

## نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

این مطالعه به توسعه مدل‌های پیش‌بینی جنبش زمین بر اساس رویدادهای ناحیه لبه برخورد فرورانش به منظور کاربرد در ناحیه مکران می‌پردازد. به دلیل عدم وجود داده‌های ثبت شده شتاب‌نگاری برای این نوع رویدادها در ناحیه مکران، این تحقیق بر اساس رکوردهای پهنه‌های دیگر فرورانشی از جمله رویدادهای کشورهای ژاپن و مکزیک در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸ و بانک داده‌های تهیه شده توسط اتکینسون و بور (۲۰۰۳) که شامل رویدادهای کشورهای ژاپن، مکزیک، آلاسکا، پرو و شیلی در سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۸ می‌باشد، انجام شده است. بانک داده‌ها شامل ۱۴۲۴ رکورد با بزرگای گشتاوری ۵ تا ۹، فاصله‌ی رومرکز کمتر از ۳۰۰ کیلومتر و عمق کانونی کمتر از ۴۰ کیلومتر می‌باشد. نوع خاک نیز بر اساس طبقه‌بندی NEHRP می‌باشد. بررسی‌های آماری، تحلیل و پردازش بانک داده‌ها انجام شده و مقادیر طیف شتاب در دوره تناوب‌های مختلف به دست آمده است. سپس با استفاده از عملیات رگرسیون، مدل پیش‌بینی جنبش زمین توسعه یافته و باقی‌مانده‌های درون‌رخدادی و فرا رخدادی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. مقادیر پیش‌بینی و انحراف معیار حاصله در مدل پیشنهادی، با سایر مدل‌های موجود در دنیا مقایسه و نشان داده شده که مدل پیشنهادی از دقت مناسبی برای پیش‌بینی مقادیر طیفی برخوردار است.

**واژگان کلیدی:** ناحیه لبه برخورد فرورانشی، بانک داده، مدل پیش‌بینی جنبش زمین، ضرایب رگرسیون.

## توسعه مدل‌های پیش‌بینی جنبش زمین در ناحیه لبه برخورد فرورانشی مکران

حمید زعفرانی (نویسنده مسئول)

استاد، پژوهشکده زلزله‌شناسی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، [h.zafarani@iiees.ac.ir](mailto:h.zafarani@iiees.ac.ir)

محمد رضا سقراط

دکتری، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

زهرا نصرالهی فر

کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی - غیرانتفاعی آل‌طه، تهران، ایران

## ۱- مقدمه

مناطق که در آنها زلزله‌ی فرورانشی رخ می‌دهد، وجود دارد. منطقه‌ی مکران (واقع در جنوب شرقی ایران) تنها منطقه از کشور است که زلزله‌های فرورانشی به واسطه فرورانش صفحه‌ی عربی به زیر فلات ایران در آن رخ می‌دهد و لازم است مدل‌های پیش‌بینی جنبش زمین در آن برای اولین بار بررسی شود. با توجه به کمبود داده‌های شتاب‌نگاری حاصل از رویدادهای فرورانشی در این ناحیه، تا کنون رابطه‌ی کاهندگی مناسبی به دست نیامده است. انتخاب رابطه‌ی کاهندگی مناسب یک منطقه برای ارزیابی خطر لرزه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس پاسخ‌های طیفی جنبش زمین برای رویدادهای لبه برخورد<sup>۱</sup> و درون‌صفحه‌ای<sup>۲</sup> از رکوردهای این مناطق، می‌توان به مدل‌های مناسب پیش‌بینی جنبش زمین دست یافت. قبلاً کارهایی از همین

