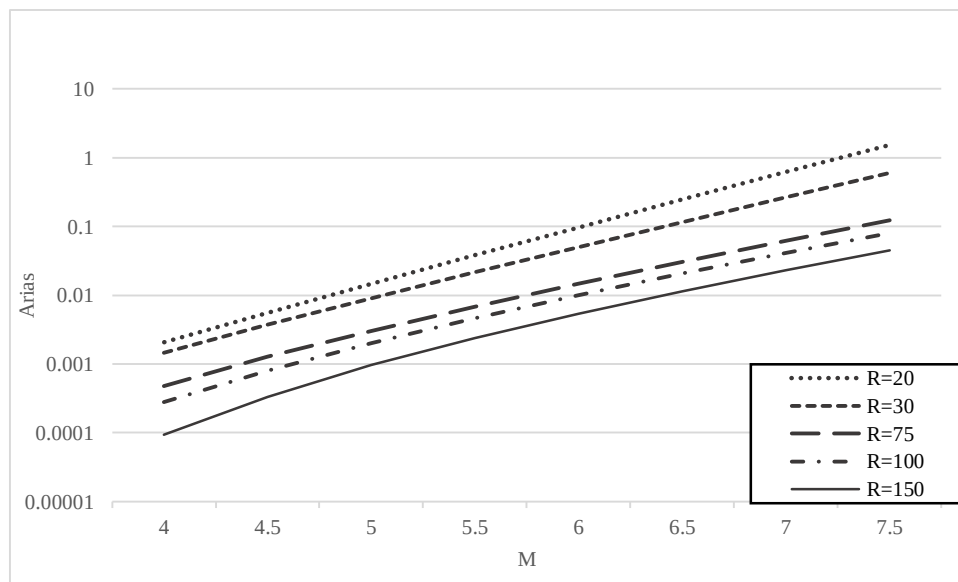
در شکل (۴-۸) تغییرات رابطه پیشنهادی نسبت به بزرگای گشتاوری در بازه ۴-۷/۵ ترسیم شد. تغییرات برای فواصل ۲۰، ۳۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتر محاسبه شد. سرعت موج برشی ۶۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. بعلت هوشمند بودن و عدم استفاده از یک تابع مشخص برای رگرسیون گیری، مقادیر اختلاف نمودارها در شرایط مختلف، متفاوت است.



شکل (۴-۸): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵-۱۰۰-۱۵۰ کیلومتر و با سرعت موج برشی ۶۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۹-۴) تغییرات رابطه پیشنهادی نسبت به بزرگای گشتاوری در بازه ۴-۷/۵ در نظر گرفته شد.

تغییرات برای فواصل ۲۰، ۳۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلومتر محاسبه گردید و سرعت موج برشی ۸۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد.



شکل (۹-۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا در فواصل کانونی ۲۰-۳۰-۷۵-۱۰۰-۱۵۰ کیلومتر

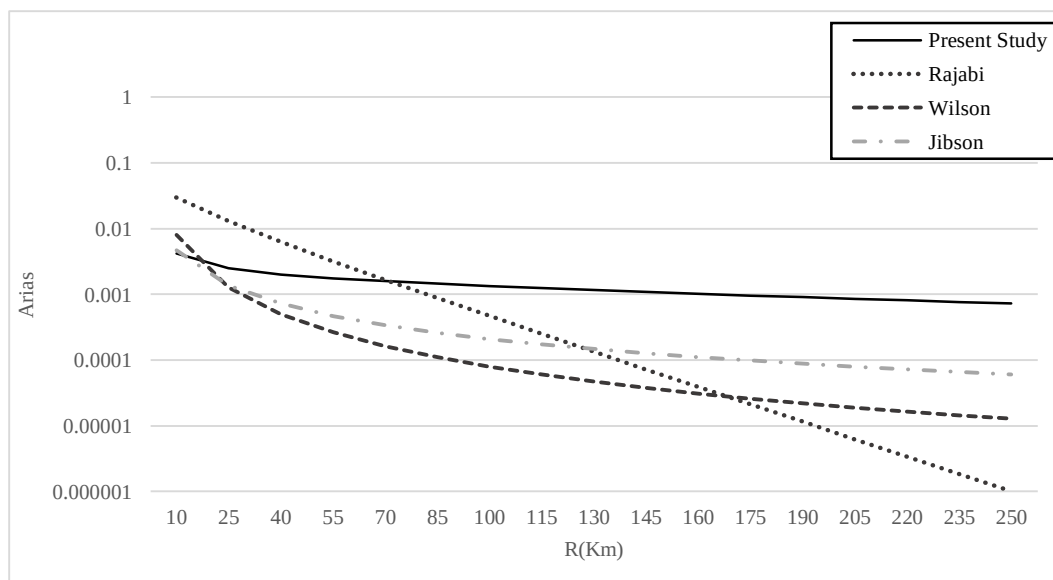
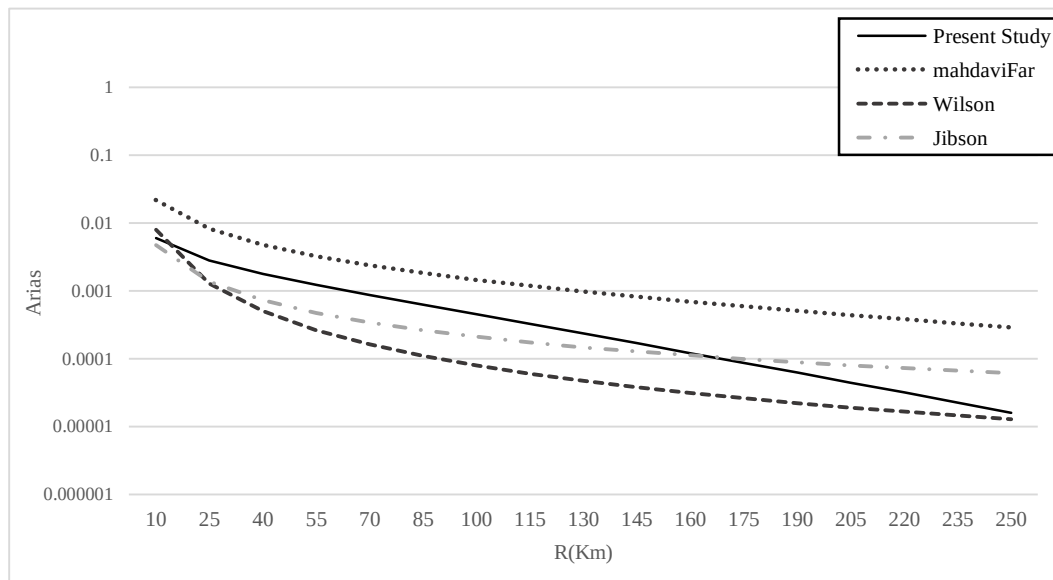
و با سرعت موج برشی ۸۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

۴-۴. مقایسه رابطه کاهندگی ارائه شده برای تابع شدت اریاس در این

پژوهش با برخی روابط ارائه شده توسط دیگر محققان

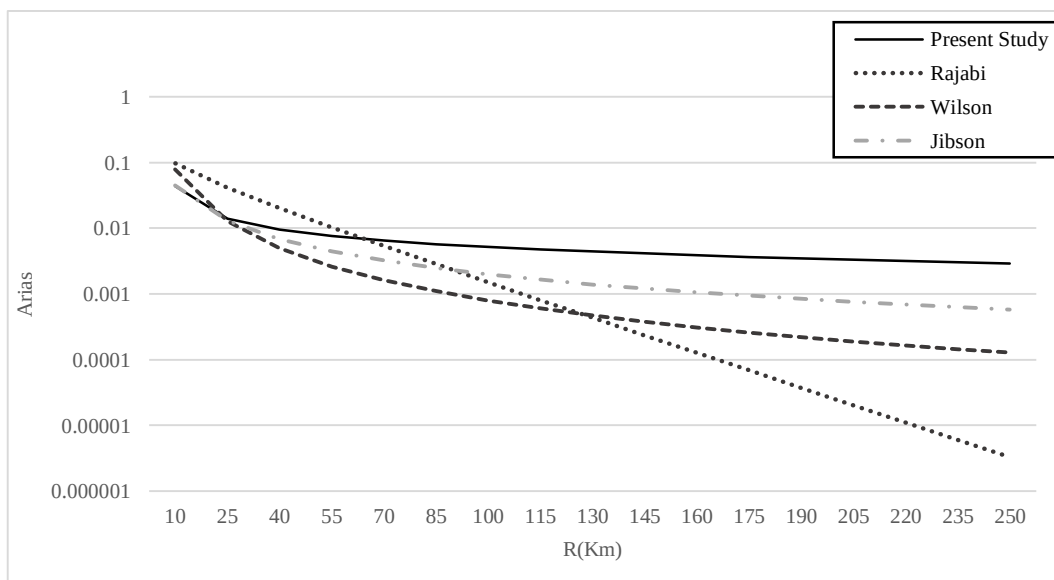
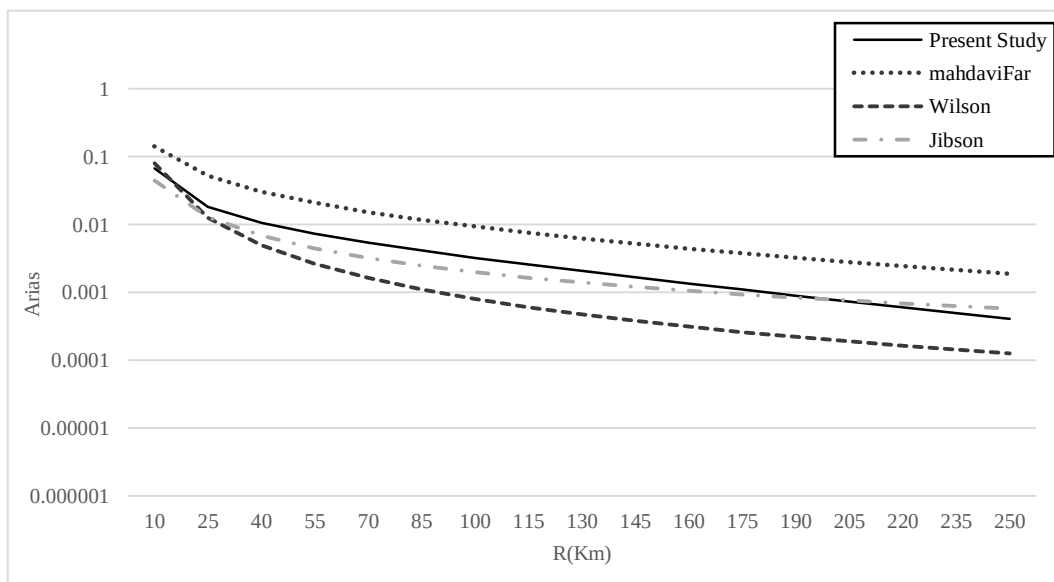
در این بخش، رابطه ارائه شده در این تحقیق با دیگر روابطی که در سال‌های اخیر ارائه شده‌اند، مقایسه شده است. در سه دهه گذشته، محققان مختلف رابطه‌هایی را به‌طور خاص برای شدت اریاس ارائه کرده‌اند، که برخی بر اساس مطالعات منطقه‌ای، دیگر روابط بر اساس مجموعه داده‌های جهانی می‌باشند. روابط ارائه شده توسط رجبی و همکاران [۶] برای منطقه زاگرس، مهدویفر و همکاران [۴۷] برای منطقه البرز، براساس داده‌های ثبت شده ایران بوده و برای مقایسه کاملاً مناسب هستند. در ادامه رابطه محاسبه شده با رابطه ویلسون و کایفر [۴۲] و در انتها نیز با رابطه جیبسون [۴۳] مقایسه شد. حال روابط ذکر شده در بالا را با رابطه‌ای که در این پژوهش بدست آمد در شرایط مختلف با هم مورد مقایسه قرار گرفت که این نتایج این مقایسه بصورت نمودار در زیر ارائه شده است.

در شکل (۱۰-۴) مقایسه روابط با سرعت موج برشی 200 m/s و براساس فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد و بزرگا ۴ رسم شد. همانگونه که ملاحظه می‌شود نتایج این تحقیق مطابقت مناسبی با سایر تحقیقات دارد.



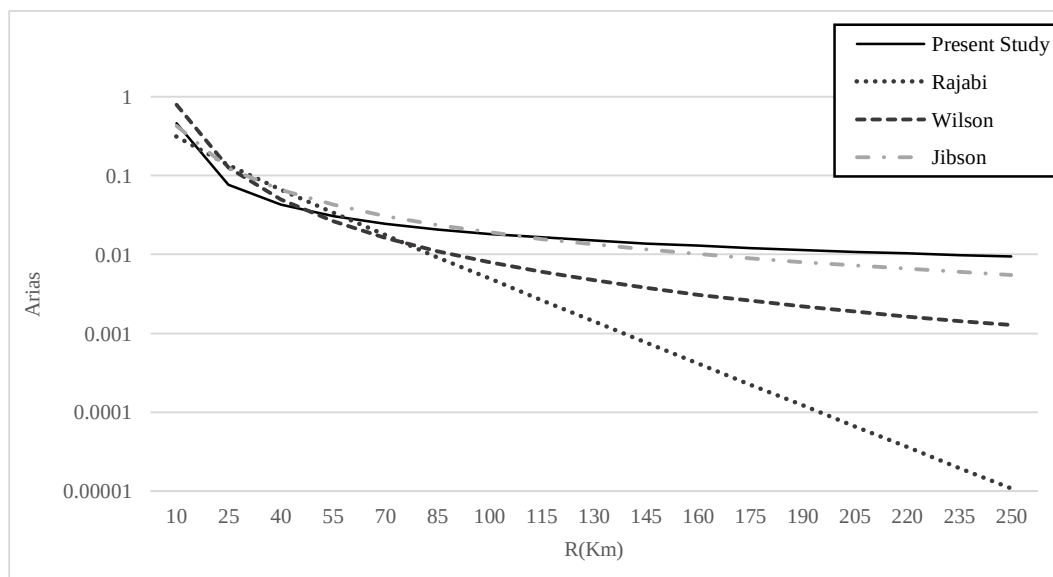
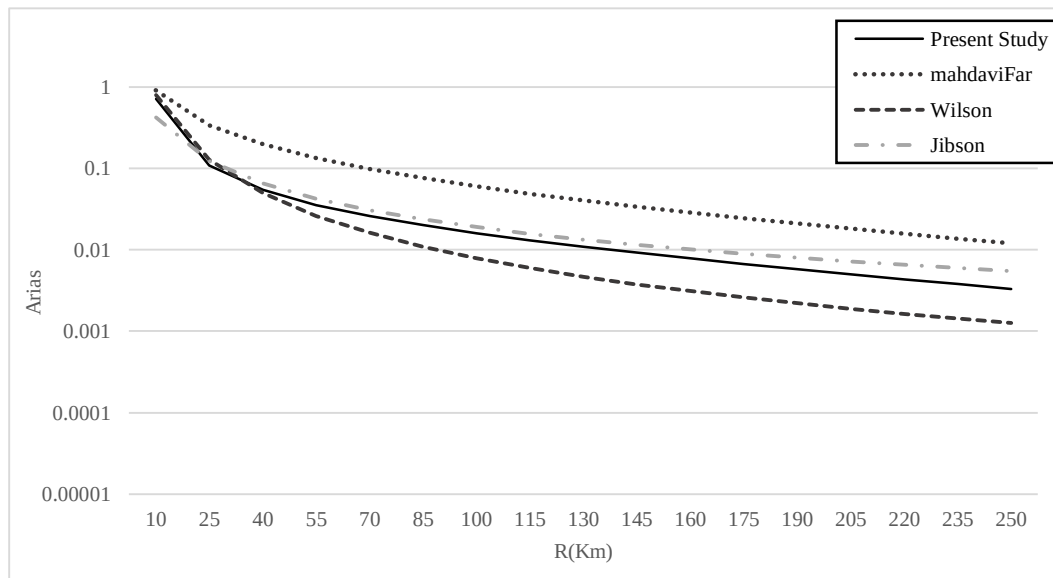
شکل (۱۰-۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا $M_w = 4$ و سرعت موج برشی 200 m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۱۱-۴) مقایسه روابط با سرعت موج برشی 200 m/s و براساس فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد و بزرگا ۵ رسم شد. نتایج نشان دهنده مطابقت مناسب میان رابطه ارائه شده با سایر روابط می باشد.



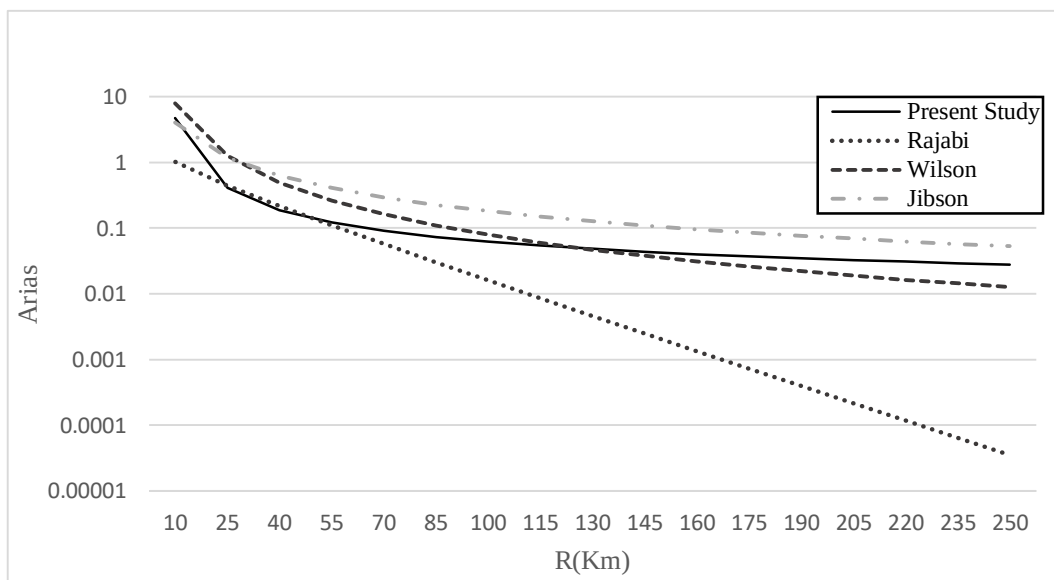
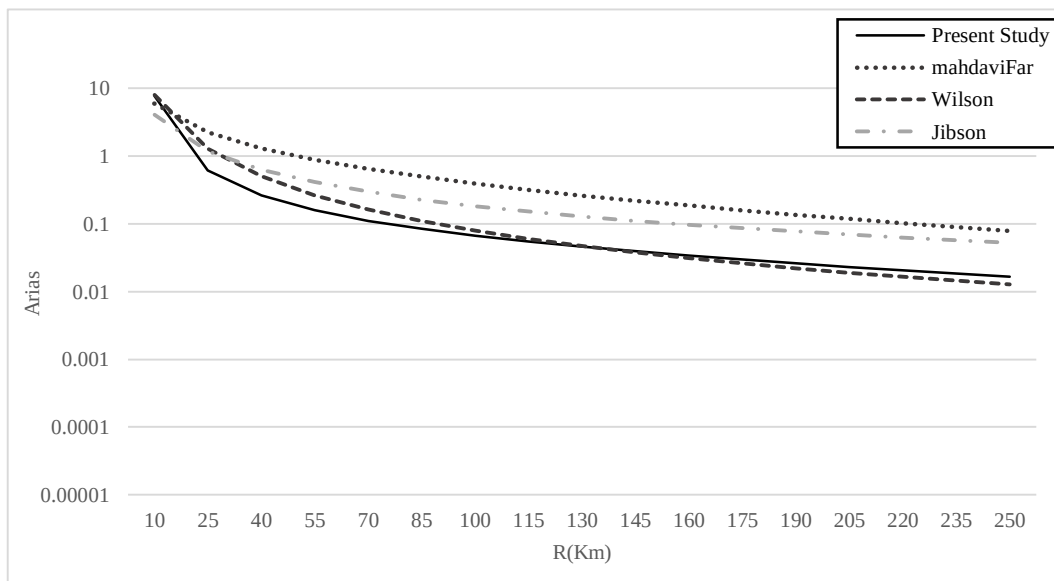
شکل(۱۱-۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا $M_w=5$ و سرعت موج برشی 200 m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۱۲) مقایسه روابط با سرعت موج برشی 200 m/s و براساس فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد و بزرگا ۶ رسم شد. این نمودارها بیشترین مطابقت را با رابطه جیبسون دارد.



