

مدل جدید جنبش نیرومند زمین برای پیش‌بینی بیشینه‌ی شتاب، طیف‌های شبه‌شتاب و طیف‌های جابجایی در ایران

علیرضا حاجی‌پور (کارشناس ارشد)

حسن علیجانی مقدم* (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

مهندسی عمران شریف، (پاییز ۱۴۰۳)
دوره‌ی ۴۰، شماره‌ی ۳، صص. ۴۷-۷۲، (پژوهشی)

در مطالعه‌ی حاضر، یک مدل جدید جنبش زمین برای ایران، به‌منظور پیش‌بینی بیشینه‌ی شتاب زمین، طیف‌های شبه‌شتاب در میرایی‌های ۲، ۵، و ۱۰ درصد و طیف‌های جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۵ تا ۰/۳، در دوره‌های تناوبی ۰/۴ تا ۴ ثانیه توسعه یافته است. پایگاه داده‌ی مطالعه‌ی حاضر، شامل ۶۵۹ رکورد از ۱۱۵ رویداد اصلی و پوسته‌یی کم‌عمق رخ داده در ایران از سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۲ با محدوده‌ی $0.5 \leq Mw \leq 7.4$ و فاصله‌ی رومرکزی تا ۲۰۰ کیلومتر بوده است. ضرایب اثر تصادفی در مدل رگرسیون، اثر مختلط برای ثبت تغییرات منطقه‌یی میان مناطق پنج‌گانه‌ی فلات ایران تعریف شده و هیچ‌گونه تفاوت آماری در بین مناطق مذکور ملاحظه نشده است. آثار غیرخطی ساختمان با استفاده از پارامتر V_{sr} (متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی پروفیل خاک) در مدل توسعه‌یافته در نظر گرفته شد. توزیع باقیمانده‌های به‌دست‌آمده، شامل: باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه، و رویداد- ایستگاه تصحیح‌شده، هیچ‌گونه سوگیری قابل توجهی را برای مدل توسعه‌یافته نشان ندادند.

alirezahajipour.official@gmail.com
hsnmoghaddam@yahoo.com

واژگان کلیدی: مدل جنبش نیرومند زمین، معادلات پیش‌بینی جنبش زمین، طیف شبه‌شتاب، طیف جابجایی
کشسان، طیف جابجایی غیرکشسان، پایگاه داده‌ی زلزله‌های ایران.

۱. مقدمه

و معکوس مشخص می‌شوند و پژوهشگران مختلف، فلات ایران را براساس لرزه‌خیزی و ویژگی‌های ژئوفیزیکی به چند منطقه‌ی تکتونیکی تقسیم کرده‌اند. در حال حاضر، در رابطه با چگونگی تقسیم‌بندی فلات ایران به مناطق مختلف تکتونیکی، در بین پژوهشگران اجماعی وجود ندارد. برخی نویسندگان^{[۱] و [۲]} استان‌های ساده‌یی را پیشنهاد کرده‌اند. برخی دیگر^[۳] نیز ایران را به مناطق تکتونیکی بیشتری تقسیم‌بندی کرده‌اند. در مطالعه‌ی حاضر، پنج منطقه‌ی لرزه‌زمین‌ساختی، که توسط میرزائی و همکاران (۱۹۹۸)^[۴] براساس همه‌ی داده‌های لرزه‌یی، ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی، و تکتونیکی پیشنهاد شده است، در نظر گرفته شده است: (۱) زاگرس، که یک منطقه‌ی برخورد قاره‌یی- قاره‌یی از صفحه‌ی عرب و ریزقاره‌ی مرکزی ایران است. (۲) البرز- آذربایجان، که در شمال و شمال غربی ایران قرار دارد و بخشی از کمربند لرزه‌یی آلپ- هیمالیاست. (۳) کوپه‌ی داغ، که آن نیز بخشی از کمربند لرزه‌یی آلپ- هیمالیاست. (۴) صفحه‌ی مرکزی- شرقی ایران، که

مطالعه‌ی حاضر، یک مدل جدید جنبش زمین (GMM)^۱ را برای ایران ارائه کرده است. فلات ایران، منطقه‌یی است که مرتباً زلزله‌های متوسط تا بزرگ با عمق کانونی کمتر از ۳۵ کیلومتر را تجربه کرده و از این رو، همواره موردتوجه پژوهشگران و زلزله‌شناسان بوده است. علاوه‌بر آن، فلات ایران در کمربند آلپ- هیمالیا واقع شده است، که یکی از مناطق تکتونیکی فعال در جهان بوده و با حرکت صفحه‌ی عربستان از شمال به سمت اوراسیا، گسل‌های امتدادلغز و معکوس با زلزله‌های مکرر و بزرگ داشته است. در مناطق با لرزه‌خیزی بالا، مانند فلات ایران، از مدل‌های ریاضی برای مرتبط‌کردن شاخص‌های شدت جنبش زمین (GMIMs)^۲، مانند بیشینه‌ی شتاب زمین (PGA)^۳ و یا طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪، با چند پارامتر لرزه‌یی یک زلزله، به‌عنوان مثال بزرگای زلزله و فاصله‌ی منبع تا ایستگاه استفاده می‌شود. زلزله‌های ایران عمدتاً با گسل امتدادلغز

*نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰، تاریخ اصلاحیه: ۱۴۰۲/۰۹/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷.

استناد به این مقاله:

حاجی پور، علیرضا و علیجانی مقدم، حسن، ۱۴۰۳. مدل جدید جنبش نیرومند زمین برای پیش‌بینی بیشینه‌ی شتاب، طیف‌های شبه‌شتاب و طیف‌های جابجایی در ایران. مهندسی عمران شریف، ۴۰(۳)، صص. ۴۷-۷۲. DOI: 10.24200/J30.2023.63008.3251.

^۱Ground-Motion Intensity Measures^۲Peak Ground Acceleration^۳Ground Motion Model

برای کل ایران، به همراه بررسی تفاوت‌های منطقه‌یی در فلات ایران ارائه دادند. پایگاه داده‌ی آن‌ها در مجموع ۱۳۵۶ رکورد از ۲۰۸ رویداد ایرانی از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۳ و ۴ رویداد از ترکیه و یونان، با بزرگای گشتاوری $M \geq 4/8$ و فاصله‌ی گسیختگی تا ۴۰۰ کیلومتر را شامل می‌شد. تفاوت‌های منطقه‌یی معناداری در بین مناطق پنجگانه‌ی فلات ایران (مناطق موردبحث در نوشتار میرزایی و همکاران (۱۹۹۸)،^[۴] مشاهده نشده است؛ اما با وجود این، ایشان مطالعات بعدی را به بررسی بیشتر این موضوع توصیه کرده‌اند. زعفرانی و سقراط (۲۰۲۳)،^[۱۷] با استناد به نتایج میرزایی و همکارانش،^[۱۴] مدل واحدی را برای پیش‌بینی طیف شبه‌شتاب در کل ایران براساس بزرگا، فاصله، نوع گسلش، و اثر ساختگاه ارائه دادند. آن‌ها علاوه بر رویدادهای داخل ایران، از چند رویداد غیرایرانی برای پُر کردن خلأ داده‌های ایرانی در بزرگاهای بزرگ و فواصل نزدیک استفاده کردند. رویکردی که در برخی مطالعات،^[۹] و^[۱۴] نیز استفاده شده است. فهرست جامعی از مدل‌های جنبش زمین توسعه‌یافته برای کل جهان و ایران، به همراه توضیحات و محدودیت‌های آن‌ها را می‌توان در نوشتار داگلاس^۵ (۲۰۲۱)،^[۱۸] ملاحظه کرد.

بررسی تاریخی‌چهی روابط کاهندگی در سراسر دنیا، به‌ویژه در فلات ایران، نشان می‌دهد بسیاری از معادلات جنبش زمین برای پیش‌بینی طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ توسعه یافته‌اند، که فرض اساسی آن‌ها رفتار کاملاً کشسان سازه در طول زلزله‌ها بوده است. با این حال تجربه نشان داده است تحت تحریک زلزله، سازه‌ها می‌توانند بسته به شدت زلزله و مشخصه‌های رفتاری خود، رفتار کشسان یا غیرکشسان داشته باشند. با وجود اینکه معادلات فراوانی برای پیش‌بینی طیف‌های کشسان توسعه یافته‌اند، اما تعداد مدل‌های توسعه‌یافته برای پیش‌بینی طیف‌های غیرکشسان بسیار کمتر بوده است. به‌طوری که طبق گزارش داگلاس،^[۱۸] در میان تمام روابط کاهندگی توسعه‌یافته از سال ۱۹۶۴ تا ۲۰۲۱، فقط ۶ مدل برای پیش‌بینی طیف غیرکشسان توسعه یافته و در این میان نیز سهم فلات ایران، فقط یک مدل ارائه‌شده توسط حسنی و همکاران (۲۰۱۷)،^[۱۵] بوده است. بنابراین، در مطالعه‌ی حاضر، علاوه بر توسعه‌ی مدل برای پیش‌بینی طیف‌های کشسان، معادلات برای پیش‌بینی طیف‌های غیرکشسان نیز توسعه یافته است. طیف‌های غیرکشسان موردبحث در مطالعه‌ی حاضر، طیف‌های جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ثابت (fy/w) هستند. در واقع، این نوع طیف‌ها هر دو نوع پاسخ کشسان و غیرکشسان را می‌توانند در بر بگیرند، چرا که در تعریف منحنی نیرو- تغییرشکل آن‌ها هیچ وابستگی به تحریک زلزله در نظر گرفته نشده و به‌دنبال آن نیز هیچ تضمینی مبنی بر غیرکشسان‌شدن پاسخ وجود ندارد، بلکه فقط پتانسیل غیرکشسان‌شدن پاسخ در آن‌ها گنجانده شده است.

۳. پایگاه داده‌ی انتخاب‌شده و مشخصات آن

پایگاه داده‌ی استفاده‌شده در مطالعه‌ی حاضر، یک مجموعه داده‌ی یک‌پارچه از حرکت‌های زمین در زلزله‌های پوسته‌یی کم‌عمق رخ داده از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۲ در ایران بوده است.

با در نظر گرفتن دو ویژگی اساسی، یعنی شناخته‌شده‌بودن و قابل‌اعتمادبودن داده‌ها، در مجموع اطلاعات لرزه‌یی ۶۵۹ رکورد جنبش نیرومند سه مؤلفه‌یی

تحت هم‌گرایی مناطق مذکور قرار گرفته است، و (۵) سواحل مکران، که بخشی از سواحل جنوبی ایران است. هر منطقه اغلب دارای زلزله‌های متوسط تا بزرگ است و برخی پژوهشگران،^[۵] و^[۶] ترجیح دادند روابط کاهندگی یا معادلات پیش‌بینی جنبش زمین (GMPEs)^۱ را برای مناطق خاصی ارائه دهند. با وجود این، بیشتر داده‌های لرزه‌یی ایران در مناطق ۱، ۲، و ۴ و تعداد کمی از آن‌ها در مناطق ۳ و ۵ ثبت شده‌اند. برخی دیگر از پژوهشگران،^[۷-۹] نیز مناطق تکتونیکی را به‌صورت متفاوتی گروه‌بندی کرده و برای هر زیرمجموعه به‌طور جداگانه مدل‌هایی را توسعه داده‌اند. پژوهشگران متعدد دیگری،^[۱۰-۱۲] مدل‌هایی را برای مناطق خاصی با رژیم‌های تکتونیکی همگن ارائه داده‌اند. استفاده از روش تحلیل واریانس در مطالعات نوروزی (۲۰۰۵)،^[۹] و کتا^۲ و همکاران (۲۰۱۶)،^[۱۳] نشان داد که جنبش زمین در البرز مرکزی ایران و مناطق زاگرس را می‌توان در یک مجموعه ترکیب کرد. نتایج مشابهی در نوشتار فرچ‌پور و همکاران (۲۰۱۹)،^[۱۴] برای مناطق مختلف فلات ایران حاصل شد. تمرکز مطالعه‌ی حاضر بر روی توسعه‌ی یک مدل جدید جنبش زمین برای پیش‌بینی طیف‌های شبه‌شتاب و جابجایی بوده و در آن تفاوت‌های منطقه‌یی در فلات ایران بررسی شده است.

۲. پیشینه‌ی مدل‌های جنبش زمین برای ایران

تعداد کمی مدل جنبش زمین برای فلات ایران با توجه به تنوع پایگاه داده‌ها و مناطق مختلف فلات ایران ایجاد شده است.^[۱۴] اولین مدل جنبش زمین، که فقط رکوردهای ایران را در نظر گرفته و مقادیر طیفی را تخمین زده است، توسط زارع و همکاران (۱۹۹۹)،^[۷] منتشر شده است.^[۹] ایشان داده‌های خود را به دو مجموعه‌ی البرز مرکزی و زاگرس تقسیم‌بندی کردند و روابط جداگانه‌یی برای هر منطقه توسعه دادند، ولی منحنی‌های کاهندگی با توجه به انحراف‌های استاندارد تخمینی دو رابطه، مشابه بوده و تفاوت‌های ناچیزی را نشان داده است. نوروزی (۲۰۰۵)،^[۸] با استفاده از پایگاه داده حاوی ۲۷۹ ورودی از حدود ۳۰ منطقه‌ی لرزه‌زمین‌ساختی در سراسر ایران، مدل خود را توسعه داد و پیشینه‌ی شتاب زمین را برای مؤلفه‌های افقی و قائم برآورد کرد. قاسمی و همکاران (۲۰۰۹)،^[۹] نیز مدلی را برای تخمین طیف شبه‌شتاب برای ایران و اورآسیای غربی از یک مجموعه داده‌ی بزرگ پیشنهاد کردند. آن‌ها ۷۱۶ رکورد سه‌مؤلفه‌یی به‌دست‌آمده از ۲۰۰ زلزله با بزرگای گشتاوری $M \geq 5$ را تحلیل کردند. علاوه بر داده‌های ایرانی، ۱۷۷ رکورد سه‌مؤلفه‌یی از اورآسیای غربی و داده‌های زلزله‌ی کوبه، برای افزایش مجموعه‌ی داده‌های ایرانی را تحلیل کرده‌اند. صداقتی و پزشک (۲۰۱۷)،^[۱۲] با استفاده از داده‌های شبکه‌ی شتاب‌نگاری ایران (ISMN)^۳ و پایگاه داده‌یی متشکل از ۱۵۵۱ زلزله‌ی ایرانی مدل خود را، که شامل یک عبارت خطی تابع پارامتر V_{sr} برای مدل‌سازی پاسخ ساختگاه بود، ایجاد کردند. حسنی و همکاران (۲۰۱۷)،^[۱۵] مدلی برای تخمین طیف جابجایی غیرکشسان مقاومت ثابت (ضریب کاهش^۴ ثابت) در ایران ارائه دادند. آن‌ها با استفاده از پایگاه داده‌یی، شامل ۸۰۶ رکورد از ۳۳۰ زلزله‌ی ایران، سه معادله‌ی جداگانه برای زاگرس، البرز- ایران مرکزی، و کل پهنه‌ی ایران ارائه دادند. فرچ‌پور و همکاران (۲۰۱۹)،^[۱۴] با استفاده از شکل معادلاتی شبیه شکل معادلات در برخی نوشتارها،^[۱۶] و^[۱۲] مدلی را به‌منظور پیش‌بینی بیشینه‌ی شتاب زمین و طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪

^۴ Reduction Factor

^۵ Douglas

^۱ Ground Motion Prediction Equations

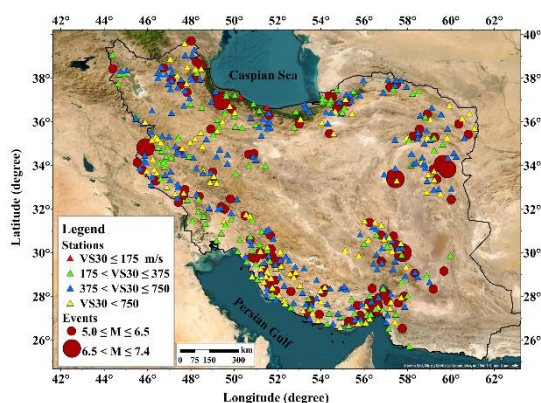
^۲ Kotha

^۳ Iran Strong Motion Network

و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] و بزرگ نیا و همکارش (۲۰۱۴)^[۱۶] در نظر گرفته شده‌اند:

۱. زمین‌لرزه‌های رخ داده در ایران از سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۲۲.
 ۲. زمین‌لرزه‌های پوسته‌یی با عمق کانونی بیشینه‌ی ۳۵ کیلومتر.
 ۳. زمین‌لرزه‌های با بزرگای گشتاوری در محدوده‌ی $M \leq 7.4$.
 ۴. زمین‌لرزه‌های با کمینه‌ی سه رکورد ثبت‌شده و قابل‌دسترسی در شبکه‌ی شتاب‌نگاری ایران.
 ۵. زمین‌لرزه‌هایی که براساس الگوریتم ارائه‌شده‌ی گاردنر^۹ و همکارش (۱۹۷۴)^[۲۴] به‌عنوان رویداد اصلی تشخیص داده شده‌اند.
 ۶. رکوردهای ثبت‌شده در فاصله‌ی رومرکزی ۰ تا ۲۰۰ کیلومتر، پس از اعمال معیارهای اخیر، این موارد نیز از پایگاه داده حذف شدند:
 ۷. زمین‌لرزه‌هایی که سازوکار کانونی، شیب و سایر زوایا، و صفحات گسلی آن‌ها در پایگاه‌های داده‌ی CMT و NEIC مشخص نشده‌اند.
 ۸. رکوردهایی که یکی از سه مؤلفه‌ی آن‌ها در شبکه‌ی شتاب‌نگاری ایران ثبت نشده‌اند.
- در مطالعه‌ی حاضر، ۲۱ دوره‌ی تناوبی طیفی برای پیش‌بینی مقادیر طیفی، شامل: ۰/۰۴، ۰/۰۴۲، ۰/۰۴۴، ۰/۰۴۶، ۰/۰۴۸، ۰/۰۵، ۰/۰۵۵، ۰/۰۶، ۰/۰۷، ۰/۰۸، ۰/۰۹، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵، ۲، ۳، و ۴ ثانیه در نظر گرفته شده‌اند. طیف‌های شبه‌شتاب و جابجایی کشسان رکوردهای پایگاه داده برای نسبت‌های میرایی ۲، ۵، و ۱۰ درصد و طیف‌های جابجایی با پتانسیل پاسخ غیرکشسان نیز با فرض سیستم کشسان-خمیری کامل (معادل رفتار دوخطی با شیب ثانویه‌ی صفر در منحنی نیرو-تغییرشکل) و میرایی ۵٪، برای نسبت‌های مقاومت به وزن (fy/w) برابر با ۰/۵، ۰/۰۷، ۰/۱، ۰/۲، و ۰/۳ با استفاده از تحلیل‌های کشسان و غیرکشسان به کمک نرم‌افزارهای Seismospect و OpenSees محاسبه شدند.

در شکل ۱، توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها و رویدادهای مطالعه‌ی حاضر و در



شکل ۱. توزیع جغرافیایی ایستگاه‌ها و رویدادهای پایگاه داده در مطالعه‌ی حاضر.

از ۱۱۵ رویداد اصلی با بزرگای گشتاوری $M \geq 5$ و فاصله‌ی رومرکزی $REPI \leq 200 \text{ km}$ جمع‌آوری شدند. رکوردهای جنبش نیرومند اصلاح‌نشده از شبکه‌ی شتاب‌نگاری ایران به‌دست آمدند و اصلاح خط مینا و عملیات فیلتر رکوردهای مذکور با استفاده از بازه‌های بسامدی پیشنهادی قدرتی و همکاران (۲۰۰۴)^[۱۹] در نرم‌افزار Seismosignal انجام شد.

بیشتر ایستگاه‌های موجود در شبکه‌ی شتاب‌نگاری ایران، مشابه شبکه‌های دیگر، اطلاعات ژئوتکنیکی محدودی دارند. معمولاً شرایط ساختگاه با استفاده از سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی پروفیل خاک V_{S30} ، به‌عنوان متغیری در ارزیابی روابط تجربی برای پیش‌بینی ضرایب تقویت غیرخطی برای طیف‌های هدف تعیین می‌شود. ایستگاه‌های ایرانی، V_{S30} را برای ۵۴۸ ایستگاه از ۱۴۴۱ ایستگاه اندازه‌گیری کرده‌اند. هیت^۱ و همکاران (۲۰۲۰)^[۲۰] روشی را برای تخمین سرعت موج برشی با استفاده از شیب توپوگرافی به‌عنوان نماینده‌ی V_{S30} در ایستگاه‌هایی که داده‌های اندازه‌گیری‌شده وجود ندارد، معرفی کرده‌اند، که در مطالعه‌ی حاضر از تخمین‌های روش مذکور برای ایستگاه‌های فاقد V_{S30} اندازه‌گیری‌شده استفاده شده است (حدود ۶۴٪ از داده‌ها). رویکردی مشابه نیز توسط فرچ‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] و بزرگ نیا و همکارش (۲۰۱۴)^[۱۶] استفاده شده است.

به‌طور کلی در مطالعه‌ی حاضر از رویکرد فرچ‌پور و همکاران (۲۰۱۸)^[۲۱] برای جمع‌آوری اطلاعات رویدادها استفاده شده است. پایگاه داده‌های مرکز تحقیقات راه، مسکن، و شهرسازی (BHRC)^۲، مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC)^۳، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIEES)^۴، مرکز ملی اطلاعات زلزله (NEIC)^۵، و پایگاه داده‌ی جهانی هاروارد (HRV/CMT)^۶، در مطالعه‌ی حاضر منابع اصلی در تعیین مشخصات لرزه‌یی رویدادهای ایران از جمله نوع گسلش بوده‌اند. ابعاد و هندسه‌ی گسیختگی‌ها با فرض مستطیلی بودن صفحه‌ی گسیختگی، با استفاده از روابط ارائه‌شده در نوشتارهای ولز^۷ و همکارش (۱۹۹۴)^[۲۲] و کاکلامانوس^۸ و همکاران (۲۰۱۱)^[۲۳] تعیین شده‌اند. بزرگا و مختصات جغرافیایی رومرکز زلزله، از پایگاه داده‌ی BHRC جمع‌آوری شده است. در مواردی که مقیاس بزرگای گشتاوری برای رویدادها گزارش نشده بود، از گزارش‌های پایگاه جهانی هاروارد استفاده شده است. رویدادها و رکوردهای انتخاب‌شده بر حسب مختصات جغرافیایی رومرکز و ایستگاه‌ها در قالب ۵ منطقه‌ی ذکرشده برای بررسی آثار تفاوت‌های منطقه‌یی دسته‌بندی شده‌اند. همچنین با توجه به اهمیت رویدادهای بزرگ و تعداد کم آن‌ها، سعی شد تمام رویدادهای بزرگ رخ داده در ایران به‌همراه تمام رکوردهای آن‌ها در پایگاه داده گنجانده شوند. پایگاه داده‌ی جنبش نیرومند، شامل: خصوصیات زمین‌شناسی ساختگاه، ویژگی‌های لرزه‌یی، هندسه‌ی گسلش، سازوکار کانونی، و معیارهای فاصله‌ی رومرکزی و کانونی (به ترتیب $REPI$, $RHYPI$) بوده است. در انتخاب و جمع‌آوری رویدادها و رکوردهای این پایگاه داده، این معیارها هم‌تراز با معیارهای فرچ‌پور

^۵ National Earthquake Information Center

^۶ Harvard GCMT catalog

^۷ Wells

^۸ Kaklamanos

^۹ Gardner

^۱ Heath

^۲ The Building and Housing Research Center

^۳ Iranian Seismological Center, Institute of Geophysics, University of Tehran

^۴ International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

مقایسه شده‌اند، تا یک قالب مناسب از میان تمام قالب‌های کاندید، که در حین سادگی بهترین برازش را با داده‌ها داشته باشد، انتخاب شود.

تابع رگرسیون غیرخطی (رابطه‌ی ۱) توسط آتیک^۴ و همکاران (۲۰۱۰)، [۲۸] برای ارائه‌ی یک مدل جنبش زمین مبتنی بر الگوریتم اثر مختلط پیشنهاد شده است:

$$\ln Y = f(X_{es}, \theta) + \Delta B + \Delta W \quad (۱)$$

که در آن، $f(X_{es}, \theta)$ همان مدل جنبش زمین است و X_{es} بردار متغیرهای مستقل نظیر بزرگای زلزله و فاصله‌ی ایستگاه تا منبع است، e و s به ترتیب برای مشاهده‌ی زمین‌لرزه‌ی e رکوردشده در ایستگاه s استفاده می‌شود. θ یک بردار از آثار ثابت برای ضرایب رگرسیون است. ΔB تغییرپذیری میان‌رویدادی است که تفاوت سطح میانه‌ی جنبش نیرومند زمین برای یک رویداد و سطح موردانتظار برای آن رویداد را نشان می‌دهد و ΔW متغیر درون‌رویدادی است که نشان‌دهنده‌ی تفاوت بین جنبش مشاهده‌شده‌ی نیرومند زمین و جنبش میانه‌ی زمین برای یک رویداد معین است. [۲۸] آثار تصادفی و خطای تصادفی به‌صورت نرمال با میانگین صفر توزیع می‌شوند. براساس مباحث اخیر، رابطه‌ی ۲ در مطالعه‌ی حاضر پیشنهاد شده است:

$$\ln(y) = f_{source} + f_{path} + f_{site} + \delta B_e + \delta_{srs} + \varepsilon \quad (۲)$$

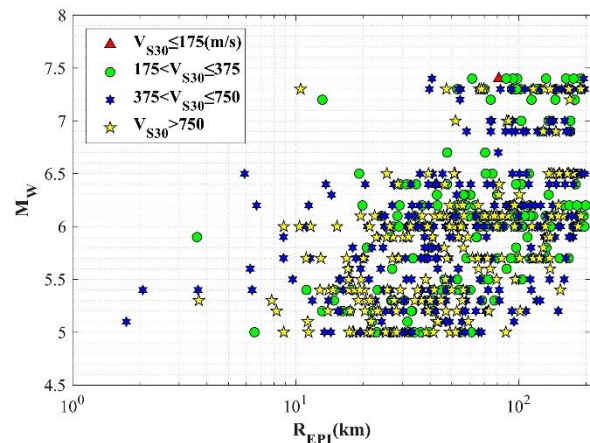
که در آن، $\ln(y)$ لگاریتم طبیعی شاخص‌های جنبش زمین مدنظر است (در مطالعه‌ی حاضر، بیشینه‌ی شتاب زمین و مقادیر طیفی شبه‌شتاب (g) و جابجایی (متر) در دوره‌ی تناوبی، میرایی، و نسبت‌های مقاومت به وزن مشخص هستند). لازم به اشاره است که شاخص‌های جنبش زمین در مطالعه‌ی حاضر براساس میانگین هندسی دو مؤلفه‌ی افقی ثبت‌شده در نظر گرفته شده‌اند. به پیروی از نام‌گذاری آتیک و همکاران (۲۰۱۰)، [۲۸] و δB_e و δ_{srs} آثار تصادفی برای توصیف باقیمانده‌ی میان‌رویدادی و باقیمانده‌ی ایستگاه به ایستگاه هستند و هردو دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف استاندارد به ترتیب τ و ϕ_{srs} هستند. [۲۸] ε باقیمانده‌ی تصحیح‌شده‌ی رویداد-ایستگاه بوده است، که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف استاندارد ϕ_{ss} است. f_{source} ، f_{site} و f_{path} به ترتیب توابع منبع، توابع ایستگاه، و مسیر هستند. تابع منبع از رابطه‌ی ۳ به‌دست می‌آید:

$$f_{source} = f_{magnitude} + f_{SOF} + f_{dip} + f_{hyp} \quad (۳)$$

که در آن، f_{source} تابعی از عبارت‌های بزرگای زلزله $f_{magnitude}$ ، نوع گسلش f_{SOF} ، زاویه‌ی شیب گسلش f_{dip} و عمق کانونی f_{hyp} است. بر روی هر یک از عبارت‌ها و جزئیات آن در ادامه بحث شده است.