یکی از اجزای مهم تحلیل خطر زلزله، مدل‌های پیش‌بینی جنبش زمین<sup>۱</sup> (روابط کاهندگی) می‌باشد. با توجه به تفاوت مناطق مختلف جهان لازم است تا رکوردهای مناسب هر منطقه برای توسعه این روابط به کار رود. با توجه به دوره بازگشت طولانی زمین‌لرزه‌های مناطق فرورانشی<sup>۲</sup> امکان استفاده از رکوردهای یک منطقه برای توسعه روابط محلی جز در مناطق فرورانشی خاص با زمین‌لرزه فراوان نظیر ژاپن، مکزیک و شیلی فراهم نیست. پس عموماً با استفاده از فرض ارگودیک (میانگین رکوردهای مناطق مختلف جایگزینی مناسب برای میانگین رکوردهای یک منطقه در زمان طولانی است) توسعه این روابط برای مناطق مختلف از جمله مناطق فرورانشی صورت می‌گیرد. روابط کاهندگی مختلفی برای ارزیابی خطر لرزه‌ای، از جمله در

تهیه کرده‌اند. نهایتاً تحلیل انجام شده و نتایج به دست آمده‌اند. برای استفاده از چارچوب درخت منطقی از مطالعات بومر و همکاران [۷]، دی‌الساندرو و همکاران [۸]، آبراهامسون و همکاران [۹] و لین و لی [۱۰] استفاده شد.

این مطالعات اهمیت مطالعه روی نواحی فرورانشی را نشان داده که توسط محققین مختلف در نواحی گوناگون انجام شده است.

### ۳- بانک داده‌ها، بررسی و پردازش رکوردها

هدف این مطالعه توسعه‌ی مدل پیش‌بینی جنبش زمین در ناحیه‌ی لبه برخورد فرورانشی مکران بوده و از آنجایی که در این ناحیه اطلاعاتی از رکوردهای زلزله‌های لبه برخورد فرورانشی ثبت نشده، لازم است که از بانک داده‌های مناطقی دیگر که شامل این نوع رویداد است، استفاده شود. بیش از ۶۰۰۰ رکورد زلزله کشورهای ژاپن و مکزیک جمع‌آوری شده که نهایتاً، ۱۲۴۷ رکورد سه مؤلفه‌ای ۸۰ زلزله (شامل ۹۶۱ رکورد زلزله‌های ژاپن و ۲۸۶ رکورد زلزله‌های مکزیک) از سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸، انتخاب و سپس ۱۷۷ رکورد ۳۱ زلزله‌ی بانک داده‌های اکتینسون و بور [۱۱] که شامل رکورد زلزله‌های ژاپن، مکزیک، آلاسکا، شیلی و پرو از سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۸ می‌باشد، به بانک داده‌ها اضافه گردید. بزرگای رویدادها بین ۵ تا ۹، عمق کانونی کمتر از ۴۰ کیلومتر و فاصله‌ی رومرکزی کمتر از ۳۰۰ کیلومتر است، جدول‌های (۱) و (۲).

از آنجایی که بایستی تمامی رکوردها از نظر نوع بزرگای یکسان بوده و با بزرگای گشتاوری سنجیده شوند، رکوردهایی که با بزرگای امواج حجمی و بزرگای امواج سطحی گزارش شده بودند، جدا شدند. سپس با بررسی روابط و مقالات مربوطه و با توجه به شرایط بانک داده‌ها، نهایتاً با استفاده از روابط و مطالعاتی که توسط شدلاک [۱۲] برای زلزله‌های مکزیک ارائه شده است، این مقادیر به بزرگای گشتاوری تبدیل شدند.

نوع خاک رکوردهای مکزیک با توجه به اطلاعات مشخصات زمین‌شناسی منطقه گزارش شده بود. به دلیل مشخص نبودن اطلاعات مشخصات زمین‌شناسی یا سرعت موج برشی را

قبیل برای منطقه‌ی مالزی، شیلی، پرو و ژاپن انجام شده اما با توجه به کمبود اطلاعات در ناحیه مکران تا کنون برای این منطقه مدلی توسعه داده نشده است.