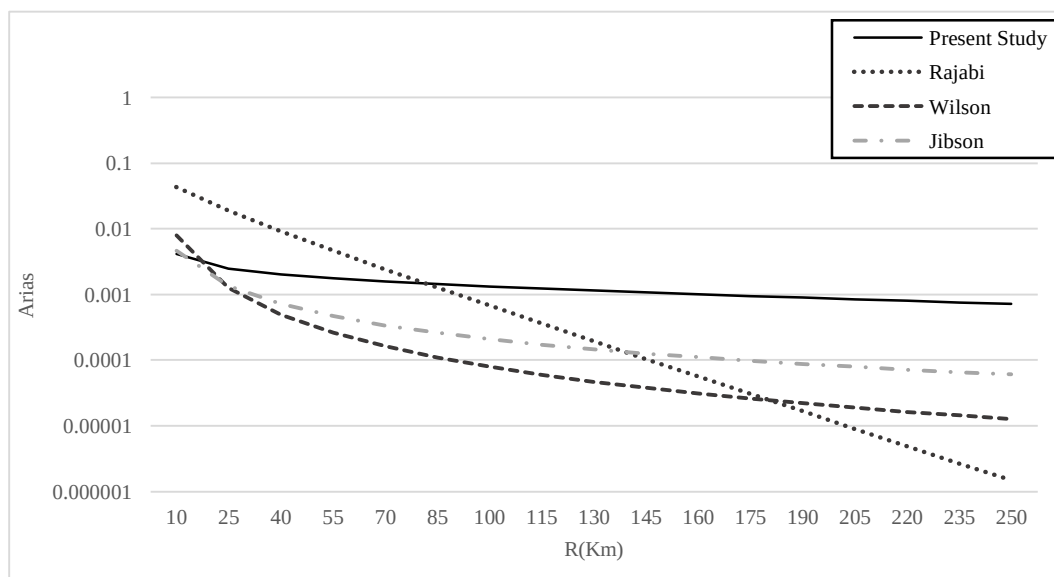
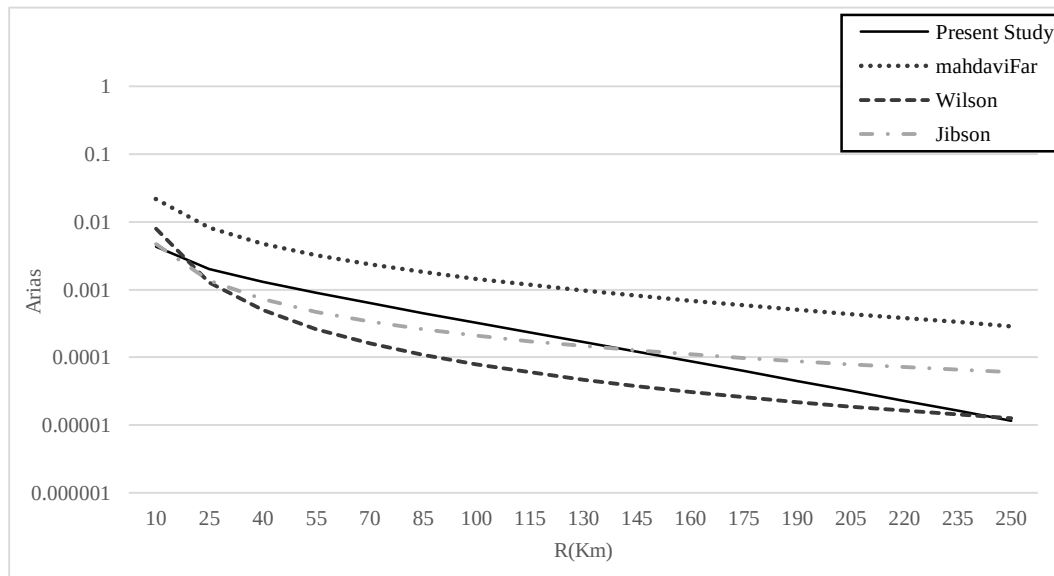
شکل(۴-۱۲): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی(R)، بزرگا $M_w=6$ و سرعت موج برشی 200 m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۱۳) مقایسه روابط با سرعت موج برشی 200 m/s و براساس فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد و بزرگا ۷ رسم شد. این نمودار بیشترین تطابق را با رابطه مهدویفر دارد.



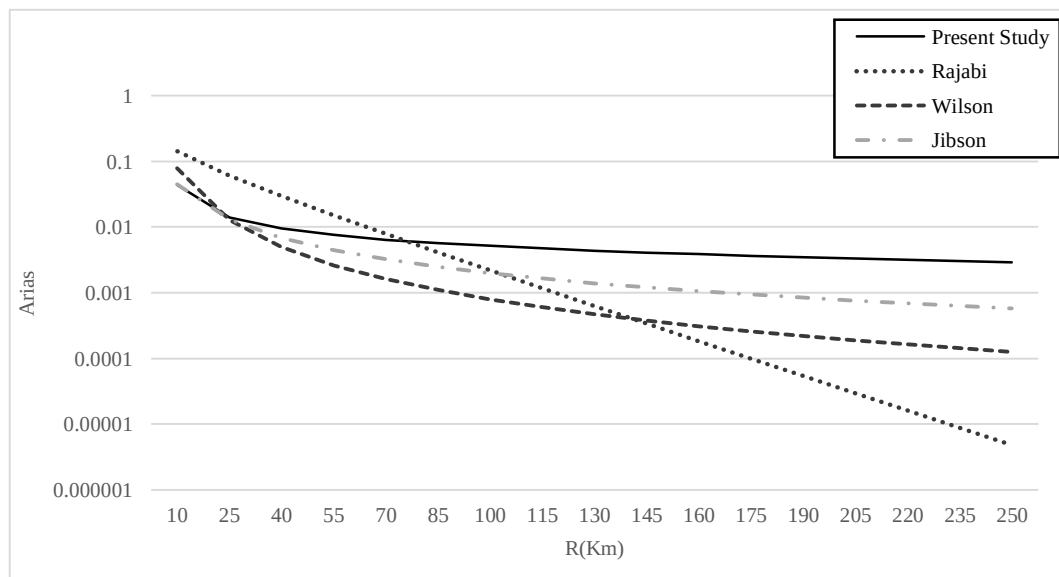
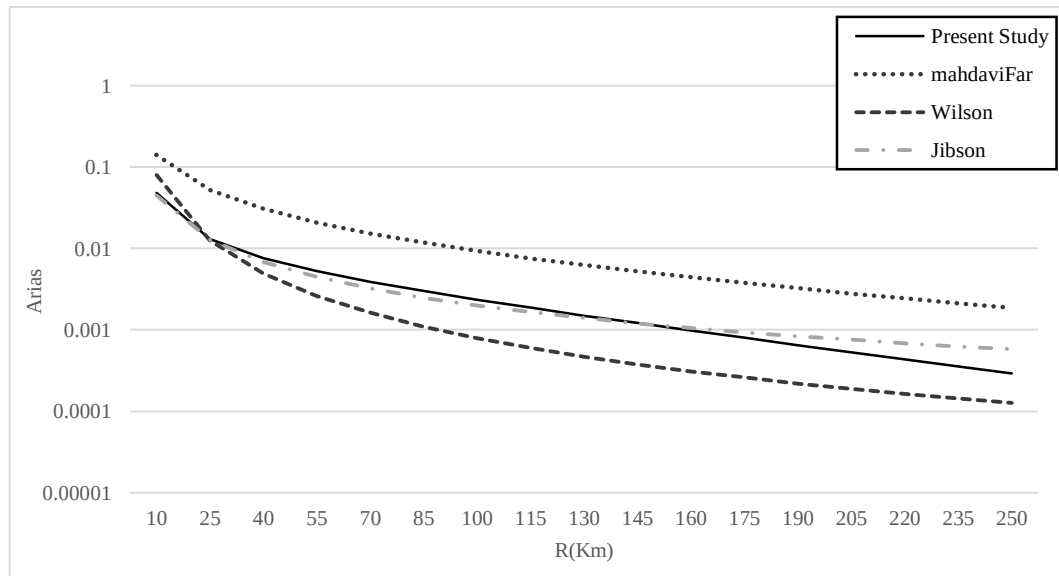
شکل (۴-۱۳): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا $M_w=7$ و سرعت موج برشی 200 m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۱۴) سرعت موج برشی به 400 m/s افزایش داده شد. فاصله کانونی از $10-250$ کیلومتر در نظر گرفته شد و برای بزرگا ۴ رسم شد.



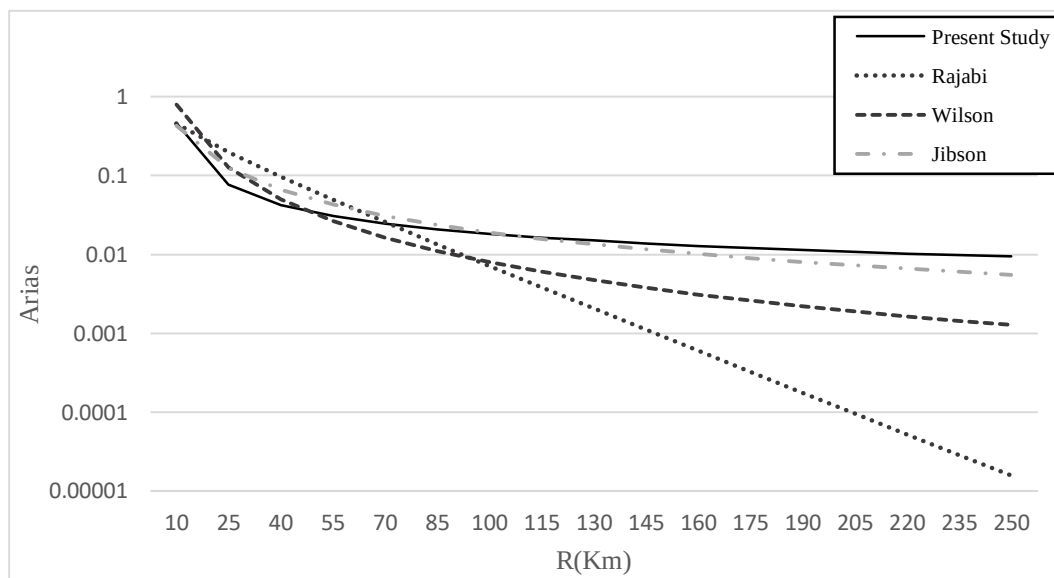
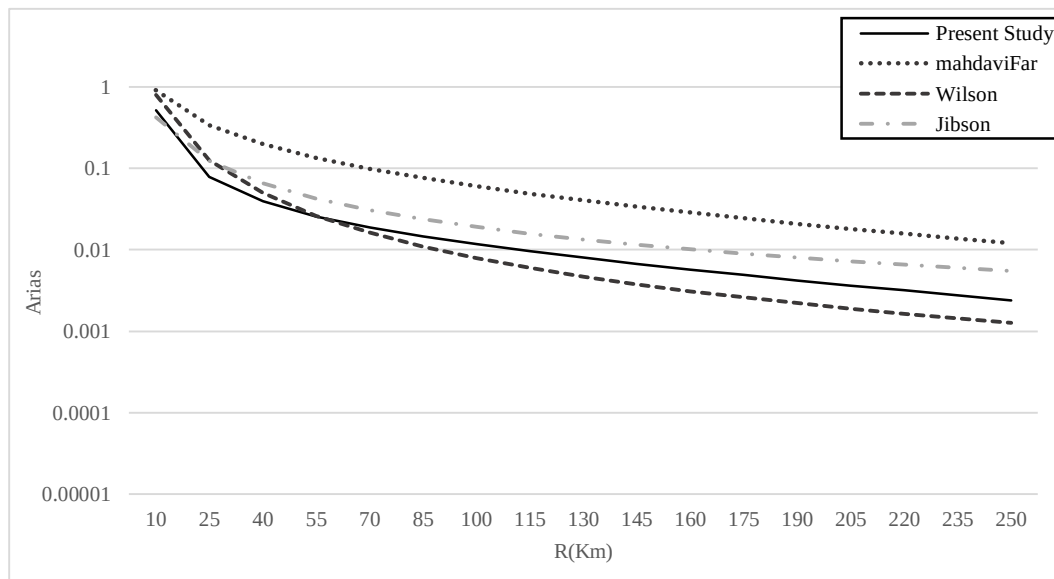
شکل (۴-۱۴): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا $M_w=4$ و سرعت موج برشی 400 m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۱۵) منحنی تغییرات فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر، سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s بزرگا ۵ رسم شد. مشاهده می‌شود رابطه ارائه شده با سایر روابط مطابقت دارد.



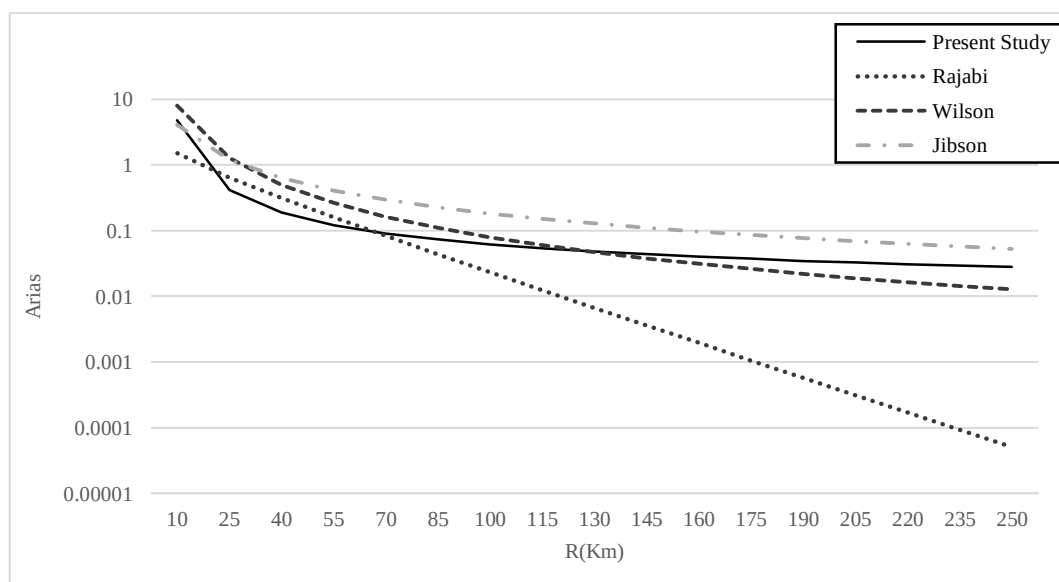
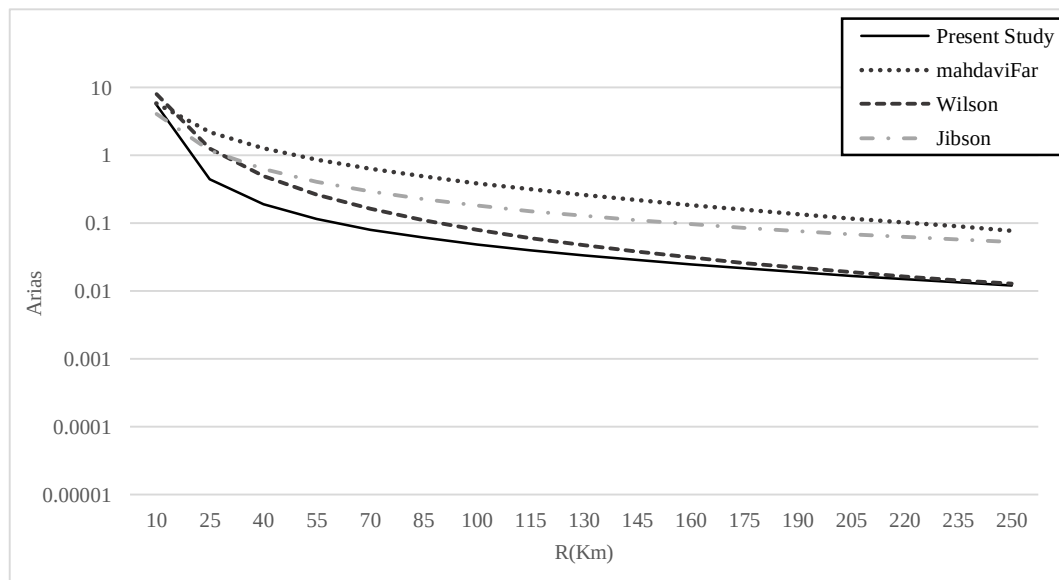
شکل(۴-۱۵): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا ۵ M_w و سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۱۶) مقایسه روابط با سرعت موج برشی 400 m/s و براساس فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد و بزرگا ۶ رسم شد.



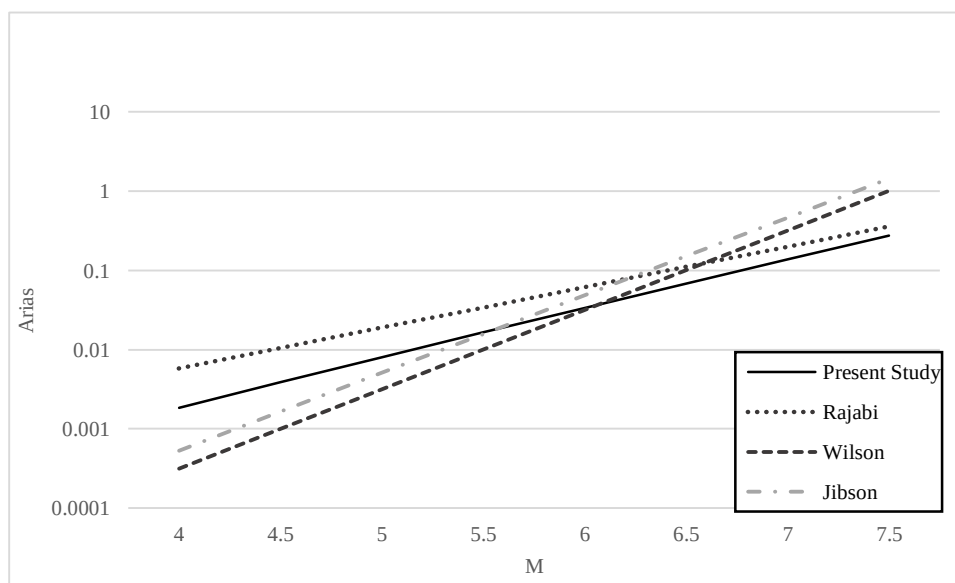
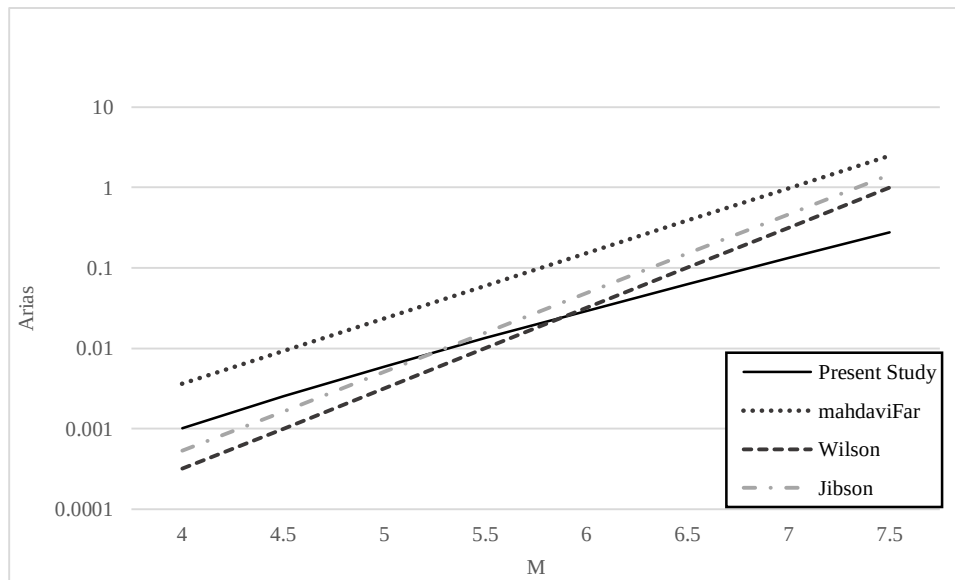
شکل (۴-۱۶): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا ۶ M_w و سرعت موج برشی 400 m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۱۷) مقایسه روابط با سرعت موج برشی 400 m/s و براساس فاصله کانونی از ۱۰-۲۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد و بزرگا ۷ رسم شد. این رابطه مطابقت خوبی با رابطه ارائه شده توسط مهدویفر دارد.