۱.۴ بزرگا

مقیاس‌بندی بزرگا، شامل یک مدل دوخطی با یک عبارت درجه دوم است. عبارت بزرگا به‌صورت رابطه‌ی ۴ تعریف شده است:



شکل ۲. توزیع بزرگای گشتاوری در مقابل فاصله‌ی رومرکزی رکوردهای منتخب.

شکل ۲، توزیع بزرگای گشتاوری در مقابل فاصله‌ی رومرکزی رکوردهای منتخب مشاهده می‌شود. در شکل‌های اخیر، همچنین توزیع داده‌ها از نظر شرایط خاک (توزیع V_{S30}) نشان داده شده است. استاندارد ۲۸۰۰، [۲۵] آیین‌نامه‌ی طراحی ایران است، که طرح طبقه‌بندی ساختمان‌های مشابهی با کمیته‌ی B.S.S. (۲۰۰۹)، [۲۶] دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پایگاه داده در تمامی گروه‌ها پراکنده است و خاک نوع II ($V_{S30} \leq 750$ m/s) نسبت به سایر گروه‌ها، بیشترین تعداد ایستگاه را در پایگاه داده داشته است. همچنین در شکل ۲ مشاهده می‌شود با وجود اینکه تمام رکوردهای ثبت‌شده در شبکه‌ی شتاب‌نگاری ایران از زلزله‌های بزرگ ایران در پایگاه داده در نظر گرفته شده‌اند، اما همچنان در فواصل نزدیک و بزرگ‌های بزرگ، خلأ قابل توجهی وجود دارد.

۴. قالب مدل جنبش زمین

انتخاب یک قالب مناسب، گامی مهم در زمینه‌ی توسعه و واسنجی مدل‌های جنبش زمین است. در ابتدا، کار با یک قالب شبیه به مطالعات فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)، [۱۴] و بزرگ‌نیا و همکارش (۲۰۱۴)، [۱۶] شروع شده است، که برآورد مناسبی از جنبش زمین برای فلات ایران را نشان می‌دهد و سادگی آن‌ها در کنار قابلیت آن‌ها در پیش‌بینی جنبش زمین، در مطالعات اخیر بحث شده است. به پیروی از فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)، [۱۴] الگوریتم اثر مختلط توسعه‌یافته توسط لینداستروم^۱ و همکارش (۱۹۹۰)، [۲۷] که در نرم‌افزار متلب^۲ با توابع "fitlmematrix" و "nlmefit" پیاده شده است، به‌عنوان یک رویکرد اصلی برای تعیین ضرایب استفاده شده است. دو تابع اخیر، به ترتیب رویکرد خطی و غیرخطی رگرسیون اثر مختلط را پیاده می‌کنند و برای استفاده از آن‌ها کافی است که ماتریس‌های متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و متغیر پاسخ به نرم‌افزار معرفی شوند. در پژوهش حاضر، رگرسیون در هر دوره‌ی تناوب، مستقل از سایر دوره‌های تناوب انجام و همچنین تفاوت‌های منطقه‌ی در قسمت اثر تصادفی رگرسیون‌های اثر مختلط نیز در نظر گرفته شده است. معیارهای اطلاعاتی آکیاک و بیژین^۳ (به ترتیب AIC و BIC) و لگاریتم احتمالات آن‌ها که تابعی از سادگی و دقت فرم معادلات هستند، با یکدیگر

^۳ Akaike and Bayesian information criteria

^۴ Atik

^۱ Lindstrom

^۲ Matlab

که در آن، $M_{h1}=4$ و $M_{h2}=8/5$ نقاط لولای بزرگا و δ (بر حسب درجه) متوسط شیب صفحه‌ی گسیختگی هستند.

۴.۴. عمق کانونی

در مطالعه‌ی حاضر، از یک قالب عمق کانونی شبیه قالب پیشنهادی در نوشتار حسنی و همکاران (۲۰۱۷)^[۱۵] استفاده شده است. براساس آنچه داده‌ها نشان داده‌اند، از یک بزرگای لولای ($M_h=6/5$) به صورت رابطه‌ی ۷ استفاده شده است:

$$f_{hyp} = f_{hyp,H} f_{hyp,M}$$

$$f_{hyp,H} = \begin{cases} 0; & Z_{HYP} \leq \gamma \\ Z_{HYP} - \gamma; & \gamma < Z_{HYP} \leq 20 \\ 13; & Z_{HYP} > 20 \end{cases}$$

$$f_{hyp,M} = \begin{cases} Z_{11} + (Z_{11} - Z_{10})(M - 6.5); & M \leq M_h \\ Z_{11}; & M > M_h \end{cases}$$

(۷)

۵.۴. کاهندگی هندسی^۳

عبارت مسیر در مدل‌های جنبش زمین به دو قسمت تقسیم می‌شود، که معمولاً با عناوین کاهندگی هندسی و کاهندگی غیرکشسان^۴ شناخته می‌شوند. با این حال، عبارت مسیر یکسانی در فواصل گسیختگی کمتر از ۸۰ کیلومتر در نوشتارهای فرچ‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] و بزرگنیا و همکارش (۲۰۱۴)^[۱۶] در نظر گرفته شده است. در مطالعه‌ی حاضر، با وجود تخمین هندسه‌ی منبع، به دلیل فرضیات ساده‌کننده در محاسبه‌ی آن و وابستگی آن به روابط تخمینی، آن‌ها در معادله‌ها دخیل نشده‌اند و به جای فاصله‌ی گسیختگی از معیارهای ساده‌تر و در دسترس‌تری، نظیر فاصله‌ی رومرکزی استفاده شده است، تا استفاده از معادلات ساده‌تر شود. همچنین با توجه به دقت پایین گزارش‌ها برای عمق کانونی رویدادها، فاصله‌ی رومرکزی به فاصله‌ی کانونی ترجیح داده شد و از آن در عبارت مسیر به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کننده استفاده شد. در مطالعه‌ی حاضر، به پیروی از فرچ‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] آثار کاهندگی هندسی برای جلوگیری از تبادل با کاهندگی غیرکشسان جدا شد. کاهندگی هندسی، زوال دامنه را به دلیل گسترش سطح جبهه‌ی امواج هنگام انتشار از منبع مدل می‌کند، که به‌صورت رابطه‌ی ۸ در نظر گرفته شده است:

$$f_{geometric} = (Z_{\delta} + Z_{\epsilon} M) \ln(\sqrt{R_{EPI}^2 + Z_{\gamma}^2}) \quad (۸)$$

که در آن، R_{EPI} فاصله‌ی رومرکزی و ضرایب Z_{δ} ، Z_{ϵ} و Z_{γ} (عمق مجازی)، آثار ثابت هستند.

۶.۴. کاهندگی غیرکشسان

کاهندگی غیرکشسان، کاهش دامنه را به دلیل تبدیل انرژی موج کشسان به گرما مدل می‌کند و معمولاً به بسامد وابسته است. رفتار جنبش زمین در فواصل دور از منبع، با کاهندگی غیرکشسان کنترل می‌شود. عبارت کاهندگی غیرکشسان به‌صورت رابطه‌ی ۹ است:

$$f_{magnitude} = \begin{cases} Z_{11} + Z_{\gamma}(M - M_h) + Z_{\epsilon}(M - M_h)^{\gamma}; & M \leq M_h \\ Z_{11} + Z_{\gamma}(M - M_h) + Z_{\epsilon}(M - M_h)^{\gamma}; & M > M_h \end{cases} \quad (۴)$$

که در آن، M بزرگای گشتاوری و M_h بزرگای لولای^۱ بوده و برابر ۶/۵ انتخاب شده است. همچنین ضرایب Z_{11} تا Z_{ϵ} ضرایب رگرسیونی مربوط به آثار ثابت در رگرسیون هستند. همه‌ی ضرایب آثار ثابت، تابعی از دوره‌ی تناوبی طیفی هستند و مستقلاً برای هر نوع طیفی حاصل می‌شوند. این قالب بزرگا و همچنین مقدار ۶/۵ برای M_h ، پس از آزمودن مدل‌های مختلف دیگر، نظیر مدل تک ضابطه‌ی و مدل دو ضابطه‌ی خطی (مشابه نوشتار صداقتی و پزشکی (۲۰۱۷)^[۱۲])، و مقادیر M_h مختلف، به دلیل تطابق بیشتر آن با مشاهده‌ها انتخاب شده‌اند. مدل خطی درجه‌ی دوم می‌تواند ویژگی‌های مختلف مقیاس‌بندی بزرگا را در نظر بگیرد. یک ویژگی مهم مقیاس‌بندی بزرگا، میزان اشباع با بزرگا در فواصل کوتاه است.^[۱۴] اشباع بزرگا نشان‌دهنده‌ی کاهش دامنه‌ی حرکت زمین با افزایش بزرگاست. در پژوهش حاضر، ضریب Z_{ϵ} به مقادیر منفی محدود نشده است، تا در صورت وجود اشباع بیش از حد در مجموعه‌ی داده‌ها ثبت شود.

۲.۴. نوع گسلش

تفاوت‌های مهمی بین سازوکارهای کانونی امتدادلغز و معکوس در نوشتارهای صداقتی و پزشکی (۲۰۱۷)^[۱۲]،

و فرچ‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] مشاهده نشده است (مقادیر p نشان داد که از نظر آماری ناچیز هستند). در مطالعه‌ی حاضر، قالب‌های مختلفی برای عبارت گسلش در نظر گرفته شده (حتی حذف آن از مدل) و مقایسه‌ی دقت مدل در حالت‌های مختلف صورت گرفته است. سرانجام عبارت گسلش با توجه به تنوع گسل‌ها در ایران به صورت رابطه‌ی ۵ و شبیه آنچه در نوشتار بزرگنیا و همکارش (۲۰۱۴)^[۱۶] در نظر گرفته شده است، تعریف شده است:

$$f_{SOF} = f_{flt,M} (Z_{\delta} f_{RV} + Z_{\epsilon} f_{SS})$$

$$f_{flt,M} = \begin{cases} M - 5; & M \leq 6 \\ 1; & M > 6 \end{cases} \quad (۵)$$

که در آن، $f_{flt,M}$ تابعی از بزرگای زلزله و ضرایب Z_{δ} و Z_{ϵ} ضرایب آثار ثابت هستند. f_{RV} متغیر نشان‌دهنده‌ی گسل معکوس و معکوس-مایل است، که در آن، $f_{RV}=1$ برای $150 < \lambda < 300$ و در سایر موارد $f_{RV}=0$ است. f_{SS} نیز متغیر نشان‌دهنده‌ی گسل امتدادلغز است، که در آن، $f_{SS}=1$ برای $180 < \lambda < 150$ و $300 < \lambda < 180$ و در سایر موارد $f_{SS}=0$ است.

۳.۴. شیب گسیختگی

معمولاً رکوردهای ثبت‌شده از زلزله‌های کوچک، وابستگی شدیدی به شیب صفحه‌ی گسیختگی دارند.^[۱۶] این اثر به‌صورت رابطه‌ی ۶ توسط یک عبارت شیب گسیختگی و یک ضریب Z_{12} تعریف شده است:

$$f_{dip} = \begin{cases} Z_{12} \delta; & M \leq M_{h1} \\ Z_{12} (\delta / 5 - M) \delta; & M_{h1} < M \leq M_{h2} \\ 0; & M > M_{h2} \end{cases} \quad (۶)$$

^۳ Geometric attenuation

^۴ Anelastic attenuation

^۱ Hinge magnitude points

^۲ Magnitude saturation

رگرسیون مذکور برای تخمین بیشینه‌ی شتاب سنگ بستر (ضرایب Z_{13} - Z_1) در کنار سایر ضرایب در جدول ۱ ارائه شده‌اند. ضرایب رگرسیون و روابط ۲ الی ۹، برای تعیین بیشینه‌ی شتاب سنگ بستر برای مرحله‌ی بعدی رگرسیون به‌منظور یافتن ضرایب Z_{13} - Z_{14} برای همه‌ی شرایط ایستگاه برای بیشینه‌ی شتاب زمین و مقادیر طیفی استفاده شده‌اند. در میان مدل‌های توسعه‌یافته‌ی قبلی برای ایران، فقط فرج‌پور و همکاران،^[۱۴] آثار غیرخطی تقویت ساختگاه را در نظر گرفته‌اند؛ که در مطالعه‌ی حاضر به پیروی از ایشان، دو عبارت خطی و غیرخطی برای پاسخ ایستگاه در نظر گرفته شده است. بین پیش‌بینی‌های خطی و غیرخطی پاسخ ایستگاه براساس نوع خاک، به‌ویژه برای بزرگ‌های بزرگ و فواصل نزدیک، که برای ایستگاه‌های خاک نرم مهم است، تفاوت‌هایی وجود دارد. گنجاندن بخش خطی و غیرخطی جنبش زمین در تحلیل پاسخ ایستگاه می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در پاسخ شتاب تأثیر بگذارد. این موضوع در نوشتار فرج‌پور و همکاران،^[۱۴] دنبال شده و نشان داده شده است که تفاوت عمده‌ی بین تقویت خطی و غیرخطی ایستگاه وجود دارد و وقتی از تقویت غیرخطی ایستگاه استفاده می‌شود، تنوع و تغییرپذیری مدل (انحراف استاندارد کلی مدل) کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ی حاضر، براساس تحلیل‌های اثر مختلط و داده‌های مطالعه‌ی حاضر، ضریب رگرسیون Z_{14} کمی متفاوت از نوشتار فرج‌پور و همکاران،^[۱۴] حاصل شده است.

$$f_{site} = \begin{cases} z_{14} \ln\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right) + k_2 \left\{ \ln\left[PGA_{Rock} + c\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right)^n\right] - \ln[PGA_{Rock} + c] \right\}; & V_{S30} \leq k_1 \\ (z_{14} + k_2 n) \ln\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right); & V_{S30} > k_1 \end{cases} \quad (10)$$

۵. خلاصه و نتایج

در مطالعه‌ی حاضر، رویکرد رگرسیونی اثر مختلط در نرم‌افزار متلب، به عنوان

$$f_{atn} = \begin{cases} (z_{13} - \Delta z_{13})(R_{EPI} - 80); & R_{EPI} > 80 \\ 0; & R_{EPI} \leq 80 \end{cases} \quad (9)$$

به‌دلیل پراکندگی داده‌ها، بین گسترش هندسی و عبارت کاهندگی غیرکشسان مبادله وجود دارد، لذا ضریب Z_{13} به صفر یا منفی محدود شده است. به‌منظور در نظر گرفتن تفاوت‌های منطقه‌ی، از یک اثر تصادفی که توسط Δz_{13} در مدل رگرسیونی اثر مختلط نشان داده شده است، استفاده شده است. اثر تصادفی مذکور، نشان‌دهنده‌ی تفاوت بین ۵ منطقه‌ی ذکر شده است. نتایج حاصل و تحلیل آماری نشان داد که پایه‌ی آماری قوی مبنی بر وجود تفاوت‌های منطقه‌ی بین ۵ منطقه‌ی مورد بحث وجود ندارد. نتیجه‌گیری مشابهی در برخی نوشتارها،^[۹، ۱۲، ۱۴] انجام شده است.

۷.۴. پاسخ سطحی ایستگاه

مدل پارامتری ضرایب تقویت غیرخطی،^[۲۹] که تابع بیشینه‌ی شتاب در سنگ‌بستر و V_{S30} است، در مطالعه‌ی حاضر دنبال شد و به پیروی از مطالعات فرج‌پور و بزرگ‌نیا و همکارانشان،^[۱۴] از رابطه‌ی ۱۰ برای عبارت پاسخ سطحی ایستگاه استفاده شد؛ که در آن، $PGA_{Rock}(g)$ مقدار میانه‌ی پیش‌بینی بیشینه‌ی شتاب در سنگ بستر، k_i ضرایب مدل وابسته به دوره‌ی تناوبی و $C=1/88$ و $n=1/18$ ضرایب مدل مستقل از دوره‌ی تناوبی‌اند و هر سه به لحاظ نظری محدود هستند. Z_{14} نیز یک ضریب آثار ثابت است. ضرایب عبارت غیرخطی پاسخ سطحی ایستگاه‌های k_1 ، k_2 ، n ، و C تعیین شده توسط سیلوا^۱ (۲۰۰۵،^[۳۰]) برای محدود کردن عبارت پاسخ سطحی ایستگاه استفاده شدند. برای تعیین بیشینه‌ی شتاب سنگ بستر، ابتدا مجموعه‌ی داده‌ها جدا و رگردهایی انتخاب شدند که در ایستگاه‌هایی با $V_{S30}=760 \text{ m/s}$ و بالاتر ثبت شده باشند. سپس از رگرسیون اثر ترکیبی استفاده و همه‌ی ضرایب رگرسیون با نادیده گرفتن عبارت پاسخ سطحی ایستگاه تعیین شدند. ضرایب

جدول ۱. ضرایب رگرسیونی مدل پیشنهادی در تخمین بیشینه‌ی شتاب زمین و طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪.

T(sec)	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	k1	k2
$PGA_{Rock}(g)$	۱/۲۵۸۶	۰/۸۱۳	۰/۱۰۰۹	-۰/۰۷۶۸	-۱/۱۰۰۳	-۰/۰۱۴۱	۲/۲۸۷۸	۰/۱۲۵۳	۰/۱۸۶۲	۰/۲۲۷	۰/۴۰۴۴	۰/۰۰۳۵	.	.	.	.
$PGA(g)$	۲/۱۴۱۵	۱/۱۶۵	-۰/۲۰۸۶	۱/۹۲۵۹	-۰/۶۶۷	-۰/۱۱۷۴	۷/۴۹۵۱	-۰/۱۲۴۴	۰/۰۰۳۶	۰/۲۷۴۸	۰/۲۹۷۲	۰/۰۰۱۷	.	۱/۲۸۲۳	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴	۲/۶۱۸	۰/۸۸۱۳	-۰/۲۲۵۶	۱/۶۵۱۶	-۱/۱۴۲۵	-۰/۰۵۵۹	۸/۲۸۰۸	-۰/۱۹۳۳	-۰/۰۱۴۴	۰/۲۹۸۳	۰/۳۳۲۴	۰/۰۰۰۲	.	۱/۳۷۲۲	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	۲/۶۴۸۹	۰/۸۵۲۳	-۰/۲۱۹۴	۱/۵۸۴۳	-۱/۱۲۳۵۸	-۰/۰۰۴۰۶	۸/۳۵۲۴	-۰/۱۹۸۱	-۰/۰۲۱۱	۰/۲۹۱۴	۰/۳۲۴۸	۰/۰۰۰۲	.	۱/۴۱۷۸	۸۶۵	-۱/۲۱۹
۰/۰۴۴	۲/۷۹۹۷	۰/۹۱۲۴	-۰/۲۱۱۶	۱/۶۳۸۴	-۱/۱۱۷۷۳	-۰/۰۵۴۳	۸/۳۶۷۸	-۰/۰۲۰۲۹	-۰/۰۳۴۲	۰/۲۸۸۷	۰/۳۲۴۳	۰/۰۰۱۸	.	۱/۴۸۱۴	۹۰۸	-۱/۲۷۳
۰/۰۴۶	۲/۹۱۵	۰/۹۷۸۵	-۰/۱۹۴۷	۱/۶۶۶۷	-۱/۱۵۲۶	-۰/۰۶۱۱	۸/۳۸۲۷	-۰/۲۱۴۹	-۰/۰۴۴۱	۰/۲۹۲	۰/۳۲۶۹	۰/۰۰۱۹	.	۱/۵۱۴۶	۹۵۷	-۱/۲۹۷
۰/۰۴۸	۲/۹۴۴۳	۱/۰۲۷۲	-۰/۱۷۴۲	۱/۶۷۵۸	-۱/۱۴۰۶	-۰/۰۶۳۳	۸/۱۶۳۶	-۰/۲۱۸۸	-۰/۰۴۵۱	۰/۲۹۷۴	۰/۳۳۰۳	۰/۰۰۲۱	.	۱/۵۴۷۶	۱۰۰۵	-۱/۳۲۲
۰/۰۵	۳/۰۰۴	۱/۰۵۹	-۰/۱۶۹۴	۱/۷۱۰۷	-۱/۱۱۳۳	-۰/۰۶۹۳	۷/۹۸۱۶	-۰/۲۱۰۵	-۰/۰۳۳۳	۰/۲۹۵۶	۰/۳۲۷۹	۰/۰۰۲۱	.	۱/۵۷۴۴	۱۰۵۴	-۱/۳۴۶
۰/۱	۴/۳۴۸۷	۱/۶۱۵۸	-۰/۰۱۶۹	۱/۹۲۰۹	-۰/۵۶۸۶	-۰/۱۷۷۷	۱۰/۵۵۲۲	-۰/۲۳۸۵	-۰/۱۰۲	۰/۲۲۲۹	۰/۲۶۲۷	۰/۰۰۰۶	.	۱/۸۹۹۴	۱۰۳۲	-۱/۶۲۴
۰/۱۵	۴/۱۲۸۵	۱/۵۴۷	-۰/۰۷۴۳	۲/۱۵۳۶	-۰/۵۵۱۸	-۰/۱۶۱۷	۹/۶۲۵	-۰/۱۸۵۹	-۰/۰۷۸۴	۰/۱۱۰۹	۰/۰۸۵	۰/۰۰۱۹	.	۲/۱۶۵۱	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	۳/۳۸۸۳	۱/۶۰۷	-۰/۱۰۵۲	۲/۲۶۸	-۰/۳۰۴۱	-۰/۱۸۴۹	۸/۷۸۴۹	-۰/۱۱۶۶	-۰/۰۱۴۵	۰/۲۲۷۹	۰/۲۱۵۸	۰/۰۰۰۴	.	۲/۳۹۶۹	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	۲/۷۵۴۴	۱/۶۴۴۸	-۰/۱۱۸۷	۲/۱۳۴۶	-۰/۴۱۸	-۰/۱۴۸۲	۷/۱۹۲۸	-۰/۱۲۲۴	۰/۰۴۰۱	۰/۲۶۱۱	۰/۲۵۳۵	۰/۰۰۰۵	.	۲/۵۶۶۶	۶۵۴	-۲/۳۸۱
۰/۳	۲/۴۲۵	۱/۵۲۰۷	-۰/۲۰۹	۲/۲۹۱	-۰/۲۰۱۸	-۰/۱۷۵۶	۷/۳۰۷۸	-۰/۱۲۸۲	۰/۰۷۸۷	۰/۳۱۱۷	۰/۳۰۱۹	۰/۰۰۱۸	.	۲/۶۶۱۴	۵۸۷	-۲/۵۱۸
۰/۴	۱/۴۵۹	۱/۵۸۹۷	-۰/۲۰۷۴	۲/۰۹۳۷	-۰/۰۱۶۹	-۰/۱۸۲۴	۵/۳۲۷۲	-۰/۱۳۷۴	۰/۱۵۹۵	۰/۴۲۱۶	۰/۴۶۶۳	۰/۰۰۴۹	.	۲/۷۸۸۲	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	۱/۰۴۳۵	۱/۳۳۹۸	-۰/۳۷۸۶	۲/۳۶۹۲	-۰/۲۰۶۶	-۰/۱۴۱۲	۶/۰۲۲۲	-۰/۰۶۹۶	۰/۲۱۰۶	۰/۴۱۶۵	۰/۰۰۴۷	.	.	۲/۷۷۴۶	۵۵۷	-۲/۶۶۹
۰/۷۵	۰/۲۲۳۸	۰/۶۱۰۵	-۰/۶۱۱۷	۱/۹۸۲۷	-۰/۶۵۷۳	-۰/۰۶۲۵	۷/۱۲۸۸	۰/۰۰۸۷	۰/۲۹۸۷	۰/۴۶۰۸	۰/۵۴۳۳	۰/۰۰۵۱	.	۲/۴۳۳۱	۴۱۰	-۲/۴۰۱
۱	-۰/۳۱۱۹	۰/۵۴۷	-۰/۶۴۵۵	۱/۶۹۴۴	-۰/۶۷۸۴	-۰/۰۵۷۴	۷/۰۰۹۵	۰/۱۱۰۲	۰/۳۹۰۶	۰/۵۵۶۵	۰/۷۱۴۵	۰/۰۰۷۵	.	۱/۸۷۹۵	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۰/۳۷۳۵	۱/۰۰۰۴	-۰/۵۱۴۸	۱/۶۲۸۴	-۰/۵۱۴۹	-۰/۰۸۳۸	۶/۷۹	۰/۰۶۹۱	۰/۳۷۸۷	۰/۵۳۱۸	۰/۶۸۹۲	۰/۰۰۶۶	.	۱/۳۷۹۸	۴۰۰	-۱/۴۹
۱/۵	-۰/۷۱۵۶	۰/۹۹۲۲	-۰/۴۸۵۳	۱/۵۰۷۹	-۰/۷۰۰۷	-۰/۰۴۶	۷/۵۴۷۳	۰/۱۰۳۵	۰/۴۴۴۵	۰/۵۵۶۴	۰/۷۰۸۲	۰/۰۰۶۸	.	۰/۶۹۶۶	۴۰۰	-۱/۰۲۵
۱/۷۵	-۰/۷۲۲۴	۱/۳۳۱۹	-۰/۴۴۴۸	۱/۵۸۳۱	-۰/۵۲۳۳	-۰/۰۸۳	۷/۵۸۶۲	۰/۱۳۱	۰/۴۵۰۶	۰/۴۷۴۱	۰/۶۱۱	۰/۰۰۴۵	.	۰/۲۶۷۶	۴۰۰	-۰/۶۶۲
۲	-۰/۹۱۰۶	۱/۴۵۶۹	-۰/۲۱۵۶	۱/۴۰۸۴	-۰/۶۲۹	-۰/۰۶۵۷	۷/۷۴۴۷	۰/۱۶۶۲	۰/۴۳۶۲	۰/۴۵۵۷	۰/۵۵۵۷	۰/۰۰۲۶	.	-۰/۱۶۱۳	۴۰۰	-۰/۲۹۹
۳	-۱/۶۱۲۷	۱/۸۳۲۸	-۰/۰۴۱۶	۰/۱۴۷۴	-۰/۷۶۵	-۰/۰۲۳۷	۸/۰۰۶۵	۰/۱۱۷۷	۰/۴۵۷۹	۰/۴۴۳۴	۰/۴۴۳۴	۰/۰۰۱۳	.	-۰/۴۶۱۲	۴۰۰	.
۴	-۲/۲۶۴۷	۱/۸۴۱	۰/۰۸۴۷	۱/۱۴۰۶	-۰/۹۴۷۵	-۰/۰۱۶۳	۸/۰۹۵۳	۰/۱۶۶۸	۰/۴۱۹۷	۰/۳۳۸۷	۰/۳۲۴۷	۰/۰۰۰۲	-۰/۰۰۱۱	-۰/۴۲۹۱	۴۰۰	.

^۱ Silva

جدول ۲. ضرایب رگرسیونی مدل پیشنهادی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱.