### ۲- مروری بر کلیات

مطالعاتی جهت توسعه روابط کاهندگی و بانک داده‌های رویدادهای فرورانشی در نقاط مختلف جهان انجام شده که به برخی از آنها در اینجا اشاره شده است. به دلیل خطر زلزله در پهنه‌ی فرورانشی پرو-شیلی، توسعه‌ی بانک داده‌ها<sup>۵</sup> در این منطقه اهمیت بسیاری دارد. بانک داده‌های تهیه شده توسط آرانگو و همکاران [۱] شامل رکوردهای رویدادهای فرورانشی با بزرگای ۶/۳ تا ۸/۴ در ساختگاه‌های مختلف از سال ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۷ می‌باشد. با انجام بررسی‌ها، بانک داده‌ها برای این پهنه فرورانشی تهیه شده است.

خطر زلزله‌های بزرگ فرورانشی، منطقه‌ی کاسکادیا در غرب ایالات متحده و کانادا (واشنگتن، ارگان، کالیفرنیا، شمالی و کلمبیای بریتانیایی) را تهدید می‌کند. صدها رکورد جنبش زمین در پهنه‌های فرورانشی با بزرگای ۵ تا ۸/۳ توسط اکتینسون و کاسی [۲] گردآوری شدند. ۳۵۰ طیف پاسخ از رکورد زلزله‌های رخ داده در سال ۱۹۸۹ تهیه و به بانک داده‌های اولیه که توسط کروس [۳] تهیه شده، اضافه گردید که شامل داده‌های کاسکادیا، ژاپن، مکزیک و آمریکای مرکزی می‌باشد. با انجام تحلیل‌ها رابطه کاهندگی متناسب برای این پهنه فرورانشی تخمین زده شده است.

برای ارزیابی لرزه‌ای منطقه‌ی مالزی در اثر زلزله‌های فرورانشی سوماترا مطالعاتی انجام شده است. این مطالعات شامل داده‌های رویدادهای فرورانشی با بزرگای گشتاوری ۵ تا ۷/۷ می‌باشد. عدنان و همکاران [۴] و نایلا و بالندرا [۵] برای این منطقه، روابطی را پیش‌بینی کردند. اخیراً رابطه کاهندگی طیفی تجربی توسط شوشتی و همکاران [۶] پیشنهاد شده است که به دلیل کم بودن داده‌ها، با استفاده از رکوردهای زلزله‌های فرورانشی ژاپن و سوماترا بانک داده‌های کامل‌تری را

طبقه‌بندی NEHRP خاک که توسط اتکینسون و بور [۱۱، ۱۴] ارائه شده، مشخص بوده و شامل رده‌های A، B، C، D و E می‌باشد. نهایتاً برای یکسان شدن این اطلاعات، از طبقه‌بندی NEHRP خاک استفاده شده و با استفاده از مطالعات موجود که توسط دیتماکورن و ریناک [۱۵] ارائه شده، این یکسان‌سازی انجام شده است.

عمق ۳۰ متری ( $V_{S30}$ ) خاک رویدادهای ژاپن، با استفاده از وبسایت K-net ژاپن برای ایستگاه‌های ژاپن، مقادیر سرعت موج برشی ( $V_s$ ) در عمق‌های مختلف خاک استخراج شده و با استفاده از مطالعات، ضرایب و روابطی که توسط بور و همکاران [۱۳] ارائه شده، مقدار  $V_{S30}$  برای هر ایستگاه به دست آمده است. نوع خاک رکوردهای بانک داده‌های اتکینسون و بور [۱۱] نیز طبق

جدول (۱): مشخصات رکوردهایی با بزرگای گشتاوری بیشتر از ۶/۵ در بانک داده‌های ژاپن و مکزیک.