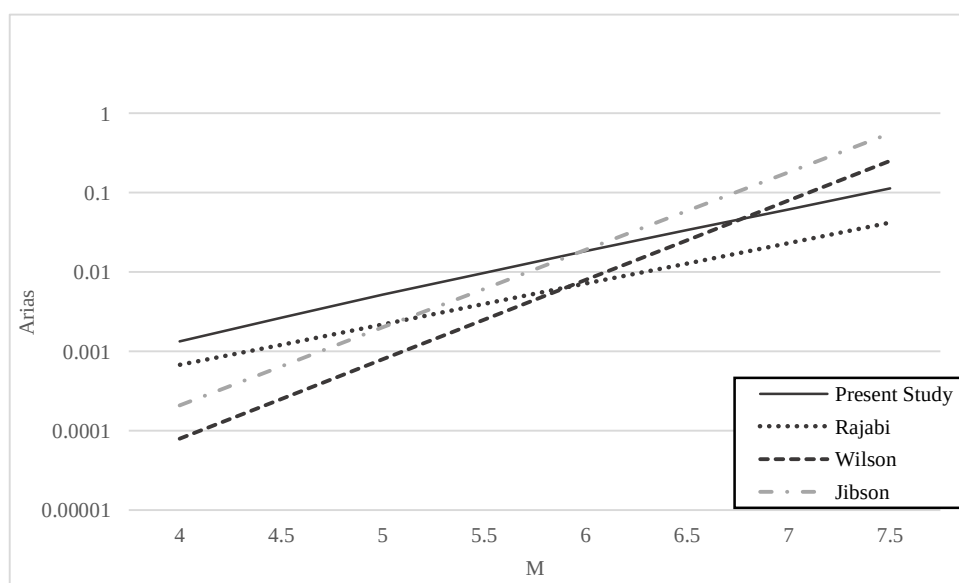
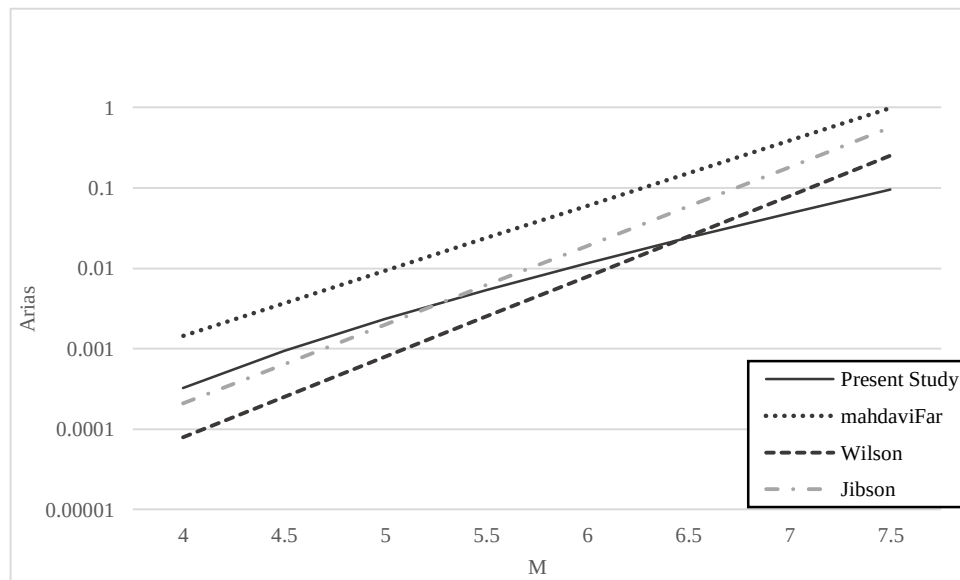
شکل (۴-۱۷): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف فاصله کانونی (R)، بزرگا $M_w=7$ و سرعت موج برشی 400 m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل (۴-۱۸) تغییرات زلزله بر حسب بزرگای با بازه بزرگای ۴-۷/۵ ترسیم شده است. ساختگاه با سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s و فاصله کانونی ۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. همانطور که در شکل ملاحظه می‌گردد تغییرات رابطه ارائه شده مشابه با سایر مقادیر مقایسه‌ای است.



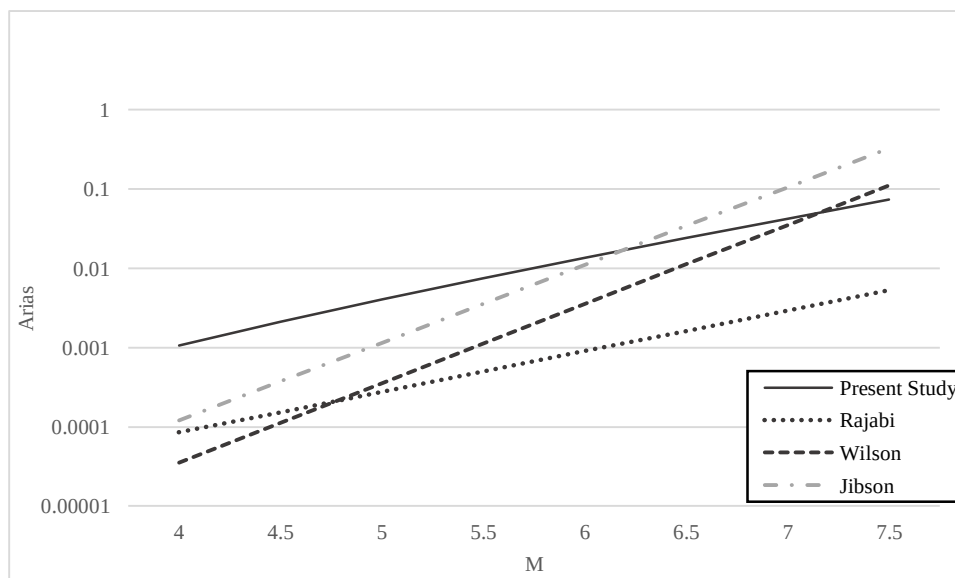
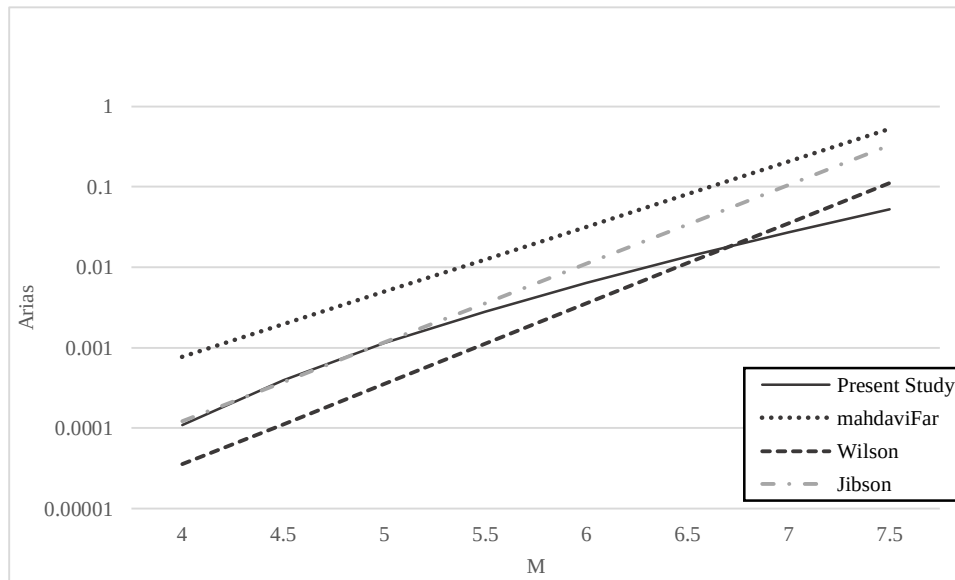
شکل (۴-۱۸): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگای، فاصله ۵۰ کیلومتر، سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل‌های (۴-۱۹) تغییرات زلزله بر حسب بزرگا با بازه بزرگ‌های ۴-۷/۵ ترسیم شده است. ساختگاه با سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s و فاصله کانونی ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. رابطه حاضر بیشترین تطابق را با رابطه رجبی دارد.



شکل (۴-۱۹): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا، فاصله ۱۰۰ کیلومتر، سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

در شکل‌های (۴-۲۰) تغییرات زلزله بر حسب بزرگا با بازه بزرگ‌های ۴-۷/۵ ترسیم شده است. ساختگاه با سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s و فاصله کانونی ۱۵۰ کیلومتر در نظر گرفته شد.



شکل (۴-۲۰): مقادیر تابع شدت اریاس براساس مقادیر مختلف بزرگا، فاصله ۱۵۰ کیلومتر، سرعت موج برشی ۴۰۰ m/s (شکل بالا برای البرز-ایران مرکزی، شکل پایین برای ناحیه زاگرس)

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱. مقدمه

در این پژوهش ۱۰۱۲ رکورد زلزله مورد استفاده قرار گرفت که ۵۳۱ رکورد تحت پوشش البرز-ایران مرکزی و ۴۸۱ رکورد دیگر تحت پوشش زاگرس بوده است. این رکوردها شامل زلزله‌های با بزرگای گشتاوری بیشتر و مساوی ۴ و با فاصله کانونی تا ۲۵۰ کیلومتر می‌باشد. در این مقاله، رابطه کاهندگی برای تابع شدت اریاس، بصورت توابعی پیوسته از بزرگای گشتاوری (M)، فاصله کانونی (R)، سرعت موج برشی (V_s) و پارامتر N برای مشخص نمودن منطقه تحت پوشش البرز-ایران مرکزی ($N=1$) و زاگرس ($N=2$)، برای ایران ارائه شد.

۵-۲. نتیجه‌گیری

یکی از پارامترهای مورد استفاده در این رابطه سرعت موج برشی خاک است. این پارامتر کمک زیادی کرد تا یک رابطه واحد برای ناحیه ایران علی‌رغم متفاوت بودن شرایط زمین‌شناسی دو ناحیه البرز-ایران مرکزی و زاگرس، بدست آید.

رابطه کاهندگی ابزاری برای ارزیابی خطرات ناشی از زمین‌لرزه‌های منجر به زمین‌لغزش است که با توجه به نیازهای مشخصه برنامه‌ها به ارزیابی خطرات احتمالی و محدودیت‌های موجود، مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین این رابطه نباید برای فرم عمومی مورد استفاده قرار گیرد؛ در نتیجه این رابطه برای زلزله‌هایی کاربرد دارد که بانک اطلاعاتی مورد استفاده، شامل داده‌هایی با بزرگای $4-7/3$ و فاصله کانونی بین ۲۵۰-۵ کیلومتر باشد.

این رابطه برای برنامه‌های آینده در ارزیابی لغزش‌های ناشی از زلزله در مقیاس منطقه‌ای، از طریق تخمین جنبش‌های احتمالی زمین، جابه‌جایی نیومارک و سایر تحلیل‌های پویا در رابطه با کاهش خطر و طرح‌های شهری، بسیار مفید خواهد بود.

با استفاده از الگوریتم توسعه ژنی، رابطه‌ای تحت عنوان رابطه کاهندگی برای تابع شدت اریاس بصورت توابعی پیوسته و با دقت مناسب ارائه شد، بطوریکه نتایج و مقایسه آن با روابط رجبی، مهدویفر، ویلسون و جیبسون (شکل‌های ۴-۱۰ تا ۴-۲۰) نشان‌دهنده دقت و مطابقت مناسب رابطه ارائه شده در این پژوهش است. در نهایت رابطه محاسبه شده دارای برازندگی برابر ۸۶۷ برای رکوردهای آموزشی و ۸۴۶ برای رکوردهای آزمایشی بوده است که برای این تعداد از داده‌های طبیعی و بدست آمده از زلزله‌های رخ داده مقادیر مناسبی است.

۵-۳. پیشنهادات

رابطه کاهندگی از جمله روابطی است که پژوهش بر روی آن باید ادامه یابد و بروزرسانی شود، زیرا از طرفی این روابط بر پایه زلزله‌های رخ داده است و از آنجایی که زلزله هر روز در حال وقوع است و شبکه شتاب‌نگاری در حال گسترش و تعداد شتاب‌نگاشت‌ها در حال افزایش است، این روابط هم می‌توانند بروزرسانی شوند و بر اساس داده‌های جدید یک رابطه جدید ارائه شود. از طرفی دیگر، روش‌های مختلفی برای رگرسیون‌گیری و محاسبه تابع هدف وجود دارد. یکی از جدیدترین روش‌های ارائه شده که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، بر پایه الگوریتم توسعه ژنی که نوعی هوش مصنوعی است، می‌باشد. از جمله پیشنهاداتی که برای کارهای آینده می‌تواند مورد توجه قرار گیرد ارائه رابطه کاهندگی برای دیگر پارامترهای لرزه‌ای از جمله بیشینه شتاب زلزله، بیشینه سرعت زلزله، طیف‌های الاستیک و غیر الاستیک بوسیله همین الگوریتم و یا دیگر روش‌های هوشمند رگرسیون‌گیری می‌باشد.

پوست

کاتالوگ زلزله‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول زیر ارائه گردید:

Num.	نام ایستگاه	استان	تاریخ	ساعت	Mw	R
7351	پلدختر	لرستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	248.6524
7336	معمولان	لرستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	247.655
7291	نقده	آذربایجان غربی	2017-11-12	18:18:16	7.3	244.663
7372	بیشه دراز	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	242.6685
7343	الشتر	لرستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	240.6741
7348	سراب دوره	لرستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	239.6769
7298	دره شهر	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	230.7033
7286	گیان	همدان	2017-11-12	18:18:16	7.3	225.7189
7288	پیرانشهر	آذربایجان غربی	2017-11-12	18:18:16	7.3	222.7285
7314	پهله	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	220.7351
7293	شاهین دژ	آذربایجان غربی	2017-11-12	18:18:16	7.3	216.7487
7334	کوه‌دشت	لرستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	212.7628
7465	قهورد سفلی	همدان	2017-11-12	18:18:16	7.3	209.7737
7284	فیروزان	همدان	2017-11-12	18:18:16	7.3	208.7774
7453	تکاب	آذربایجان غربی	2017-11-12	18:18:16	7.3	208.7774
7347	نورآباد	لرستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	206.7849
7315	بدره	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	197.8206
7316	دزج	کردستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	189.8552
7340	مهران	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	189.8552
7378	ارکواز ملک شاهی	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	170.9503
7451	نلاس	آذربایجان غربی	2017-11-12	18:18:16	7.3	166.9731
7320	هلیان	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	162.0031
7385	لومار	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	162.0031
7312	دیواندره	کردستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	160.0156
7289	سردشت	آذربایجان غربی	2017-11-12	18:18:16	7.3	156.0417
7307	سنقر	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	155.0484
7299	ابراهیم آباد	کردستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	155.0484
7309	صالح آباد	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	152.0691
7304	دینورا	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	144.1284
7277	آرموده	کردستان	2017-11-12	18:18:16	7.3	126.2894
7294	حمیل	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	126.2894
7338	ایوان	ایلام	2017-11-12	18:18:16	7.3	117.3882
7375	سومار	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	107.5174
7295	ماهیدشت	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	102.5914
7411	سراب نیلوفر	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	99.63935
7313	اسلام آباد غرب	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	97.67292
7296	روانسر	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	72.27724
7302.01	کزند غرب	کرمانشاه	2017-11-12	18:18:16	7.3	68.41053
1083.01	بشرویه* ^۱	خراسان جنوبی	1978-09-16	15:35:57	7.3	64.66065

^۱ موارد ستارهدار دارای دستگاه آنالوگ می‌باشند.