T(sec)	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	k1	k2
۰/۰۴	۲/۰۵	۵/۲۳۷۶	۰/۱۰۲	۶/۲۴۰۱	۲/۷۴۶۵	-۰/۸۹۴۱	۳/۸۳۷۹	-۰/۳۶۲۳	-۰/۲۰۷۷	۰/۱۹۳۵	۰/۱۹۳۸	-۰/۰۰۲	.	۱/۳۴۴۱	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	۲/۰۸۷۶	۵/۱۲۴۴	۰/۰۹۵۲	۶/۱۷۴۶	۲/۶۵۵۳	-۰/۸۷۸۴	۳/۹۱۴۶	-۰/۳۶۰۸	-۰/۲۱۹۶	۰/۱۸۰۵	۰/۱۸۲۹	-۰/۰۰۳۴	.	۱/۳۸۶۳	۸۶۵	-۱/۲۱۹
۰/۰۴۴	۲/۱۰۶۹	۵/۰۴۹۸	۰/۰۸۹۷	۶/۰۹۹۹	۲/۶۰۶۴	-۰/۸۶۵۹	۳/۹۱۴۴	-۰/۳۶۱۱	-۰/۲۳۰۲	۰/۱۷۶۲	۰/۱۸۰۳	-۰/۰۰۲۵	.	۱/۳۵۵۴	۹۰۸	-۱/۲۷۳
۰/۰۴۶	۲/۰۹۶۲	۵/۰۲۱۳	۰/۰۸۰۲	۶/۰۴۰۱	۲/۵۵۰۸	-۰/۸۵۲۸	۳/۸۶۹۵	-۰/۳۶۷۴	-۰/۲۳۶۸	۰/۱۸۰۲	۰/۱۸۲۸	-۰/۰۰۲۲	.	۱/۳۸۴۵	۹۵۷	-۱/۲۹۷
۰/۰۴۸	۲/۰۵۵۲	۴/۹۶۹۵	۰/۰۰۰۶	۵/۹۸۱۸	۲/۵۱۱۶	-۰/۸۴۴۴	۳/۸۵۷۷	-۰/۳۵۷۳	-۰/۲۱۲۹	۰/۱۹۹۹	۰/۲۰۷۶	-۰/۰۰۱۷	.	۱/۵۱۱۷	۱۰۰۵	-۱/۳۲۲
۰/۰۵	۲/۰۳۹۳	۴/۹۱۴	۰/۰۹۵۹	۵/۹۳۸	۲/۴۸۰۲	-۰/۸۳۶۷	۳/۸۸۵۳	-۰/۳۴۶۴	-۰/۲۰۰۱	۰/۲۰۸۱	۰/۲۱۷۹	-۰/۰۰۱۶	.	۱/۵۳۴۹	۱۰۵۴	-۱/۳۴۶
۰/۱	۱/۷۵۷۶	۴/۳۴۰۳	۰/۲۲۵	۴/۸۲۶۱	۲/۱۱۴۱	-۰/۷۰۶۱	۵/۳۷۰۴	-۰/۳۰۹۷	-۰/۱۷۱۷	۰/۲۰۵۶	۰/۲۳۱۲	-۰/۰۰۱۱	.	۱/۸۴۵۲	۱۰۳۲	-۱/۶۲۴
۰/۱۵	۱/۰۱۵۴	۳/۷۵۹۲	۰/۱۵۶۶	۴/۴۶۷	۱/۷۲۵۸	-۰/۵۸۷۱	۵/۳۳۸۴	-۰/۲۰۷۲	-۰/۰۰۷۱	۰/۱۳۶۵	۰/۰۹۵۶	-۰/۰۰۲۵	.	۲/۱۰۰۹	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	۰/۰۰۹۶	۳/۴۷۹	۰/۱۵۱۵	۳/۹۸۳۸	۱/۵۸۴۷	-۰/۵۲۹۸	۵/۰۷۳۲	-۰/۱۳۱۱	۰/۰۳۷۱	۰/۲۰۹۱	۰/۲۹۳۴	-۰/۰۰۰۲	.	۲/۳۴۵۴	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	-۰/۳۷۹۵	۳/۰۱۹۱	۰/۰۲۲۳	۳/۷۷۱۲	۱/۲۵۸۶	-۰/۴۵۳۵	۴/۹۸۶۴	-۰/۰۹۷۳	۰/۱۸۲۷	۰/۲۳۰۸	۰/۳۱۴۱	۰/۰۰۰۲	.	۲/۵۳۶۲	۶۵۴	-۲/۳۸۱
۰/۳	-۰/۶۴۲۲	۲/۰۷۰۷	-۰/۰۸۹۹	۳/۶۵۶۷	۱/۱۱۱۸	-۰/۴۰۷۷	۴/۶۱۷۷	-۰/۱۱۰۵	۰/۱۷۷۱	۰/۲۳۰۴	۰/۲۹۵۹	۰/۰۰۲۲	.	۲/۶۵۱۲	۵۸۷	-۲/۵۱۸
۰/۴	-۱/۰۰۶۹۷	۲/۴۹۶۵	-۰/۱۲۴۶	۳/۱۸۳	۱/۰۹۸۶	-۰/۳۷۸۶	۳/۴۴۲۲	-۰/۱۰۷۸	۰/۲۳۵۶	۰/۴۳۰۵	۰/۴۵۹۸	۰/۰۰۴۷	.	۲/۷۷۴۶	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	-۰/۸۹۷۲	۲/۴۷۳۳	-۰/۲۶۶۴	۳/۳۶۸۵	۰/۹۲۵۵	-۰/۳۵۱۸	۵/۶۴۶۹	-۰/۰۴۶۱	۰/۲۳۶۹	۰/۴۳۴۸	۰/۴۴۳۶	۰/۰۰۴۲	.	۲/۷۶۹۱	۴۵۷	-۲/۶۶۹
۰/۷۵	-۱/۵۷۱	۱/۰۰۹۳	-۰/۵۲۸۳	۲/۳۴۶۱	-۰/۱۳۳۸	-۰/۱۳۳۹	۶/۲۱۰۳	۰/۰۷۸۲	۰/۲۸۰۱	۰/۴۷۰۴	۰/۵۵۴۱	۰/۰۰۴۹	.	۲/۴۴۸۴	۴۱۰	-۲/۴۰۱
۱	-۱/۶۳۲۱	۰/۶۲۴۵	-۰/۶۳۴۹	۱/۵۵۳۵	-۰/۵۸۹۳	-۰/۰۷۰۳	۶/۶۸۲۴	۰/۱۰۸۹	۰/۳۷۲۱	۰/۵۲۳۱	۰/۶۶۴۷	۰/۰۰۶۹	.	۱/۸۸۲۵	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۱/۳۳۶	۰/۸۴۱۵	-۰/۵۴۵۴	۱/۵۸۲۱	-۰/۶۷۳۸	-۰/۰۵۵۹	۷/۳۳۶۸	۰/۰۷۳۳	۰/۳۳۳۳	۰/۴۹۲	۰/۶۳۷۱	۰/۰۰۵۹	.	۱/۲۷۸۹	۴۰۰	-۱/۴۹
۱/۵	-۱/۲۶۴۶	۰/۹۳۲۷	-۰/۵۰۱۴	۱/۵۰۰۴	-۰/۸۲۵۵	-۰/۰۳۵۶	۸/۰۷۴۲	۰/۰۹۷۶	۰/۴۲۰۸	۰/۵۲۵۳	۰/۶۸۲۴	۰/۰۰۶۳	.	۰/۷۰۲۵	۴۰۰	-۱/۰۲۵
۱/۷۵	-۰/۹۷۵۳	۱/۳۶۹۲	-۰/۳۵۴۹	۱/۵۸۷۵	-۰/۶۰۵	-۰/۰۷۰۶	۷/۹۸۴	۰/۱۲۵۵	۰/۴۲۸۹	۰/۴۴۹۳	۰/۵۷۷۱	۰/۰۰۰۴	.	۰/۲۶۷۹	۴۰۰	-۰/۶۶۲
۲	-۰/۹۵۳۴	۱/۳۵۴۸	-۰/۳۲۲۹	۱/۳۴۵۲	-۰/۷۴۳۱	-۰/۰۴۵۵	۸/۰۶۸۷	۰/۱۶۲۲	۰/۴۳۳	۰/۴۲۱۶	۰/۵۴۷۶	۰/۰۰۲۴	.	-۰/۱۶۱۹	۴۰۰	-۰/۲۹۹
۳	-۰/۷۹۸۶	۱/۸۰۵	-۰/۰۴۸۴	۱/۴۵۸۸	-۰/۸۱۰۹	-۰/۰۲۴۷	۸/۱۲۳۳	۰/۱۷۲۱	۰/۴۵۳۳	۰/۳۴۱۳	۰/۴۱۰۵	۰/۰۰۱۳	.	-۰/۴۶۸۸	۴۰۰	.
۴	-۰/۸۶۳۸	۱/۸۶۱	۰/۰۷۶۷	۱/۱۸۴۹	-۰/۹۴۴۳	۰/۰۱۵۴	۸/۱۷۶۳	۰/۱۶۸۸	۰/۴۳۱۲	۰/۲۳۷۷	۰/۳۱۷۹	۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۱	-۰/۴۲۷۷	۴۰۰	.

جدول ۴. انحراف‌های استاندارد و ضریب اثر تصادفی مدل

پیشنهادی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱.

T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{s2s}	ϕ_{ss}	Δz_{13}
۰/۰۴	۱/۳۵۹۸	۰/۳۹۷۴	۰/۶۵۷۴	۱/۱۲۲	.
۰/۰۴۲	۱/۳۴۵۶	۰/۴۰۲۲	۰/۶۵۴۰	۱/۱۰۵۱	.
۰/۰۴۴	۱/۳۳۱	۰/۴۰۲۰	۰/۶۵۲۳	۱/۰۸۸۳	.
۰/۰۴۶	۱/۳۱۸۳	۰/۴۰۰۲	۰/۶۴۹۱	۱/۰۷۵۴	.
۰/۰۴۸	۱/۳۰۴۶	۰/۳۹۷۷	۰/۶۴۳۵	۱/۰۵۶۸	.
۰/۰۵	۱/۲۹۱۳	۰/۳۹۳۲	۰/۶۴۰۶	۱/۰۴۳۸	.
۰/۱	۱/۰۲۵۸	۰/۳۴۱۷	۰/۵۳۷۶	۰/۸۱۰۷	.
۰/۱۵	۰/۸۸۸۵	۰/۳۰۹۰	۰/۵۱۶۲	۰/۶۵۳۸	.
۰/۲	۰/۸۱۹۳	۰/۲۶۴۵	۰/۵۰۹۶	۰/۵۸۴۵	.
۰/۲۵	۰/۷۶۹۴	۰/۲۴۷۷	۰/۴۳۹۵	۰/۵۸۰۹	.
۰/۳	۰/۷۴۰۳	۰/۲۱۷۹	۰/۴۲۳۱	۰/۵۶۷۱	.
۰/۴	۰/۷۰۸۸	۰/۱۹۳۵	۰/۴۰۳۳	۰/۵۴۹۸	.
۰/۵	۰/۶۹۰۳	۰/۱۹۳۴	۰/۳۷۴۲	۰/۵۴۶۹	.
۰/۷۵	۰/۷۰۳۸	۰/۲۰۵۶	۰/۳۸۱۳	۰/۵۵۴۷	.
۱	۰/۷۱۷۵	۰/۲۴۱۷	۰/۴۰۳۶	۰/۵۴۱۸	.
۱/۲۵	۰/۷۳۳۳	۰/۲۸۱۳	۰/۴۱۷۷	۰/۵۳۳۱	.
۱/۵	۰/۷۴۷۲	۰/۲۸۵۶	۰/۴۲۵۴	۰/۵۴۳۹	.
۱/۷۵	۰/۷۵۶۲	۰/۲۹۶۴	۰/۴۴۹۸	۰/۵۳۰۷	.
۲	۰/۷۵۵۱	۰/۳۱۳۴	۰/۴۴۸۱	۰/۵۲۱۳	.
۳	۰/۷۷۳۱	۰/۴۰۲۰	۰/۴۴۱۱	۰/۴۹۱۵	.
۴	۰/۷۸۵۲	۰/۴۵۴۴	۰/۴۳۰۲	۰/۴۷۴۴	.

غیرکشسان شدن پاسخ را تضمین نمی کنند، بنابراین انتظار می رود معادلات نیز طیف‌هایی با هر دو نوع پاسخ کشسان و غیرکشسان را تخمین بزنند. ضرایب رگرسیونی و انحراف‌های استاندارد مدل پیشنهادی، در پیش‌بینی طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ و طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱ در جدول‌های ۱ الی ۴ ارائه شده‌اند. ضرایب رگرسیونی و انحراف‌های استاندارد طیف‌های شبه‌شتاب در میرایی‌های ۲ و ۱۰ درصد و طیف‌های جابجایی با نسبت مقاومت به وزن برابر با ۰/۰۵، ۰/۰۷، ۰/۰۲، و ۰/۳ در جدول‌های پیوست ارائه شده است.

هنگام انجام مطالعات خطر لرزه‌یی، دو نوع عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شود:

جدول ۳. انحراف‌های استاندارد و ضریب اثر تصادفی مدل پیشنهادی

در تخمین پیشینه‌ی شتاب سنگ بستر، پیشینه‌ی شتاب زمین، و

طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪.

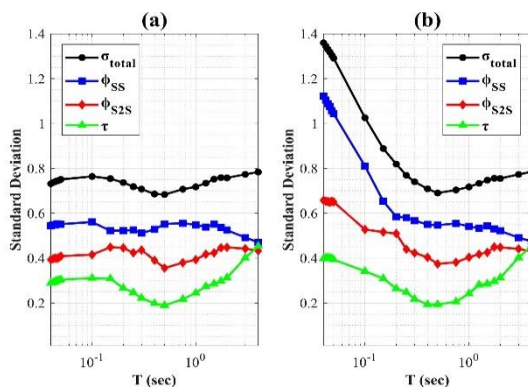
T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{s2s}	ϕ_{ss}	Δz_{13}
PGA _{ROCK} (g)					
PGA(g)					
۰/۰۴	۰/۷۲۸۷	.	.	.	.
۰/۰۴۲	۰/۶۸۹۶	۰/۲۵۰۸	۰/۳۶۷۶	۰/۵۲۶۸	.
۰/۰۴۴	۰/۷۳۱۷	۰/۲۸۹۴	۰/۳۹۳۱	۰/۵۴۵۱	.
۰/۰۴۶	۰/۷۳۷۱	۰/۲۹۱۱	۰/۳۹۷۰	۰/۵۴۸۶	.
۰/۰۴۸	۰/۷۴۰۴	۰/۲۹۵۷	۰/۳۹۹۷	۰/۵۴۸۶	.
۰/۰۵	۰/۷۴۴۶	۰/۲۹۹۸	۰/۳۹۸۵	۰/۵۵۲۹	.
۰/۱	۰/۷۴۶۷	۰/۳۰۱۹	۰/۴۰۳۰	۰/۵۵۱۴	.
۰/۱۵	۰/۷۵۰۹	۰/۳۰۴۰	۰/۴۰۸۸	۰/۵۵۱۶	.
۰/۲	۰/۷۶۴	۰/۳۱۰۸	۰/۴۱۵۳	۰/۵۶۰۹	.
۰/۲۵	۰/۷۵۴۳	۰/۳۰۸۴	۰/۴۸۸۷	۰/۵۲۲	.
۰/۳	۰/۷۳۶۹	۰/۲۶۶۶	۰/۴۴۳۹	۰/۵۲۲۹	.
۰/۴	۰/۷۱۸۴	۰/۲۴۶۴	۰/۴۳۳۶	۰/۵۲۵	.
۰/۵	۰/۷۰۷۶	۰/۲۳۱۹	۰/۴۳۵۹	۰/۵۱۱۳	.
۰/۷۵	۰/۶۸۵۹	۰/۱۹۷۹	۰/۳۹۰۳	۰/۵۲۸۲	.
۱	۰/۶۸۳۴	۰/۱۸۹۲	۰/۳۵۵۵	۰/۵۵۲۱	.
۱/۲۵	۰/۷۰۷۳	۰/۲۱۶۹	۰/۳۷۹۷	۰/۵۵۵۹	.
۱/۵	۰/۷۱۷۷	۰/۲۴۴۵	۰/۳۹۳۱	۰/۵۴۸۵	.
۱/۷۵	۰/۷۳۴۳	۰/۲۷۳۹	۰/۴۱۷۴	۰/۵۳۸۵	.
۲	۰/۷۵۲۱	۰/۲۸۵۷	۰/۴۳۳۶	۰/۵۵۲	.
۳	۰/۷۵۹	۰/۲۹۷۸	۰/۴۴۶۳	۰/۵۳۶۸	.
۴	۰/۷۵۷۶	۰/۳۱۲۹	۰/۴۴۸۱	۰/۵۲۴۷	.
۵	۰/۷۷۳۵	۰/۴۰۰۹	۰/۴۴۲۲	۰/۴۹۱۹	.
۶	۰/۷۸۳۹	۰/۴۵۳۳	۰/۴۳۲۸	۰/۴۷۰۸	.

رویکرد اصلی برای تعیین ضرایب و بررسی تغییرات منطقه‌یی که در قسمت آثار تصادفی در نظر گرفته شده است، استفاده شده است. جزئیات الگوریتم به کار گرفته شده در رویکرد اخیر در نوشتار لیندستورم و باتس (۱۹۹۰)،^[۷] ارائه شده است. مقادیر AIC و BIC و لگاریتم درست‌نمایی قالب‌های کاندید با یکدیگر مقایسه شدند تا یک قالب مدل مناسب، که در حین سادگی بتواند مطابقت بهتری با داده‌ها داشته باشد، حاصل شود. در مدل مطالعه‌ی حاضر به پیش‌بینی مقادیر طیفی شبه‌شتاب و جابجایی کشسان و غیرکشسان در میرایی‌ها و دوره‌های تناوبی منتخب پرداخته شده است. برای طیف‌های جابجایی در مطالعه‌ی حاضر، از آنجا که طیف‌های مقاومت به وزن ثابت،

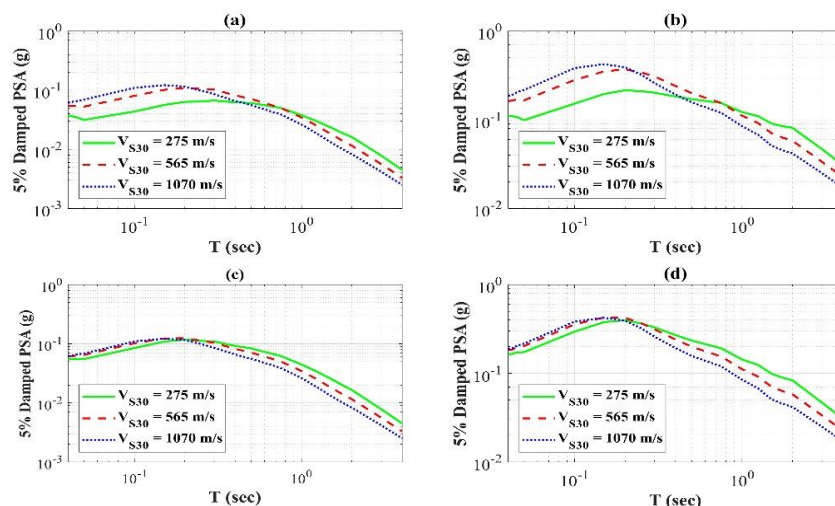
شناختی^۱ و ذاتی^۲.

در شکل ۳، انحراف‌های استاندارد ذکر شده به‌عنوان تابعی از دوره‌ی تناوبی در تخمین طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ و طیف جابجایی با پتانسیل پاسخ غیرکشسان در نسبت مقاومت به وزن ۰/۱ مشاهده می‌شوند. انحراف‌های استاندارد مذکور در شکل ۳ در واحدهای لگاریتم طبیعی مشاهده می‌شوند، تا بتوان آن‌ها را با به‌راحتی با انحراف‌های استاندارد موجود در ادبیات مقایسه کرد. مقادیر انحراف‌های استاندارد حاصل در مطالعه‌ی حاضر در تخمین طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪، اندکی کمتر از مقادیر انحراف‌های استاندارد حاصل در نوشتار فرج‌پور و همکاران،^[۱۴] بوده‌اند. مقادیر انحراف‌های استاندارد بالا در دوره‌های تناوبی کوتاه در طیف‌های جابجایی، با توجه به مقادیر کوچک جابجایی و پراکندگی بالای آن‌ها در این دوره‌های تناوبی قابل توجه هستند.

در شکل ۴، وابستگی مدل پیشنهادی به $V_{S\tau}$ در تخمین طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ در بزرگای ۶ و ۷ و نیز مقادیر $V_{S\tau}$ انتخاب شده، به‌عنوان نماینده‌ی هر رده‌ی ساختمانی در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ مشاهده می‌شوند. در شکل ۴، برای حصول طیف‌ها، بیشینه‌ی شتاب سنگ بستر برابر با ۰/۱g و ۰/۵g و فاصله‌ی رومرکزی برابر با ۴۰ کیلومتر در نظر گرفته شده‌اند. نمودارهای شکل اخیر، در



شکل ۳. تغییرات انحراف‌های استاندارد کل و مؤلفه‌های آن در مقابل دوره تناوب، در تخمین: (الف) طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ و (ب) طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱ (انحراف‌های استاندارد در واحد لگاریتمی ارائه شده‌اند).



شکل ۴. وابستگی مدل پیشنهادی در پیش‌بینی طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ به $V_{S\tau}$ ، در فاصله‌ی رومرکزی ۴۰ کیلومتری، و در: (الف) بزرگای ۶ و بیشینه‌ی شتاب سنگ‌بستر ۰/۵g، (ب) بزرگای ۶ و بیشینه‌ی شتاب سنگ‌بستر ۰/۱g، (ج) بزرگای ۷ و بیشینه‌ی شتاب سنگ‌بستر ۰/۵g، و (د) بزرگای ۷ و بیشینه‌ی شتاب سنگ‌بستر ۰/۱g.

عدم قطعیت ذاتی، تغییرپذیری ناشی از فرآیند فیزیکی طبیعی است. عدم قطعیت شناختی ناشی از عدم آگاهی در مورد زلزله و آثار آن است. عدم قطعیت‌های ذاتی مستقیماً در ارزیابی احتمالی خطر لرزه‌ی اعمال می‌شوند و عدم قطعیت‌های شناختی نیز معمولاً با ترکیب چند مدل در یک درخت منطق^۲ در نظر گرفته می‌شوند.^[۱۴] در مطالعه‌ی حاضر، با پیروی از نام‌گذاری آتیک و همکاران (۲۰۱۰)،^[۲۸] سیگمای ارگودیک به‌صورت رابطه‌ی ۱۱ تعریف می‌شود:

$$\sigma_{ergodic} = \sqrt{\tau^2 + \phi^2} \quad (11)$$

که در آن، τ انحراف استاندارد میان‌رویدادی و ϕ انحراف استاندارد درون‌رویدادی است. باقیمانده‌ی درون‌رویدادی را می‌توان به دو بخش باقیمانده‌ی رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده (δWS_{es}) و باقیمانده‌ی ایستگاه به ایستگاه ($\delta S_{\tau S}$) تجزیه کرد. انحراف‌های استاندارد δWS_{es} و $\delta S_{\tau S}$ به‌ترتیب با ϕ_{SS} و $\phi_{S\tau S}$ نشان داده شده‌اند (رابطه‌ی ۱۲):

$$\phi^2 = \phi_{SS}^2 + \phi_{S\tau S}^2 \quad (12)$$

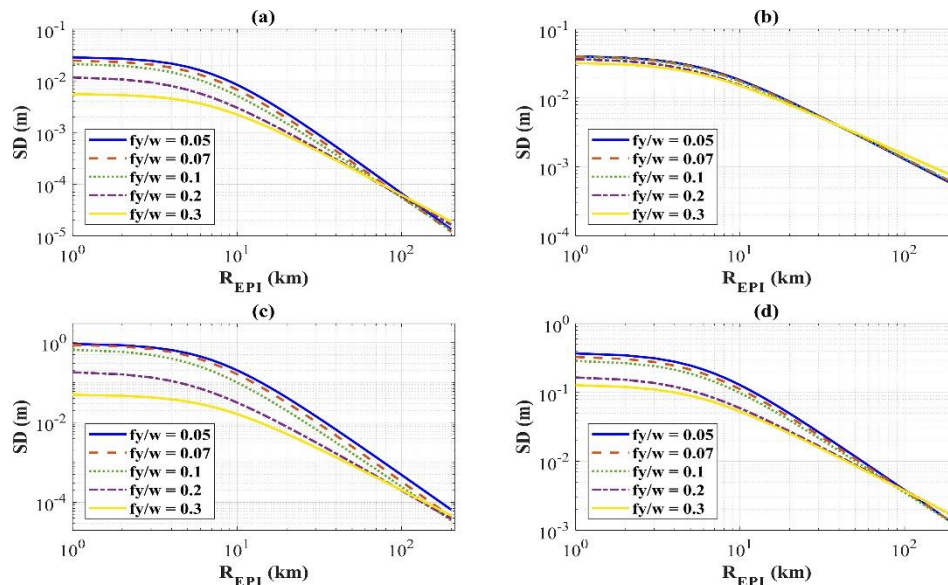
لذا معادله‌ی ۱۱ به‌صورت معادله‌ی ۱۳ بازنویسی شده است:

$$\sigma_{ergodic} = \sqrt{\tau^2 + \phi_{SS}^2 + \phi_{S\tau S}^2} \quad (13)$$

به پیروی از نوشتار صداقتی و پزشک (۲۰۱۷)،^[۱۲] یک روش مؤلفه‌ی واریانس مدل اثر مختلط برای تجزیه‌ی خطای مدل به سه بخش استفاده شده است، که با استفاده از اصطلاحات (آل آتیم و همکاران ۲۰۱۰)^[۲۸] به‌صورت:

(۱) انحراف استاندارد میان‌رویدادی τ ، (۲) انحراف استاندارد ایستگاه به ایستگاه $\phi_{S\tau S}$ ، و (۳) انحراف استاندارد تک ایستگاهی درون‌رویدادی ϕ_{SS} نام‌گذاری شدند.

^۲ Logic tree^۱ Epistemic Uncertainty^۲ Aleatory Uncertainty



شکل ۵. کاهندگی مقادیر طیفی جابجایی با پتانسیل پاسخ غیرکشسان به عنوان تابعی از فاصله در نسبت های مقاومت به وزن های: ۰/۵، ۰/۰۷، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴: (الف) دوره های تناوب ۰/۱ ثانیه و بزرگای ۶، (ب) دوره ی تناوب ۰/۵ ثانیه و بزرگای ۶، (ج) دوره ی تناوب ۰/۱ ثانیه و بزرگای ۷، و (د) دوره ی تناوب ۰/۵ ثانیه و بزرگای ۷.

در شکل ۶، مقادیر طیفی شبه شتاب پیش بینی شده در دوره های تناوبی ۱ و ۲ ثانیه و برای میرایی های مختلف مشاهده می شود. مطابق انتظار با افزایش میرایی، مقادیر طیفی پیش بینی شده در تمامی موارد کاهش یافته اند. همچنین مقایسه ی انحراف استاندارد مدل پیشنهادی در پیش بینی طیف های شبه شتاب با میرایی های مختلف نشان داده است که با افزایش میرایی، مقادیر طیفی پیش بینی شده در تمامی موارد کاهش یافته است. همچنین مقایسه ی انحراف استاندارد مدل پیشنهادی در پیش بینی طیف های شبه شتاب با میرایی های مختلف نشان داد که با افزایش میرایی، انحراف استاندارد معادله ها کاهش یافته است؛ چرا که در طیف های پاسخ رکوردها با میرایی های بزرگ تر، مقادیر طیفی به لحاظ بزرگی به هم نزدیک تر هستند و در نتیجه پراکندگی کمتری دارند و تخمین آن ها نیز منجر به باقیمانده هایی با انحراف های استاندارد کمتر می شود.