ردیف	منطقه	تاریخ وقوع	زمان وقوع	عمق (کیلومتر)	بزرگای گشتاوری	موقعیت جغرافیایی	
						طول (کیلومتر)	عرض (کیلومتر)
۱	ژاپن	۲۰۱۸/۰۹/۰۵	۱۸:۰۷:۵۸	۳۳/۴	۶/۶	۱۴۱/۹۳۳	۴۲/۶۷۱
۲	ژاپن	۲۰۱۶/۱۱/۲۱	۲۰:۵۹:۴۹	۱۱/۴	۶/۹	۱۴۱/۴۰۳	۳۷/۳۹۲
۳	ژاپن	۲۰۱۵/۰۵/۱۲	۲۱:۱۲:۵۸	۳۸/۹	۶/۸	۱۴۲/۰۳۲	۳۸/۹۰۲
۴	ژاپن	۲۰۱۴/۰۷/۱۱	۱۹:۲۱:۵۹	۱۰/۵	۶/۵	۱۴۲/۴۲۵	۳۷/۰۴
۵	ژاپن	۲۰۱۱/۰۷/۱۰	۰۰:۵۷:۱۰	۲۳	۷	۱۴۳/۲۶۴	۳۸/۰۳۴
۶	ژاپن	۲۰۱۱/۰۶/۲۲	۲۱:۵۰:۵۲	۳۳	۶/۷	۱۴۲/۲۰۵	۳۹/۹۵۵
۷	ژاپن	۲۰۱۱/۰۴/۱۱	۲۳:۰۸:۱۶	۱۵	۶/۲	۱۴۰/۵۷۵	۳۵/۴۱۷
۸	ژاپن	۲۰۱۱/۰۳/۲۷	۲۲:۲۳:۵۸	۳۱	۶/۵	۱۴۲/۳۱۵	۳۸/۳۹۲
۹	ژاپن	۲۰۱۱/۰۳/۱۱	۱۱:۳۶:۴۰	۲۵/۷	۶/۶	۱۴۲/۴۶۳	۳۹/۲۴۱
۱۰	ژاپن	۲۰۱۱/۰۳/۱۱	۰۶:۰۸:۲۹	۲/۸	۶/۷	۱۴۳/۳۷	۳۸/۹۶۹
۱۱	ژاپن	۲۰۱۱/۰۳/۱۱	۰۵:۴۶:۲۴	۲۹	۹	۱۴۲/۳۷۳	۳۸/۲۹۷
۱۲	ژاپن	۲۰۱۱/۰۳/۰۹	۰۲:۴۵:۲۰	۳۲	۷/۳	۱۴۲/۸۴۲	۳۸/۴۳۵
۱۳	ژاپن	۲۰۱۰/۰۳/۱۴	۰۸:۰۸:۰۳	۳۲	۶/۵	۱۴۱/۵۹	۳۷/۷۴۵
۱۴	ژاپن	۲۰۰۸/۰۹/۱۱	۰۰:۲۰:۵۰	۲۵	۶/۸	۱۴۳/۷۵۴	۴۱/۸۹۲
۱۵	ژاپن	۲۰۰۸/۰۶/۱۳	۲۳:۴۳:۴۵	۷/۸	۶/۹	۱۴۰/۸۸۱	۳۹/۰۳
۱۶	ژاپن	۲۰۰۸/۰۵/۰۷	۱۶:۴۵:۱۸	۲۷	۶/۹	۱۴۱/۵۲۶	۳۶/۱۶۴
۱۷	ژاپن	۲۰۰۷/۰۷/۱۶	۰۱:۱۳:۲۷	۸	۶/۵	۱۳۸/۳۷۸	۳۷/۵۸۴
۱۸	ژاپن	۲۰۰۷/۰۳/۲۵	۰۰:۴۱:۵۷	۵	۶/۷	۱۳۶/۶۰۲	۳۷/۲۸۱
۱۹	ژاپن	۲۰۰۵/۰۴/۱۰	۲۲:۲۲:۱۵	۳۷/۳	۶/۷	۱۴۰/۳۲۶	۳۵/۶۲۱
۲۰	ژاپن	۲۰۰۵/۰۳/۲۰	۰۱:۵۳:۴۲	۱۰	۶/۶	۱۲۹/۹۷۵	۳۳/۸۵۱
۲۱	مکزیک	۲۰۰۰/۰۸/۰۹	۱۱:۴۱:۴۶	۹	۶/۷	۱۰۲/۷۱	۱۷/۹۴
۲۲	مکزیک	۱۹۹۷/۰۱/۱۱	۲۰:۲۸:۲۶	۱۷	۷/۱	۱۰۲/۸۶	۱۸/۰۹
۲۳	مکزیک	۱۹۹۳/۱۰/۲۴	۰۷:۵۲:۱۵	۲۲/۵	۶/۷	۹۸/۹۳۱	۱۶/۶۸۵
۲۴	مکزیک	۱۹۹۳/۰۵/۱۵	۰۳:۱۲:۴۵	۱۵/۷	۶/۷	۹۹/۰۷۲	۱۶/۷۹۶
۲۵	مکزیک	۱۹۸۵/۰۹/۲۱	۰۱:۳۷:۱۳	۱۵	۷/۶	۱۰۱/۴۷۹	۱۸/۰۲۱