1082.01	دیپهوک*	خراسان جنوبی	1978-09-16	15:35:57	7.3	35.44009
5323	ماکو	آذربایجان غربی	2011-10-23	10:41:21	7	122.1475
5329	قطور	آذربایجان غربی	2011-10-23	10:41:21	7	82.21922
1758	ترت حیدریه	خراسان رضوی	1997-05-10	7:57:29	6.9	170.2939
1741	فیض آباد	خراسان رضوی	1997-05-10	7:57:29	6.9	163.3065
1751	مود	خراسان جنوبی	1997-05-10	7:57:29	6.9	128.39
1742	گناباد	خراسان رضوی	1997-05-10	7:57:29	6.9	121.4125
1737	بیرجند	خراسان جنوبی	1997-05-10	7:57:29	6.9	121.4125
1750.02	مرک	خراسان جنوبی	1997-05-10	7:57:29	6.9	108.462
1739	بسک آباد	خراسان جنوبی	1997-05-10	7:57:29	6.9	105.4751
1770	موسویه	خراسان جنوبی	1997-05-10	7:57:29	6.9	104.4797
1740	خضری	خراسان جنوبی	1997-05-10	7:57:29	6.9	96.51943
1759	خواف*	خراسان رضوی	1997-05-10	7:57:29	6.9	87.57283
1053	میناب*	هرمزگان	1977-03-21	21:18:00	6.9	81
1753	سنگان	خراسان رضوی	1997-05-10	7:57:29	6.9	75.66373
1754.01	قاسم آباد	خراسان رضوی	1997-05-10	7:57:29	6.9	58.85576
3169	چشمه سبز	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	191.1282
3175	کرمان ۲	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	184.1331
3161	سیرچ	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	179.1368
3163	قلعه گنج	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	174.1407
3165	شهداد	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	165.1484
3164	اندوهجرد	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	144.17
3156	جوشان	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	139.1761
3155.02	گلباف ۱	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	111.2205
3673	رفسنجان	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	86.57944
3665	طرز	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	71.70077
3170.02	جیرفت	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	71.34424
3663	باغین	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	68.73136
3687	کرمان ۲	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	64.77654
3702	داوران	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	61.81424
3679	هینمان	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	58.85576
3661	راور	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	52.95281
3176.01	ابارق	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	51.47815
3162.01	محمد آباد مسکون	کرمان	2003-12-26	1:56:56	6.5	45.54119
3688	حرجند	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	40.26164
3697.01	سد شیرین رود ۱	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	26.92582
3671.01	زرند	کرمان	2005-02-22	2:25:26	6.5	20.59126
3422	بک کنده	قزوین	2004-05-28	12:38:46	6.4	183.6981
3421.02	آقا بابا	قزوین	2004-05-28	12:38:46	6.4	166.7693
3374	نوذرا باد	مازندران	2004-05-28	12:38:46	6.4	158.8081
3373	رودسر	گیلان	2004-05-28	12:38:46	6.4	152.8398
3353	آلولک	قزوین	2004-05-28	12:38:46	6.4	142.8986
3332	قزوین ۲	قزوین	2004-05-28	12:38:46	6.4	140.9113
3336	گرمسار	سمنان	2004-05-28	12:38:46	6.4	134.9518

1674	مراوه تپه	گلستان	1997-02-04	10:37:47	6.4	130.7517
3444	رز جرد	قزوین	2004-05-28	12:38:46	6.4	128.9961
1045	خواف*	خراسان رضوی	1976-11-07	4:00:50	6.4	121
3400	ایوانکی	سمنان	2004-05-28	12:38:46	6.4	113.1371
3343	حسن آباد	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	108.1896
2786.02	آقا بابا	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	107.6708
3367	معلم کلایه	قزوین	2004-05-28	12:38:46	6.4	105.2236
3354	بابلسر	مازندران	2004-05-28	12:38:46	6.4	105.2236
2770	حلب	زنجان	2002-06-22	2:58:20	6.4	104.69
2759	بوئین زهرا	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	104.69
2758	زرین آباد	زنجان	2002-06-22	2:58:20	6.4	103.6967
2787.03	بک کندی	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	101.7104
3445	چندآب	سمنان	2004-05-28	12:38:46	6.4	101.2719
3431	بابل	مازندران	2004-05-28	12:38:46	6.4	101.2719
1703	امام قلی	خراسان رضوی	1997-02-04	10:37:47	6.4	98.0051
2750	بهار	همدان	2002-06-22	2:58:20	6.4	96.74709
3321	مردآباد	البرز	2004-05-28	12:38:46	6.4	93.38094
3315	هشتگرد	البرز	2004-05-28	12:38:46	6.4	92.39589
3387	پاکدشت	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	90.42677
2791	نیکوئی	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	89.80535
3361	تنکابن	مازندران	2004-05-28	12:38:46	6.4	88.45903
2757	سلطانیه	زنجان	2002-06-22	2:58:20	6.4	87.82369
2793	تاکستان	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	84.85281
3318	طالقان ۱	البرز	2004-05-28	12:38:46	6.4	78.64477
2768	ده جلال	زنجان	2002-06-22	2:58:20	6.4	76.94154
2751.01	دانسفهان	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	75.95393
2772	صائین قلعه	زنجان	2002-06-22	2:58:20	6.4	74.96666
3304	تهران ۲۴ (شهرک صنعتی شریف)	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	72.78049
3312	تهران ۱۷ (ورزشگاه تختی)	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	70.83078
3302	تهران ۵۶ (استادیوم آزادی)	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	70.83078
3295	تهران ۱۸ (مرکز تحقیقات)	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	65.96969
2760.02	ضیاء آباد	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	62.16912
2763	ابهر	زنجان	2002-06-22	2:58:20	6.4	62.16912
3311	تهران ۵۲ (دانشکده آب و برق)	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	62.0967
2761	نهاوند	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	61.18823
2754.01	کبودر آهنگ	همدان	2002-06-22	2:58:20	6.4	55.31727
1042	سده*	خراسان جنوبی	1976-11-07	4:00:50	6.4	55
3306	تهران ۳۰ (پارک جمشیدیه)	تهران	2004-05-28	12:38:46	6.4	54.40588
3369.01	نور	مازندران	2004-05-28	12:38:46	6.4	51.5461
2769.02	درسجین	زنجان	2002-06-22	2:58:20	6.4	50.44799
3368.01	نوشهر	مازندران	2004-05-28	12:38:46	6.4	45.88028
1044	خضری*	خراسان جنوبی	1976-11-07	4:00:50	6.4	42
2748.01	آبگرم	قزوین	2002-06-22	2:58:20	6.4	37
2756.01	رزن	همدان	2002-06-22	2:58:20	6.4	33.24154

1043	قائن*	خراسان جنوبی	1976-11-07	4:00:50	6.4	10
2557	کرن	گلستان	2000-12-06	17:11:06	6.3	185.0108
2774	مردآباد	تهران	2002-06-22	2:58:20	6.3	175.4109
2777	گل تپه	همدان	2002-06-22	2:58:20	6.3	81.88406
2778	قهورد	همدان	2002-06-22	2:58:20	6.3	81.88406
2781	شیرین سو	همدان	2002-06-22	2:58:20	6.3	48.50773
1870	فهرج	کرمان	1998-03-14	19:40:27	6.2	182.2745
3636.01	قیان علیا	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.2	129.5415
3559	اسطوخ پشت	مازندران	2004-10-07	21:46:18	6.2	117.047
3611	نودرآباد	مازندران	2005-01-10	18:47:30	6.2	115.2476
5527	آذرشهر	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.2	102.489
3654.01	مینودشت*	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.2	93.40771
3639.01	مینودشت	گلستان	2005-01-10	18:47:30	6.2	93.40771
3642.01	قلعه نو خرقان	سمنان	2005-01-10	18:47:30	6.2	92.47702
3590	دیباچ	سمنان	2004-10-07	21:46:18	6.2	89.69392
3639.05	مینودشت	گلستان	2005-01-10	18:47:30	6.2	88.60023
3622.01	مجن	سمنان	2004-10-07	21:46:18	6.2	87.84646
5554.02	مرند	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.2	83.60024
5601.02	خمارلو	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.2	82.60751
3624	دیباچ	سمنان	2005-01-10	18:47:30	6.2	81.15417
3642.02	قلعه نو خرقان	سمنان	2005-01-10	18:47:30	6.2	80.23092
2090	مرک	خراسان جنوبی	1998-04-10	15:00:53	6.2	78.40918
3551	رامیان	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.2	76.92204
5570.02	صوفیان	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.2	68.73136
3621.02	رامیان	گلستان	2005-01-10	18:47:30	6.2	68.42514
3557.02	بندرگز	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.2	68.09552
3542	علی آباد	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.2	61.29437
5528.02	باسمنج	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.2	56.88585
1887	مود	خراسان جنوبی	1998-04-10	15:00:53	6.2	56.56854
1943	کرمان ۲	کرمان	1998-03-14	19:40:27	6.2	55.9017
3560.01	اینچه برون	گلستان	2004-10-08	13:45:55	6.2	55.60576
1865	اسدیه	خراسان جنوبی	1998-04-10	15:00:53	6.2	54.58938
3612	علی آباد	گلستان	2005-01-10	18:47:30	6.2	50.60632
3545	گرگان ۱	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.2	50.24938
3623	گرگان ۱	گلستان	2005-01-10	18:47:30	6.2	41.10961
3556.01	آق قلا ۱	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.2	38.94868
3608	آق قلا ۱	گلستان	2005-01-10	18:47:30	6.2	34.0147
2155.02	فین ۱	هرمزگان	1999-03-04	5:38:26	6.1	197.1015
2148.02	بلورد	کرمان	1999-03-04	5:38:26	6.1	190.2525
2175.02	رضوان	هرمزگان	1999-03-04	5:38:26	6.1	185.3672
2151.03	چشمه سبز	کرمان	1999-03-04	5:38:26	6.1	166.8652
2157	قلعه گنج	کرمان	1999-03-04	5:38:26	6.1	114.2322
2153	دربهشت	کرمان	1999-03-04	5:38:26	6.1	99.40322
2164.01	کوشک علیا	کرمان	1999-03-04	5:38:26	6.1	98.48858

1007	میناب*	هرمزگان	1975-03-07	7:04:00	6.1	72
2168	محمد آباد مسکون	کرمان	1999-03-04	5:38:26	6.1	68.8186
5528.01	باسمنج	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.1	68.06614
5532.01	دمیرچی	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.1	64.13267
2123.02	گویم	فارس	1999-05-06	23:00:53	6.1	62.03225
2126.03	قائمیه	فارس	1999-05-06	23:00:53	6.1	49.0408
5545.01	کلبیر	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.1	43.68066
5540.01	هریس	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:34:34	6.1	39.84972
1191.03	گلیاف*	کرمان	1979-12-07	9:23:56	6.1	33.95585
2130.01	خان زینان	فارس	1999-05-06	23:00:53	6.1	32.06244
1486	فیروزآباد*	فارس	1994-03-01	3:49:00	6.1	31.38471
2131.02	بالا ده	فارس	1999-05-06	23:00:53	6.1	23.08679
1098.02	تالش*	گیلان	1978-11-04	15:22:20	6.1	14
1193.03	بنیاباد*	خراسان رضوی	1979-12-07	9:23:56	6.1	8
4394	بوئین زهرا	قزوین	2007-06-18	14:29:49	6.0	158.155
1836	خواجه	آذربایجان شرقی	1997-02-28	12:57:45	6.0	140.8119
1938.01	کلبیر	آذربایجان شرقی	1997-02-28	12:57:45	6.0	139.832
4677	میناب	هرمزگان	2008-09-10	11:00:40	6.0	130.1384
1730	تازه کندی*	اردبیل	1997-02-28	12:57:45	6.0	124.1974
1702	گرمی	اردبیل	1997-02-28	12:57:45	6.0	121.2765
4684.01	حسن لنگی	هرمزگان	2008-09-10	11:00:40	6.0	121.1487
3549	نکاء	مازندران	2004-10-07	21:46:18	6.0	119.9208
4356	اراک ۱	مرکزی	2007-06-18	14:29:49	6.0	119.2057
3552	نودرآباد	مازندران	2004-10-07	21:46:18	6.0	113.2254
4382	فرمهین	مرکزی	2007-06-18	14:29:49	6.0	112.2185
1687	هریس	آذربایجان شرقی	1997-02-28	12:57:45	6.0	99.0404
4369	حسن آباد	تهران	2007-06-18	14:29:49	6.0	97.25225
3070	ریگان	کرمان	2003-08-21	4:02:09	6.0	86.88498
3067	فهرج	کرمان	2003-08-21	4:02:09	6.0	85.90693
3544	گنبدکاووس	گلستان	2004-10-07	21:46:18	6.0	77.82031
1691	رضی	اردبیل	1997-02-28	12:57:45	6.0	76.32169
3042.02	زاهد شهر	فارس	2003-07-10	17:40:15	6.0	72.36712
1724	نمین	اردبیل	1997-02-28	12:57:45	6.0	62.6099
1725	سراب	آذربایجان شرقی	1997-02-28	12:57:45	6.0	60.82763
1735	خلخال	اردبیل	1997-02-28	12:57:45	6.0	60.82763
3040.03	حاجی آباد	فارس	2003-07-10	17:40:15	6.0	30.41381
4678.01	سوزا	هرمزگان	2008-09-10	11:00:40	6.0	26.68333
4672	بندر خمیر	هرمزگان	2008-09-10	11:00:40	6.0	26.68333
3041.02	جویم	فارس	2003-07-10	17:40:15	6.0	26.07681
4675.01	طبل	هرمزگان	2008-09-10	11:00:40	6.0	13.41641
1932	ورزقان	آذربایجان شرقی	1998-07-09	14:19:18	5.9	176.9209
2046	هریس	آذربایجان شرقی	1998-07-09	14:19:18	5.9	147.3126
1925	خمارلو	آذربایجان شرقی	1998-07-09	14:19:18	5.9	143.3771
1938.02	کلبیر	آذربایجان شرقی	1998-07-09	14:19:18	5.9	138.463

4056	همدان ۵	همدان	2006-03-31	1:17:02	5.9	138.2932
1934	دمیرچی	آذربایجان شرقی	1998-07-09	14:19:18	5.9	135.5175
1939	اصلاندوز	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	127.6754
2071.01	تالش	گیلان	1998-07-09	14:19:18	5.9	119.8541
4185	کمیجان	مرکزی	2006-03-31	1:17:02	5.9	119.3399
4026	فیروزان	همدان	2006-03-31	1:17:02	5.9	110.3676
1905.03	نیر	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	105.2616
4024	نورآباد	لرستان	2006-03-31	1:17:02	5.9	104.3887
2002.08	اسلام آباد	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	100.4241
2041	زیوه	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	92.72001
2019	لاهرود	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	81.27115
4038	نهادند	همدان	2006-03-31	1:17:02	5.9	80.50466
4028.01	خنداب	مرکزی	2006-03-31	1:17:02	5.9	80.50466
4025	الشتر	لرستان	2006-03-31	1:17:02	5.9	71.56815
1495	مهارلو	فارس	1994-06-20	9:09:02	5.9	66.48308
2008.01	گرمی	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	59.9333
4055.03	شول آباد	لرستان	2006-03-31	1:17:02	5.9	59.68249
1498	باب انار	فارس	1994-06-20	9:09:02	5.9	59.5399
2033.01	رضی	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	56.35601
1497	فراشیند	فارس	1994-06-20	9:09:02	5.9	54.58938
2027.01	نمین	اردبیل	1998-07-09	14:19:18	5.9	53.7122
1209	تخت*	هرمزگان	1983-07-12	11:34:19	5.9	50.47772
2715	کاکي	بوشهر	2002-02-17	13:03:52	5.9	48.83646
2687	شنه	بوشهر	2002-02-17	13:03:52	5.9	47.38143
2686	بندردیر	بوشهر	2002-02-17	13:03:52	5.9	46.66905
4018.03	چغلوندی	لرستان	2006-03-31	1:17:02	5.9	41.97618
4052.03	دره اسیر	لرستان	2006-03-31	1:17:02	5.9	28.4605
1492.16	ذرات	فارس	1994-06-20	9:09:02	5.9	28.16026
4022.02	درود	لرستان	2006-03-31	1:17:02	5.9	24.69818
1346.01	گلباف*	کرمان	1989-11-20	4:19:05	5.9	18
1493.02	فیروزآباد	فارس	1994-06-20	9:09:02	5.9	16.12452
4027.08	چالان چولان	لرستان	2006-03-31	1:17:02	5.9	12.72792
3203.01	حسن لنگی	هرمزگان	2003-02-14	10:28:58	5.8	85.47514
2893	هفتگل	خوزستان	2002-09-25	22:28:15	5.8	65.76473
2611.01	ارکواز ملک شاهی	ایلام	2001-03-23	5:24:11	5.8	59.07622
2571	مهران	ایلام	2001-03-23	5:24:11	5.8	56.61272
2872	ایذه ۱	خوزستان	2002-09-25	22:28:15	5.8	54.91812
2570	بیشه دراز	ایلام	2001-03-23	5:24:11	5.8	48.10405
2728.02	حسن لنگی	هرمزگان	2002-04-17	8:47:22	5.8	45.96738
2539	پهله	ایلام	2001-03-23	5:24:11	5.8	41.40048
4637	دشت عباس	ایلام	2008-08-27	21:52:38	5.8	41.23106
3198.01	سرگز-احمدی	هرمزگان	2003-02-14	10:28:58	5.8	41
2963.01	تخت	هرمزگان	2002-04-17	8:47:22	5.8	39.11521
1329	نورآبادممسنی*	فارس	1988-12-06	13:20:42	5.8	29.41088

4646	موسیان	ایلام	2008-08-27	21:52:38	5.8	26.92582
3041.01	جویم	فارس	2003-07-10	17:06:37	5.8	18.02776
2873	مسجدسلیمان	خوزستان	2002-09-25	22:28:15	5.8	12.80625
1853	ترت حیدریه	خراسان رضوی	1997-06-25	19:38:40	5.7	145.3444
3921.01	حسن لنگی	هرمزگان	2005-11-27	10:22:23	5.7	119.0504
3914	کوهستک	هرمزگان	2005-11-27	10:22:23	5.7	114.1403
4003	حسن لنگی	هرمزگان	2006-02-28	7:31:03	5.7	98.0051
4254.01	رودان	هرمزگان	2006-02-28	7:31:02	5.7	96.02604
1851	سنگان	خراسان رضوی	1997-06-25	19:38:40	5.7	85.58621
4000	سیاهو	هرمزگان	2006-02-28	7:31:03	5.7	80.23092
1877.01	حسن لنگی	هرمزگان	1997-04-19	5:53:14	5.7	77.83315
3999	زیارت علی	هرمزگان	2006-02-28	7:31:03	5.7	66.4906
3912	بندرعباس ۳	هرمزگان	2005-11-27	10:22:23	5.7	64.84597
1103.11	طبس*	خراسان جنوبی	1979-02-13	10:36:15	5.7	59.61543
1489.01	فیروزآباد*	فارس	1994-03-30	19:55:42	5.7	58.60034
1816.04	افین	خراسان جنوبی	1997-06-25	19:38:40	5.7	57.87055
1492.06	ذرات	فارس	1994-03-30	19:55:48	5.7	55.36244
1819	قاسم آباد	خراسان رضوی	1997-06-25	19:38:40	5.7	54.91812
1898	زیارت علی	هرمزگان	1997-04-19	5:53:14	5.7	54.20332
3909	قشم	هرمزگان	2005-11-27	10:22:23	5.7	48.30114
4128	قشم	هرمزگان	2006-06-28	21:02:09	5.7	46.09772
3996.02	سرگز-احمدی	هرمزگان	2006-02-28	7:31:03	5.7	45.22168
2899	آبگرم	قزوین	2002-09-02	1:00:03	5.7	45.12206
2890	اوج	قزوین	2002-09-02	1:00:03	5.7	41.23106
1799	قائن ۲	خراسان جنوبی	1997-06-25	19:38:40	5.7	41.23106
2888	رزن	همدان	2002-09-02	1:00:03	5.7	41.23106
4825	بندرخمیر	هرمزگان	2009-07-22	3:53:03	5.7	30.61046
3915.01	سوزا	هرمزگان	2005-11-27	10:22:23	5.7	27.80288
3785.04	سد شیرین رود ۱	کرمان	2005-05-14	18:04:54	5.7	25.07987
1104.02	دیپوک*	خراسان جنوبی	1979-02-13	10:36:15	5.7	24.69818
3760	بهاآباد	کرمان	2005-05-14	18:04:54	5.7	23.25941
4826.01	طبل	هرمزگان	2009-07-22	3:53:03	5.7	21.47091
3775.16	حتکن	کرمان	2005-05-14	18:04:54	5.7	20.59126
3761.02	چترود	کرمان	2005-05-14	18:04:54	5.7	15.6205
3773.18	اسلام آباد	کرمان	2005-05-14	18:04:54	5.7	14.86607
3778.06	خانوک	کرمان	2005-05-14	18:04:54	5.7	11.6619
5051.02	قوشه	سمنان	2010-08-27	19:23:48	5.6	66.37017
2951	باغملک	خوزستان	2002-12-31	22:22:12	5.6	62.43397
5049	جام	سمنان	2010-08-27	19:23:48	5.6	58.42089
2948	ایذه ۱	خوزستان	2002-12-31	22:22:12	5.6	53.41348
2575.01	قائمیه	فارس	2001-03-28	16:34:22	5.6	48.83646
1506.01	حسینیة علیا	خوزستان	1994-07-31	5:15:39	5.6	46.23851
1240.02	قیر*	فارس	1985-02-02	20:52:35	5.6	44.72136
2574.03	بابامنیر	فارس	2001-03-28	16:34:22	5.6	42.0119