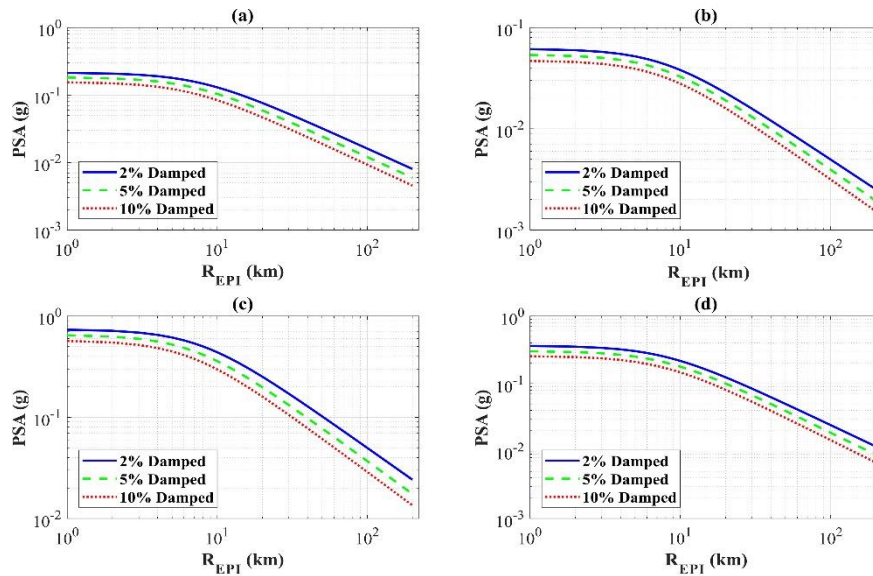
در شکل های ۷ و ۸، ویژگی های مقیاس بندی بزرگا مشاهده می شوند، که توسط مدل مطالعه ی حاضر در ۱۲۰، ۶۰، و $R_{EPI}=20$ کیلومتر و V_{SR} برابر ۷۶۰ متر بر ثانیه برای طیف شبه شتاب با میرایی ۵٪ و طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱ پیش بینی شده است. مطابق شکل ۷، مدل توسعه یافته در بزرگای بزرگ، فواصل کوتاه، و دوره های تناوبی کوتاه، اشباع بیش از حد زیادی نشان نمی دهد. از آنجایی که اتفاق نظر بین پژوهشگران و زلزله شناسان برای جلوگیری از اشباع بیش از حد در مدل های جنبش زمین است (به عنوان مثال، به نوشتارهای ۱۲ و ۱۵ مراجعه شود)، رویکرد مطالعه ی حاضر منطقی به نظر می رسد. رفتار مشابهی با در نظر گرفتن سایر مقادیر V_{SR} مشاهده شده است.

به لحاظ بزرگی به هم نزدیک تر هستند و در نتیجه پراکندگی کمتری دارند و تخمین آن ها نیز منجر به باقیمانده هایی با انحراف های استاندارد کمتر می شود.

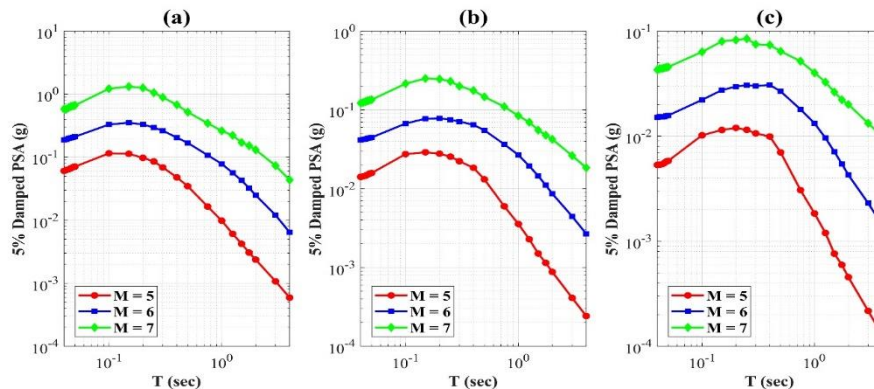
واقع نتایج حاصل از پیش بینی های مدل به ازاء مقادیر خاصی از پارامترهای پیش بینی کننده هستند. مطابق شکل ۴، در دوره های تناوبی کوتاه، خاک های سخت (V_{SR} بیشتر) مقادیر طیفی شبه شتاب بیشتری نسبت به خاک های نرم (V_{SR} کمتر) داشته و این نکته در دوره های تناوبی بلند برعکس بوده است. همچنین کاملاً مشهود است که در بزرگای بزرگ و بیشینه ی شتاب های سنگ بستر بزرگ، آثار رده ی ساختگاهی بیشتر نمایان شده است. بررسی وابستگی سایر طیف های هدف به V_{SR} نتایج مشابهی را منجر شده اند. نتیجه گیری و نمودارهای مشابهی در بررسی تأثیر V_{SR} در تخمین طیف های شبه شتاب در نوشتار کمپل^۱ و بزرگ نیا (۲۰۱۴)،^[۱۶] ارائه شده است.

در شکل ۵، کاهندگی مقادیر طیفی جابجایی در دوره های تناوبی ۰/۱ و ۰/۵ ثانیه به عنوان تابعی از فاصله ی رومرکزی در بزرگای گشتاوری ۶ و ۷ برای نسبت های مختلف مقاومت به وزن در نظر گرفته شده مشاهده می شود؛ که مطابق آن، در بزرگای کوچک و یا فواصل دور، مقادیر طیفی جابجایی در نسبت های مختلف مقاومت به وزن به یکدیگر نزدیک تر هستند. این نکته به خصوص در دوره های تناوبی بلند مشخص تر شده است؛ چرا که از طرفی، حرکت های زمین در فواصل دور از منبع به علت تضعیف آن ها، به ندرت منجر به پاسخ غیرکشسان می شوند و در فواصل مذکور، بیشتر پاسخ ها از نوع کشسان هستند؛ و از طرفی دیگر، در دوره های تناوبی بلند، به دلیل نرمی سازه، رکوردهای با بزرگای کوچک، به ندرت منجر به پاسخ غیرکشسان می شوند. در حالی که در دوره های تناوبی کوتاه، این گونه نیست و غالباً پاسخ ها از نوع غیرکشسان هستند. برای مجموعه ی رکوردهای پایگاه داده ی مذکور، در دوره های تناوبی میانی (تقریباً ۰/۱ تا ۰/۵ ثانیه) بیشترین تعداد و در دوره های تناوبی بلند، کمترین تعداد رکوردها با پاسخ غیرکشسان وجود دارد. لذا در دوره های تناوبی بلند، بیشتر پاسخ ها از نوع کشسان هستند و از این رو طیف های تخمینی مدل پیشنهادی نیز رفتاری مشابه دارند.

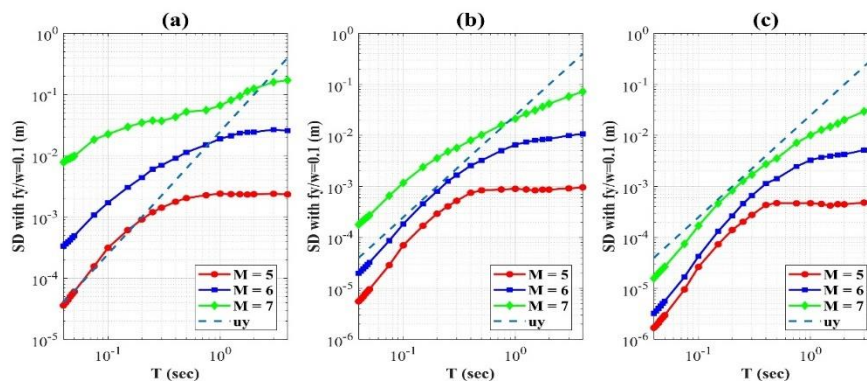
^۱ Campbell



شکل ۶. کاهندگی مقادیر طیفی شبه‌شتاب به‌عنوان تابعی از فاصله درمیرایی‌های ۲، ۵، و ۱۰ درصد، و در: (الف) دوری تناوب ۱ ثانیه و بزرگای ۶، (ب) دوری تناوب ۲ ثانیه و بزرگای ۶، (ج) دوری تناوب ۱ ثانیه و بزرگای ۷، و (د) دوری تناوب ۲ ثانیه و بزرگای ۷.



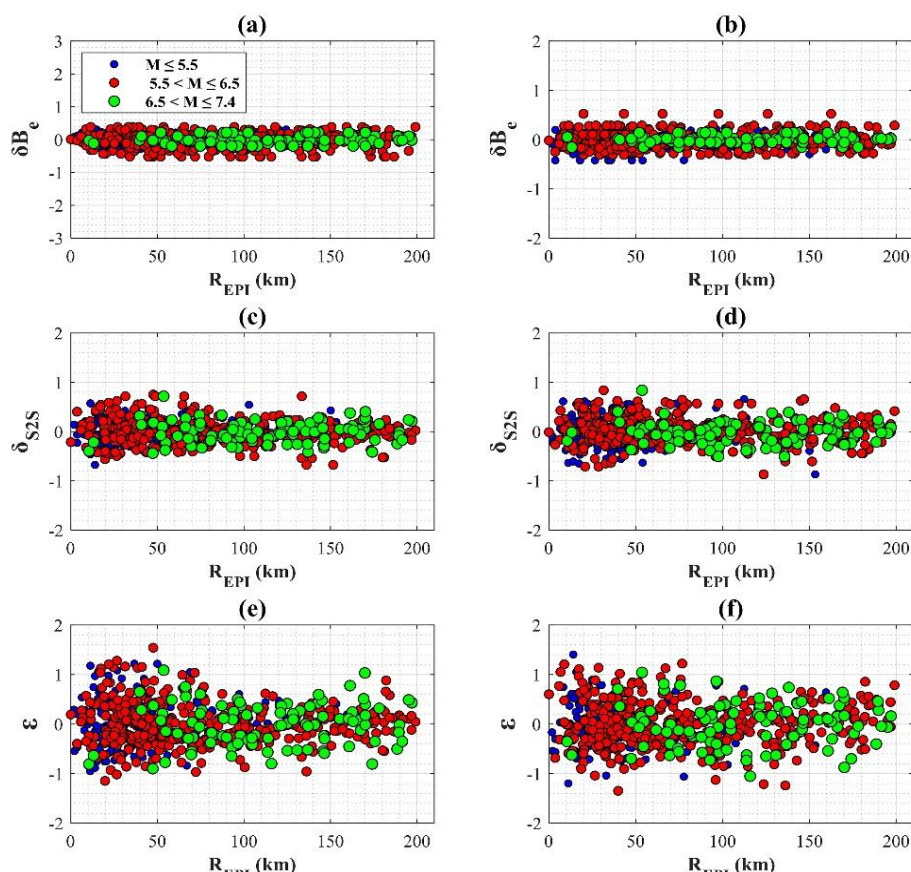
شکل ۷. طیف‌های شبه‌شتاب پیش‌بینی‌شده با میرایی ۵٪، در بزرگای ۵، ۶ و ۷، و $V_{SR}=760$ m/s، در: (الف) فاصله‌ی رومرکزی ۲۰ کیلومتری، (ب) فاصله‌ی رومرکزی ۶۰ کیلومتری، و (ج) در فاصله‌ی رومرکزی ۱۲۰ کیلومتری.



شکل ۸. طیف‌های جابجایی پیش‌بینی‌شده با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱، در بزرگای ۵، ۶ و ۷، و $V_{SR}=760$ m/s، در: (الف) فاصله‌ی رومرکزی ۲۰ کیلومتری، (ب) فاصله‌ی رومرکزی ۶۰ کیلومتری، و (ج) فاصله‌ی رومرکزی ۱۲۰ کیلومتری.

بزرگای کوچک، غالباً جابجایی از نوع کشسان بوده است و بندرت در محدوده‌های مذکور می‌توان پاسخ طیفی از نوع غیرکشسان پیدا کرد. در شکل ۸، به‌خوبی اهمیت فواصل نزدیک و بزرگای بزرگ مشاهده می‌شود. میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه، و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده به‌ترتیب در

در شکل ۸، خطوط بریده، بیانگر جابجایی تسلیم هستند و برای تشخیص نوع پاسخ طیفی ترسیم شده‌اند. به‌طوری که کمتر از آن نیز از نوع کشسان است. همچنین در شکل ۸، مطابق انتظار در طیف‌های جابجایی تخمین‌زده‌شده، هر دو نوع پاسخ کشسان و غیرکشسان وجود دارند. علاوه‌بر این، در فواصل دور و



شکل ۹. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه، و رویداد- ایستگاه تصحیح‌شده‌ی مدل پیشنهادی در تخمین مقدار طیفی جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱ در مقابل فاصله‌ی رومرکزی در دوره‌ی تناوب ۰/۱ ثانیه (به ترتیب: الف، ج، ه) و در دوره‌ی تناوب ۱ ثانیه (به ترتیب: ب، د، و).

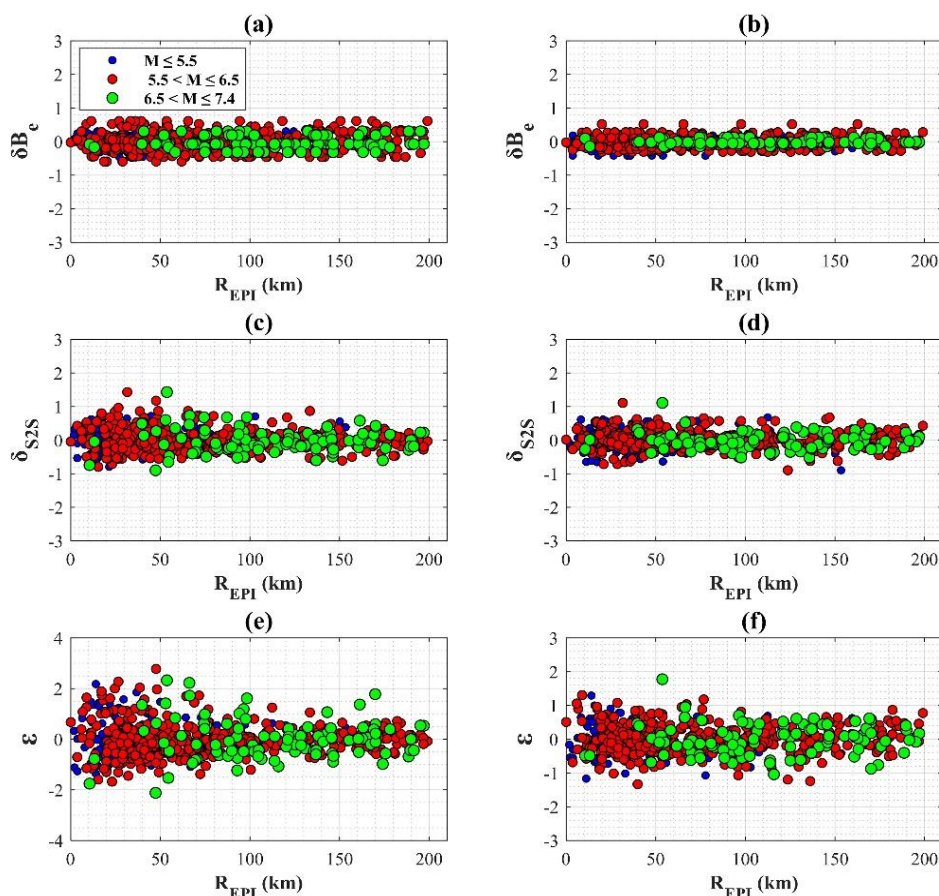
باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه‌ی نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آن‌هاست.

نمی‌شود؛ در حالی که مدل مطالعه‌ی حاضر، آخرین رویدادهای ایران را نیز در بر می‌گیرد. مقایسه‌ی مدل‌ها می‌تواند شامل مقایسه‌ی میانه‌ی پیش‌بینی‌ها و انحراف‌های استاندارد مدل‌ها باشد. با توجه به اینکه مدل‌های توسعه‌یافته‌ی پیشین، فقط بر روی طیف شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ و بیشینه‌های حرکتی زمین متمرکز بوده‌اند؛ بنابراین، امکان مقایسه‌ی مدل‌ها فقط در این زمینه‌ها وجود دارد. از طرفی دیگر، معیار فاصله‌ی استفاده‌شده در نوشتار فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] فاصله‌ی گسیختگی (R_{RUP}) بوده است؛ اما در مطالعه‌ی حاضر، از معیار فاصله‌ی رومرکزی استفاده شده است و تخمینی از R_{RUP} برای رکوردها وجود ندارد. بنابراین، مقایسه‌ی میانه‌ی مدل‌ها به این صورت انجام شد که ابتدا رکوردهای مشترک بین پایگاه داده در نوشتار فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] و پایگاه داده‌ی مطالعه‌ی حاضر انتخاب شدند. این مجموعه شامل ۲ ۶۵ رکورد بوده است. سپس میانه‌ی مقادیر تخمین‌زده‌شده برای هر رکورد با استفاده از پایگاه داده و معادلات هر مدل به‌طور مجزا محاسبه شدند. سرانجام میانه‌ی مقادیر تخمینی هر مدل با مقادیر مشاهده‌شده مقایسه شده‌اند. در شکل ۱۱، مقایسه‌ی اخیر برای بیشینه‌ی شتاب زمین و مقادیر طیفی شبه‌شتاب در دوره‌های تناوبی ۰/۱، ۱، و ۴ ثانیه برحسب لگاریتم طبیعی g مشاهده می‌شود. در نمودارهای شکل ۱۱، محور افقی و محور قائم به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده و میانه‌ی پیش‌بینی‌شده هستند. نیم‌ساز نمودارها، حالت ایده‌آل است که روی آن مقادیر مشاهده‌شده و مقادیر میانه‌ی پیش‌بینی برابر هستند. نقاط آبی رنگ و نقاط قرمز رنگ در هر نمودار، مقادیر مشاهده‌شده در مقابل میانه‌ی پیش‌بینی‌شده را به ترتیب برای مدل مطالعه‌ی حاضر و مدل فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] نشان

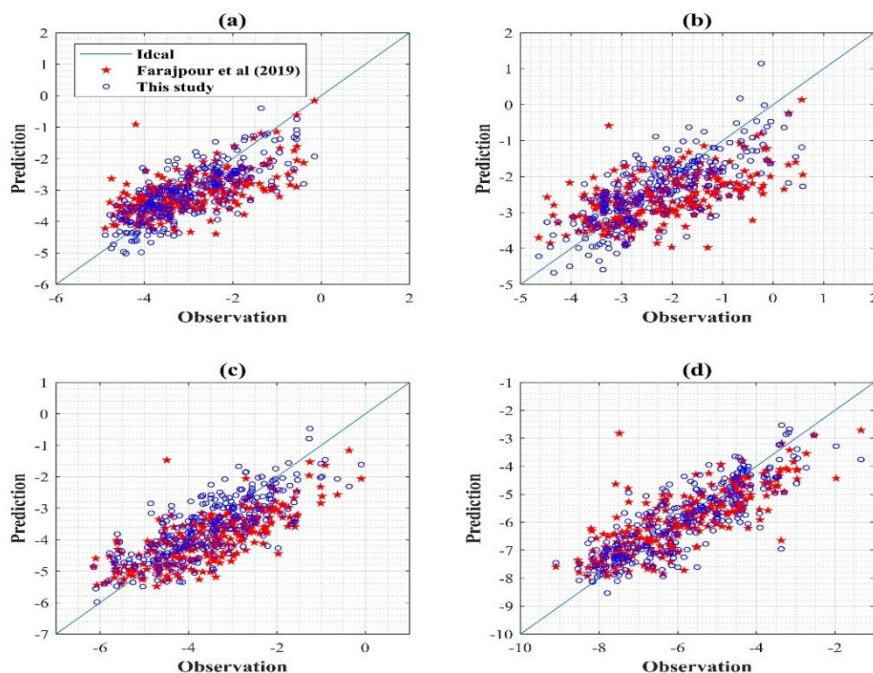
مقابل بزرگا، V_{S۳۰}، و فاصله، به ترتیب مناسب بودن یا نبودن مقیاس‌بندی بزرگای منبع، مقیاس‌بندی V_{S۳۰} ایستگاه و مقیاس‌بندی فاصله را در مدل پیشنهادی توصیف می‌کنند. در شکل‌های ۹ و ۱۰، توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه، و رویداد- ایستگاه تصحیح‌شده در برابر فاصله‌ی رومرکزی مشاهده می‌شوند، تا اعتبار میانه‌ی مدل مطالعه‌ی حاضر را برای بیشینه‌ی شتاب زمین و مقدار طیفی شبه‌شتاب با میرایی ۵٪ در دوره‌ی تناوبی ۱/۰ ثانیه و طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱ در دوره‌های تناوبی ۰/۱ و ۱ ثانیه به‌عنوان تابعی از فاصله‌ی رومرکزی بررسی کند. در مطالعه‌ی حاضر، در ارائه‌ی نمودارهای توزیع باقیمانده‌ها از نتایج نوشتار فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] پیروی شده است؛ اما در هر صورت شکل‌های بیشتر در پیوست جهت بررسی‌های بیشتر اعتبار میانه‌ی مدل در میرایی‌ها و نسبت‌های مقاومت به وزن مختلف در مقابل سایر پارامترهای مدل ارائه شده است. ارزیابی شکل‌های اخیر، توزیع تصادفی باقیمانده‌ها را منجر می‌شود، که نشان می‌دهد هیچ سوگیری و هیچ روند قابل توجهی وجود ندارد و پیش‌بینی‌های مدل با مشاهده‌ها مطابقت خوبی دارند. البته می‌توان اشاره کرد که در فواصل کوتاه و مخصوصاً در پیش‌بینی بیشینه‌ی شتاب زمین، اندکی محدوده‌ی باقیمانده‌ها بزرگ‌تر است، که با توجه به استفاده از معیار فاصله‌ی ساده‌تر در مدل پیشنهادی قابل انتظار است.

۶. مقایسه با مدل‌های قبلی

مدل توسعه‌یافته در مطالعه‌ی حاضر با مدل فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)^[۱۴] مقایسه شده است. مدل ایشان، رویدادهای ایرانی بعد از سال ۲۰۱۳ را شامل



شکل ۱۰. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه، و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده‌ی مدل پیشنهادی در تخمین مقدار طیفی جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۱ در مقابل فاصله‌ی رومرکزی در دوره‌ی تناوب ۰/۱ ثانیه (به‌ترتیب: الف، ج، ه) و در دوره‌ی تناوب ۱ ثانیه (به‌ترتیب: ب، د، و). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه‌ی نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آن‌هاست.



شکل ۱۱. مقایسه‌ی میانه تخمین‌های مدل‌های مطالعه‌ی حاضر و نوشتار فرج‌پور و همکاران،^[۱۴] با مقادیر مشاهده‌شده در: (الف) بیشینه‌ی شتاب زمین، (ب) مقدار طیفی شبه‌شتاب در دوره‌ی تناوب ۰/۱ ثانیه، (ج) مقدار طیفی شبه‌شتاب در دوره‌ی تناوب ۱ ثانیه، و (د) مقدار طیفی به‌شتاب در دوره‌ی تناوب ۴ ثانیه (نتایج در واحد لگاریتمی ارائه شده‌اند).

می‌دهند و در این محدوده‌ها، معیارهایی نظیر جابجایی باید پیش‌بینی و استفاده شوند. دستاوردهای مطالعه‌ی حاضر، به وضوح نشان می‌دهد که مدل‌های جنبش زمین می‌توانند چنین قابلیت را داشته باشند و در محدوده‌های غیرکشنان نیز به پیش‌بینی پاسخ‌های سازه‌ها بپردازند. در مدل توسعه‌یافته، ۵ منطقه‌ی لرزه‌زمین‌ساختی مختلف در فلات ایران در نظر گرفته شده است، اما تجزیه و تحلیل آماری آثار تصادفی با استفاده از روش رگرسیون اثر مختلط نشان داد که تفاوت‌های منطقه‌ی در تغییرات برآوردشده بر حسب پایگاه داده و شکل معادله‌های مطالعه‌ی حاضر ناچیز هستند. با وجود این، با توجه به تعداد پایین رکوردهای مناطق کوپه‌داغ و مکران در پایگاه‌داده مطالعه‌ی حاضر، استفاده از مدل در مناطق مذکور به شرط بررسی بیشتر توصیه می‌شود. یک پاسخ غیرخطی ساختگاه در مدل پیشنهادی گنجانده شده است. توزیع باقیمانده‌های به‌دست‌آمده با در نظر گرفتن باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه، و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده هیچ روند و سوگیری قابل تشخیصی را برای مدل پیشنهادی نشان ندادند. براساس تجزیه و تحلیل باقیمانده‌ها، پیش‌بینی‌های مدل توسعه‌یافته به‌خوبی با پایگاه داده مطابقت داشته و برای پایگاه داده، مناسب بوده است. براساس نتایج بخش ۶، مدل مطالعه‌ی حاضر ضمن در برگرفتن آخرین رویدادهای رخ داده در ایران و با وجود استفاده از معیار فاصله‌ی ابتدایی‌تر نسبت به مدل فرج‌پور و همکاران،^[۱۴] که کارایی و سهولت در استفاده از آن را منجر می‌شود، نتایجی سازگار با مدل مذکور نشان داده است؛ و در نتیجه، مدل پژوهش حاضر می‌تواند همراه با مدل فرج‌پور و همکاران،^[۱۴] و سایر مدل‌های منتشرشده‌ی اخیر در انجام مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ی و برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های معرفتی لازم استفاده شود.

می‌دهند. دو مدل ذکرشده، مقادیر نزدیک به هم را در بیشتر موارد پیش‌بینی می‌کنند. با وجود این، در برخی موارد تفاوت‌ها زیاد بوده است. به‌طور کلی به نظر می‌رسد پیش‌بینی‌های مطالعه‌ی حاضر، اندکی به خط‌ایده‌آل نزدیک‌تر هستند، اما این برتری جزئی در تمام محدوده‌ی داده‌ها وجود ندارد. مقایسه‌ی انحراف‌های استاندارد حاصل نیز نشان می‌دهد مقادیر انحراف‌های استاندارد مطالعه‌ی حاضر، قدری کمتر از مقادیر انحراف‌های استاندارد در نوشتار فرج‌پور و همکاران (۲۰۱۹)،^[۱۴] هستند. تفاوت‌های دو مدل می‌تواند ناشی از تفاوت در کمیت و کیفیت پایگاه‌داده‌های استفاده‌شده و شکل معادلات باشد.