جدول (۲): مشخصات رکوردهایی با بزرگای گشتاوری بیشتر از ۶/۵ در بانک داده‌های (اکتیسون و بور، ۲۰۰۳).

ردیف	منطقه	تاریخ وقوع	زمان وقوع	عمق (کیلومتر)	بزرگای گشتاوری	موقعیت جغرافیایی	
						طول (کیلومتر)	عرض (کیلومتر)
۱	آلاسکا	۱۹۸۵/۱۰/۰۹	-	۱۵	۶/۶	-۱۵۹/۴۶	۵۴/۷۳۶
۲	آلاسکا	۱۹۸۷/۰۶/۲۱	-	۳۳	۶/۵	-۱۶۲/۳۸	۵۴/۱۲
۳	کاسکادیا	۱۹۹۲/۰۴/۲۵	-	۱۱	۷/۱	-۱۲۴/۲۳	۴۰/۳۳
۴	پرو	۱۹۷۴/۱۰/۰۳	-	۲۷	۸/۱	-۷۷/۶۶	-۱۲/۳۹
۵	پرو	۱۹۷۴/۱۱/۰۹	-	۳۰	۷	-۷۷/۴۶	-۱۲/۴۴
۶	شیلی	۱۹۸۵/۰۳/۰۳	-	۳۱	۷/۹	-۷۱/۶۱۶	-۳۳/۱۱
۷	شیلی	۱۹۸۵/۰۴/۰۹	-	۴۴	۷/۱	-۷۱/۶۲	-۳۴/۱۳
۸	ژاپن	۱۹۶۸/۰۴/۰۱	-	۳۷	۷/۵	۱۳۲/۵۳۳	۳۲/۲۸۳
۹	ژاپن	۱۹۶۸/۰۵/۱۶	-	۲۰	۸/۳	۱۴۳/۵۸۳	۴۰/۷۳۳
۱۰	ژاپن	۱۹۷۰/۰۷/۲۶	-	۴۷	۷/۱	۱۳۲/۰۳۳	۳۲/۰۶۷
۱۱	ژاپن	۱۹۷۲/۰۲/۲۹	-	۵۰	۷/۴	۱۴۱/۲۶۷	۳۳/۱۸۳
۱۲	ژاپن	۱۹۷۸/۰۲/۲۰	-	۵۰	۶/۵	۱۴۲/۲	۳۸/۷۵
۱۳	ژاپن	۱۹۷۸/۰۳/۲۵	-	۳۱	۷/۵	۱۴۸/۸۶	۴۴/۲۴
۱۴	ژاپن	۱۹۷۸/۰۶/۱۲	-	۴۰	۷/۶	۱۴۲/۱۷	۳۸/۱۵
۱۵	ژاپن	۱۹۸۲/۰۷/۲۳	-	۳۰	۷	۱۴۱/۹۵	۳۶/۱۸
۱۶	ژاپن	۱۹۸۳/۰۵/۲۶	-	۱۴	۷/۹	۱۳۹/۰۸	۴۰/۳۶
۱۷	ژاپن	۱۹۹۸/۰۵/۰۴	-	۲۳	۷/۴	۱۲۵/۴	۲۲/۴
۱۸	مکزیک	۱۹۸۵/۰۹/۱۹	-	۱۸	۸	-۱۰۲/۵۷	۱۸/۱۸
۱۹	مکزیک	۱۹۸۵/۰۹/۱۹	-	۱۵	۷/۵	-۱۰۱/۴۷	۱۸/۰۲۱
۲۰	مکزیک	۱۹۸۹/۰۴/۲۵	-	۱۹	۶/۹	-۹۹/۴	۱۶/۶۰۳
۲۱	مکزیک	۱۹۹۵/۰۹/۱۴	-	۲۲	۷/۳	۹۹	۱۷
۲۲	مکزیک	۱۹۹۵/۰۹/۱۴	-	۲۲	۷/۳	۹۸/۸۸	۱۶/۳۱
۲۳	مکزیک	۱۹۹۶/۰۷/۱۵	-	۲۶	۶/۶	۱۰۱/۱۴	۱۷/۴۸