2702	بهباد	یزد	2002-04-05	18:40:19	5.6	39.11521
2809.01	کنار تخته	فارس	2002-06-01	16:12:36	5.6	37.12142
1506.04	حسینیہ علیا	خوزستان	1994-07-31	5:22:10	5.5	75.58439
1442	دره گز*	خراسان رضوی	1992-11-27	21:09:16	5.5	69.28925
3569	صالح آباد	ایلام	2004-10-16	10:04:38	5.5	51.10773
1150	لاهیجان*	گیلان	1980-07-22	5:17:06	5.5	49.57822
2162	کرمان ۲	کرمان	1998-11-18	7:39:23	5.5	49.0306
3س.03	حاجی آباد ۱	فارس	2003-10-24	5:58:21	5.5	48.83646
1151	رودسر*	گیلان	1980-07-22	5:17:06	5.5	45.22168
2787.01	بک کنده	قزوین	2002-04-19	13:46:49	5.5	43.93177
2047.02	جوشان	کرمان	1998-11-18	7:39:23	5.5	43.17407
4014.02	رضوان	هرمزگان	2006-03-25	9:55:16	5.5	42.04759
2937.01	سنقر	کرمانشاه	2002-12-24	17:03:02	5.5	41.40048
2711.02	سنقر	کرمانشاه	2002-04-24	19:48:07	5.5	40.80441
4012.01	رضوان	هرمزگان	2006-03-25	7:28:54	5.5	40.49691
2037	اندوهجرد	کرمان	1998-11-18	7:39:23	5.5	38.32754
5593.05	هریس	آذربایجان شرقی	2012-08-14	14:02:25	5.5	37.69615
1927.13	نیر	اردبیل	1997-03-21	23:00:39	5.5	16.40122
4014.03	رضوان	هرمزگان	2006-03-25	10:00:41	5.5	36.71512
2748.03	آبگرم	قزوین	2002-06-22	6:45:33	5.5	35.44009
3101	جویم	فارس	2003-10-24	5:58:21	5.5	34.78505
2933.03	ارمنیجان	کرمانشاه	2002-12-24	17:03:02	5.5	34.20526
2706.02	ارمنیجان	کرمانشاه	2002-04-24	19:48:07	5.5	33.54102
5608.04	خواجه	آذربایجان شرقی	2012-08-14	14:02:25	5.5	32.20248
3915.07	سوزا	هرمزگان	2005-11-27	16:30:38	5.5	31.62278
4667.01	موسیان	ایلام	2008-09-03	22:43:15	5.5	30.67572
2749.05	آوج	قزوین	2002-06-22	6:45:33	5.5	29.73214
1920.04	کریق	اردبیل	1997-03-21	23:00:39	5.5	27.85678
4013.01	فین ۱	هرمزگان	2006-03-25	7:28:54	5.5	25.23886
5589.07	ورزقان	آذربایجان شرقی	2012-08-14	14:02:25	5.5	22.80351
4013.06	فین ۱	هرمزگان	2006-03-25	10:00:41	5.5	22.2036
2176.01	شهداد	کرمان	1998-11-18	7:39:23	5.5	21.47091
2749.02	آوج	قزوین	2002-06-22	3:00:42	5.5	16.40122
2149	بیلہ سوار	اردبیل	1999-06-04	9:12:50	5.4	179.067
2306	قلعه نو خراقان	سمنان	1999-11-19	4:40:24	5.4	120.8139
2363	کلالة	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.4	117.8346
2295	دیباچ	سمنان	1999-11-19	4:40:24	5.4	113.864
2366.01	رامیان	گلستان	1999-11-26	4:27:24	5.4	98.99495
2356	آق بند	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.4	94.04786
2222	گنبدلی	خراسان رضوی	1999-11-08	21:37:23	5.4	80.23092
2371	بندرگز	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.4	79.24645
2327.02	بیلہ سوار	اردبیل	2000-03-21	14:07:40	5.4	78.89233
7492	جوانرود	کرمانشاه	2017-12-11	14:09:56	5.4	75.69016
1076.02	تخت*	هرمزگان	1977-12-01	21:11:22	5.4	72.47068

7485.03	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-12-11	14:09:56	5.4	71.8401
2345	بندر ترکمن	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.4	63.56099
3238	رستمی	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	61.77378
3235	بوشهر ۵	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	58.30952
2343.1	آق قلا ۱	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.4	55.7853
3255	بوشهر ۱	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	55.75841
7491.05	ثلاث باباجانی	کرمانشاه	2017-12-11	14:09:56	5.4	55.71355
3237	سعدآباد	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	54.91812
2377	رشکان	آذربایجان غربی	2000-02-26	8:18:37	5.4	53.15073
4771	فین ۱	هرمزگان	2009-02-23	11:11:00	5.4	52.95281
2148.01	بلورد	کرمان	1999-01-14	22:12:49	5.4	52.63079
2360	اینچه برون	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.4	50.96077
1434	فورک*	فارس	1992-05-19	12:24:57	5.4	50.32892
1076.04	تخت*	هرمزگان	1977-12-10	5:46:23	5.4	50.11986
2151.02	چشمه سبز	کرمان	1999-01-14	22:12:49	5.4	48.83646
3236	دلوار	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	47.63402
4734	بندرعباس ۳	هرمزگان	2008-12-07	13:36:21	5.4	46.17359
2257.02	دلوار	بوشهر	1999-09-24	19:17:15	5.4	46.09772
2299	گمیشان	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.4	44.27189
2325.01	سیاهو	هرمزگان	2000-03-05	9:40:06	5.4	43.04649
2728.03	حسن لنگی	هرمزگان	2002-04-17	8:47:22	5.4	41.40048
3268.02	تنگ ارم	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	39.69887
4095	قشم	هرمزگان	2006-06-03	7:15:35	5.4	37.69615
2472	نهپندان	خراسان جنوبی	2000-10-23	6:54:49	5.4	37.58989
3240	فاریاب	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	34.98571
4735	طبل	هرمزگان	2008-12-07	13:36:21	5.4	34.9285
4736	بندر خمیر	هرمزگان	2008-12-07	13:36:21	5.4	34.9285
4732.02	سوزا	هرمزگان	2008-12-07	13:36:21	5.4	33.10589
3241	اهرم	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	33.10589
2963.02	تخت	هرمزگان	2002-04-20	9:35:14	5.4	33.06055
2214.01	اهرم	بوشهر	1999-09-24	19:17:15	5.4	30.67572
3239.01	آباد	بوشهر	2004-03-02	7:51:47	5.4	30.59412
4096.01	سوزا	هرمزگان	2006-06-03	7:15:35	5.4	29.52965
3150.01	حاجی آباد ۱	فارس	2003-12-15	22:57:23	5.4	28.79236
2510.01	سرگز-احمدی	هرمزگان	2000-03-05	9:40:06	5.4	25.55386
1492.15	ذرات	فارس	1994-06-18	12:42:00	5.4	24.59675
2221.04	صالح آباد	خراسان رضوی	1999-11-09	5:20:54	5.4	23.25941
2248.01	فاریاب	بوشهر	1999-09-24	19:17:15	5.4	22.36068
2221.01	صالح آباد	خراسان رضوی	1999-11-08	21:37:23	5.4	21.26029
2254.03	آباد	بوشهر	1999-09-24	19:17:15	5.4	16.40122
1502.08	زنجیران	فارس	1994-06-18	12:42:00	5.4	16.27882
3149.05	دوبران ۱	فارس	2003-12-15	22:57:22	5.4	15.6205
2378.02	سیلوانا	آذربایجان غربی	2000-02-26	8:18:37	5.4	15.52417
4419	هل آباد	اردبیل	2007-07-11	6:51:12	5.3	94.33981

3472	شرفخانه	آذربایجان شرقی	2003-08-11	20:12:08	5.3	94.04786
5709	خمارلو	آذربایجان شرقی	2012-11-07	6:26:31	5.3	91.08238
2150.02	چنار	کرمانشاه	1998-10-05	2:20:34	5.3	90.37699
3468	مرند	آذربایجان شرقی	2003-08-11	20:12:08	5.3	89.10668
4417	بيله سوار	اردبیل	2007-07-11	6:51:12	5.3	86.00581
4422	اودلو	اردبیل	2007-07-11	6:51:12	5.3	86.00581
1715	حسن لنگی	هرمزگان	1996-10-18	9:26:03	5.3	84.69357
4418	هیر	اردبیل	2007-07-11	6:51:12	5.3	78.72103
2150.01	چنار	کرمانشاه	1998-10-04	0:42:47	5.3	77.64664
2608.02	سربیشه	خراسان جنوبی	2001-10-08	1:17:17	5.3	73.79024
3369.03	نور	مازندران	2004-05-29	9:23:47	5.3	70.88018
3370	رئیس کلا	مازندران	2004-05-29	9:23:47	5.3	69.92138
3284.03	قائمیه	فارس	2004-05-08	4:39:25	5.3	67.08204
1125.02	آغاجاری*	خوزستان	1979-03-28	1:33:30	5.3	66.18912
1560.04	لالی	خوزستان	1995-11-27	14:32:29	5.3	63.32456
1104.01	دیپوک*	خراسان جنوبی	1979-01-17	3:29:46	5.3	63
3476.01	زنجیره	آذربایجان شرقی	2003-08-11	20:12:08	5.3	62.58594
4424	طالب قشلاقی	اردبیل	2007-07-11	6:51:12	5.3	62.1289
3475	سید تاج الدین	آذربایجان غربی	2003-08-11	20:12:08	5.3	60.63827
2931	نقده	آذربایجان غربی	2002-12-09	7:50:58	5.3	60.10824
2711.04	سنقر	کرمانشاه	2002-04-24	20:11:21	5.3	59.90826
1821	لار	فارس	1997-10-03	11:28:40	5.3	57.42822
3767.01	کوهدشت	لرستان	2004-11-21	21:37:24	5.3	51.61395
2575.03	قائمیه	فارس	2001-05-23	14:31:13	5.3	50.32892
1712	قلعه گنج	کرمان	1996-10-18	9:26:03	5.3	48.83646
1129	رودسر*	گیلان	1980-01-13	5:51:36	5.3	48.10405
4423	رضی	اردبیل	2007-07-11	6:51:12	5.3	48.08326
2711.03	سنقر	کرمانشاه	2002-04-24	20:10:01	5.3	47.38143
2696	رئیس کلا	مازندران	2002-04-08	18:30:58	5.3	46.27094
2932	پیرانشهر	آذربایجان غربی	2002-12-09	7:50:58	5.3	44.14748
3594.01	پلدختر	لرستان	2004-11-21	21:37:24	5.3	43.86342
1765	بیرم	فارس	1997-05-05	15:11:54	5.3	42.80187
3057	شوط	آذربایجان غربی	2003-08-11	20:12:08	5.3	42.37924
2606.01	اسدیه	خراسان جنوبی	2001-10-08	1:17:17	5.3	42.0119
2655	بهبهان ۲	خوزستان	2001-11-17	12:14:46	5.3	41.40048
3368.02	نوشهر	مازندران	2004-05-29	9:23:47	5.3	41.18252
2417	بردسکن	خراسان رضوی	2000-03-28	17:55:49	5.3	40.80441
3056	خوی	آذربایجان غربی	2003-08-11	20:12:08	5.3	40.49691
2659.03	مسجدسلیمان	خوزستان	2001-12-23	23:33:38	5.3	40.22437
2911.01	حسن لنگی	هرمزگان	2002-05-22	2:25:33	5.3	40.22437
1842.01	اشکنان	فارس	1997-05-05	15:11:54	5.3	39.96248
2706.06	ارمنیجان	کرمانشاه	2002-04-24	20:11:21	5.3	39.11521
1492.08	ذرات	فارس	1994-04-03	6:51:57	5.3	38.83298
2507.01	کاشمر	خراسان رضوی	2000-02-02	22:58:01	5.3	38.27532

2262.05	خنج	فارس	1999-04-30	4:20:02	5.3	37.94733
4023.01	بروجرد	لرستان	2006-03-30	16:17:06	5.3	37.85499
1289.04	نورآبادممسنی*	فارس	1986-12-20	23:47:10	5.3	37.21559
2130.02	خان زینان	فارس	1999-05-06	23:13:25	5.3	36.40055
5710	خواجه	آذربایجان شرقی	2012-11-07	6:26:31	5.3	35.8469
2783	آوج	قزوین	2002-06-26	18:18:46	5.3	35.44009
2131.03	بالا ده	فارس	1999-05-06	23:13:25	5.3	34.82815
3010.01	مصیری	فارس	2002-08-29	9:53:49	5.3	34.78505
2706.05	ارمنیجان	کرمانشاه	2002-04-24	20:10:01	5.3	34.48188
1523.28	جووکان	فارس	1994-12-08	12:54:38	5.3	34.20526
2574.04	بابامنیر	فارس	2001-05-23	14:31:13	5.3	34.20526
3466.01	کلوانس	آذربایجان غربی	2003-08-11	20:12:08	5.3	31.30495
1484	فورک*	فارس	1993-07-09	10:29:21	5.3	31.14482
1530.01	نیر	اردبیل	1994-11-02	12:31:01	5.3	30.67572
1305	کوهبنان*	کرمان	1987-04-11	23:50:26	5.3	29.06888
1489.02	فیروزآباد*	فارس	1994-04-03	6:51:59	5.3	28.42534
3365.03	حسن کیف	مازندران	2004-05-29	9:23:47	5.3	27.58623
1103.03	طبس*	خراسان جنوبی	1979-01-17	3:29:46	5.3	24
1084.46	طبس*	خراسان جنوبی	1978-09-18	17:35:07	5.3	17
3055	قره ضیالالدین	آذربایجان غربی	2003-08-11	20:12:08	5.3	15.65248
4573	دوبران ۱	فارس	2008-05-05	21:57:55	5.3	14.42221
2219.08	بالا ده	فارس	1999-06-11	3:05:25	5.3	13.15295
1879.24	جوشان	کرمان	1998-04-16	7:47:10	5.3	12.36932
2274.26	رمقان	فارس	1999-06-11	3:05:25	5.3	12.16553
2274.22	رمقان	فارس	1999-05-31	19:11:30	5.3	10.29563
4104	زارم	لرستان	2006-04-12	11:47:41	5.3	9.899495
7067	اودلو	اردبیل	2017-05-11	3:24:15	5.2	85.04117
2298.01	گرگان ۱	گلستان	1999-11-19	4:40:24	5.2	70.40597
2358	گنبد کاووس	گلستان	1999-11-26	4:27:24	5.2	62.16912
4919.02	کوره	فارس	2009-12-12	21:37:36	5.2	59.22837
2218.03	قائمیه	فارس	1999-10-31	15:09:39	5.2	58.30952
1615.01	آب بر	زنجان	1995-10-15	6:56:34	5.2	58.24946
2043	اوز	فارس	1998-11-13	13:01:10	5.2	58.00862
1506.05	حسینیة علیا	خوزستان	1994-07-31	5:52:57	5.2	55.56978
3017	شرفخانه	آذربایجان شرقی	2002-11-25	3:16:05	5.2	55.54278
3645	صالح آباد	ایلام	2005-01-25	11:39:20	5.2	55.31727
4312	سرگز-احمدی	هرمزگان	2007-04-25	4:19:00	5.2	54.45181
1336	گلیاف*	کرمان	1988-12-03	1:23:33	5.2	53.23533
7469	ثلاث باباجانی	کرمانشاه	2017-12-06	5:53:43	5.2	51.62364
4614	کاشمر	خراسان رضوی	2008-07-03	23:10:06	5.2	50.15974
1583.07	سعدآباد	بوشهر	1996-01-25	18:05:24	5.2	50
2917	آوج	قزوین	2002-11-07	16:43:26	5.2	48.83646
1571.29	شبانکاره	بوشهر	1996-01-25	18:05:24	5.2	48.83646
1928	آب بر ۱	زنجان	1998-09-28	17:26:30	5.2	47.12749

1185	رودسر*	گیلان	1980-12-03	4:26:15	5.2	46.8188
2813	بالا ده	فارس	2002-05-17	15:52:20	5.2	46.66905
3150.02	حاجی آباد ۱	فارس	2003-12-23	6:32:05	5.2	46.66905
2208	زرین آباد	زنجان	1998-09-28	17:26:30	5.2	46.17359
2343.02	آق قلا ۱	گلستان	1999-11-26	4:27:24	5.2	45.60702
3018.04	زنجیره	آذربایجان شرقی	2002-11-25	3:16:05	5.2	44.92215
3771.05	بهاآباد	کرمان	2005-05-01	18:58:42	5.2	44.55334
2197	صائین قلعه	زنجان	1998-09-28	17:26:30	5.2	43.32436
2298.02	گرگان ۱	گلستان	1999-11-26	4:27:24	5.2	42.72002
1528.03	فین ۱	هرمزگان	1995-01-24	4:14:26	5.2	42.63801
1996.02	دشت عباس	ایلام	1997-11-18	7:14:41	5.2	41.40048
1362.12	آب بر*	زنجان	1990-06-24	9:46:01	5.2	41.23106
2366.02	رامیان	گلستان	1999-11-26	4:27:24	5.2	40.80441
3040.1	حاجی آباد	فارس	2003-07-11	23:55:44	5.2	40.26164
4231	سعدآباد	بوشهر	2006-09-14	2:25:32	5.2	39.62323
1874.05	گلباف ۱	کرمان	1998-03-27	4:29:50	5.2	39.11521
4018.02	چغلوندی	لرستان	2006-03-30	19:36:16	5.2	38.07887
2927	آبگرم	قزوین	2002-11-07	16:43:26	5.2	38.07887
3775.12	حتکن	کرمان	2005-05-01	18:58:42	5.2	38.01316
3773.13	اسلام آباد	کرمان	2005-05-01	18:58:42	5.2	38.01316
2814.01	نرگس زار	فارس	2002-05-17	15:52:20	5.2	37.12142
2049.01	خنج	فارس	1998-11-13	13:01:10	5.2	36.40055
3778.03	خانوک	کرمان	2005-05-01	18:58:42	5.2	35.8469
1850	سردشت	خوزستان	1997-08-21	19:13:14	5.2	35.8469
1882	آواجیق	آذربایجان غربی	1998-01-23	12:32:53	5.2	35.8469
1300.01	بیرجند*	خراسان جنوبی	1987-11-24	11:23:16	5.2	35.60899
4613	کدکن	خراسان رضوی	2008-07-03	23:10:06	5.2	35.22783
1879.14	جوشان	کرمان	1998-03-27	4:29:50	5.2	34.78505
3151.07	دوبران ۱	فارس	2003-12-23	6:32:05	5.2	34.20526
3115.01	کاکي	بوشهر	2003-08-29	6:55:51	5.2	33.37664
3009.03	کنار تخته	فارس	2003-01-11	17:45:30	5.2	33.24154
4052.02	دره اسیر	لرستان	2006-03-30	19:36:16	5.2	30.36445
4615	ریوش	خراسان رضوی	2008-07-03	23:10:06	5.2	29
4192	کنار تخته	فارس	2006-09-14	2:25:32	5.2	28.86174
2219.12	بالا ده	فارس	1999-10-31	15:09:39	5.2	28.42534
4190.02	دالکی	بوشهر	2006-09-14	2:25:32	5.2	26.92582
2248.04	فاریاب	بوشهر	1999-09-27	2:31:25	5.2	25.94224
3938	لالی	خوزستان	2005-12-26	23:15:51	5.2	25.70992
5500	خواف	خراسان رضوی	2012-07-01	22:01:26	5.2	25.6125
4201	زرنده	کرمان	2006-10-09	7:43:55	5.2	22.36068
2214.04	اهرم	بوشهر	1999-09-27	2:31:25	5.2	21.63331
2198	سلطانیه	زنجان	1998-09-28	17:26:30	5.2	20.51828
3860	توشک آبسرد	لرستان	2005-05-03	7:21:10	5.2	20.24846
2215.04	خورموج	بوشهر	1999-09-27	2:31:25	5.2	20