۷. نتیجه‌گیری

مدل جنبش زمین مطالعه‌ی حاضر برای ایران براساس یک پایگاه داده‌ی به‌روز از جنبش نیرومند زمین ایران، که رویدادهای مهم تقریباً ۵۰ سال اخیر را در بر می‌گیرد، توسعه یافته است. مجموعه‌ی داده‌های استفاده‌شده، شامل ۶۵۹ رکورد از ۱۱۵ رویداد اصلی با سازوکارهای کانونی امتدادلغز و معکوس بوده است، که براساس آن‌ها، محدوده‌ی بزرگای گشتاوری مدل $M \leq 7/4$ و محدوده‌ی فاصله‌ی رومرکزی تا ۲۰۰ کیلومتر بوده است. مدل پژوهش حاضر، علاوه بر پیش‌بینی بیشینه‌ی شتاب زمین، و طیف شبه‌شتاب افقی با میرایی‌های ۰٫۲، ۰٫۵، و ۱۰ درصد، قادر به تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰٫۰۵ تا ۰٫۳ برای دوره‌های تناوبی بیشینه تا ۴/۰ ثانیه برای ایران است. چنین قابلیت در هیچ‌کدام از مدل‌های توسعه‌یافته‌ی قبلی گنجانده نشده و فقط طیف‌های شبه‌شتاب مدنظر بوده است. این در حالی است که طیف‌های شبه‌شتاب هنگام ورود به محدوده‌ی غیرکشنان کارایی خود را از دست

References - منابع

1. Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG bulletin*, 52(7), pp.1229-1258. doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D
2. Takin, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. *nature*, 235(5334), pp.147-150. doi.org/10.1038/235147a0
3. Nowroozi, A.A., 1976. Seismotectonic provinces of Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66(4), pp.1249-1276. doi.org/10.1785/BSSA0660041249
4. Mirzaei, N., Mengtan, G. and Yuntai, C., 1998. Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismotectonic provinces. *Journal Of Earthquake Prediction Research*, 7, pp.465-495.
5. Makiabadi, H.Y., Nasrabadi, A. and Sepahvand, M.R., 2021. Attenuation of ground-motion spectral amplitudes in central and eastern Iran. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 310, p.106598. doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106598
6. Pourzeynali, S. and Khadivyan, A., 2022. Attenuation relationships for horizontal and vertical peak and spectral accelerations for alborz zone of iran. *Journal of Earthquake Engineering*, 26(14), pp.7469-7485. doi.org/10.1080/13632469.2021.1964645
7. Zare, M., Bard, P.Y. and Ghafory-Ashtiany, M., 1999. Site characterizations for the Iranian strong motion network. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 18(2), pp.101-123. doi.org/10.1016/S0267-7261(98)00040-2
8. Nowroozi, A.A., 2005. Attenuation relations for peak horizontal and vertical accelerations of earthquake ground motion in iran: a preliminary analysis. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 7(2), pp.109-128.
9. Ghasemi, H., Zare, M., Fukushima, Y. and Koketsu, K., 2009. An empirical spectral ground-motion model for Iran. *Journal Of Seismology*, 13, pp.499-515. doi.org/10.1007/s10950-008-9143-x
10. Soghrat, M.R., Khaji, N. and Zafarani, H., 2012. Simulation of strong ground motion in northern Iran using the specific barrier model. *Geophysical Journal International*, 188(2), pp.645-679. doi.org/10.1111/j.1365-246x.2011.05287.x

11. Zafarani, H. and Soghrat, M., 2012. Simulation of ground motion in the Zagros region of Iran using the specific barrier model and the stochastic method. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(5), pp.2031-2045. doi.org/10.1785/0120110315
12. Sedaghati, F. and Pezeshk, S., 2017. Partially nonergodic empirical ground-motion models for predicting horizontal and vertical PGV, PGA, and 5% damped linear acceleration response spectra using data from the Iranian plateau. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(2), pp.934-948. doi.org/10.1785/0120160205
13. Kotha, S.R., Bindi, D. and Cotton, F., 2016. Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe and Middle-East. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14, pp.1245-1263. doi.org/10.1007/s10518-016-9875-x
14. Farajpour, Z., Pezeshk, S. and Zare, M., 2019. A new empirical ground-motion model for Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(2), pp.732-744. doi.org/10.1785/0120180139
15. Hassani, N., Ghodrati Amiri, G., Bararnia, M. and Sinaeian, F., 2017. Ground motion prediction equation for inelastic spectral displacement in Iran. *Scientia Iranica*, 24(1), pp.164-182. doi.org/10.24200/SCI.2017.4023
16. Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y., 2014. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), pp.1087-1115. doi.org/10.1193/062913eqs175m
17. Zafarani, H. and Soghrat, M.R., 2023. An Empirical Spectral Ground-Motion Model for Iran Using Truncated Iranian Strong-Motion Database Enriched by Near-Field Records. *Journal of Earthquake Engineering*, pp.1-24. doi.org/10.1080/13632469.2023.2226223
18. Douglas, J., 2021. Ground motion prediction equations 1964–2021. *Department of Civil and Environmental Engineering University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom*.
19. Ghodrati Amiri, G., Zahedi, M., Mahdavian, A. and Gholami, S., 2004. Appropriate frequency band for correcting Iranian accelerograms in different site condition. *Journal of Faculty of Engineering, University of Tehran*, 38(2), pp. 231-249. [In Persian].
20. Heath, D.C., Wald, D.J., Worden, C.B., Thompson, E.M. and Smoczyk, G.M., 2020. A global hybrid VS 30 map with a topographic slope-based default and regional map insets. *Earthquake Spectra*, 36(3), pp.1570-1584. doi.org/10.1177/87552930209111
21. Farajpour, Z., Zare, M., Pezeshk, S., Ansari, A. and Farzanegan, E., 2018. Near-source strong motion database catalog for Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, pp.1-16. doi.org/10.1007/s12517-018-3413-x
22. Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the seismological Society of America*, 84(4), pp.974-1002. doi.org/10.1785/BSSA0840040974
23. Kaklamanos, J., Baise, L.G. and Boore, D.M., 2011. Estimating unknown input parameters when implementing the NGA ground-motion prediction equations in engineering practice. *Earthquake Spectra*, 27(4), pp.1219-1235. doi.org/10.1193/1.3650372
24. Gardner, J.K. and Knopoff, L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. *Bulletin Of The Seismological Society Of America*, 64(5), pp.1363-1367. doi.org/10.1785/bssa0640051363
25. Building and Housing Research Center, 2014. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. *Standard No. 2800*. [In Persian].
26. Council, B.S.S., 2009. NEHRP recommended seismic provisions for new buildings and other structures. *Rep. FEMA P, 750*.
27. Lindstrom, M.J. and Bates, D.M., 1990. Nonlinear mixed effects models for repeated measures data. *Biometrics*, pp.673-687. doi.org/10.2307/2532087
28. Atik, L.A., Abrahamson, N., Bommer, J.J., Scherbaum, F., Cotton, F. and Kuehn, N., 2010. The variability of ground-motion prediction models and its components. *Seismological Research Letters*, 81(5), pp.794-801. doi.org/10.1785/gssrl.81.5.794
29. Walling, M., Silva, W. and Abrahamson, N., 2008. Nonlinear site amplification factors for constraining the NGA models. *Earthquake Spectra*, 24(1), pp.243-255. doi.org/10.1193/1.2934350
30. Silva, W.J., 2005. Site response simulations for the NGA project. *Report prepared for the Pacific Earthquake Engineering Research Center*.

جدول ۱. ضرایب رگرسیونی در تخمین طیف شبه‌شتاب با میرایی ۲ درصد.

T(sec)	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	k ₁	k ₂
۰/۰۴	۲/۸۵۹	-۰/۸۰۸۴	-۰/۲۲۸۶	۱/۶۰۵	-۱/۲۷۸۳	-۰/۰۴۲۲	۸/۷۷۲۹	-۰/۰۲۰۶۶	-۰/۰۲۴۱	-۰/۳۰۸۴	-۰/۳۵۲۷	-۰/۰۰۲۱	۰	۱/۴۰۶۲	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	۲/۹۱۱۷	-۰/۷۳۹۷	-۰/۲۳۷۱	۱/۴۹۷	-۱/۴۳۱۷	-۰/۰۱۶۳	۸/۶۸۴۴	-۰/۰۲۲۷۸	-۰/۰۰۴۶۶	-۰/۲۹۴۳	-۰/۳۳۳۳	-۰/۰۰۲۳	۰	۱/۴۵۳۷	۸۶۵	-۱/۲۱۹
۰/۰۴۴	۳/۰۰۷	-۰/۸۴۰۱	-۰/۲۱۵۹	۱/۵۵۱۲	-۱/۳۵۸۹	-۰/۰۰۳۲۸	۸/۵۹۲۲	-۰/۰۲۳۳۵	-۰/۰۰۶۰۹	-۰/۳۰۲۱	-۰/۳۴۳	-۰/۰۰۲	۰	۱/۵۲۲۷	۹۰۸	-۱/۲۳۳
۰/۰۴۶	۳/۳۳۹	-۰/۹۲۴	-۰/۱۹۳	۱/۵۹۸	-۱/۳۲۴	-۰/۰۰۴۵۶	۸/۹۷۱۵	-۰/۰۲۸	-۰/۰۰۸۷۲	-۰/۲۹۳۵	-۰/۳۳۶۹	-۰/۰۰۱۹	۰	۱/۵۵۸۳	۹۵۷	-۱/۲۹۷
۰/۰۴۸	۳/۳۵۳۹	-۱/۰۰۹۱	-۰/۱۶۰۹	۱/۶۲۰۳	-۱/۲۹۳	-۰/۰۰۴۹۲	۸/۸۴۲۲	-۰/۰۲۵۶۶	-۰/۰۰۸۴۷	-۰/۲۹۶۸	-۰/۳۳۳۲	-۰/۰۰۲۲	۰	۱/۵۸۸۹	۱۰۰۵	-۱/۳۲۲
۰/۰۵	۳/۲۱۸۹	-۰/۹۵۸۵	-۰/۱۵۶۸	۱/۵۴۷۶	-۱/۳۶۹۶	-۰/۰۰۳۳۱	۸/۰۰۸۹	-۰/۰۲۳۴۳	-۰/۰۰۵۷۷	-۰/۲۹۹۱	-۰/۳۳۱۲	-۰/۰۰۲۴	۰	۱/۶۱۶۳	۱۰۵۴	-۱/۳۴۶
۰/۱	۵/۰۵۵۵	۱/۷۸۵۹	-۰/۰۱۵۹	۲/۰۶۹۶	-۰/۴۹۶۱	-۰/۰۰۲۸	۱۱/۷۷۱۵	-۰/۰۲۸۲۱	-۰/۰۱۶	-۰/۳۰۶۶	-۰/۳۳۶۶	-۰/۰۰۰۱	۰	۱/۹۴۸۵	۱۰۳۲	-۱/۶۴۴
۰/۱۵	۴/۵۴۰۴	۱/۶۰۸۵	-۰/۰۰۵۳	۲/۰۸۲۸	-۰/۵۹۵۲	-۰/۰۱۵۸۸	۱۰/۴۳۵۶	-۰/۰۲۰۴۴	-۰/۰۰۸۶۸	-۰/۱۱۷۵	-۰/۰۰۹۴۱	-۰/۰۰۰۲	۰	۲/۱۹۷۵	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	۳/۷۳۳۷	۱/۵۵۳۸	-۰/۰۱۲۱۸	۲/۱۵۸۵	-۰/۳۴۳۶	-۰/۱۸۳۴	۱۰/۱۴۵۳	-۰/۰۱۰۷۴	-۰/۰۰۱۸۹	-۰/۲۴۸۶	-۰/۲۴۶۵	-۰/۰۰۰۷	۰	۲/۴	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	۳/۰۲۸۱	۱/۵۳۵۲	-۰/۰۰۷۴۱	۲/۰۸۵۶	-۰/۴۱۱۸	-۰/۱۴۸۸	۷/۸۲۲۱	-۰/۰۱۰۶۶	-۰/۰۰۵۰۶	-۰/۲۴۶۵	-۰/۲۵۵۴	-۰/۰۰۰۲	۰	۲/۵۷	۶۵۴	-۲/۳۸۱
۰/۳	۲/۸۱	۱/۶۱۶۵	-۰/۰۱۳۳۲	۲/۳۲۲۵	-۰/۱۴۳۲	-۰/۱۸۷۵	۸/۲۰۱۳	-۰/۰۱۱۶۴	-۰/۰۰۱۸	-۰/۳۰۳۶	-۰/۲۹۲۱	-۰/۰۰۱۴	۰	۲/۶۶۳	۵۸۷	-۱/۵۱۸
۰/۴	۱/۶۳۳۳	۱/۶۷۴۴	-۰/۰۱۹۲	۲/۱۰۰۲	-۰/۲۰۴	-۰/۲۱۲۷	۶/۱۱۱۷	-۰/۰۱۰۹۲	-۰/۰۱۱۱۷	-۰/۲۷۹	-۰/۵۵۲۵	-۰/۰۰۶	۰	۲/۷۶۹۶	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	۱/۰۸۳۸	۱/۳۴۸۱	-۰/۰۳۵۱	۲/۴۶۶۶	-۰/۰۰۸۰۵	-۰/۱۵۹	۶/۶۰۰۲	-۰/۰۰۳۳۴	-۰/۰۲۸۹	-۰/۴۷۲۳	-۰/۴۷۸	-۰/۰۰۵۱	۰	۲/۷۶۷۶	۴۵۷	-۱/۶۶۹
۰/۷۵	۱/۳۸۴۹	-۰/۵۰۰۱	-۰/۶۳۷۶	۱/۹۹۷۸	-۰/۶۷۳۳	-۰/۰۰۵۷۹	۸/۰۰۲۸	-۰/۱۱۵۶	-۰/۳۱۳۸	-۰/۴۷۰۴	-۰/۵۴۹۳	-۰/۰۰۴۹	۰	۲/۴۰۲	۴۱۰	-۲/۴۰۱
۱	-۰/۲۰۰۸	-۰/۰۰۰۹	-۰/۶۳۳۴	۱/۵۷۹۶	-۰/۷۵۸۸	-۰/۰۰۴۱۳	۷/۶۴۰۹	-۰/۱۴۶۱	-۰/۰۰۹۵	-۰/۵۶۸۷	-۰/۷۴۱۵	-۰/۰۰۷۴	۰	۱/۸۵۵۲	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۰/۱۵۵۱	۱/۰۹۹۵	-۰/۰۵۰۶۶	۱/۶۶۰۴	-۰/۴۱۸۵	-۰/۰۰۹۵۶	۷/۰۳۳۶	۰/۱	-۰/۳۸۵۲	-۰/۵۱۹۷	-۰/۶۷۳۳	-۰/۰۰۶۳	۰	۱/۲۶۲۹	۴۰۰	-۱/۴۹
۱/۵	-۰/۵۹۷۲	-۰/۶۲۱۸	-۰/۰۴۷۱	۱/۳۹۷۲	-۰/۷۹۳	-۰/۰۰۳۳۷	۷/۷۶۰۷	-۰/۱۲۷۴	-۰/۴۳۸۵	-۰/۵۳۵۹	-۰/۶۹۵۷	-۰/۰۰۶۷	۰	-۰/۶۷۸۱	۴۰۰	-۱/۰۰۵
۱/۷۵	-۰/۶۱۲۷	۱/۶۸۹۸	-۰/۰۳۱۶۷	۱/۵۵۸۵	-۰/۴۹۳۱	-۰/۰۰۸۳۶	۷/۷۹۷۵	-۰/۱۵۵۹	-۰/۴۰۰۹	-۰/۴۶۲۷	-۰/۵۹۷۸	-۰/۰۰۴۴	۰	-۰/۴۵۲۶	۴۰۰	-۱/۶۶۲
۲	-۰/۷۱۲۲	۱/۶۷۴۴	-۰/۰۱۳۱	۱/۳۶۶۶	-۰/۵۳۸۴	-۰/۰۰۷۴۲	۷/۷۲۹۶	-۰/۱۷۴۱	-۰/۴۳۰۹	-۰/۴۰۵۴	-۰/۵۲۴	-۰/۰۰۲۲	۰	-۰/۱۷۴۸	۴۰۰	-۰/۲۹۹
۳	-۱/۴۱۲۲	۱/۹۰۰۵	-۰/۰۰۰۲۳	۱/۵۲۸۷	-۰/۶۲۷۵	-۰/۰۰۵۰۴	۸/۵۷۸	-۰/۱۸۵۹	-۰/۴۶۲	-۰/۳۱۶۹	-۰/۳۸۷۶	-۰/۰۰۰۹	۰	-۰/۴۷۲۶	۴۰۰	۰
۴	-۲/۲۸۶۹	۱/۰۰۴۷	-۰/۰۰۰۳۵	۱/۲۵۴۲	-۰/۷۹۲۲	-۰/۰۰۰۵	۷/۶۷۵۵	-۰/۱۹۷۶	-۰/۴۴۰۴	-۰/۳۱۲۳	-۰/۳۰۱۱	-۰/۰۰۰۳	-۰/۰۰۰۱۸	-۰/۴۲۶۵	۴۰۰	۰

جدول ۲. ضرایب رگرسیونی در تخمین طیف شبه‌شتاب با میرایی ۱۰ درصد.

T(sec)	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	k ₁	k ₂
۰/۰۴	۲/۴۸۸۲	-۰/۹۴۷۳	-۰/۲۱۹۷	۱/۷۱۳۵	-۱/۰۲۹۶	-۰/۰۰۶۹۱	۸/۲۱۶۴	-۰/۱۷۹۴	-۰/۰۰۱۵۴	-۰/۲۸۲۳	-۰/۳۱۱۷	-۰/۰۰۱۷	۰	۱/۳۴۵۶	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	۲/۵۰۸۸	-۰/۹۴۸۸	-۰/۲۱۲۷	۱/۶۸۸۷	-۱/۰۰۵۹۸	-۰/۰۰۶۴۲	۸/۱۷۷	-۰/۱۸۲	-۰/۰۰۱۷	-۰/۲۸۰۲	-۰/۳۰۸۵	-۰/۰۰۱۷	۰	۱/۳۹	۸۶۵	-۱/۲۱۹
۰/۰۴۴	۲/۵۸۳۴	-۰/۹۷۶۲	-۰/۰۰۲۵	۱/۷۰۰۲	-۱/۰۰۴۸۱	-۰/۰۰۶۸۲	۸/۰۰۸۱	-۰/۱۸۵۲	-۰/۰۰۱۹۲	-۰/۲۸۱۶	-۰/۳۱۰۵	-۰/۰۰۱۷	۰	۱/۴۵۴۴	۹۰۸	-۱/۲۳۳
۰/۰۴۶	۲/۶۶۵۲	-۱/۰۰۱۸	-۰/۱۱۶۱	۱/۷۲۹۹	-۱/۰۰۲۰۸	-۰/۰۰۷۵	۸/۰۰۲۹۸	-۰/۱۸۷۴	-۰/۰۰۲۱	-۰/۲۸۴۴	-۰/۳۱۳۹	-۰/۰۰۱۷	۰	۱/۴۸۳۶	۹۵۷	-۱/۲۹۷
۰/۰۴۸	۲/۷۲۵۹	-۱/۰۰۴۴۴	-۰/۱۸۷	۱/۷۵۷۸	-۰/۰۰۹۰۶	-۰/۰۰۸۱۸	۷/۹۳۳۳	-۰/۱۸۸۲	-۰/۰۰۱۸۲	-۰/۲۹۰۸	-۰/۳۲۱	-۰/۰۰۱۹	۰	۱/۵۱۳۷	۱۰۰۵	-۱/۳۲۲
۰/۰۵	۲/۷۹۳۱	-۱/۰۰۸۲	-۰/۱۸۰۹	۱/۷۹۱۲	-۰/۰۰۹۵۴۷	-۰/۰۰۸۹۹	۷/۸۴۸۳	-۰/۱۸۸۳	-۰/۰۰۱۵۳	-۰/۲۹۷۴	-۰/۳۲۹۵	-۰/۰۰۲	۰	۱/۵۴۰۶	۱۰۵۴	-۱/۳۴۶
۰/۱	۳/۷۱۶۸	۱/۴۹۱	-۰/۰۰۶۱۹	۱/۸۸۳۹	-۰/۰۰۵۹۸	-۰/۰۰۶۰۴	۹/۳۴۴۷	-۰/۳۱۹۹	-۰/۰۰۵۲۸	-۰/۲۴۴۲	-۰/۳۸۶۳	-۰/۰۰۱۲	۰	۱/۸۵۹۱	۱۰۳۲	-۱/۶۴۴
۰/۱۵	۳/۵۶۳۳	۱/۴۷۲۳	-۰/۱۲۱۶	۲/۲۰۹	-۰/۰۵۲۵۲	-۰/۱۵۸۸	۸/۷۰۰۵	-۰/۱۱۶۱	-۰/۰۰۳۹۸	-۰/۱۴۵۵	-۰/۱۱۹۸	-۰/۰۰۱	۰	۲/۱۳۶۲	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	۳/۰۲۷۶	۱/۶۱۰۵	-۰/۱۳۲۸	۲/۳۵۸۶	-۰/۱۲۵۱۱	-۰/۱۸۸۴	۷/۶۷۲۸	-۰/۱۱۴۶	-۰/۰۰۰۷۷	-۰/۲۱	-۰/۱۸۸۲	-۰/۰۰۰۱	۰	۲/۳۸۳۹	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	۲/۵۰۰۳	۱/۴۵۷۲	-۰/۱۳۸۷	۲/۱۴۲۳	-۰/۱۴۱۱۲	-۰/۱۴۷۶	۶/۹۵۴۱	-۰/۱۴۲۳	-۰/۰۰۲۷	-۰/۲۵۱۲	-۰/۲۴۰۶	-۰/۰۰۰۸	۰	۲/۵۵۴۱	۶۵۴	-۲/۳۸۱
۰/۳	۲/۱۷۱۱	۱/۵۰۰۴	-۰/۰۰۰۴۶	۲/۲۳۷	-۰/۱۴۱۴	-۰/۱۶۵۸	۶/۶۱۱۸	-۰/۱۵۲۴	-۰/۰۰۴۱۴	-۰/۲۸۷۴	-۰/۲۷۶۲	-۰/۰۰۱۶	۰	۲/۶۷۱۲	۵۸۷	-۱/۵۱۸
۰/۴	۱/۹۲۴۴	۱/۵۱۶۱	-۰/۱۲۲۱	۲/۰۹۳۴	-۰/۱۳۲۷	-۰/۱۵۹	۶/۹۶۵۵	-۰/۱۴۶۵	-۰/۱۳۳۷	-۰/۳۸۱۹	-۰/۴۰۶۳	-۰/۰۰۴۲	۰	۲/۷۹۵۸	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	-۰/۸۷۰۲	۱/۲۶۱۸	-۰/۰۳۹۰۴	۲/۲۹۳۶	-۰/۲۷۷۸	-۰/۱۳۱	۵/۲۷۷۹	-۰/۰۰۷۶۹	-۰/۱۹۱۵	-۰/۳۹۸۲	-۰/۴۰۲۵	-۰/۰۰۴۶	۰	۲/۷۷۷۸	۴۵۷	-۱/۶۶۹
۰/۷۵	-۰/۰۰۱۷۳	-۰/۰۰۵۴	-۰/۰۰۶۰۶۶	۲/۰۱۱۵	-۰/۰۲۸۹	-۰/۰۰۶۴۹	۶/۰۳۸۸	-۰/۰۰۷۸۶	-۰/۲۹۲۱	-۰/۴۵۱۹	-۰/۵۳۲۹	-۰/۰۰۵۲	۰	۲/۴۳۹۹	۴۱۰	-۲/۴۰۱
۱	-۰/۲۱۹	-۰/۶۴۲۲	-۰/۰۰۱۵	۱/۷۲۱۱	-۰/۰۵۴۱	-۰/۰۰۶۳۳	۶/۵۴۴۶	-۰/۰۰۷۹۲	-۰/۳۵۵۲	-۰/۵۳۱۲	-۰/۶۷۷۲	-۰/۰۰۶۹	۰	۱/۸۹۱۴	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۰/۵۴۴۶	-۰/۳۲۱۵	-۰/۰۵۲۵۳	۱/۶۶۵۳	-۰/۰۵۶۷۶	-۰/۰۰۸۰۵	۶/۸	-۰/۰۰۶۴۳	-۰/۳۶۵۸	-۰/۵۳۱	-۰/۶۸۲۵	-۰/۰۰۶۳	۰	۱/۳۰۳۳	۴۰۰	-۱/۴۹
۱/۵	-۰/۸۷۰۴	-۰/۹۸۶۳	-۰/۰۴۹۱۲	۱/۵۹۴۵	-۰/۰۰۸۴	-۰/۰۰۵۹۱	۶/۴۲۲۱	-۰/۰۰۹۱	-۰/۴۳۶۹	-۰/۵۶۳۱	-۰/۷۱۳۱	-۰/۰۰۶۵	۰	-۰/۷۲۲۱	۴۰۰	-۱/۰۰۵
۱/۷۵	-۰/۸۹۴۹	۱/۳۵۷۱	-۰/۰۳۷۰۲	۱/۶۰۵۳	-۰/۰۵۸۷۶	-۰/۰۰۷۹۴	۷/۵۷۸۱	-۰/۱۱۷۷	-۰/۴۳۲۵	-۰/۴۹۴۸	-۰/۶۳۰۶	-۰/۰۰۴۵	۰	-۰/۲۹۰۵	۴۰۰	-۱/۶۶۲
۲	-۱/۰۰۹۳	۱/۲۲۹۱	-۰/۰۲۷۸۵	۱/۴۶۴۱	-۰/۰۶۶۴۸	-۰/۰۰۶۳۹	۷/۵۷۴۴	-۰/۱۶۶۱	-۰/۴۲۵	-۰/۴۵۳۷	-۰/۵۸۶۹	-۰/۰۰۲۹	۰	-۰/۱۶۶۱	۴۰۰	-۰/۲۹۹
۳	-۱/۸۱۵۲	۱/۶۰۲۶	-۰/۰۱۰۳۵	۱/۴۰۲۵	-۰/۰۳۰۳	-۰/۰۰۰۹۳	۸/۰۰۶۷۷	-۰/۱۶۰۷	-۰/۴۴۳۸	-۰/۳۶۵۳	-۰/۴۴۰۸	-۰/۰۰۱۳	۰	-۰/۴۵۷۷	۴۰۰	۰
۴	-۲/۳۲۹۳	۱/۶۹۸۱	-۰/۰۰۲۸۳	۱/۰۰۸۲۱	-۰/۰۰۸۶۴	-۰/۰۰۳۰۹	۸/۱۳۴۲	-۰/۱۷۴۴	-۰/۳۶۵۵	-۰/۲۶۳۹	-۰/۳۴۸۲	-۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۵	-۰/۴۳۱۵	۴۰۰	۰

جدول ۳. ضرایب رگرسیونی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۵.

T(sec)	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	k ₁	k ₂
۰/۰۴	۲/۸۲۷	۲/۸۲۳	-۰/۰۲۴	۲/۴۸۲	۲/۱۳۷	-۰/۸۲۸۸	۲/۰۰۷	-۰/۰۹۶۱	-۰/۰۵۶	-۰/۰۷۲	-۰/۲۹۵۱	-۰/۰۰۴۱	۰	۱/۲۴۷۱	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	۲/۸۲۳	۲/۸۱۴۵	-۰/۰۰۶	۲/۴۴۲۹	۲/۱۲۶۱	-۰/۸۲۴۲	۲/۰۹۶۷	-۰/۰۹۳۷	-۰/۰۲۶۴۲	-۰/۲۶۲۷	-۰/۲۸۲۸	-۰/۰۰۴۲	۰	۱/۲۸۵۷	۸۶۵	-۱/۱۲۱۹
۰/۰۴۴	۲/۹۳۰۵	۲/۸۶۹	-۰/۰۰۲۵۳	۲/۴۰۰۸	۲/۱۲۲۲	-۰/۸۲۴۷	۲/۸۳۹۹	-۰/۰۹۷۸	-۰/۰۲۸۴۹	-۰/۲۴۸۷	-۰/۲۰۰۳	-۰/۰۰۴۵	۰	۱/۳۵۰۳	۹۰۸	-۱/۱۲۷۳
۰/۰۴۶	۲/۹۲۸۹	۲/۸۲۵	-۰/۰۰۱۱۷	۲/۴۰۶۷	۲/۱۴۹۵	-۰/۸۲۲۷	۲/۸۳۸۱	-۰/۰۹۱۸	-۰/۰۲۸۴۶	-۰/۲۴۴۵	-۰/۲۵۲۹	-۰/۰۰۴۴	۰	۱/۳۸۱	۹۵۷	-۱/۱۲۹۷
۰/۰۴۸	۲/۸۸۹	۲/۸۰۳۷	-۰/۰۰۱۷۵	۲/۳۴۱۳	۲/۱۱۲۸	-۰/۸۱۳۷	۲/۸۰۵۵	-۰/۰۹۷۳	-۰/۰۲۷۱۸	-۰/۲۴۶۸	-۰/۲۰	-۰/۰۰۴۳	۰	۱/۴۰۸۹	۱۰۰۵	-۱/۱۳۲۲
۰/۰۵	۲/۸۲۹۷	۲/۶۹۷۳	-۰/۰۰۲۷۹	۲/۲۶۷۳	۲/۰۵۹	-۰/۸۰۱۳	۲/۸۲۹۵	-۰/۰۹۶۲	-۰/۰۲۵۸	-۰/۲۵۲۷	-۰/۲۷۲۴	-۰/۰۰۴۱	۰	۱/۴۲۸۷	۱۰۵۴	-۱/۱۳۲۶
۰/۱	۲/۲۹۷۱	۲/۳۵۵	-۰/۰۰۸۵۶	۵۰۵۸۱	۱/۹۳۲۶	-۰/۶۹۸۸	۲/۱۴۳	-۰/۰۹۶۱۳	-۰/۰۰۴۷	-۰/۲۶۲۳	-۰/۲۹۵۲	-۰/۰۰۰۲	۰	۱/۷۷۱۷	۱۰۳۲	-۱/۶۲۴
۰/۱۵	۱/۴۷۹۹	۲/۰۱۹۷	-۰/۰۰۹۹۹	۲/۶۸۱۵	۱/۷۱۷۹	-۰/۰۰۲۲	۵/۶۳۵۵	-۰/۰۰۵۴	-۰/۰۰۵۹۶	-۰/۱۷۱۶	-۰/۱۲۸۳	-۰/۰۰۲۴	۰	۲/۰۴۹۴	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	۰/۴۴۲۲	۲/۶۱۰۱	-۰/۰۰۵۶۸	۲/۲۰۳۲	۱/۶۰۷۵	-۰/۰۵۴۲	۲/۰۶۵۷	-۰/۰۱۳۶	-۰/۰۰۳۴۶	-۰/۰۰۲۴	-۰/۲۸۷۷	-۰/۰۰۰۱	۰	۲/۳۱۴۲	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	-۰/۰۰۲۳	۲/۳۱۳۵	-۰/۰۰۸۰۴	۲/۹۷۵۷	۱/۴۶۴۳	-۰/۴۹۴۸	۲/۰۶۲۷	-۰/۰۱۴۲	-۰/۰۰۹۴۲	-۰/۳۵۵	-۰/۳۶۸	-۰/۰۰۲۲	۰	۲/۵۲۰۶	۶۵۴	-۲/۳۸۱
۰/۳	-۰/۴۵۳۳	۲/۸۷۸۱	-۰/۰۰۲۵۸	۲/۷۹۶۴	۱/۲۶۹۱	-۰/۴۳۵۹	۲/۰۱۷۳	-۰/۰۰۹۸۲	-۰/۰۱۷۱۳	-۰/۳۲۲۹	-۰/۳۰۶۵	-۰/۰۰۱۹	۰	۲/۶۲۵۵	۵۸۷	-۲/۵۱۸
۰/۴	-۰/۱۴۰۶	۲/۰۰۷۳	-۰/۰۰۶۵۵	۲/۱۰۰۱	۱/۰۵۸۴	-۰/۰۳۵۷	۲/۴۴۱۴	-۰/۰۱۸۴	-۰/۰۲۴۴	-۰/۴۲۹۷	-۰/۴۵۰۲	-۰/۰۰۴۸	۰	۲/۶۶۱۱	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	-۰/۸۳۴۱	۲/۲۳۱	-۰/۰۰۲۴۸	۲/۵۲۸	۱/۰۶۲۶	-۰/۰۲۷۶۷	۵/۷۲۷۲	-۰/۰۰۳۳۹	-۰/۰۲۵۳۶	-۰/۴۴۸۴	-۰/۴۵۹۱	-۰/۰۰۴	۰	۲/۷۵۱۷	۴۵۷	-۲/۶۹۹
۰/۷۵	-۰/۴۳۹۶	۱/۱۷۸۸	-۰/۰۰۴۹۸۴	۲/۴۱۰۶	-۰/۰۵۲۱	-۰/۰۱۶۵۳	۲/۰۷۲۶	-۰/۰۰۶۹۷	-۰/۰۲۷۲	-۰/۴۵۱۲	-۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۰۲	۰	۲/۴۵۵۸	۴۱۰	-۲/۴۰۱
۱	-۱/۷۳۳۱	۰/۶۶۴۴	-۰/۰۰۶۹۱۸	۱/۸۰۰۹	-۰/۰۵۵۶۹	-۰/۰۰۷۴۶	۲/۷۱۱۴	-۰/۰۰۶۵	-۰/۰۲۸۴	-۰/۵۳۵۵	-۰/۶۷۵۵	-۰/۰۰۰۷	۰	۱/۸۸۴۹	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۰/۰۳۶۶۱	-۰/۸۱۳۷	-۰/۰۰۵۴۷	۱/۵۵۳۸	-۰/۰۶۹۸۷	-۰/۰۰۵۱۶	۱/۲۶۶۶	-۰/۰۰۷۰۹	-۰/۰۳۴۸۱	-۰/۴۹۲۷	-۰/۶۳۷۳	-۰/۰۰۵۷	۰	۱/۲۸۳۱	۴۰۰	-۱/۴۹
۱/۵	-۰/۰۳۹۱۲	-۰/۹۱۷۴	-۰/۰۰۵۰۳۸	۱/۵۳۸۵	-۰/۰۸۲۲۵	-۰/۰۰۳۳۹	۱/۹۷۴۷	-۰/۰۰۹۶۳	-۰/۰۴۱۵۷	-۰/۵۲۵۴	-۰/۶۶۴۶	-۰/۰۰۶۱	۰	-۰/۰۰۵۵	۴۰۰	-۱/۰۲۵
۱/۷۵	-۰/۰۰۱۹۹	۱/۸۷۸۴	-۰/۰۰۳۷۸۷	۱/۵۶۳۳	-۰/۰۶۸۱۷	-۰/۰۰۵۵۸	۱/۹۷۲۱	-۰/۰۱۲۸۸	-۰/۴۲۸۳	-۰/۴۳۷۱	-۰/۵۵۷۸	-۰/۰۰۳۸	۰	-۰/۰۰۲۲	۴۰۰	-۰/۶۶۲
۲	-۰/۰۹۶۰۳	۱/۳۱۶۷	-۰/۰۰۲۲۴۸	۱/۳۲۲	-۰/۰۷۸۶۲	-۰/۰۰۳۷۸	۸/۰۰۶۳	-۰/۰۳۲۳	-۰/۴۱۶۵	-۰/۴۱۱۷	-۰/۵۳۴۲	-۰/۰۰۲۲	۰	-۰/۰۵۹۱	۴۰۰	-۰/۰۲۹۹
۳	-۰/۰۷۶۸۸	۱/۸۲۹۲	-۰/۰۰۲۴۶	۱/۴۸۴۲	-۰/۰۷۸۹۱	-۰/۰۰۲۸۷	۸/۱۲۵۷	-۰/۰۱۷۱۹	-۰/۴۵۰۴	-۰/۳۵۹	-۰/۴۰۲۳	-۰/۰۰۱۲	۰	-۰/۰۴۲۴	۴۰۰	۰
۴	-۰/۰۸۵۱۸	۱/۸۵۹۲	-۰/۰۰۷۶۲	۱/۱۹۳	-۰/۰۹۴۴۹	-۰/۰۰۱۵۴	۸/۶۴۱۲	-۰/۰۱۶۹۱	-۰/۴۲۷۸	-۰/۲۲۲۹	-۰/۳۱۲	-۰/۰۰۰۵	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۴۲۷۷	۴۰۰	۰

جدول ۴. ضرایب رگرسیونی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۷.

T(sec)	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	k ₁	k ₂
۰/۰۴	۲/۱۹۵۱	۲/۶۵۵۳	-۰/۰۲۶۱	۲/۴۲۷۵	۱/۰۰۹۲	-۰/۶۷۱۳	۲/۱۹۷۳	-۰/۰۲۷۲۵	-۰/۰۲۵۲	-۰/۲۲۲	-۰/۴۲۴۲	-۰/۰۰۳۱	۰	۱/۱۹۷۴	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	۲/۱۴۳۹	۲/۶۱۹۹	-۰/۰۰۲۲۹	۲/۳۵۸	۰/۹۸۲	-۰/۶۶۱۴	۲/۱۹۸۵	-۰/۰۳۷۹۶	-۰/۰۲۳۷	-۰/۴۱۹۳	-۰/۴۲۰۴	-۰/۰۰۲۹	۰	۱/۲۳۵۳	۸۶۵	-۱/۱۲۱۹
۰/۰۴۴	۲/۱۵۴۹	۲/۴۱۴۵	-۰/۰۰۲۰۱۹	۲/۳۲۴۶	۱/۰۱۰۸	-۰/۶۶۱۶	۲/۱۴۲۶	-۰/۰۳۸۸	-۰/۰۲۲۵۵	-۰/۴۰۸۷	-۰/۴۰۷۴	-۰/۰۰۰۳	۰	۱/۳۰۰۱۹	۹۰۸	-۱/۱۲۷۳
۰/۰۴۶	۲/۲۱۰۰۳	۲/۳۶۴۳	-۰/۰۰۱۸۴۳	۲/۲۹۷۱	۱/۰۰۶۸۹	-۰/۶۶۹۳	۲/۱۸۵۷	-۰/۰۳۷۹۱	-۰/۰۲۴۷۲	-۰/۴۰۴۶	-۰/۴۰۸۵	-۰/۰۰۲۹	۰	۱/۳۳۱۲	۹۵۷	-۱/۱۲۹۷
۰/۰۴۸	۲/۲۱۹۸	۲/۳۲۰۷	-۰/۰۰۱۸۴۸	۲/۲۶۵۶	۱/۰۰۸۵۰	-۰/۶۶۹۴	۲/۱۷۷۳	-۰/۰۳۶۸۳	-۰/۰۲۲۹۹	-۰/۳۹۷۸	-۰/۴۰۸۶	-۰/۰۰۲۸	۰	۱/۳۵۷۴	۱۰۰۵	-۱/۱۳۲۲
۰/۰۵	۲/۲۴۵۳	۲/۲۰۲۷	-۰/۰۰۱۷۶	۲/۲۳۲۸	۱/۰۰۹۷۷	-۰/۶۶۸۲	۲/۱۵۱۱	-۰/۰۳۶۸۵	-۰/۰۲۲۷۴	-۰/۳۸۲۸	-۰/۳۹۷۶	-۰/۰۰۲۷	۰	۱/۳۸۴۳	۱۰۵۴	-۱/۱۳۲۶
۰/۱	۲/۴۹۲۶	۲/۲۱۱۲	-۰/۰۰۱۷۹۷	۲/۹۸۸۴	۱/۲۵۵۲	-۰/۵۹۴۹	۲/۵۸۲۵	-۰/۰۳۴۴۳	-۰/۰۱۹۲۱	-۰/۳۷۵۵	-۰/۳۸۲۹	-۰/۰۰۰۲	۰	۱/۷۱۵۵	۱۰۳۲	-۱/۶۲۴
۰/۱۵	۱/۴۱۹۲	۲/۹۱۳۳	-۰/۰۰۱۵۲	۲/۶۷۳۶	۱/۳۹۲۹	-۰/۵۹۷۷	۲/۱۸۶۲	-۰/۰۲۱۶۸	-۰/۰۰۱۶۶	-۰/۳۳۲۱	-۰/۳۱۸۶	-۰/۰۰۰۲	۰	۲/۰۰۱۳۷	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	۰/۴۷۷۷	۲/۵۵۲۷	-۰/۰۰۱۱۹۹	۲/۲۶۳۴	۱/۴۵۲۲	-۰/۵۲۴۶	۵/۱۸۰۲	-۰/۰۱۱۱۲	-۰/۰۱۳۶۴	-۰/۳۷۵۵	-۰/۳۸۲۶	-۰/۰۰۱۴	۰	۲/۲۸۰۲	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	-۰/۱۶۹۸	۲/۲۰۰۲	-۰/۰۰۰۴	۲/۱۹۰۸	۱/۳۹۱۸	-۰/۴۸۸۶	۲/۹۴۵۴	-۰/۰۰۹۱۹	-۰/۰۲۱۳۳	-۰/۳۶۰۱	-۰/۳۴۰۵	-۰/۰۰۲۲	۰	۲/۴۸۸۲	۶۵۴	-۲/۳۸۱
۰/۳	-۰/۰۲۸۹۶	۲/۹۷۲۶	-۰/۰۰۲۰۸	۲/۳۹۹۵	۱/۲۹۶۵	-۰/۴۴۴۴	۲/۰۰۳۷	-۰/۰۰۸۲۵	-۰/۰۲۲۴	-۰/۳۶۸۸	-۰/۳۷۰۱	-۰/۰۰۲۵	۰	۲/۶۰۰۴	۵۸۷	-۲/۵۱۸
۰/۴	-۰/۱۷۴۴	۲/۶۵۲۷	-۰/۰۰۰۶۷	۲/۲۷۵۸	۱/۱۷۳۹	-۰/۳۸۸۶	۲/۱۷۱۲	-۰/۰۱۱۹۷	-۰/۰۲۸۲۸	-۰/۵۱۴۹	-۰/۵۷۳۳	-۰/۰۰۶۲	۰	۲/۲۴۹۶	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	-۰/۰۷۰۱۵	۲/۲۸۲۵	-۰/۰۰۲۴۴۵	۲/۶۴۶۱	۱/۱۷۸	-۰/۴۰۱۶	۲/۰۰۳۰۳	-۰/۰۰۵۵۹	-۰/۰۲۵۷۳	-۰/۴۹۹۶	-۰/۵۳۹۳	-۰/۰۰۵۱	۰	۲/۲۴۱۱	۴۵۷	-۲/۶۹۹
۰/۷۵	-۰/۰۳۳۷	۱/۳۱۲۸	-۰/۰۰۴۶۹۶	۲/۶۱۶۱	۰/۱۰۸۶	-۰/۰۱۹۴۲	۲/۳۵۰۱	-۰/۰۰۶۵۴	-۰/۰۲۶۲۵	-۰/۴۶۶۳	-۰/۵۲۴۶	-۰/۰۰۴۲	۰	۲/۵۵۳۶	۴۱۰	-۲/۴۰۱
۱	-۰/۰۵۶۳۳	-۰/۸۲۵۷	-۰/۰۰۵۹۲۲	۲/۰۹۱۱	-۰/۰۴۰۸۲	-۰/۰۰۰۲	۲/۵۹۶۸	-۰/۰۱۰۰۴	-۰/۰۳۷۳۶	-۰/۵۰۷۶	-۰/۶۲۳۴	-۰/۰۰۶۲	۰	۱/۸۸۸۵	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۰/۰۲۶۴۳	-۰/۹۵۴	-۰/۰۰۵۰۶	۱/۴۰۰۳	-۰/۰۵۲۹۸	-۰/۰۰۸۰۷	۱/۱۷۶۶	-۰/۰۰۷۲۵	-۰/۰۳۴۱	-۰/۴۷۶۹	-۰/۶۱۴۳	-۰/۰۰۵۱	۰	۱/۲۸۷۵	۴۰۰	-۱/۴۹
۱/۵	-۰/۰۲۶۸۲	-۰/۹۸۲۲	-۰/۰۰۴۹۶۵	۱/۶۷۱۲	-۰/۰۷۲۷۷	-۰/۰۰۴۹۳	۱/۷۳۳۵	-۰/۰۰۹۵۷	-۰/۰۴۰۰۳	-۰/۵۰۵۹	-۰/۶۳۲۹	-۰/۰۰۵۳	۰	-۰/۷۱۲۴	۴۰۰	-۱/۰۲۵
۱/۷۵	-۰/۰۰۵۶	۱/۲۰۶۵	-۰/۰۰۳۷۹۳	۱/۲۶۸۶	-۰/۰۲۰۰۲	-۰/۰۰۶۲	۱/۶۷۵۶	-۰/۰۱۲۶۳	-۰/۴۱۹۱	-۰/۴۲۶۹	-۰/۵۴۰۸	-۰/۰۰۳۳	۰	-۰/۲۷۴۷	۴۰۰	-۰/۶۶۲
۲	-۰/۰۹۹۲۶	۱/۳۰۱۴	-۰/۰۰۲۴۵۵	۱/۳۱۰۰	-۰/۰۷۸۴۹	-۰/۰۰۳۷۳	۸/۱۹۱۳	-۰/۰۱۵۵۷	-۰/۴۱۶۳	-۰/۴۱۷۹	-۰/۵۴۷۷	-۰/۰۰۲۴	۰	-۰/۱۵۳	۴۰۰	-۰/۰۲۹۹
۳	-۰/۰۸۰۲۰	۱/۳۳۳۰	-۰/۰۰۵۴۱	۱/۳۸۷۸	-۰/۰۰۹۷۳	-۰/۰۰۱۰۲	۸/۴۸۸۷	-۰/۰۱۷۱۲	-۰/۴۴۳۳	-۰/۳۳۰۷	-۰/۳۹۸۶	-۰/۰۰۱۱	۰	-۰/۰۴۶۴۴	۴۰۰	۰
۴	-۰/۰۸۵۱۹	۱/۴۲۸۶	-۰/۰۰۷۰۳	۱/۱۶۸۹	-۰/۰۹۷۷۸	-۰/۰۰۲۱۱۰	۸/۴۴۷۴	-۰/۰۱۷۰۰	-۰/۴۲۳۴	-۰/۲۲۶۹	-۰/۳۰۵۲	-۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۱	-۰/۰۴۲۷۷	۴۰۰	۰

جدول ۵. ضرایب رگرسیونی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۲.

T(sec)	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	k ₁	k ₂
۰/۰۴	-۰/۴۸۱۱	۲/۵۰۳۱	-۰/۰۱۷	۵/۳	۲/۴۴۰۵	-۰/۷۶۱۷	۲/۶۷۷	-۰/۲۰۰۳	-۰/۰۱۶۵	-۰/۱۴۹۲	-۰/۱۲۶۹	-۰/۰۰۰۵	۰	۱/۴۲۸۱	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	-۰/۴۲۲۳	۲/۴۲۹	-۰/۰۰۴	۵/۳۲۸۲	۲/۳۶۸	-۰/۷۴۹۵	۲/۷۲۵۸	-۰/۲۰۰۷	-۰/۰۲۷۵	-۰/۱۴۶۸	-۰/۱۲۵۴	-۰/۰۰۰۳	۰	۱/۴۲۷۱	۸۶۵	-۱/۲۱۹
۰/۰۴۴	-۰/۳۸۰۵	۲/۴۰۳۴	-۰/۰۰۵۵	۵/۱۵۸۶	۲/۳۰۸۸	-۰/۷۳۶۷	۲/۷۴۲۳	-۰/۲۱۱	-۰/۰۴۲۵	-۰/۱۵۲۶	-۰/۱۳۰۵	-۰/۰۰۰۴	۰	۱/۵۳۴۵	۹۰۸	-۱/۲۷۳
۰/۰۴۶	-۰/۳۲۰۷	۲/۳۶۴۵	-۰/۰۰۶۷	۵/۱۱۳۲	۲/۲۳۱۵	-۰/۷۲۳۷	۲/۶۹۲۴	-۰/۲۲۲۱	-۰/۰۵۲۲	-۰/۱۶۴۸	-۰/۱۴۱	-۰/۰۰۰۶	۰	۱/۵۶۶۴	۹۵۷	-۱/۲۹۷
۰/۰۴۸	-۰/۲۳۸۲	۲/۳۲۰۵	-۰/۰۰۷۶	۵/۰۷۲۴	۲/۱۷۵۱	-۰/۷۱۳۹	۲/۵۵۹۹	-۰/۲۱۷۴	-۰/۰۵۶۱	-۰/۱۵۸۲	-۰/۱۳۲۸	-۰/۰۰۰۵	۰	۱/۵۹۳۱	۱۰۰۵	-۱/۳۲۲
۰/۰۵	-۰/۱۲۳۲	۲/۲۸۰۷	-۰/۰۰۸۱	۵/۰۱۵۵	۲/۱۱۷۸	-۰/۷۰۴۸	۲/۶۱۱۴	-۰/۲۱۵۱	-۰/۰۶۵۶	-۰/۱۴۷۹	-۰/۱۲۳۷	-۰/۰۰۰۴	۰	۱/۶۱۲۶	۱۰۵۴	-۱/۳۴۶
۰/۱	-۰/۱۹۶۱	۲/۵۵۷۳	-۰/۰۰۷	۲/۸۴۰۴	۱/۴۴۲	-۰/۵۴۵۱	۲/۸۱۵۹	-۰/۲۳۷۸	-۰/۰۰۲۴	-۰/۱۴۱۸	-۰/۱۴۲۴	-۰/۰۰۰۶	۰	۱/۹۰۷۲	۱۰۳۲	-۱/۴۲۴
۰/۱۵	-۰/۰۲۰۱	۲/۹۹۶۹	-۰/۰۰۸۲	۲/۵۰۷۷	۱/۰۰۸۶	-۰/۴۴۰۱	۵/۳۳۸۸	-۰/۱۶۳۳	-۰/۰۱۵۷	-۰/۱۲۵۲	-۰/۰۰۸۵	-۰/۰۰۰۱۴	۰	۲/۱۵۹۳	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	-۰/۶۳۸۱	۲/۷۲۳۹	-۰/۰۰۲۲	۲/۳۵۱۲	۰/۹۳	-۰/۳۹۹۱	۵/۱۹۵۱	-۰/۰۹۵۸	-۰/۰۵۲۲	-۰/۲۵۶۹	-۰/۲۳۰۱	-۰/۰۰۰۱	۰	۲/۳۳۲۲	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	-۰/۰۲۲۹	۲/۲۶۰۲	-۰/۰۰۴۵۵	۲/۹۰۰۱	-۰/۴۹۹۳	-۰/۳۰۸۲	۵/۴۲۳۵	-۰/۰۹۱۴	-۰/۳۳۱۱	-۰/۳۰۹۲	-۰/۲۹۶۶	-۰/۰۰۱۶	۰	۲/۵۶۸۴	۶۵۴	-۱/۳۸۱
۰/۳	-۰/۰۲۰۲	۲/۲۱۰۹	-۰/۰۱۵۱۷	۲/۰۹۷۶	-۰/۶۰۲۳	-۰/۲۱۳۸	۵/۳۷۲۲	-۰/۰۰۵۹	-۰/۳۳۱۱	-۰/۳۱۶۴	-۰/۲۸۴۲	-۰/۰۰۲۱	۰	۲/۶۷۲۴	۵۸۷	-۱/۵۱۸
۰/۴	-۰/۲۹۹۷	۲/۰۷۲۶	-۰/۰۱۹۱	۲/۷۵۱۳	-۰/۷۱۱۵	-۰/۳۱۱۸	۶/۶۷۱۸	-۰/۱۱۲۶	-۰/۱۹۱۳	-۰/۴۳۹	-۰/۴۰۰۱	-۰/۰۰۵	۰	۲/۷۸۲۲	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	-۰/۱۶۲۶۹	۱/۶۰۹	-۰/۳۳۹۳	۲/۶۴۵۸	-۰/۱۱۲۵	-۰/۱۹۴۴	۶/۷۴۹۱	-۰/۰۶۳۱	-۰/۲۲۲۲	-۰/۴۱۴۱	-۰/۴۰۲۱	-۰/۰۰۴۴	۰	۲/۷۸۲۵	۴۵۷	-۲/۶۶۹
۰/۷۵	-۰/۱۷۰۸۹	-۰/۷۰۴	-۰/۵۷۹۶	۲/۰۵۸۶	-۰/۲۹۵۶	-۰/۰۸۹۶	۶/۴۸۷	-۰/۰۸۱۸	-۰/۰۰۲۸	-۰/۴۷۶۸	-۰/۵۴۱۷	-۰/۰۰۵۳	۰	۲/۴۴۲۳	۴۱۰	-۱/۴۰۱
۱	-۰/۶۲۱۱	-۰/۶۱۱۴	-۰/۶۳۴	۱/۷۹۵۸	-۰/۶۱۲۳	-۰/۰۶۸۶	۶/۹۳۱۳	-۰/۰۹۸	-۰/۳۷۲۶	-۰/۵۳۰۶	-۰/۶۷۹۲	-۰/۰۰۶۹	۰	۱/۸۸۳۱	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۰/۱۲۹۰۱	-۰/۹۱۴۸	-۰/۵۳۰۲	۱/۶۱۸۷	-۰/۵۹۸۸	-۰/۰۶۸۶	۷/۱۹۱۷	-۰/۰۷۱	-۰/۳۵۳۶	-۰/۵۰۷۷	-۰/۶۵۷۸	-۰/۰۰۶۱	۰	۱/۲۷۸۳	۴۰۰	-۱/۶۹۱
۱/۵	-۰/۱۲۹۰۴	-۰/۹۷۶۵	-۰/۴۸۸۵	۱/۵۲۴۹	-۰/۷۸۶۲	-۰/۰۴۱	۷/۵۷۸۹	-۰/۰۰۲۶	-۰/۴۳۴۹	-۰/۵۴۱۲	-۰/۶۸۶۳	-۰/۰۰۶۵	۰	-۰/۷۰۰۲	۴۰۰	-۱/۰۲۵
۱/۷۵	-۰/۰۰۰۴	۱/۳۱۲۵	-۰/۳۴۷۲	۱/۵۶۴۵	-۰/۱۵۵۵۳	-۰/۰۷۹۱	۷/۶۴۶۹	-۰/۱۳۰۸	-۰/۴۴۸	-۰/۴۷۱۲	-۰/۶۰۷۸	-۰/۰۰۴۵	۰	-۰/۲۶۳۴	۴۰۰	-۰/۶۶۲
۲	-۰/۹۷۳۲	۱/۴۱۸۲	-۰/۲۲۲۲	۱/۳۶۸۸	-۰/۶۷۰۶	-۰/۰۵۵۵	۷/۸۵۵۹	-۰/۱۶۶۴	-۰/۴۳۶۴	-۰/۴۳۶۵	-۰/۵۶۷۶	-۰/۰۰۲۷	۰	-۰/۱۶۳۸	۴۰۰	-۰/۲۹۹
۳	-۰/۱۸۲۱	۱/۸۲۲۴	-۰/۰۰۴۵۵	۱/۴۶۱۶	-۰/۷۸۴۴	-۰/۰۲۹۵	۷/۹۹۵۴	-۰/۱۷۲	-۰/۴۶۱۹	-۰/۳۵۴۷	-۰/۴۲۸	-۰/۰۰۱۴	۰	-۰/۴۶۱۱	۴۰۰	۰
۴	-۰/۱۸۸۷	۱/۸۲۸۴	-۰/۰۰۷۴۹	۱/۱۷۲۵	-۰/۹۵۲۲	-۰/۰۱۷	۸/۱۷	-۰/۱۶۸۷	-۰/۴۲۵	-۰/۴۴۳۹	-۰/۳۲۵۹	-۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۱	-۰/۴۲۸	۴۰۰	۰

جدول ۶. ضرایب رگرسیونی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۳.