2276.02	علی آباد	گلستان	1999-11-26	4:27:24	5.2	20
4715.06	بندرلنگه	هرمزگان	2008-11-11	15:38:56	5.2	19.10497
4200	خانوک	کرمان	2006-10-09	7:43:55	5.2	13.45362
4302.03	حتکن	کرمان	2006-10-09	7:43:53	5.2	11.18034
1441.01	آغا جاری*	خوزستان	1992-09-09	21:41:49	5.1	151.921
2164.02	کوشک علیا	کرمان	1999-03-10	7:45:43	5.1	86.34813
1754.02	قاسم آباد	خراسان رضوی	1997-05-10	8:07:13	5.1	81.61495
1362.13	آب بر*	زنجان	1990-06-24	19:05:21	5.1	69.72087
3883	ارمغان خانه	زنجان	2005-09-26	18:57:04	5.1	64.53681
3882	اند آباد	زنجان	2005-09-26	18:57:04	5.1	62.58594
3192.02	باغملک	خوزستان	2004-01-06	6:31:11	5.1	57.70615
5605.04	کلبر	آذربایجان شرقی	2012-08-11	22:24:02	5.1	54.08327
2196.02	الشر	لرستان	1998-08-21	5:13:13	5.1	53.33854
2706.01	ارمنیجان	کرمانشاه	2002-04-24	19:43:11	5.1	53.31041
2711.01	سنقر	کرمانشاه	2002-04-24	19:43:11	5.1	52.63079
1084.34	طبس*	خراسان جنوبی	1978-09-17	7:35:51	5.1	52.3259
2811.01	خان زینان	فارس	2002-06-03	13:35:27	5.1	51.85557
2577.02	خان زینان	فارس	2001-02-22	3:19:52	5.1	51.08816
3671.02	زرند	کرمان	2005-02-22	2:41:12	5.1	51.08816
2676.03	رودبار	گیلان	2002-02-14	20:06:23	5.1	50.21952
2997.02	راور	کرمان	2002-10-16	9:20:49	5.1	49.57822
1492.02	ذرات	فارس	1994-03-17	8:06:16	5.1	48.10405
7655	کرنده غرب	کرمانشاه	2018-01-06	15:22:07	5.1	48.08326
3884	مشمپا	زنجان	2005-09-26	18:57:04	5.1	48.08326
1995	سیف آباد	فارس	1997-04-22	17:39:38	5.1	47.38143
3038	نصرآباد	خراسان رضوی	2003-07-03	14:59:32	5.1	46.8188
2542	رستاق	فارس	2001-04-13	2:08:38	5.1	45.27693
4852	ایذه ۱	خوزستان	2009-10-04	21:50:50	5.1	45.12206
3037	صالح آباد	خراسان رضوی	2003-07-03	14:59:32	5.1	44.01136
1535.02	رودبار	گیلان	1995-04-26	11:46:12	5.1	43.93177
2477.02	شول	بوشهر	2000-05-03	9:01:16	5.1	43.909
2923	گیلانغرب	کرمانشاه	2002-09-04	9:22:10	5.1	42.63801
2507.02	کاشمر	خراسان رضوی	2000-02-13	21:01:02	5.1	42.63801
4741.01	طبل	هرمزگان	2008-12-08	14:41:43	5.1	42.37924
5547.09	خواجه	آذربایجان شرقی	2012-08-11	22:24:02	5.1	42.04759
7677	گیلانغرب ۱	کرمانشاه	2018-01-06	15:22:07	5.1	41.4367
7685	گیلانغرب	کرمانشاه	2018-01-06	15:22:07	5.1	41.4367
3586.02	شوشتر	خوزستان	2004-11-20	12:06:14	5.1	41.4367
2415.06	بندر دیر	بوشهر	2000-09-13	13:09:46	5.1	40.80441
1266	هفتگل*	خوزستان	1985-09-18	0:10:35	5.1	39.66106
1554	بابامنیر	فارس	1995-03-22	6:28:36	5.1	39.66106
1038	خنج*	فارس	1976-09-14	23:41:26	5.1	38.91015
3194.02	مسجد سلیمان	خوزستان	2004-01-06	6:31:11	5.1	38.07887
2187.01	فیروزان	همدان	1998-08-21	5:13:13	5.1	37.48333

2476.01	شبانکاره	بوشهر	2000-05-03	9:01:16	5.1	37.20215
1500.04	زنجیران	فارس	1994-03-17	8:06:16	5.1	37.12142
3003	صالح آباد	خراسان رضوی	2003-05-02	18:46:50	5.1	36.67424
2531	مصیری	فارس	2000-06-23	6:15:12	5.1	36.67424
3584.03	شوشتر	خوزستان	2004-11-19	23:49:35	5.1	36.12478
4739.01	سوزا	هرمزگان	2008-12-08	14:41:43	5.1	35.8469
4170	اوز	فارس	2006-09-10	8:57:46	5.1	34.0147
3881	سلطان آباد	زنجان	2005-09-26	18:57:04	5.1	34.0147
5939.02	کلوانس	آذربایجان غربی	2012-12-23	6:38:57	5.1	33.12099
2995.03	طرز	کرمان	2002-10-16	9:20:49	5.1	33.54102
4247.01	باغملک	خوزستان	2007-01-19	10:11:59	5.1	31.76476
3191.02	ایذه ۱	خوزستان	2004-01-06	6:31:11	5.1	31.32092
7689	گورسفید	کرمانشاه	2018-01-06	15:22:07	5.1	31.30495
3036	تربت جام	خراسان رضوی	2003-07-03	14:59:32	5.1	29.68164
2200	گیان	همدان	1998-08-21	5:13:13	5.1	29.61419
3050	تربت جام*	خراسان رضوی	2003-07-03	14:59:32	5.1	28.84441
4623	سردشت	خوزستان	2008-06-03	9:21:52	5.1	28.79236
5698	سیلاب	آذربایجان غربی	2012-12-23	6:38:57	5.1	26.40076
3915.05	سوزا	هرمزگان	2005-11-27	11:13:11	5.1	24.41311
4067	سوزا	هرمزگان	2006-04-16	15:48:41	5.1	22.67157
1589.03	سعدآباد	بوشهر	1996-03-16	20:18:33	5.1	20.61553
4853	مسجدسلیمان	خوزستان	2009-10-04	21:50:50	5.1	19.72308
4302.04	حتکن	کرمان	2006-12-08	7:58:34	5.1	19.31321
2191.01	نهادند	همدان	1998-08-21	5:13:13	5.1	18.97367
1587.02	شبانکاره	بوشهر	1996-03-16	20:18:33	5.1	18.68154
3931	سوزا	هرمزگان	2005-11-30	15:19:56	5.1	18.02776
4171	لار	فارس	2006-09-10	8:57:46	5.1	16.12452
7687.01	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2018-01-06	15:22:07	5.1	15.65248
3584.01	شوشتر	خوزستان	2004-11-19	17:23:45	5.1	10.77033
2223.02	نصرآباد	خراسان رضوی	1999-12-05	13:12:36	5.0	93.34345
4400	کوره	فارس	2007-05-18	23:03:35	5.0	73.34848
1688	نمین	اردبیل	1997-03-02	18:29:42	5.0	66.0303
2207.03	تازه شهر	آذربایجان غربی	1998-11-23	11:11:38	5.0	64.4748
1084.48	طبس*	خراسان جنوبی	1978-09-19	1:49:19	5.0	64
2355.04	بالا ده	فارس	1999-12-23	3:07:31	5.0	59.5063
2387	گمیشان	گلستان	2000-08-16	12:53:02	5.0	58.03447
3195.01	ایذه ۱	خوزستان	2004-01-07	4:18:44	5.0	55.9464
2336.02	نرگس زار	فارس	1999-12-23	3:07:31	5.0	54.58938
2574.01	بابامنیر	فارس	2000-06-23	6:15:12	5.0	51.5461
2259.02	بهبهان ۲	خوزستان	1999-07-05	12:23:13	5.0	50.59644
3835	باب انار	فارس	2005-08-09	5:09:24	5.0	49.0408
1492.2	ذرات	فارس	1994-06-21	4:15:52	5.0	48.54894
1492.05	ذرات	فارس	1994-03-23	17:14:45	5.0	48.10405
2309.04	مرند	آذربایجان شرقی	1998-11-23	11:11:38	5.0	47.70744

2130.06	خان زینان	فارس	1999-05-07	8:35:11	5.0	47.38143
2384	آق قلا ۱	گلستان	2000-08-16	12:53:02	5.0	47.04253
1490.06	میمند*	فارس	1994-06-21	4:15:52	5.0	47.01064
2498.01	دالین	فارس	2000-06-23	6:15:12	5.0	46.8188
1532	بالا ده	فارس	1995-01-21	3:02:32	5.0	46.66905
1977	بندرعباس ۳	هرمزگان	1997-02-17	4:31:26	5.0	46.66905
2188.02	قره قشلاق	آذربایجان غربی	1998-11-23	11:11:38	5.0	46.04346
1103.14	طبس*	خراسان جنوبی	1979-09-05	9:26:50	5.0	46
2975	مسجد سلیمان	خوزستان	2003-02-27	1:39:59	5.0	45.61798
2415.04	بندر دیر	بوشهر	2000-09-13	9:04:23	5.0	44.59821
4604	آب بر ۱	زنجان	2008-05-27	6:18:08	5.0	44.27189
1975	آق قلا ۱	گلستان	1997-02-17	22:53:50	5.0	43.93177
1492.09	ذرات	فارس	1994-04-03	7:19:37	5.0	43.27817
1536.02	قیر ۱	فارس	1995-05-03	2:49:52	5.0	42.63801
1713	گرگان ۱	گلستان	1997-02-17	22:53:50	5.0	42.0119
2373.03	یکان کهریز	آذربایجان شرقی	1998-11-23	11:11:38	5.0	41.23106
2485	هنگام	فارس	2000-03-01	20:06:27	5.0	40.80441
3151.16	دوبران ۱	فارس	2003-12-23	9:20:43	5.0	40.22437
2389	بندرگز	گلستان	2000-08-16	12:53:02	5.0	40.04997
4678.03	سوزا	هرمزگان	2008-09-10	11:33:15	5.0	40.02499
2112.02	رستاق	فارس	1998-01-05	15:56:36	5.0	39.92493
1500.13	زنجیران	فارس	1994-03-23	17:14:45	5.0	39.66106
3584.04	شوشتر	خوزستان	2004-11-20	2:10:59	5.0	39.45884
4052.04	دره اسبر	لرستان	2006-03-31	11:54:02	5.0	38.62642
1084.21	طبس*	خراسان جنوبی	1978-09-16	19:50:21	5.0	37.53665
2649.03	مهر	فارس	2001-01-01	5:14:05	5.0	37.12142
3083	گیان	همدان	2002-10-27	7:35:07	5.0	36.67424
2205.04	سید تاج الدین	آذربایجان غربی	1998-11-23	11:11:38	5.0	36.06938
2262.03	خنج	فارس	1999-04-28	18:11:44	5.0	35.8469
3773.17	اسلام آباد	کرمان	2005-05-12	22:55:07	5.0	35.44009
2340.01	لار	فارس	1999-12-09	17:04:04	5.0	35.1141
1523.29	جووکان	فارس	1994-12-15	23:24:48	5.0	35.1141
4132.02	روستای ازنا	لرستان	2006-04-12	11:47:41	5.0	34.98571
2414.02	آغا جاری	خوزستان	2000-09-08	5:22:40	5.0	34.78505
2930.01	فیروزان	همدان	2002-10-27	7:35:07	5.0	34.78505
1857	تنگ ارم*	بوشهر	1997-08-14	19:38:26	5.0	34.48188
2131.11	بالا ده	فارس	1999-05-10	15:51:08	5.0	32.31099
3778.05	خانوک	کرمان	2005-05-12	22:55:07	5.0	30.67572
3134.02	حاجی آباد ۱	فارس	2003-11-28	23:19:46	5.0	30.67572
4044	چغلوندی	لرستان	2006-03-31	11:54:02	5.0	30.41381
4206	خلخال	اردبیل	2006-11-05	20:06:40	5.0	30.36445
3700.03	لالی	خوزستان	2005-02-27	1:38:57	5.0	27.85678
2724	عماده ده	فارس	2002-05-08	1:07:04	5.0	27.80288
2369.04	تسوج	آذربایجان شرقی	1998-11-23	11:11:38	5.0	27.51363

2482	قیرا	فارس	2000-03-01	20:06:27	5.0	27.29469
2386.02	گرگان ۱	گلستان	2000-08-16	12:53:02	5.0	27.07397
7899	قلعه رئیسی	کهکیلویه و بویراحمد	2018-03-19	19:32:24	5.0	27.07397
1084.18	طبس*	خراسان جنوبی	1978-09-16	18:25:47	5.0	27
2722	بیرم	فارس	2002-05-08	1:07:04	5.0	26.24881
3836	فیروزآباد ۱	فارس	2005-08-09	5:09:24	5.0	26.07681
7377.05	گورسفید	کرمانشاه	2017-11-13	9:19:28	5.0	25.29822
4035.06	توشک آبسرد	لرستان	2006-03-31	11:54:02	5.0	25.23886
7377.03	گورسفید	کرمانشاه	2017-11-13	4:27:55	5.0	25.07987
3943	شمیل	هرمزگان	2005-12-27	21:53:15	5.0	24.41311
4304.02	هینمان	کرمان	2006-12-13	13:32:05	5.0	23.08679
1136.02	طبس*	خراسان جنوبی	1979-12-02	6:10:48	5.0	23
3852.02	جووکان	فارس	2005-08-09	5:09:24	5.0	22.80351
2390	دیباچ	سمنان	2000-08-16	12:53:02	5.0	22.09072
3851.02	ذرات	فارس	2005-08-09	5:09:24	5.0	22.02272
4715.01	بندرلنگه	هرمزگان	2008-10-21	13:01:31	5.0	21.47091
4602	سلطانیه	زنجان	2008-05-27	6:18:08	5.0	21.26029
2225.11	صالح آباد	خراسان رضوی	1999-12-05	13:12:36	5.0	20.61553
2523.01	قائمیه	فارس	2000-06-23	6:15:12	5.0	20.61553
4034	بروجرد	لرستان	2006-03-31	11:54:02	5.0	18.43909
3837	میمند	فارس	2005-08-09	5:09:24	5.0	17.80449
4442.01	فین ۱	هرمزگان	2007-07-23	17:54:10	5.0	17.80449
1797	پهله	ایلام	1997-05-26	1:17:54	5.0	16
3761.01	چترود	کرمان	2005-05-12	22:55:07	5.0	15.6205
2224.03	درخت توت	خراسان رضوی	1999-12-05	13:12:36	5.0	15.26434
2128.03	رمقان	فارس	1999-05-10	15:51:08	5.0	15
7384.15	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-13	9:19:28	5.0	13.60147
3136.05	دوبران ۱	فارس	2003-11-28	23:19:46	5.0	11.18034
1689.19	نیر	اردبیل	1997-03-02	18:29:42	5.0	11.18034
3584.02	شوشتر	خوزستان	2004-11-19	17:29:36	5.0	10.77033
1523.06	جووکان	فارس	1994-07-13	5:23:43	4.9	166.3069
2183.03	بروجرد	لرستان	1999-07-26	11:09:05	4.9	125.3994
1320.02	ناغان*	چهارمحال و بختیاری	1987-03-12	22:48:49	4.9	122.1475
5899	عجب شیر	آذربایجان شرقی	2013-04-18	10:39:37	4.9	111.6468
3555.02	محمد آباد مسکون	کرمان	2004-10-07	7:17:00	4.9	104.8094
1183.08	گلباف*	کرمان	1981-09-26	7:33:30	4.9	89.19641
2585.01	رشکان	آذربایجان غربی	2000-10-06	6:20:25	4.9	89.1852
2160	جغتای	خراسان رضوی	1999-05-29	14:11:54	4.9	84.58132
1492.13	ذرات	فارس	1994-06-05	16:54:08	4.9	83.7735
1996.01	دشت عباس	ایلام	1997-11-18	6:56:58	4.9	81.939
1417.03	آب بر*	زنجان	1991-12-18	16:42:21	4.9	79.20227
1362.09	آب بر*	زنجان	1990-06-21	12:17:32	4.9	78.63841
2262.04	خنج	فارس	1999-04-28	18:18:19	4.9	78.44743
3601	حاجی آباد ۱	فارس	2004-11-20	11:50:02	4.9	78.26238

3283.05	دوبران ۱	فارس	2004-04-23	19:26:12	4.9	77.23341
3528	دوبران ۱	فارس	2004-09-01	16:31:23	4.9	76.55717
3195.03	ایذه ۱	خوزستان	2004-01-08	2:39:10	4.9	76.27582
1560.01	لالی	خوزستان	1995-11-24	22:44:42	4.9	74.33034
4784	دشت عباس	ایلام	2009-04-07	17:32:53	4.9	74.06079
1502.04	زنجیران	فارس	1994-06-05	16:54:12	4.9	73.79024
3588.02	دوبران ۱	فارس	2004-11-20	16:50:02	4.9	71.38627
1176.23	گلپایه*	کرمان	1981-07-31	0:37:49	4.9	71.16881
1650.01	فیروزان	همدان	1995-03-25	11:23:27	4.9	70.23532
1342.02	ناغان*	چهارمحال و بختیاری	1989-03-15	19:26:45	4.9	69.87131
3515	اشکنان	فارس	2004-07-07	18:46:04	4.9	69.64194
2051.03	لالی	خوزستان	1998-10-29	20:57:28	4.9	69.35416
1919	بیلہ سوار	اردبیل	1998-07-09	16:23:35	4.9	68.47627
3519.01	زاهد شهر	فارس	2004-08-31	4:34:15	4.9	67.41662
1710	پارسیان	هرمزگان	1996-12-04	2:39:34	4.9	66.7308
3276.01	جم	بوشهر	2004-02-15	19:37:39	4.9	65.37584
3579	خورموج	بوشهر	2004-11-06	23:19:49	4.9	63.1981
1756.36	حاجی آباد	خراسان جنوبی	1997-05-10	14:04:35	4.9	61.81424
4014.06	رضوان	هرمزگان	2006-03-25	11:02:57	4.9	60.72891
3292.12	پشت رود	کرمان	2004-04-11	7:27:30	4.9	60.41523
1528.16	فین ۱	هرمزگان	1995-01-24	6:58:57	4.9	59.90826
4500	صیدون	خوزستان	2007-11-20	5:20:02	4.9	58.13777
4664	شبستر	آذربایجان شرقی	2008-09-02	20:00:56	4.9	57.87055
1956	آب بر ۱	زنجان	1998-02-28	0:39:12	4.9	57.69749
4732.01	سوزا	هرمزگان	2008-11-30	13:46:15	4.9	57.56735
1682	جم	بوشهر	1996-09-06	12:36:56	4.9	56.61272
3474	سیلاب	آذربایجان غربی	2004-01-24	4:40:47	4.9	54.91812
3652	مسجد سلیمان	خوزستان	2004-05-30	23:48:09	4.9	54.626
5855	قوشچی	آذربایجان غربی	2013-04-18	10:39:37	4.9	54.34151
5371	دو آب	مازندران	2012-01-11	17:08:00	4.9	52.20153
3136.04	دوبران ۱	فارس	2003-11-26	5:48:11	4.9	51.08816
3134.01	حاجی آباد ۱	فارس	2003-11-26	5:48:11	4.9	51.08816
3077.04	حاجی آباد ۱	فارس	2003-09-11	19:31:28	4.9	51.08816
1580.01	لالی	خوزستان	1996-01-04	10:31:41	4.9	51.08816
7384.02	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-12	18:29:53	4.9	49.52615
2367	شبستر	آذربایجان شرقی	1998-11-18	11:37:20	4.9	49.39636
4537.02	اوز	فارس	2007-11-11	23:23:48	4.9	48.79549
2373.01	یکان کهریز	آذربایجان شرقی	1998-11-18	11:37:20	4.9	48.46648
3888	حاجی آباد ۱	فارس	2005-08-19	9:02:00	4.9	48.27007
4106	دوبران ۱	فارس	2006-02-28	22:58:18	4.9	47.38143
1562.02	ذرات	فارس	1995-04-16	16:42:37	4.9	46.66905
1083.02	بشرویه*	خراسان جنوبی	1978-09-18	4:50:04	4.9	46.66905
7491.02	ثلاث باباجانی	کرمانشاه	2017-12-08	1:55:00	4.9	46.09772
3001	اندوهجرد	کرمان	2003-04-16	11:06:05	4.9	45.96738

1562.01	ذرات	فارس	1995-04-02	18:09:58	4.9	45.27693
3139	مسجد سلیمان	خوزستان	2003-11-28	23:19:46	4.9	45.27693
4287	سپیددشت	لرستان	2007-03-06	22:32:05	4.9	45.09989
2591.01	بوئین سفلی	کردستان	2000-12-22	9:04:12	4.9	43.93177
7622.02	کرنده غرب	کرمانشاه	2017-12-20	20:01:06	4.9	43.73786
4584	چغلوندی	لرستان	2008-05-01	0:15:26	4.9	43.68066
4497	باغملک	خوزستان	2007-11-20	5:20:02	4.9	43.60046
5366	عالیواک	مازندران	2012-01-11	17:08:00	4.9	42.95346
4436	شول آباد	لرستان	2007-03-06	22:32:05	4.9	42.10701
4790.05	حتکن	کرمان	2009-02-15	21:22:20	4.9	41.4367
2016	قوشچی	آذربایجان غربی	1998-11-18	11:37:20	4.9	41.14608
2131.06	بالا ده	فارس	1999-05-07	4:26:47	4.9	40.22437
2051.01	لالی	خوزستان	1997-12-09	0:37:26	4.9	40.22437
2219.11	بالا ده	فارس	1999-09-25	9:56:24	4.9	39.66106
1654	ریوش	خراسان رضوی	1996-02-05	8:28:13	4.9	39.66106
2003.02	فیروزآباد ۱	فارس	1998-09-04	23:51:19	4.9	38.58756
2170	بندر خمیر	هرمزگان	1998-11-15	20:30:21	4.9	38.58756
2096.01	طالقان ۱	تهران	1998-12-03	13:13:33	4.9	38.07887
2131.05	بالا ده	فارس	1999-05-07	3:36:33	4.9	37.58989
4661	یکان کهریز	آذربایجان شرقی	2008-09-02	20:00:56	4.9	37.36308
1589.06	سعدآباد	بوشهر	1996-03-20	22:24:04	4.9	36.67424
1889	هاشم آباد	هرمزگان	1997-12-09	9:07:54	4.9	36.24914
2265	لامرد	فارس	1999-09-29	15:57:02	4.9	35.8469
1492.14	ذرات	فارس	1994-06-11	9:37:56	4.9	35.8469
1708.02	باغملک	خوزستان	1997-02-17	4:50:41	4.9	35.8469
3186.12	دوبران ۱	فارس	2003-12-28	6:42:59	4.9	34.78505
1959	برازجان	بوشهر	1997-12-15	21:07:34	4.9	34.78505
1400	فورک*	فارس	1990-12-29	7:36:31	4.9	34.78505
1653	ماهیدشت	کرمانشاه	1996-01-28	8:43:16	4.9	34.05877
4335.01	خنج	فارس	2007-05-18	23:03:35	4.9	34.0147
2070.02	حسینیة علیا	خوزستان	1998-12-01	22:42:37	4.9	33.73426
1941.04	جووکان	فارس	1995-04-02	18:09:58	4.9	33.54102
1319.01	ناغان*	چهارمحال و بختیاری	1987-01-20	6:22:27	4.9	33.37664
1320.01	ناغان*	چهارمحال و بختیاری	1987-01-20	6:22:27	4.9	33.37664
2649.01	مهر	فارس	2000-11-11	15:37:28	4.9	33.37664
1587.08	شبانکاره	بوشهر	1996-03-20	22:24:04	4.9	33
4632.01	زارم	لرستان	2008-05-01	0:15:25	4.9	32.31099
4251.02	سرگز-احمدی	هرمزگان	2006-03-10	9:41:47	4.9	32.20248
4304.01	هینمان	کرمان	2006-06-04	16:18:33	4.9	31.40064
4317	بهباد	یزد	2007-05-08	3:28:25	4.9	31.241
1082.06	دیپوک*	خراسان جنوبی	1978-09-18	4:50:04	4.9	31
3834	چکنه	خراسان رضوی	2005-08-07	17:23:47	4.9	30.67572
4499	ایذه ۱	خوزستان	2007-11-20	5:20:02	4.9	30.01666
2188.01	قره قشلاق	آذربایجان غربی	1998-11-18	11:37:20	4.9	30

2322.01	زنجیره	آذربایجان شرقی	1998-11-18	11:37:20	4.9	29.20616
5851	شرفخانه	آذربایجان شرقی	2013-04-18	10:39:37	4.9	28.63564
1833.23	کریق	اردبیل	1997-03-04	9:01:45	4.9	27.85678
4663	مرند	آذربایجان شرقی	2008-09-02	20:00:50	4.9	27.85678
2219.03	بالا ده	فارس	1999-05-16	23:36:01	4.9	27.73085
4146.02	بروات	کرمان	2006-07-08	21:01:00	4.9	27.45906
7384.11	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-12	22:31:00	4.9	27.20294
7560	جوانرود	کرمانشاه	2017-12-20	20:22:06	4.9	26.68333
3466.02	کلوانس	آذربایجان غربی	2003-10-20	6:26:52	4.9	26.62705
4268.01	فورک	فارس	2007-02-27	22:28:12	4.9	25.70992
4823.01	سپیددشت	لرستان	2009-04-25	15:14:56	4.9	25.6125
4285.02	چالان چولان	لرستان	2007-03-06	22:32:05	4.9	25.17936
7563.02	قصر شیرین	کرمانشاه	2017-12-21	2:50:14	4.9	24.18677
2205.02	سید تاج الدین	آذربایجان غربی	1998-11-18	11:37:20	4.9	24.08319
1577	کرنده غرب	کرمانشاه	1996-01-28	8:43:16	4.9	23.08679
2369.01	تسوج	آذربایجان شرقی	1998-11-18	11:37:20	4.9	22.80351
7382.02	قصر شیرین	کرمانشاه	2017-11-13	15:00:45	4.9	22.55682
1801.01	صالح آباد	ایلام	1996-09-29	21:19:50	4.9	22
3717.1	حتکن	کرمان	2005-03-03	0:50:04	4.9	21.47091
3939	حاجی آباد	خراسان جنوبی	2005-12-27	8:37:18	4.9	20.24846
1502.06	زنجیران	فارس	1994-06-11	9:37:56	4.9	20.12461
4761	تنگ ارم	بوشهر	2008-10-24	14:10:31	4.9	19.92486
4704	تازه شهر	آذربایجان غربی	2008-10-03	12:41:51	4.9	18.97367
1779.02	اسدیبه	خراسان جنوبی	1997-06-21	22:21:20	4.9	18.86796
1927.03	نیر	اردبیل	1997-03-04	9:01:45	4.9	18.86796
4895	زاهد شهر	فارس	2009-12-02	12:37:54	4.9	18.86796
7384.1	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-12	21:33:22	4.9	18.78829
4074	زرند	کرمان	2006-05-07	6:20:56	4.9	17.69181
2225.02	صالح آباد	خراسان رضوی	1999-11-09	11:49:20	4.9	16.40122
4070	خانوک	کرمان	2006-05-07	6:20:56	4.9	15.6205
4140.01	حتکن	کرمان	2006-05-07	6:20:56	4.9	15.6205
1927.28	نیر	اردبیل	1997-05-12	3:50:59	4.9	15.6205
7559.04	ثلاث باباجانی	کرمانشاه	2017-12-20	20:22:06	4.9	14.31782
4688.03	قشم	هرمزگان	2008-09-17	18:41:52	4.9	12.20656
4286	درود	لرستان	2007-03-06	22:32:05	4.9	11.40175
3586.04	شوشتر	خوزستان	2004-11-20	16:10:20	4.9	10.63015
3894	سرخون	چهارمحال و بختیاری	2005-10-20	23:32:20	4.9	9.486833
1342.03	ناغان*	چهارمحال و بختیاری	1989-06-03	0:23:42	4.8	114.2322
3920	بندرگز	گلستان	2005-11-29	5:57:03	4.8	80.62258
2201	کلوانس	آذربایجان غربی	1999-02-19	18:00:13	4.8	68.41053
3557.03	بندرگز	گلستان	2004-10-08	13:45:55	4.8	66.85058
5532.06	دمیرچی	آذربایجان شرقی	2012-08-11	15:43:19	4.8	62.96825
3560.02	اینچه برون	گلستان	2004-10-08	13:45:55	4.8	62.80127
5605.02	کلیبر	آذربایجان شرقی	2012-08-11	15:43:19	4.8	61.09828

2477.03	شول	بوشهر	2000-05-03	9:06:08	4.8	57.28001
2469.02	بندر گناوه	بوشهر	2000-05-03	9:06:08	4.8	55.86591
2462.02	بندر ریگ	بوشهر	2000-05-03	9:06:08	4.8	51.85557
3568	گمیشان	گلستان	2004-10-08	13:45:55	4.8	48.41487
1183.01	گلباف*	کرمان	1981-08-08	4:17:47	4.8	48.10405
3572	گران ۱	گلستان	2004-10-08	13:45:55	4.8	46.61545
3988	بیاض	کرمان	2006-02-18	11:03:36	4.8	45.65085
1814	میمند	فارس	1997-08-24	21:11:24	4.8	44.59821
2126.01	قائمیه	فارس	1999-03-29	4:00:39	4.8	43.27817
3987	رفسنجان	کرمان	2006-02-18	11:03:36	4.8	43.04649
3985	داوران	کرمان	2006-02-18	11:03:36	4.8	41.34005
1843.01	فیروز آباد ۱	فارس	1997-08-24	21:11:24	4.8	40.80441
1891	رستاق	هرمزگان	1997-09-18	14:52:53	4.8	40.22437
7468	گورسفید	کرمانشاه	2017-12-06	7:57:41	4.8	38.83298
3556.02	آق قلا ۱	گلستان	2004-10-08	13:45:55	4.8	38.83298
2415.01	بندر دیر	بوشهر	2000-09-13	3:55:11	4.8	38.58756
1989.02	ذرات	فارس	1997-07-27	1:59:30	4.8	38.32754
3984	کشکویه	کرمان	2006-02-18	11:03:36	4.8	37.20215
2415.03	بندر دیر	بوشهر	2000-09-13	4:17:03	4.8	37.12142
1289.03	نورآباد ممسنی*	فارس	1986-11-20	20:08:02	4.8	35.51056
1790	مهارلو	فارس	1997-07-27	1:59:30	4.8	35.35534
4501	آمند	آذربایجان شرقی	2007-12-01	18:45:11	4.8	34.05877
2712.01	آباد	بوشهر	2002-04-13	6:58:22	4.8	33.54102
2196.03	الشتر	لرستان	1999-08-01	19:22:53	4.8	33.10589
4562	خلخال	اردبیل	2008-03-23	12:11:31	4.8	30.46309
1988.05	جووکان	فارس	1997-07-27	1:59:30	4.8	30.41381
2263.02	خان زینان	فارس	1999-05-30	0:15:41	4.8	29.73214
4751	راور	کرمان	2008-12-02	13:00:44	4.8	28.30194
1533.02	سیف آباد	فارس	1995-05-31	20:44:10	4.8	28.30194
4502.02	باسمئج	آذربایجان شرقی	2007-12-01	18:45:11	4.8	26.62705
4503.02	خواجه	آذربایجان شرقی	2007-12-01	18:22:17	4.8	26.07681
1103.12	طبس*	خراسان جنوبی	1979-07-05	4:46:10	4.8	26
1822.01	مجن	سمنان	1997-11-03	6:59:31	4.8	25.07987
7377.04	گورسفید	کرمانشاه	2017-11-13	4:36:12	4.8	25.07987
2219.06	بالا ده	فارس	1999-05-30	0:15:41	4.8	24.16609
1955	دیباچ	سمنان	1997-11-03	6:59:31	4.8	24.08319
3725.02	بها آباد	کرمان	2005-03-06	9:02:52	4.8	21.47091
2128.1	رمقان	فارس	1999-05-12	19:48:52	4.8	16.15549
3728.02	خانوک	کرمان	2005-03-06	9:02:52	4.8	14.86607
3729.02	اسلام آباد	کرمان	2005-03-06	9:02:52	4.8	14.86607
7394.05	قصر شیرین	کرمانشاه	2017-11-18	4:12:15	4.8	13.60147
7394.01	قصر شیرین	کرمانشاه	2017-11-15	15:20:37	4.8	13.08625
2274.27	رمقان	فارس	1999-06-22	17:04:52	4.8	12.80625
2129.03	ریچی	فارس	1999-05-12	19:48:52	4.8	12.52996

3365.01	حسن کیف	مازندران	2004-05-28	17:34:49	4.8	11.6619
7384.14	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-13	4:36:12	4.8	11.18034
2410	تازه کندی	اردبیل	1999-10-12	15:41:16	4.7	61.81424
3715.03	اسلام آباد	کرمان	2005-03-01	16:13:46	4.7	53.66563
3718.02	خانوک	کرمان	2005-03-01	16:13:46	4.7	52.39275
3717.07	حتکن	کرمان	2005-03-01	16:13:46	4.7	50.92151
2362	خواجه	آذربایجان شرقی	1999-08-19	4:33:15	4.7	48.05206
2254.04	آباد	بوشهر	1999-09-25	19:19:30	4.7	46.51881
3025	سلماس ۱	آذربایجان غربی	2003-06-05	17:14:01	4.7	43.73786
5540.02	هریس	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:30:12	4.7	43.41659
1289.02	نورآباد ممسنی*	فارس	1986-10-18	8:48:29	4.7	42.43819
2327.01	بیلہ سوار	اردبیل	2000-03-21	14:07:40	4.7	42.2019
4849	کهریز	آذربایجان غربی	2008-10-03	12:41:51	4.7	42.04759
3024	سیلاب	آذربایجان شرقی	2003-06-05	17:14:01	4.7	40.79216
1679.01	مهر	فارس	1996-08-06	20:27:19	4.7	38.07887
1868	چترود	کرمان	1997-08-15	5:38:07	4.7	36.67424
2328.01	گرمی	اردبیل	1999-10-12	15:41:16	4.7	35.44009
5547.02	خواجه	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:30:12	4.7	34.52535
2351.01	رمقان	فارس	1999-12-05	0:06:43	4.7	33.52611
3191.01	ایذه ۱	خوزستان	2004-01-06	2:27:20	4.7	33.52611
2214.02	اهرم	بوشهر	1999-09-25	19:19:30	4.7	32.80244
2248.02	فاریاب	بوشهر	1999-09-25	11:52:09	4.7	30.4795
2355.03	بالا ده	فارس	1999-12-05	0:06:43	4.7	29.73214
1176.29	گلپاف*	کرمان	1981-08-03	2:55:44	4.7	28.42534
4027.1	چالان چولان	لرستان	2006-03-31	1:31:33	4.7	27.20294
3271.02	علی آباد	گلستان	2004-03-27	1:31:23	4.7	22.80351
4739.02	سوزا	هرمزگان	2008-12-09	15:09:23	4.7	22.47221
2215.02	خورموج	بوشهر	1999-09-25	19:19:30	4.7	21.93171
4023.03	بروجرد	لرستان	2006-03-31	1:31:33	4.7	19.69772
1805	زرنند	کرمان	1997-08-15	5:38:07	4.7	17.88854
2468.01	فاریاب	بوشهر	2000-03-11	7:08:33	4.7	17.20465
2274.15	رمقان	فارس	1999-05-21	19:17:44	4.7	15.65248
7337	ثلاث باباجانی	کرمانشاه	2017-11-12	23:37:21	4.7	14.42221
4035.04	توشک آبسرد	لرستان	2006-03-31	1:31:33	4.7	11.31371
7414.01	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-19	1:07:33	4.7	11.31371
3419	نور	مازندران	2004-05-30	19:26:59	4.6	59.5399
4299	ابارق	کرمان	2007-03-26	6:36:53	4.6	49.0306
2373.02	یکان کهریز	آذربایجان شرقی	1998-11-18	11:52:07	4.6	48.6621
1869	اوز	فارس	1998-06-13	2:23:44	4.6	45.27693
4656	ریشان	آذربایجان غربی	2007-11-09	9:08:52	4.6	43.41659
2273.03	ذرات	فارس	1999-09-29	15:57:02	4.6	40.80441
2296	دیزج	سمنان	1999-08-10	19:33:59	4.6	39.29377
4809	الشت	لرستان	2009-05-26	23:52:48	4.6	38.83298
4294	قطب آباد	کرمان	2007-03-26	6:36:53	4.6	37.36308

2315	قلعه شوکت	سمنان	1999-08-10	19:33:59	4.6	32.57299
4133	الشتر	لرستان	2006-04-06	15:36:36	4.6	29.42788
4836.01	توشک آبسرد	لرستان	2009-05-26	23:52:48	4.6	29.06888
3040.09	حاجی آباد	فارس	2003-07-11	10:23:32	4.6	28.79236
4811.01	بروجرد	لرستان	2009-05-26	23:52:48	4.6	26.62705
2322.02	زنجیره	آذربایجان شرقی	1998-11-18	11:52:16	4.6	26.24881
4135	چغلوندی	لرستان	2006-04-06	15:36:36	4.6	23.5372
2992	گنبد کاووس	گلستان	2003-03-12	0:30:07	4.6	23.32381
2989	کلاله	گلستان	2003-03-12	0:30:07	4.6	21.63331
5589.12	ورزقان	آذربایجان شرقی	2012-08-16	17:14:12	4.6	19.23538
2274.32	رمقان	فارس	1999-07-24	5:35:29	4.6	17.80449
4298.01	بروات	کرمان	2007-03-26	6:36:53	4.6	17.20465
4237	زرند	کرمان	2006-12-08	7:58:34	4.6	16.97056
4060	چالان چولان	لرستان	2006-04-12	11:47:41	4.6	16.55295
4714.01	آباد	بوشهر	2008-10-24	14:10:31	4.6	16.15549
2369.02	تسوج	آذربایجان شرقی	1998-11-18	11:52:07	4.6	16.12452
4480	سیلوانا	آذربایجان غربی	2007-11-09	9:08:52	4.6	14.31782
4305.02	پشت رود	کرمان	2007-03-26	6:36:53	4.6	13.45362
1988.01	جووکان	فارس	1997-02-15	19:47:25	4.6	13.41641
4138.02	توشک آبسرد	لرستان	2006-04-06	15:36:36	4.6	12.08305
2230	بندر ترکمن	گلستان	1998-12-10	10:06:29	4.5	59.16925
5593.01	هریس	آذربایجان شرقی	2012-08-11	15:21:14	4.5	42.2019
5547.06	خواجه	آذربایجان شرقی	2012-08-11	15:21:14	4.5	37.36308
4726	گنگچین	آذربایجان غربی	2008-10-03	12:41:51	4.5	29.73214
4849	کهریز	آذربایجان غربی	2008-10-03	12:41:51	4.5	28.79236
4798	شهداد	کرمان	2009-05-11	2:14:06	4.5	27.65863
4801	جوشان	کرمان	2009-05-11	2:14:06	4.5	25.45584
1583.03	سعدآباد	بوشهر	1996-01-24	6:05:28	4.5	25
1571.1	شبانکاره	بوشهر	1996-01-24	6:05:28	4.5	21.93171
4797	سیرچ	کرمان	2009-05-11	2:14:06	4.5	19.69772
2129.04	ریچی	فارس	1999-05-12	19:52:06	4.5	11.18034
2998.02	جوشان	کرمان	2003-04-16	11:06:05	4.4	41.76123
2996	سیرچ	کرمان	2003-04-16	11:06:05	4.4	40.80441
4101.02	بوئین سفلی	کردستان	2006-06-06	17:03:02	4.4	40.31129
2431	ترکمنچای	آذربایجان شرقی	2000-09-03	19:02:56	4.4	35.35534
7470.02	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-12-06	7:57:41	4.4	30.08322
7377.02	گورسفید	کرمانشاه	2017-11-12	20:42:45	4.4	29.12044
7384.03	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-12	18:29:53	4.4	28.79236
7377.07	گورسفید	کرمانشاه	2017-11-14	1:08:45	4.4	28.16026
1589.01	سعدآباد	بوشهر	1996-01-26	13:11:13	4.4	22.36068
1571.32	شبانکاره	بوشهر	1996-01-26	13:11:13	4.4	21.93171
7525.01	قصر شیرین	کرمانشاه	2017-12-06	7:57:41	4.4	17.88854
3111.02	آباد	بوشهر	2003-05-03	6:31:49	4.4	14.86607
7424.01	قصر شیرین	کرمانشاه	2017-11-21	17:46:19	4.4	12.80625