T(sec)	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	k ₁	k ₂
۰/۰۴	-۰/۰۶۸۳	۲/۴۰۶۳	-۰/۰۲۱۳	۴/۰۷۴۴	۱/۳۰۴۷	-۰/۵۳۰۵	۵/۰۲۰۴	-۰/۱۹۱	-۰/۰۲۲۱	-۰/۱۵۹۶	-۰/۱۴۵۹	-۰/۰۰۰۸	۰	۱/۴۳۸۶	۸۶۵	-۱/۱۸۶
۰/۰۴۲	-۰/۱۹۰۹۱	۲/۴۱۹	-۰/۰۵۴	۴/۰۵۵۸	۱/۲۹۸۹	-۰/۵۳	۵/۱۴۳۱	-۰/۲۰۰۳	-۰/۰۰۲۶	-۰/۱۴۸۹	-۰/۱۳۴۵	-۰/۰۰۰۶	۰	۱/۴۸۲۱	۸۶۵	-۱/۲۱۹
۰/۰۴۴	-۰/۱۷۷۹۳	۲/۴۲۲	-۰/۰۶۰۵	۴/۰۴۴۷	۱/۲۸۲	-۰/۵۲۷۷	۵/۱۹۰۷	-۰/۲۰۰۹	-۰/۰۱۸۴	-۰/۱۵۰۶	-۰/۱۳۴۴	-۰/۰۰۰۵	۰	۱/۵۶۶۲	۹۰۸	-۱/۲۷۳
۰/۰۴۶	-۰/۱۷۲۲۷	۲/۳۹۰۹	-۰/۰۶۱۱	۴/۰۶۴۴	۱/۲۲۵۶	-۰/۵۱۸۲	۵/۰۴۲	-۰/۲۱۲۷	-۰/۰۱۸۳	-۰/۱۶۸۶	-۰/۱۵۴۹	-۰/۰۰۰۸	۰	۱/۵۷۲۲	۹۵۷	-۱/۲۹۷
۰/۰۴۸	-۰/۱۶۷۳۶	۲/۳۴۷۷	-۰/۰۵۷۷	۳/۹۶۸۷	۱/۱۸۴۹	-۰/۵۱۱۲	۴/۸۹۶۵	-۰/۲۰۰۲	-۰/۰۰۰۴	-۰/۱۷۱۸	-۰/۱۵۹۹	-۰/۰۰۰۹	۰	۱/۶۰۲۲	۱۰۰۵	-۱/۳۲۲
۰/۰۵	-۰/۱۵۴۳۷	۲/۳۲۵۶	-۰/۰۶۰۴	۳/۹۵۸	۱/۱۶۰۳	-۰/۵۰۸	۴/۹۲۲۵	-۰/۱۹۷۴	-۰/۰۱۷۳	-۰/۱۶۵۸	-۰/۱۵۱۲	-۰/۰۰۰۸	۰	۱/۶۲۴۱	۱۰۵۴	-۱/۳۴۶
۰/۱	-۰/۵۳۲۹	۲/۳۰۹۱	-۰/۱۶۶۳	۳/۰۹۵۶	-۰/۴۴۱۱	-۰/۴۰۹۸	۶/۳۵۷۳	-۰/۲۳۶	-۰/۱۲۲	-۰/۱۲۶۱	-۰/۱۳۲۵	-۰/۰۰۰۷	۰	۱/۹۱۲۹	۱۰۳۲	-۱/۴۲۴
۰/۱۵	-۰/۵۶۸۲	۲/۲۵۵۷	-۰/۰۱۲۹	۲/۸۴۳۹	-۰/۲۷۸	-۰/۳۰۶۳	۶/۸۵۱۶	-۰/۱۶۴۳	-۰/۰۰۴۱۳	-۰/۱۰۶۶	-۰/۰۷۱۸	-۰/۰۰۰۱۶	۰	۲/۱۶۴۵	۸۷۸	-۱/۹۳۱
۰/۲	-۰/۹۴۲۲	۲/۲۵۵۶	-۰/۰۰۱۷	۲/۸۴۱۷	-۰/۳۵۷۶	-۰/۲۹۷	۶/۰۷۷۳	-۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۲۷۸	-۰/۲۳۸۶	-۰/۱۹۸۹	-۰/۰۰۰۲	۰	۲/۳۹۴۷	۷۴۸	-۲/۱۸۸
۰/۲۵	-۰/۱۲۲۷	۱/۹۲۱	-۰/۰۷۷۵	۲/۵۸۰۵	-۰/۰۰۸۳	-۰/۲۳۶۳	۵/۶۹۷۴	-۰/۰۰۴۸	-۰/۰۰۷۵	-۰/۲۹۸۹	-۰/۲۸۲۲	-۰/۰۰۰۱۲	۰	۲/۵۷۶۹	۶۵۴	-۲/۳۸۱
۰/۳	-۰/۱۲۵۱۶	۱/۹۱۶۹	-۰/۱۷۴۴	۲/۷۲۶۶	-۰/۲۶۵۷	-۰/۲۵۲۵	۵/۷۳۲۲	-۰/۱۱۲۷	-۰/۱۱۹۵	-۰/۲۲۱۴	-۰/۲۰۱۶	-۰/۰۰۰۲۲	۰	۲/۶۷۶	۵۸۷	-۲/۵۱۸
۰/۴	-۰/۱۶۶۸۲	۱/۷۵۹۱	-۰/۱۸۹۹	۲/۲۷۹۹	-۰/۲۲۱۲	-۰/۲۱۷	۴/۵۱۲۵	-۰/۱۲۹۸	-۰/۱۷۴۲	-۰/۴۱۱۸	-۰/۴۵۲۳	-۰/۰۰۴۷	۰	۲/۷۹۱۹	۵۰۳	-۲/۶۵۷
۰/۵	-۰/۱۶۸۴۵	۱/۴۲۸۱	-۰/۰۳۷۰۵	۲/۴۶۹۳	-۰/۰۰۸۰۲	-۰/۱۶۲۸	۵/۴۴۲۶	-۰/۰۰۶۴۵	-۰/۲۲۰۳	-۰/۲۲۱۳	-۰/۴۱۷۶	-۰/۰۰۴۸	۰	۲/۷۷۷۲	۴۵۷	-۲/۶۶۹
۰/۷۵	-۰/۱۷۵۶۲	-۰/۶۷۷۴	-۰/۵۹۰۹	۱/۹۶۱۶	-۰/۶۰۹۷	-۰/۰۷۰۳	۶/۹۲۸۳	-۰/۰۸۲۹	-۰/۳۰۲۵	-۰/۴۷۷۷	-۰/۵۶۳۸	-۰/۰۰۵۴	۰	۲/۴۴۰۷	۴۱۰	-۱/۴۰۱
۱	-۰/۱۶۸۴۸	-۰/۵۷۸۵	-۰/۶۴۰۶	۱/۳۸	-۰/۲۳۲۵	-۰/۰۶۳	۶/۹۰۳۸	-۰/۰۰۹۵	-۰/۳۸۶۸	-۰/۵۵۰۷	-۰/۷۰۵۶	-۰/۰۰۷۴	۰	۱/۸۷۹۹	۴۰۰	-۱/۹۵۵
۱/۲۵	-۰/۱۳۲۲۱	-۰/۹۳۱۷	-۰/۵۲۶۷	۱/۶۰۶۹	-۰/۵۸۳	-۰/۰۷۱۹	۷/۱۱۶۸	-۰/۰۶۹۸	-۰/۳۶۴۲	-۰/۵۱۴۵	-۰/۶۶۷۶	-۰/۰۰۶۳	۰	۱/۲۷۸۱	۴۰۰	-۱/۴۹
۱/۵	-۰/۱۳۰۷۹	-۰/۹۵۱۶	-۰/۴۳۳	۱/۴۹۶	-۰/۸۰۲	-۰/۰۳۸۷	۷/۷۵۲۴	-۰/۰۰۳۸	-۰/۴۲۸۸	-۰/۵۴۹۱	-۰/۶۹۸۴	-۰/۰۰۶۶	۰	-۰/۶۹۹۲	۴۰۰	-۱/۰۲۵
۱/۷۵	-۰/۰۲۲۲	۱/۲۷۰۸	-۰/۳۵۵۹	۱/۵۳۴۶	-۰/۵۹۳۷	-۰/۰۷۲۵	۷/۷۸۸۷	-۰/۱۴۱۷	-۰/۴۵۰۳	-۰/۴۷۴۱	-۰/۶۱۱۹	-۰/۰۰۴۵	۰	-۰/۲۶۶	۴۰۰	-۰/۶۶۲
۲	-۰/۱۵۲	۱/۴۰۵۶	-۰/۲۲۴۸	۱/۳۵۶۱	-۰/۶۸۲۹	-۰/۰۵۴۴	۷/۸۸۰۷	-۰/۱۶۶۶	-۰/۴۳۹۱	-۰/۴۳۹۸	-۰/۵۷۱۸	-۰/۰۰۲۸	۰	-۰/۱۶۲۴	۴۰۰	-۰/۲۹۹
۳	-۰/۱۸۱۱۷	۱/۸۳۱	-۰/۰۴۴۱	۱/۴۷۹۹	-۰/۷۷۵۲	-۰/۰۳۰۹	۷/۹۹۶	-۰/۱۷۱۷	-۰/۴۶۰۳	-۰/۳۵۲	-۰/۴۳۲۷	-۰/۰۰۱۴	۰	-۰/۴۶۰۹	۴۰۰	۰
۴	-۰/۱۸۸۱۳	۱/۸۵۲۳	-۰/۰۷۵۸	۱/۱۸۳	-۰/۹۴۹۵	-۰/۰۱۶۴	۸/۱۶۲۹	-۰/۱۶۸۶	-۰/۴۳۵	-۰/۲۴۱۲	-۰/۳۲۲۱	-۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۱	-۰/۴۲۷۹	۴۰۰	۰

جدول ۷. انحرافات استاندارد و ضریب اثر تصادفی در تخمین طیف شبه‌شتاب با میرایی ۲ درصد.

T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{SS}	ϕ_{SS}	Δz_{13}
۰/۰۴	۰/۷۵۵۱	۰/۳۱۱۳	۰/۴۰۷۳	۰/۵۵۴۴	۰
۰/۰۴۲	۰/۷۶۴۴	۰/۳۰۹۶	۰/۴۱۷۷	۰/۵۶۰۳	۰
۰/۰۴۴	۰/۷۶۹۵	۰/۳۱۳۷	۰/۴۲۷۷	۰/۵۵۷۵	۰
۰/۰۴۶	۰/۷۷۱	۰/۳۲۳۷	۰/۴۲۰۲	۰/۵۵۹۵	۰
۰/۰۴۸	۰/۷۷۵۳	۰/۳۲۸۳	۰/۴۲۴۲	۰/۵۵۹۸	۰
۰/۰۵	۰/۷۸۱۱	۰/۳۲۶۰	۰/۴۲۶۵	۰/۵۶۷۴	۰
۰/۱	۰/۷۸۵۹	۰/۳۲۲۹	۰/۴۲۴۵	۰/۵۷۷۲	۰
۰/۱۵	۰/۷۷۰۶	۰/۳۱۸۴	۰/۴۲۰۸	۰/۵۲۹۲	۰
۰/۲	۰/۷۵۳۸	۰/۳۱۹۷	۰/۴۵۴۶	۰/۵۳۳۳	۰
۰/۲۵	۰/۷۲۱۸	۰/۲۵۱۷	۰/۴۳۰۶	۰/۵۲۱۷	۰
۰/۳	۰/۷۱۰۵	۰/۲۲۳۰	۰/۴۶۶۹	۰/۴۸۶۹	۰
۰/۴	۰/۶۸۷۴	۰/۲۰۴۷	۰/۴۸۹۸	۰/۵۲۷۹	۰
۰/۵	۰/۶۸۵۹	۰/۱۹۶۷	۰/۴۴۵۰	۰/۵۵۹۲	۰
۰/۷۵	۰/۷۲۱۶	۰/۲۳۷۳	۰/۴۰۰۳	۰/۵۵۱۵	۰
۱	۰/۷۳۰۷	۰/۲۶۶۸	۰/۴۲۳۶	۰/۵۳۳۳	۰
۱/۲۵	۰/۷۴۲	۰/۲۹۱۴	۰/۴۲۲۵	۰/۵۳۵۹	۰
۱/۵	۰/۷۶۹۵	۰/۳۰۵۲	۰/۴۳۸۳	۰/۵۵۳۹	۰
۱/۷۵	۰/۷۷۷۲	۰/۳۱۷۷	۰/۴۷۰۷	۰/۵۳۰۶	۰
۲	۰/۷۷۵	۰/۳۲۸۷	۰/۴۶۸۸	۰/۵۲۲۳	۰
۳	۰/۷۹۲۹	۰/۴۱۹۲	۰/۴۵۶۴	۰/۴۹۴۷	۰
۴	۰/۸۰۰۹	۰/۴۷۳۵	۰/۴۳۷۱	۰/۴۷۵۶	۰

جدول ۹. انحرافات استاندارد و ضریب اثر تصادفی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۵.

T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{SS}	ϕ_{SS}	Δz_{13}
۰/۰۴	۱/۶۵۹۹	۰/۵۱۹۲	۰/۶۸۰۸	۱/۴۲۲	۰
۰/۰۴۲	۱/۶۳۶۸	۰/۵۱۳۷	۰/۶۸۰۸	۱/۳۹۷۱	۰
۰/۰۴۴	۱/۶۱۵۹	۰/۵۰۸۶	۰/۶۷۳۴	۱/۳۷۸	۰
۰/۰۴۶	۱/۵۹۳۴	۰/۵۰۶۸	۰/۶۶۴۳	۱/۳۵۶۸	۰
۰/۰۴۸	۱/۵۷۲۹	۰/۵۰۳۸	۰/۶۶۵۲	۱/۳۳۳۳	۰
۰/۰۵	۱/۵۵۲۸	۰/۴۹۸۴	۰/۶۶۰۹	۱/۳۱۳۸	۰
۰/۱	۱/۱۸۳۲	۰/۳۸۰۳	۰/۵۶۸۱	۰/۹۶۵۷	۰
۰/۱۵	۰/۹۹۹۹	۰/۳۱۹۰	۰/۵۸۰۰	۰/۷۴۹۴	۰
۰/۲	۰/۹۰۳۴	۰/۲۸۷۸	۰/۵۳۵۷	۰/۶۶۸۱	۰
۰/۲۵	۰/۸۲۵۱	۰/۲۶۰۸	۰/۴۶۶۳	۰/۶۲۸۷	۰
۰/۳	۰/۷۹۶۳	۰/۲۳۴۵	۰/۴۴۳۳	۰/۶۱۸۵	۰
۰/۴	۰/۷۴۹۷	۰/۱۸۹۸	۰/۳۹۲۴	۰/۶۱	۰
۰/۵	۰/۷۲۵۸	۰/۱۹۹۸	۰/۳۹۰۵	۰/۵۷۸۲	۰
۰/۷۵	۰/۷۰۸۱	۰/۱۹۱۷	۰/۳۷۵۴	۰/۵۶۹	۰
۱	۰/۷۱۵۸	۰/۲۴۵۰	۰/۴۰۵۷	۰/۵۳۶۴	۰
۱/۲۵	۰/۷۲۶۱	۰/۲۸۲۴	۰/۴۱۲۳	۰/۵۲۶۸	۰
۱/۵	۰/۷۴۶۱	۰/۲۸۷۷	۰/۴۳۰۱	۰/۵۳۷۵	۰
۱/۷۵	۰/۷۵۳۸	۰/۲۹۵۵	۰/۴۴۹۴	۰/۵۲۸۲	۰
۲	۰/۷۵۰۸	۰/۳۰۸۱	۰/۴۴۷۳	۰/۵۱۸۳	۰
۳	۰/۷۷۱۸	۰/۴۰۱۵	۰/۴۳۸۲	۰/۴۹۲۴	۰
۴	۰/۷۸۴۵	۰/۴۵۴۵	۰/۴۲۷۸	۰/۴۷۵۳	۰

جدول ۸. انحرافات استاندارد و ضریب اثر تصادفی در تخمین طیف شبه‌شتاب با میرایی ۱۰ درصد.

T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{SS}	ϕ_{SS}	Δz_{13}
۰/۰۴	۰/۷۱۶۴	۰/۲۷۸۳	۰/۳۸۱۶	۰/۵۳۸۶	۰
۰/۰۴۲	۰/۷۱۹۵	۰/۲۷۹۹	۰/۳۸۱۸	۰/۵۴۱۸	۰
۰/۰۴۴	۰/۷۲۲۹	۰/۲۸۲۱	۰/۳۸۳۰	۰/۵۴۴۳	۰
۰/۰۴۶	۰/۷۲۵۶	۰/۲۸۴۸	۰/۳۸۴۸	۰/۵۴۵۲	۰
۰/۰۴۸	۰/۷۲۷۸	۰/۲۸۶۸	۰/۳۸۷۰	۰/۵۴۵۶	۰
۰/۰۵	۰/۷۲۹۶	۰/۲۸۸۰	۰/۳۹۰۳	۰/۵۴۵	۰
۰/۱	۰/۷۴۴۵	۰/۲۹۸۹	۰/۴۰۷۰	۰/۵۴۷۱	۰
۰/۱۵	۰/۷۳۶۷	۰/۲۸۷۱	۰/۴۳۷۰	۰/۵۱۹	۰
۰/۲	۰/۷۱۸۲	۰/۲۵۲۴	۰/۴۳۰۲	۰/۵۱۶۸	۰
۰/۲۵	۰/۷۰۵۶	۰/۲۳۷۴	۰/۴۱۱۷	۰/۵۲۱۶	۰
۰/۳	۰/۷۶۸۶	۰/۲۱۸۸	۰/۵۲۱۰	۰/۵۲۱	۰
۰/۴	۰/۶۸۴۵	۰/۱۹۴۶	۰/۳۸۹۱	۰/۵۲۸۴	۰
۰/۵	۰/۶۸۰۵	۰/۱۸۵۷	۰/۳۶۰۷	۰/۵۴۶۳	۰
۰/۷۵	۰/۶۹۵۶	۰/۱۹۳۳	۰/۳۶۰۳	۰/۵۶۲۸	۰
۱	۰/۷۱۲۸	۰/۲۲۷۴	۰/۳۸۴۳	۰/۵۵۵۶	۰
۱/۲۵	۰/۷۲۵۸	۰/۲۶۱۴	۰/۴۰۶۷	۰/۵۴۱۳	۰
۱/۵	۰/۷۳۶۱	۰/۲۷۱۴	۰/۴۱۵۵	۰/۵۴۳۷	۰
۱/۷۵	۰/۷۴۱۶	۰/۲۸۰۰	۰/۴۲۸۶	۰/۵۳۶۵	۰
۲	۰/۷۴۱۷	۰/۲۹۶۴	۰/۴۳۲۲	۰/۵۲۴۸	۰
۳	۰/۷۵۱۹	۰/۳۷۴۵	۰/۴۲۴۹	۰/۴۹۴۶	۰
۴	۰/۷۶۲۵	۰/۴۲۵۶	۰/۴۲۲۹	۰/۴۷۰۶	۰

جدول ۱۰. انحرافات استاندارد و ضریب اثر تصادفی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۷.

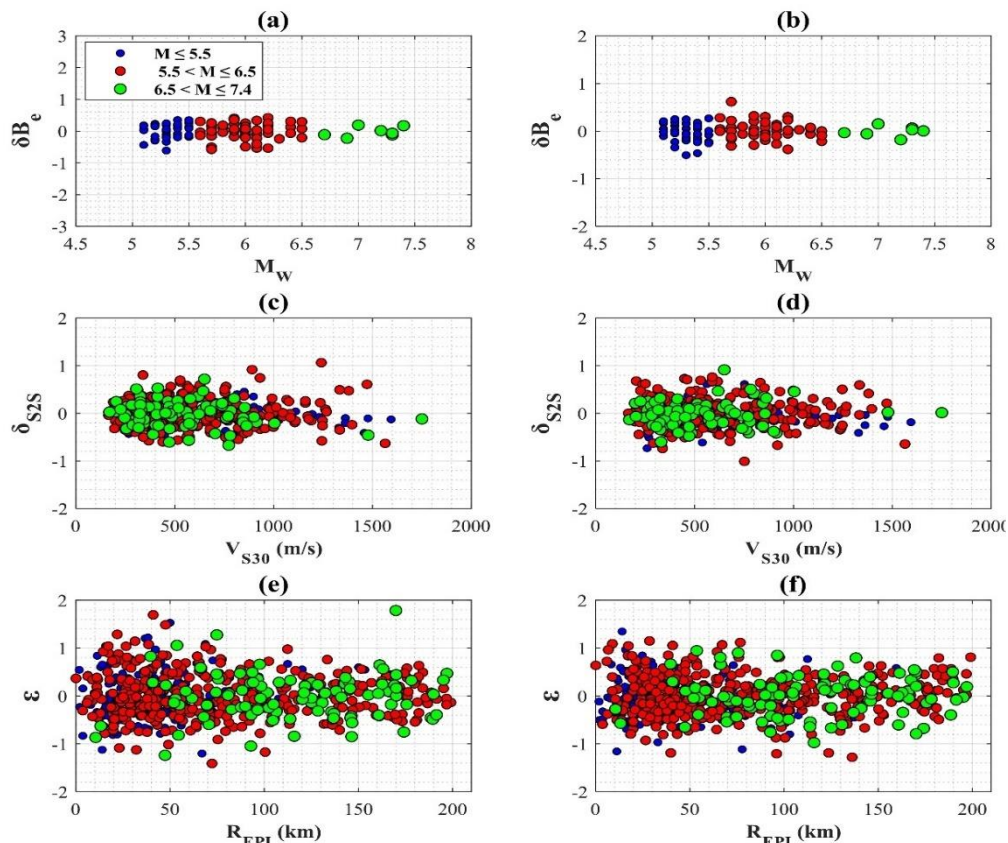
T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{SS}	ϕ_{SS}	Δz_{13}
۰/۰۴	۱/۵۲۳۴	۰/۴۸۸۳	۰/۶۵۶۴	۱/۲۸۵۱	۰
۰/۰۴۲	۱/۵۰۴۲	۰/۴۸۷۴	۰/۶۵۲۰	۱/۲۶۴۹	۰
۰/۰۴۴	۱/۴۸۳۵	۰/۴۸۵۴	۰/۶۴۷۳	۱/۲۴۳۴	۰
۰/۰۴۶	۱/۴۶۳۳	۰/۴۸۱۲	۰/۶۴۸۵	۱/۲۲۰۳	۰
۰/۰۴۸	۱/۴۴۶۶	۰/۴۷۷۰	۰/۶۵۳۴	۱/۱۹۹۳	۰
۰/۰۵	۱/۴۳۰۵	۰/۴۷۳۹	۰/۶۵۰۲	۱/۱۸۲۸	۰
۰/۱	۱/۱۰۹۷	۰/۳۷۵۲	۰/۵۴۴۱	۰/۸۹۱۴	۰
۰/۱۵	۰/۹۴۴۹	۰/۳۱۱۹	۰/۵۵۰۳	۰/۷۰۲	۰
۰/۲	۰/۸۵۷۲	۰/۲۸۱۵	۰/۵۰۸۰	۰/۶۳۰۵	۰
۰/۲۵	۰/۷۹۴۲	۰/۲۴۷۱	۰/۴۵۰۱	۰/۶۰۵۹	۰
۰/۳	۰/۷۶۳۳	۰/۲۳۰۹	۰/۴۲۳۸	۰/۵۹۱۴	۰
۰/۴	۰/۷۲۵۹	۰/۱۹۰۵	۰/۳۸۷۳	۰/۵۸۳۶	۰
۰/۵	۰/۷۰۳۲	۰/۱۹۸۲	۰/۳۶۷۳	۰/۵۶۵۹	۰
۰/۷۵	۰/۷۰۴۹	۰/۱۹۵۹	۰/۳۷۵۵	۰/۵۶۳۵	۰
۱	۰/۷۱۵	۰/۲۳۷۶	۰/۴۰۴۵	۰/۵۳۹۶	۰
۱/۲۵	۰/۷۲۸۴	۰/۲۸۲۵	۰/۴۱۵۹	۰/۵۲۷۱	۰
۱/۵	۰/۷۴۶۹	۰/۲۸۶۰	۰/۴۲۷۵	۰/۵۴۱۶	۰
۱/۷۵	۰/۷۵۶۵	۰/۲۹۷۵	۰/۴۵۰۱	۰/۵۳۰۳	۰
۲	۰/۷۵۴۹	۰/۳۱۲۶	۰/۴۴۹۷	۰/۵۱۹۶	۰
۳	۰/۷۷۴	۰/۴۰۲۰	۰/۴۴۲۱	۰/۴۹۱۹	۰
۴	۰/۷۸۵۲	۰/۴۵۴۴	۰/۴۲۹۴	۰/۴۷۵	۰

جدول ۱۱. انحرافات استاندارد و ضریب اثر تصادفی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۲.

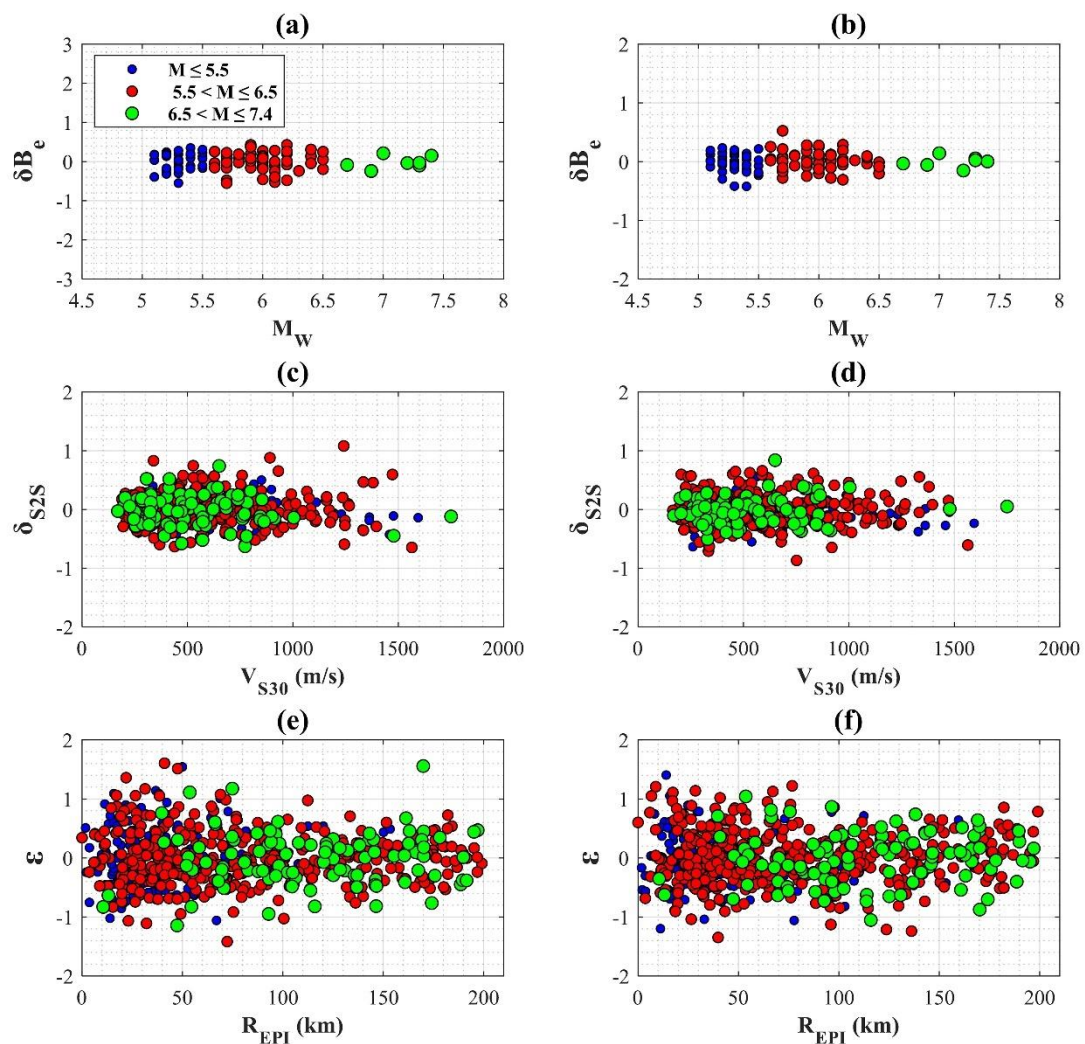
T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{S2S}	ϕ_{SS}	Δz_{13}
۰/۰۴	۱/۰۶۸۹	۰/۲۶۷۵	۰/۵۸۲۱	۰/۸۵۵۶	۰
۰/۰۴۲	۱/۰۵۹۲	۰/۲۷۱۶	۰/۵۷۸۴	۰/۸۴۴۸	۰
۰/۰۴۴	۱/۰۵۱۷	۰/۲۷۶۱	۰/۵۶۷۰	۰/۸۴۱۶	۰
۰/۰۴۶	۱/۰۴۴۸	۰/۲۸۲۴	۰/۵۶۷۹	۰/۸۳۰۳	۰
۰/۰۴۸	۱/۰۴	۰/۲۸۴۹	۰/۵۸۴۶	۰/۸۱۱۶	۰
۰/۰۵	۱/۰۳۵	۰/۲۸۵۴	۰/۵۷۸۹	۰/۸۰۹۱	۰
۰/۱	۰/۸۹۳۳	۰/۲۹۸۹	۰/۴۹۴۱	۰/۶۸۱۶	۰
۰/۱۵	۰/۸۱۸	۰/۲۸۸۷	۰/۵۰۷۸	۰/۵۷۲۷	۰
۰/۲	۰/۷۶۶۸	۰/۲۴۸۴	۰/۴۶۴۵	۰/۵۵۷۳	۰
۰/۲۵	۰/۷۳۲	۰/۲۳۸۰	۰/۴۱۷۴	۰/۵۵۲۲	۰
۰/۳	۰/۷۰۹۴	۰/۲۱۰۲	۰/۴۲۰۶	۰/۵۳۱۲	۰
۰/۴	۰/۶۸۴۷	۰/۱۹۶۳	۰/۳۹۵۰	۰/۵۲۳۷	۰
۰/۵	۰/۶۸۳۲	۰/۱۸۶۳	۰/۳۵۱۴	۰/۵۵۵۵	۰
۰/۷۵	۰/۷۰۶۲	۰/۲۰۸۵	۰/۳۷۹۶	۰/۵۵۷۸	۰
۱	۰/۷۲۳۱	۰/۲۴۵۰	۰/۴۰۲۰	۰/۵۴۸۸	۰
۱/۲۵	۰/۷۳۵۱	۰/۲۷۹۵	۰/۴۱۹۵	۰/۵۳۵۱	۰
۱/۵	۰/۷۵۳۴	۰/۲۸۷۴	۰/۴۲۶۶	۰/۵۵۰۵	۰
۱/۷۵	۰/۷۵۸۴	۰/۲۹۷۹	۰/۴۴۵۷	۰/۵۳۶۴	۰
۲	۰/۷۵۶۳	۰/۳۱۳۱	۰/۴۴۶۸	۰/۵۲۳۸	۰
۳	۰/۷۷۲۷	۰/۴۰۱۶	۰/۴۴۰۹	۰/۴۹۱۳	۰
۴	۰/۷۸۵۲	۰/۴۵۴۶	۰/۴۳۰۴	۰/۴۷۴	۰

جدول ۱۲. انحرافات استاندارد و ضریب اثر تصادفی در تخمین طیف جابجایی با نسبت مقاومت به وزن ۰/۳.

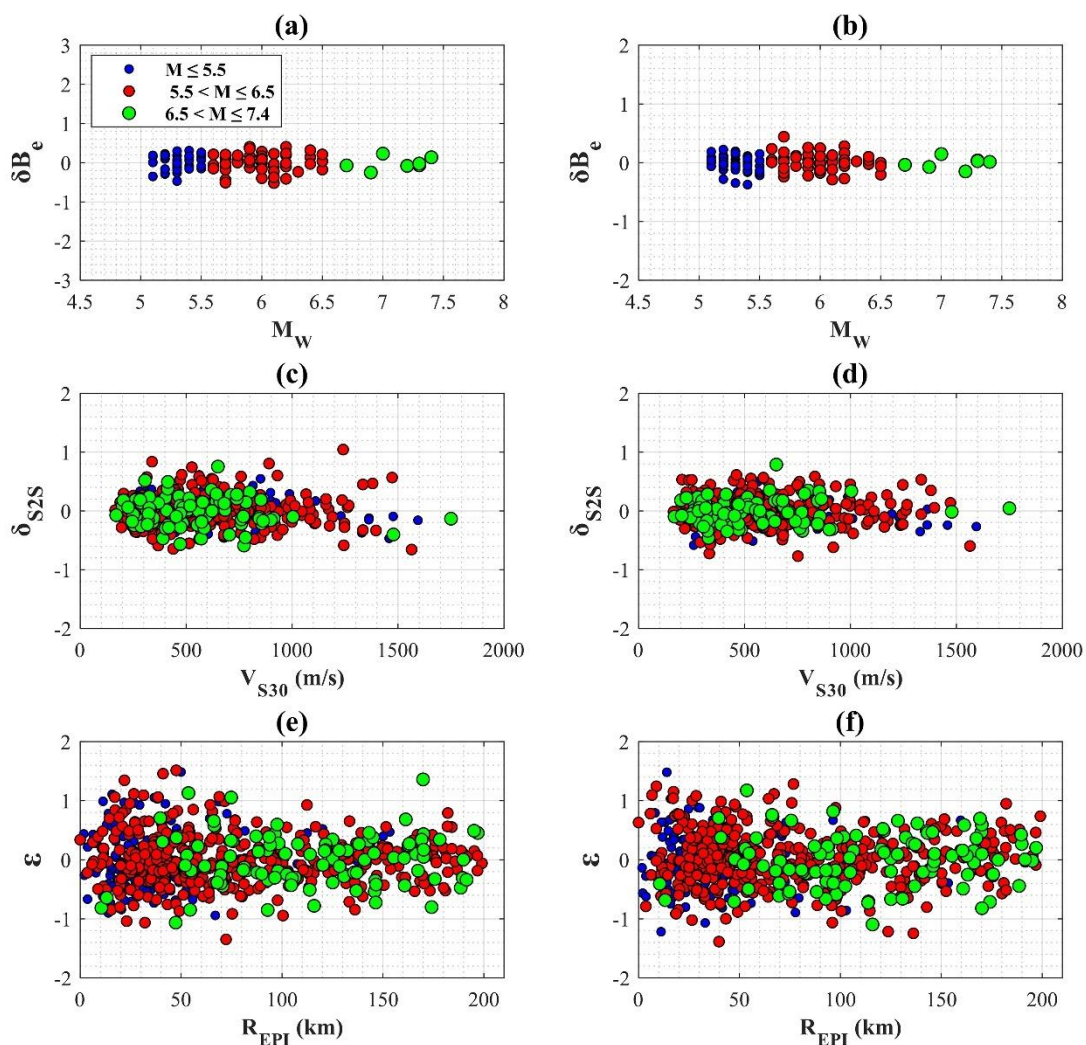
T(sec)	σ_{total}	τ	ϕ_{S2S}	ϕ_{SS}	Δz_{13}
۰/۰۴	۰/۹۷۵	۰/۲۵۹۲	۰/۵۷۱۳	۰/۷۴۶۳	۰
۰/۰۴۲	۰/۹۶۸۵	۰/۲۶۵۴	۰/۵۷۲۰	۰/۷۳۵۱	۰
۰/۰۴۴	۰/۹۶۱	۰/۲۷۲۲	۰/۵۶۴۶	۰/۷۲۸۵	۰
۰/۰۴۶	۰/۹۵۴۶	۰/۲۷۶۰	۰/۵۵۸۶	۰/۷۲۳۲	۰
۰/۰۴۸	۰/۹۵۰۳	۰/۲۷۸۹	۰/۵۶۲۵	۰/۷۱۳۳	۰
۰/۰۵	۰/۹۴۸۴	۰/۲۸۱۱	۰/۵۶۲۳	۰/۷۱۰۱	۰
۰/۱	۰/۸۴۱۶	۰/۲۹۷۲	۰/۴۷۱۳	۰/۶۳۰۸	۰
۰/۱۵	۰/۷۹۱۶	۰/۲۹۶۸	۰/۴۸۹۷	۰/۵۴۶۵	۰
۰/۲	۰/۷۵	۰/۲۵۳۵	۰/۴۵۸۹	۰/۵۳۶۳	۰
۰/۲۵	۰/۷۱۸۷	۰/۲۳۶۲	۰/۴۱۵۹	۰/۵۳۶۴	۰
۰/۳	۰/۷۰۳۶	۰/۲۱۰۵	۰/۴۱۹۹	۰/۵۲۳۹	۰
۰/۴	۰/۶۸۵۴	۰/۱۹۵۳	۰/۳۸۵۲	۰/۵۲۲۲	۰
۰/۵	۰/۶۸۲۲	۰/۱۹۰۶	۰/۳۴۹۹	۰/۵۵۳۷	۰
۰/۷۵	۰/۷۰۳۸	۰/۲۱۳۵	۰/۳۸۱۱	۰/۵۵۱۸	۰
۱	۰/۷۲۱۹	۰/۲۴۴۴	۰/۴۰۰۹	۰/۵۴۸۳	۰
۱/۲۵	۰/۷۳۴۷	۰/۲۷۹۷	۰/۴۱۹۳	۰/۵۳۶۶	۰
۱/۵	۰/۷۵۱۴	۰/۲۸۶۳	۰/۴۲۴۱	۰/۵۵۰۲	۰
۱/۷۵	۰/۷۵۷۲	۰/۲۹۸۴	۰/۴۴۴۹	۰/۵۳۵۲	۰
۲	۰/۷۵۶	۰/۳۱۳۱	۰/۴۴۶۷	۰/۵۲۳۴	۰
۳	۰/۷۷۳۵	۰/۴۰۱۵	۰/۴۴۲۲	۰/۴۹۱۵	۰
۴	۰/۷۸۵۶	۰/۴۵۴۲	۰/۴۳۱۰	۰/۴۷۴۴	۰



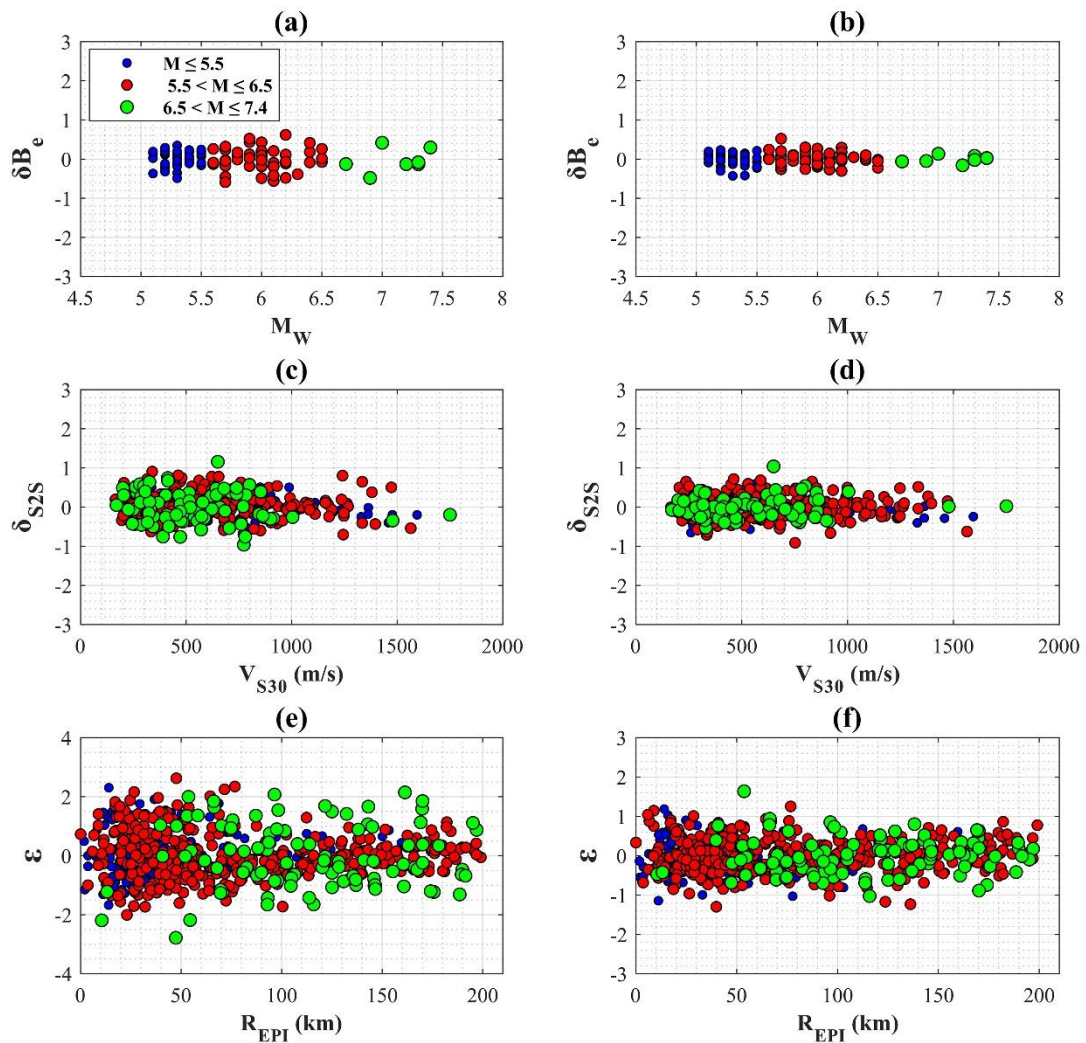
شکل ۱. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به ترتیب در مقابل بزرگا، V_{S3} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی شبه‌شتاب ۲ درصد میرایی در دوره تناوب ۰/۱ (به ترتیب (a)، (c) و (e)) و دوره تناوب ۱ ثانیه (به ترتیب (b)، (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آنهاست.



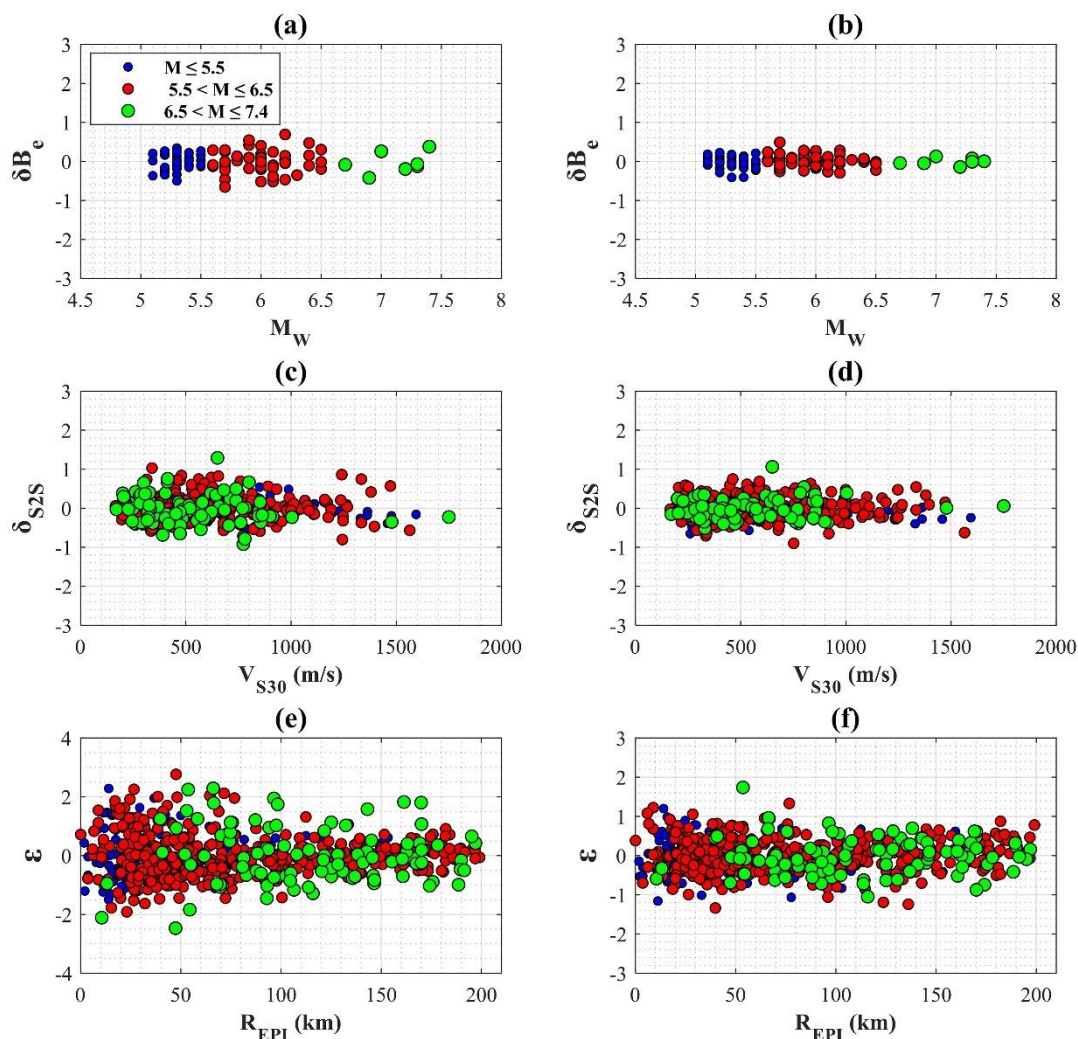
شکل ۲. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به‌ترتیب در مقابل بزرگا، V_{S30} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی شبه‌شتاب ۵ درصد میرایی در دوره تناوب ۰/۱ (به‌ترتیب (a)، (c) و (e)) و دوره تناوب ۱ ثانیه (به‌ترتیب (b)، (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آنهاست.



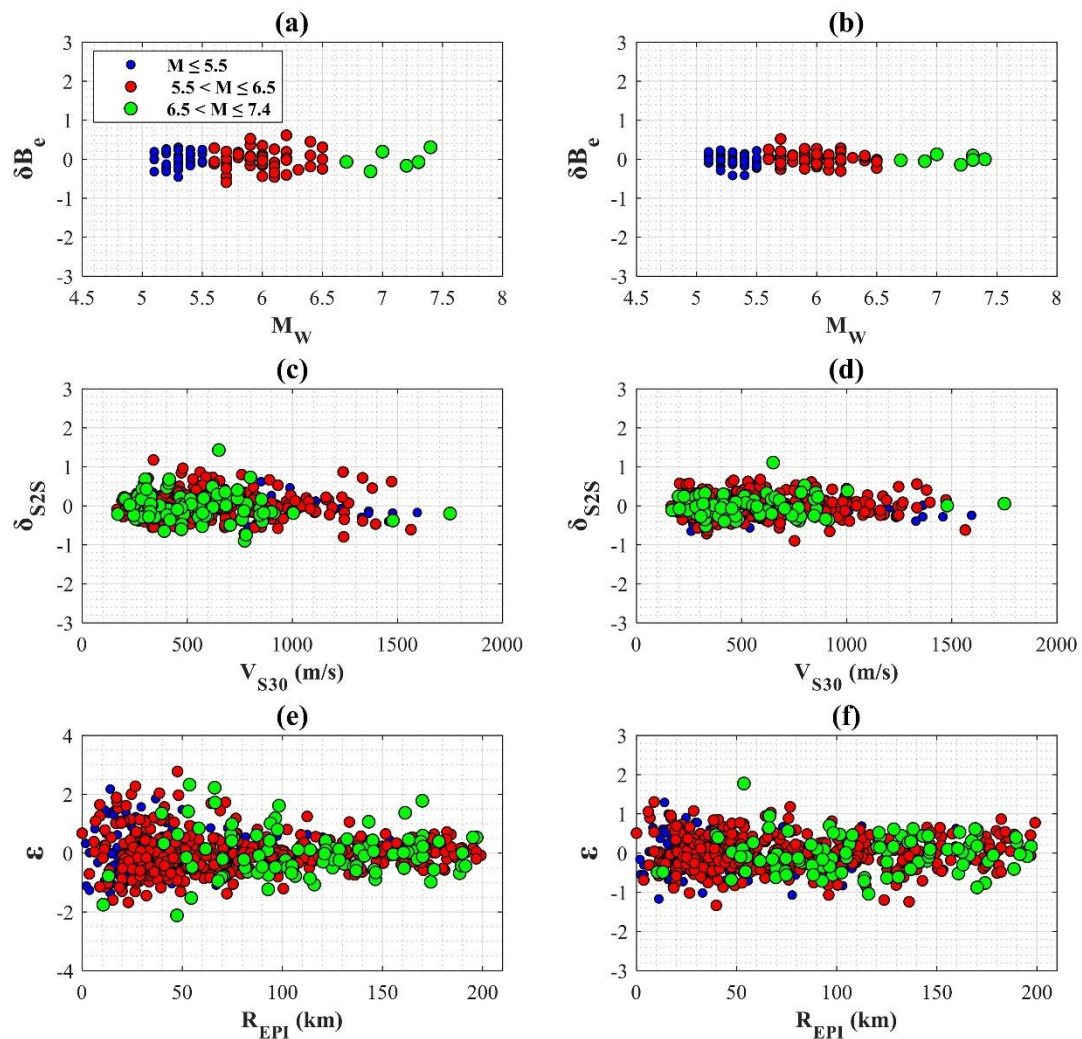
شکل ۳. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به ترتیب در مقابل بزرگا، V_{S30} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی شبه‌شتاب ۱۰ درصد میرایی در دوره تناوب ۰/۱ (به ترتیب (a)، (c) و (e)) و دوره تناوب ۱ ثانیه (به ترتیب (b)، (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آنهاست.



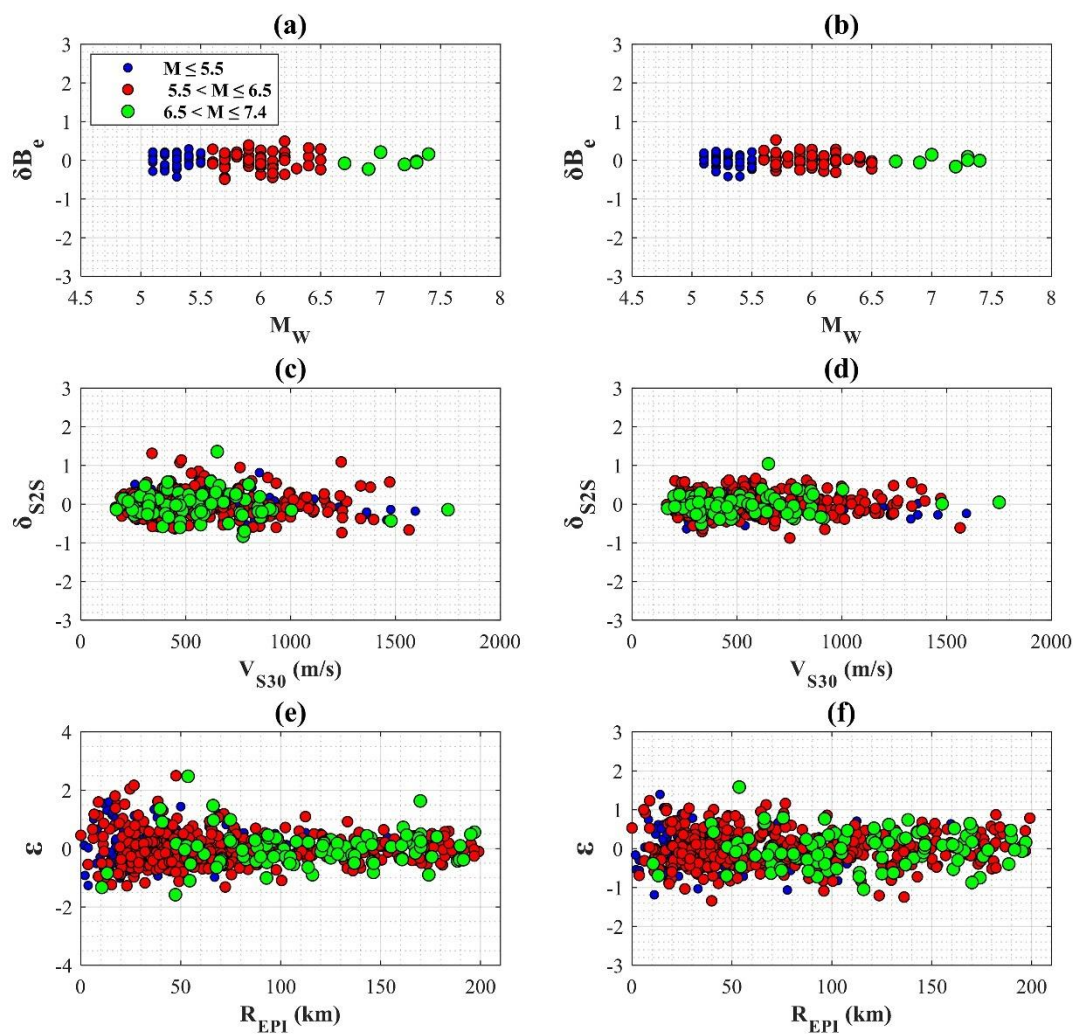
شکل ۴. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به ترتیب در مقابل بزرگا، V_{S30} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی جابجایی با نسبت مقاومت به وزن $0.5/0$ در دوره تناوب $0.1/0$ (به ترتیب (a)، (c) و (e)) و دوره تناوب ۱ ثانیه (به ترتیب (b)، (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آنهاست.



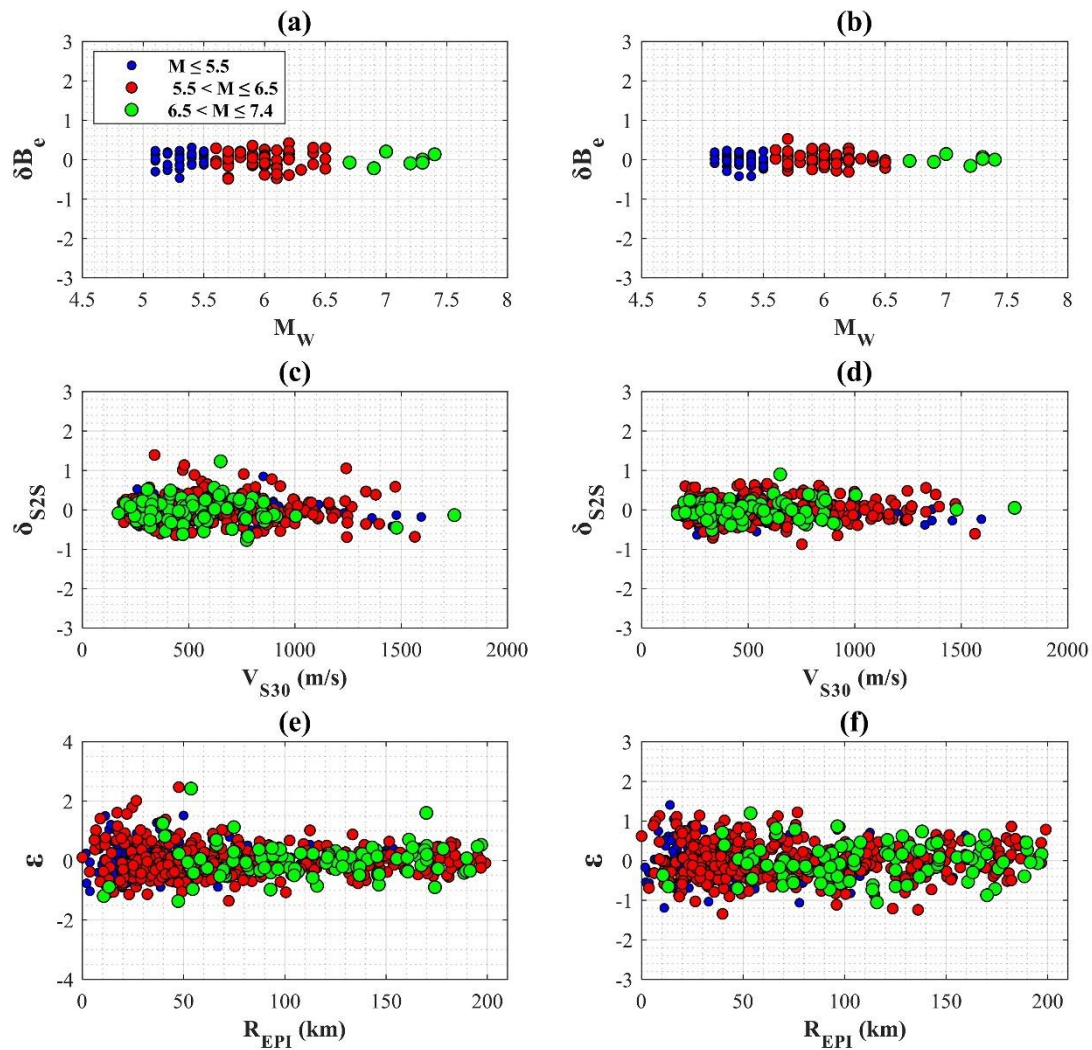
شکل ۵. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به‌ترتیب در مقابل بزرگا، V_{S30} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی جابجایی با نسبت مقاومت به وزن 0.07 در دوره تناوب 0.1 (به‌ترتیب (a)، (c) و (e)) و دوره تناوب 1 ثانیه (به‌ترتیب (b)، (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آنهاست.



شکل ۶. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به ترتیب در مقابل بزرگا، V_{S30} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی جابجایی با نسبت مقاومت به وزن 0.1 در دوره تناوب 0.1 (به ترتیب (a) و (c) و (e)) و دوره تناوب 1 ثانیه (به ترتیب (b) و (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگای آنهاست.



شکل ۷. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به ترتیب در مقابل بزرگا، V_{S30} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی جابجایی با نسبت مقاومت به وزن 0.2 در دوره تناوب 0.1 (به ترتیب (a)، (c) و (e)) و دوره تناوب 1 ثانیه (به ترتیب (b)، (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگی بزرگای آنهاست.



شکل ۸. توزیع باقیمانده‌های میان‌رویدادی، ایستگاه به ایستگاه و رویداد-ایستگاه تصحیح‌شده مدل پیشنهادی به ترتیب در مقابل بزرگای V_{S30} و فاصله رومرکزی برای مقادیر طیفی جابجایی با نسبت مقاومت به وزن $3/0$ در دوره تناوب 0.1 (به ترتیب (a)، (c) و (e)) و دوره تناوب 1 ثانیه (به ترتیب (b)، (d) و (f)). باقیمانده‌ها در واحد لگاریتمی هستند و رنگ و اندازه نقاط بیانگر بزرگای آنهاست.