2422	هشتترو	آذربایجان شرقی	2000-09-03	19:02:56	4.4	12.08305
7384.09	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-12	20:42:45	4.4	8.062258
6623	رامیان	گلستان	2015-09-15	17:35:50	4.3	60.83584
6622	علی آباد	گلستان	2015-09-15	17:35:50	4.3	49.39636
5608.03	خواجه	آذربایجان شرقی	2012-08-13	10:45:44	4.3	42.15448
4337	آب بر ۱	زنجان	2007-05-11	14:50:09	4.3	40.49691
2257.04	دلوار	بوشهر	1999-09-25	19:20:30	4.3	38.63936
6621	آق قلا ۱	گلستان	2015-09-15	17:35:50	4.3	36.06938
3592	رزن	همدان	2004-10-17	21:31:09	4.3	36.05551
3576	آوج	قزوین	2004-10-17	21:31:02	4.3	32.01562
3365.02	حسن کیف	مازندران	2004-05-28	19:47:03	4.3	29
5049	توشک آبسرد	لرستان	2009-12-24	17:17:15	4.3	28.44293
3567	چنگوره	قزوین	2004-10-17	21:31:09	4.3	23.32381
2214.03	اهرم	بوشهر	1999-09-25	19:20:30	4.3	20.24846
2274.1	رمقان	فارس	1999-05-18	9:55:44	4.3	17.26268
7525.03	قصر شیرین	کرمانشاه	2017-12-08	7:39:43	4.3	17.01881
3717.03	حتکن	کرمان	2005-02-27	12:56:46	4.3	15.6205
7479.01	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-12-08	7:39:43	4.3	14.23517
7414.03	سر پل ذهاب	کرمانشاه	2017-11-19	2:59:15	4.3	12.80625
3717.04	حتکن	کرمان	2005-02-27	13:20:45	4.3	12.20656
3706.03	اسلام آباد	کرمان	2005-02-27	12:56:46	4.3	12.20656
3369.04	نور	مازندران	2004-05-30	1:42:43	4.2	58.85576
6573	گرمسار	سمنان	2015-08-25	17:36:33	4.2	49.64877
6580	گرمسار ۲	سمنان	2015-08-25	17:36:33	4.2	48.70318
3368.03	نوشهر	مازندران	2004-05-30	1:42:43	4.2	44.14748
6576	فیروز کوه ۱	تهران	2015-08-25	17:36:33	4.2	29.68164
5367	گنگچین	آذربایجان غربی	2012-01-16	10:07:51	4.2	28.4605
4502.01	باسمنج	آذربایجان شرقی	2007-12-01	18:22:17	4.2	28.42534
5420	آب بر ۱	زنجان	2012-03-18	2:38:15	4.2	27.85678
4503.01	خواجه	آذربایجان شرقی	2007-12-01	18:22:17	4.2	27.20294
5579.05	ورزقان	آذربایجان شرقی	2012-08-11	12:37:45	4.2	25.07987
1583.04	سعدآباد	بوشهر	1996-01-24	7:07:04	4.2	23.34524
5368	قوشچی	آذربایجان غربی	2012-01-16	10:07:51	4.2	20.12461
4037.02	روستای ازنا	لرستان	2006-04-02	1:59:04	4.2	18.38478
1571.16	شبانکاره	بوشهر	1996-01-24	7:07:04	4.2	17.46425
4031.05	چالان چولان	لرستان	2006-04-02	1:59:04	4.2	13.0384
2274.04	رمقان	فارس	1999-05-14	19:46:53	4.2	9.848858
3522	شرفخانه	آذربایجان شرقی	2004-09-05	17:33:58	4.1	39.66106
4465	خواجه	آذربایجان شرقی	2007-09-16	5:20:01	4.1	31.89044
4505	خواجه	آذربایجان شرقی	2007-12-02	10:00:02	4.1	27.20294
3583.01	تسوج	آذربایجان شرقی	2004-09-05	17:33:58	4.1	26.62705
4507	باسمنج	آذربایجان شرقی	2007-12-02	10:00:02	4.1	24.59675
3113	برازجان	بوشهر	2003-01-25	17:49:53	4.1	23.60085
3632	شربیان	آذربایجان شرقی	2005-01-16	20:33:24	4.0	29.54657

4446.01	بروات	کرمان	2007-05-09	10:46:36	4.0	13.41641
3512.01	خواجه عسگر	کرمان	2004-08-16	6:31:00	4.0	12.16553
4540.01	پشت رود	کرمان	2007-05-09	10:46:40	4.0	8.485281
3511.03	پشت رود	کرمان	2004-08-16	6:31:00	4.0	8.246211
2128.07	رمقان	فارس	1999-05-12	3:17:28	4.0	13.60147

مراج

1. Satake K. and Atwater B.F. (2007) “**Long-Term Perspectives on Giant Earthquakes and Tsunamis at Subduction Zones**” Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 35, pp. 349–374.
2. هادیان م.ع. و زعفرانی ح. و فرجودی ج.، (۱۳۹۴) "بررسی مشخصات چشمه لرزه ای زلزله های رودبار و منجیل با استفاده از شبیه سازی ترکیبی به روش گسل محدود" **نشریه علمی-پژوهشی سازه و ساخت**، شماره ۱، دوره ۲.
3. زارع م. و کامران زاد ف.، (۱۳۹۴) "پراکندگی لرزه خیزی در ایران" **نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی**، شماره ۴، دوره ۱، ص ۵۸-۳۹.
4. Kramer S.L. (1996) “**Geotechnical Earthquake Engineering**” Prentice-Hall Inc., New Jersey, p. 653.
5. Somerville P.G. and Graves R.W. (2003), “Characterization of earthquake strong ground motion” **Pure Applied Geophysics**, Vol. 160, pp. 1811-1828.
6. Rajabi A.M. and Khamsehchiyan M. and Mahdaviifar M. and DelGaudio V. (2010) “Attenuation relation of Arias intensity for Zagros Mountains region (Iran)” **Soil Dynamics and Earthquake Eng.**, Vol. 30, pp. 110-118.
7. دانشجو ف.، (۱۳۷۸) "مبانی مهندسی زلزله و آنالیز ریسک" انتشارات دانش فردا.
8. نشریه شماره ۶۲۶، (۱۳۹۲) "راهنمای کاربردی انجام تحلیل خطر زلزله"، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.
9. نشریه شماره ۱۳۴، (۱۳۷۹) "تاریخچه مدل های کاهندگی و معیارهایی برای انتخاب مدل مناسب استاندارد مهندسی آب"، وزارت نیرو.
10. زارع م.، (۱۳۸۸) "مبانی تحلیل خطر زمین لرزه" انتشارات بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
11. Green R.A. and Hall S.L. (1994) “An overview of selected seismic hazard analysis methodologies ” Structural research series, No. 592., Urbana USA: Univ. of Illinois at Urbana Champaign.
12. Espinosa A.F. (1980) “Attenuation of strong horizontal ground accelerations in the western United States and their relations to ML” **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 70, No. 2, pp. 583-616.
13. Battis J. (1981) “Regional modification of acceleration attenuation functions” **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 71, No. 4, pp. 1309-1321.
14. Campbell K.W. (1981) “Near-Source attenuation of peak horizontal acceleration” **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 71, No. 6, pp. 2039-2070.
15. Hanks T.C. and McGuire R.K. (1981) “The character of high-frequency strong ground motion” **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 71, No. 6, pp. 2071-2095.
16. Boore D.M. and Joyner W.B. (1982) “The empirical prediction of ground motion” **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 72, No. 6, pp. 43-60.
17. Bolt B.A. and Abrahamson N.A. (1982) “New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motion” **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 72, No. 6, pp. 2307-2321.

18. Nuttli O.W. and Herrmann R.B. (1984) "A Comparison of Methods of Estimating the Attenuation of Earthquake Strong Ground Motion" **International Conference on Case Histories in Geotechnical Eng. .**
19. Petrovski D. and Marcellini A. (1988) "Prediction of seismic movement of a site" Proceeding of International Seminar on predict of earthquakes, Lisbon, Portugal.
20. Atkinson G.M. and Boore D.M. (1988) "Recent trends in ground motion and spectral response relations for North America" **Earthquake Spectra**, Vol. 6, No. 1, pp. 15-35.
21. Joyner W.B. and Boore D.M. (1988) "Measurement characterization and prediction of strong ground motion" **Proceedings of Earthquake Eng. and Soil Dynamics**, Vol. 2, pp. 43-102
22. Campbell K.W. (1989) "The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude, distance and site effects for small-magnitude earthquakes in California and Eastern North America" **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 79, No. 5, pp.1311-1346
23. Tamura K. and Sasaki Y. and Aizawa K. (1990) "Attenuation characteristics of ground motions in the period range of 2 to 20 seconds for application to the seismic design of long-period structures" **Proceedings of the Fourth U.S. National Conference on Earthquake Eng.**, vol. 1, pp. 495–504.
24. Campbell K.W. (1990) "Empirical prediction of Near-Source soil and soft-rock ground motion for the Diablo Canyon power plant site", California.
25. Ambraseys N.N. and Bommer J.J. (1991) "The Attenuation of ground Acceleration in Europe" **Earthquake Eng. and Structural Dynamics**, Vol. 20, No. 12, pp. 1179-1202.
26. Theodulidis N.P. and Papazachos B.C. (1991) "Dependence of strong ground motion on magnitude-distance, site geology for shallow earthquakes in Greece" **Soil Dynamics and Earthquake Eng.**, Vol. 11, pp. 387-402.
27. Tiento A. and Franceschina L. and Marcellini A. (1992) "Expected Ground Motion Evaluation for Italian Sites" **Proceedings of Tenth world Conference on Earthquake Eng.**, Vol. 1, pp. 489-494.
28. Sadigh K. and Chang C.Y. and Abrahamson N.A. and Chiou S.J. and Power M.S. (1993) "Specification of long-period ground motions: Updated attenuation relationships for rock site conditions and adjustment factors for near-fault effects" **Proceedings of ATC Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control**, Vol.17, No. 1, pp. 59–70.
29. Douglas J. (2018) "Ground motion prediction equations 1964-2018", **Earth-science Reviews**, Vol. 61 No. 1, pp. 43-104.
30. Abrahamson N.A. and Silva W.J. (1997) "Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes" **Seismological Research Letters**, Vol.68, No. 1, pp. 94–127.
31. Atkinson G.M. and Boore D.M. (1997) "Stochastic Point-Source Modeling of Ground Motions in the Cascadia Region" **Seismological Research Letters**, Vol. 68, No. 1, pp. 74-85.
32. Sadigh K. and Chang C.Y. and Egan J.A. and Makdisi F. and Young R.R. (1997) "Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data" **Seismological Research Letters**, Vol. 68, No. 1, pp. 180–189.
33. Youngs R.R. and Chiou S.J. and Silva W.J. and Humphrey J.R. (1997) "Strong Ground Motions Attenuation relationships for Subduction Zone Earthquakes" **Seismological Research Letters**, Vol. 68, 1, pp. 58-73.
34. Megawati et al. (2005) "Response spectral attenuation relationships for Sumatran Subduction earthquakes and the seismic hazard implications to Singapore and Kuala Lumpur" **Soil Dynamics and Earthquake Eng.**, Vol. 25, pp. 11-25.
35. Zare M. and Ghafory Ashtiany M. and Bard P.Y. (1999) "Attenuation law for the strong motions in Iran" In Proceedings of the third international conference on seismology and earthquake engineering, Tehran, Iran,.

36. Khademi M.H. (2002) "Attenuation of peak and spectral accelerations in the Persian plateau" In Proceedings of Twelfth European Conference on Earthquake Engineering, pp. 330.
37. Mahdavian A. (2006) "Empirical evaluation of attenuation relations of peak ground acceleration in the Zagros and central Iran " In Proceedings of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC), pp. 558.
38. Adnan A. and Suhatri M. (2009) "Derivation of attenuation equations for distant earthquake suitable for Malaysia" Project Report, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Johor.
39. Shah M. A. and Iqbal T. and Qaisar M. and Ahmed N. and Tufail M. (2012) "Development of attenuation relationship for northern Pakistan" In Proceedings of Fifteenth World Conference on Earthquake Engineering, Paper no. 5447.
40. Kumar A. and Mittal H. and Kumar R. and Ahluwalia R. S. (2017) "Empirical attenuation relationship for peak ground horizontal acceleration for north-east Himalaya" **Vietnam Journal of Earth Sciences**, Vol 39, No. 1, pp.47-57.
41. Shoushtari A. V. and Adnan A. Z. and Zare M. (2018) "Ground motion prediction equations for distant subduction interface earthquakes based on empirical data in the Malay Peninsula and Japan" **Soil Dynamics and Earthquake Eng.**, Vol. 109, pp. 339-353.
42. Wilson R.C. and Keefer D.K. (1985) "Predicting the areal limits of earthquake-induced landsliding. In: Ziony JJ, editor. Evaluating earthquake hazards in the Los Angeles region an earth science perspective. " **US Geological Survey**, Professional Paper1360, pp. 316-45.
43. Jibson R.W. (1987) "Summary of research on the effects of topographic amplification of earthquakes shaking on slope stability. " Open File Report 87-268, US Geological Survey, Menlo Park, California.
44. Sabetta F. and Pugliese A. (1996) "Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions." **Bulletin of the Seismological Society of America**, Vol. 86, No. 2, pp. 337-352.
45. Hwang H. and Lin C.K. and Yeh Y.T. and Cheng S.N. and Chen K.C. (2004) "Attenuation relations of Arias intensity based on the Chi-Chi Taiwan earthquake data." **Soil Dynamics and Earthquake Eng.**, Vol. 24, pp. 509-17.
46. Travarasrou T. and Bray J.D. and Abrahamson N.A. (2003) "Empirical attenuation relationship for Arias Intensity" **Earthquake Eng. Structure Dynamics**, Vol. 32, pp. 1133-55.
47. Mahdavi M. and Jafari M.K. and Zolfaghari M.R. (2007) "The attenuation of Arias Intensity in Alborz and Central Iran." In Proceedings of the fifth international conference on seismology and earthquake engineering, Tehran, Iran.
48. Ferreira C. (2001a) "Gene expression programming in problem solving. In: Proceedings of the Sixth Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications" pp. 10-24.
49. Ferreira C. (2006) "Gene expression programming: Mathematical modeling by an artificial intelligence", Springer-Verlag,.
50. Ferreira C. (2001) "Gene expression programming:A new adaptive algorithm for solving problems" Vol. 13, pp. 87-129.

51. قدرتی امیری غ. و شامخی امیری م ، (۱۳۹۳) " ارائه روابط کاهندگی برای بیشینه شتاب افقی و قائم جنبش‌های

نیرومند زمین در فلات ایران با استفاده از الگوریتم توسعه ژنی (GEP)" نشریه علمی-پژوهشی شریف، جلد ۳۸،

شماره ۲.

52. Ghodrati Amiri Shamekhi Amiri (2013) "Attenuation relationship for inelastic earthquake spectra in Iran" Proceedings of the Institution of Civil Engineers.

53. ماهنامه شبکه شتاب‌نگاری ایران، (مرداد ۱۳۸۷) مرکز تحقیقات ساختمان مسکن، سال چهارم، شماره ۴۷.
54. قدرتی امیری غ. و زاهدی م. و مهدویان ع. و غلامی س. ، (۱۳۸۳) "محدوده فرکانسی مناسب جهت پردازش شتاب‌نگاشت‌های ایران برای انواع شرایط ساختمانی" نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران، شماره ۴، ۱، دوره ۲-۳۰، ص ۸۵-۹۵.
55. Abrahamson N.A. and Shedlock K.M. (1997). "Overview" **Seismological Research Letters**, Vol. 68, pp. 9-23.
56. Mirzaei H. (2000) "Geological Site Investigation on Some Accelerograph Stations in Iran through Geophysical Method", BHRC publication No. 324, Tehran, Iran (in Persian).
57. آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰، (۱۳۹۳) "آیین‌نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله"، ویرایش ۴.

Abstract

The earthquake is one of the dangers that have caused many casualties and financial losses throughout the world over the years. This has been the reason why the earthquake hazard analysis studies should be studied more seriously. Iran is also located in one of the seismic regions of the world, the Himalayan-Alpine strip, which experiences many earthquakes every year. The Arias intensity function, as one of the important parameters of the powerful land movement, contributes greatly to the analysis of seismic hazard, which can be used to estimate the stability of gradients in the earthquake. The purpose of this research is to present the attenuation relationship for Arias intensity function in the Iranian plateau using intelligent methods. In this research, 1012 accelerated data were used. Initially, the data required to be filtered were corrected and then all data was analyzed. In this study, parameters such as magnitude of earthquake, focal length, shear wave velocity and geographic position of the area were used as a variable for attenuation relationship as the desired function. Moment magnitude (M_w) was used as earthquake magnitude and magnitudes of above 4 were used in this research. In the parameter, the geographic location of Iran was divided into two regions of Central Alborz and the Zagros region. Gene Expression Programming (GEP), a kind of intelligent algorithm, was used as a method for regression and calculation of the objective function. The advantage of this method is that at first the model for the objective function is not specified and the model is presented optimally by the intelligent method. The fitness function is also defined based on the root least squared error (RMSE). Finally, the reduction relation based on this fitness function was calculated and the observed results were compared with the results of other researchers.

Keywords: Attenuation Relationship, Arias Intensity, GEP, Zagros, Alborz-Central Iran



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Structural Engineering

Attenuation relation of Arias intensity with Intelligent Algorithms

By: Ali Tavassolian

Supervisor:

Dr. Mohamad Shamekhi Amiri

Advisor:

Dr. Attieh Eshaghi

January, 2019