می‌باشند شکل (۲).

سپس رکوردها با استفاده از نرم‌افزار ساینزمواسپکت با انتخاب محدوده فرکانس مناسب تصحیح شدند. گام زمانی برای رکوردهای مکزیکی ۰/۰۰۵ ثانیه و برای رکوردهای ژاپن ۰/۰۱ ثانیه است.

با استفاده از نرم‌افزار متلب شتاب طیفی رکوردها در پریودهای مختلف محاسبه شده و با داشتن اطلاعات رکوردها توزیع داده‌ها نمایش داده شده است.

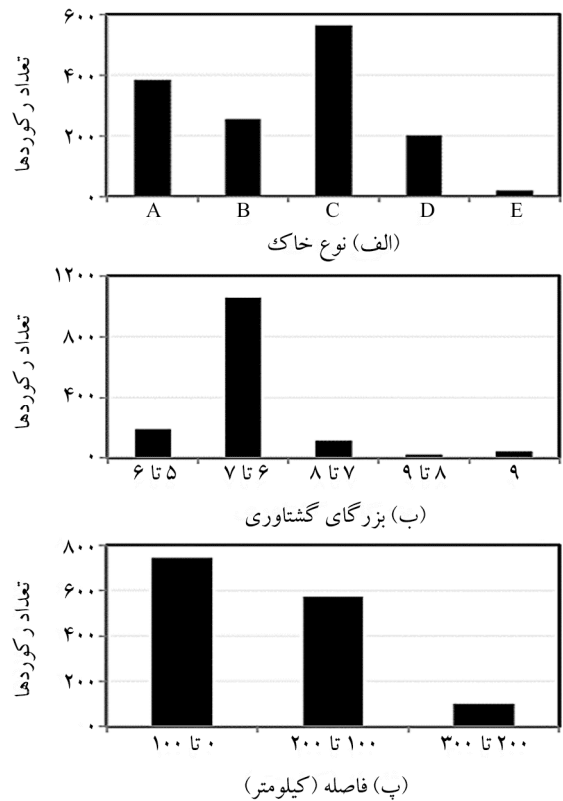
در شکل (۱) رکوردهای موجود بر حسب نوع خاک، بزرگای گشتاوری و فاصله‌ی کانونی دسته‌بندی شده‌اند. بر اساس نوع خاک، بیشترین تعداد رکوردها با خاک نوع C و کمترین تعداد آنها با خاک نوع E، بر اساس بزرگای گشتاوری داده‌ها، بیشترین تعداد رکوردها با بزرگای گشتاوری ۶ تا ۷ و کمترین تعداد آنها با بزرگای گشتاوری ۸ تا ۹ و بر اساس فاصله کانونی داده‌های موجود نیز بیشترین تعداد رکوردها تا فاصله‌ی ۱۰۰ کیلومتر و کمترین تعداد آنها تا فاصله‌ی ۳۰۰ کیلومتر

#### ۴- تحلیل و توسعه مدل کاهندگی

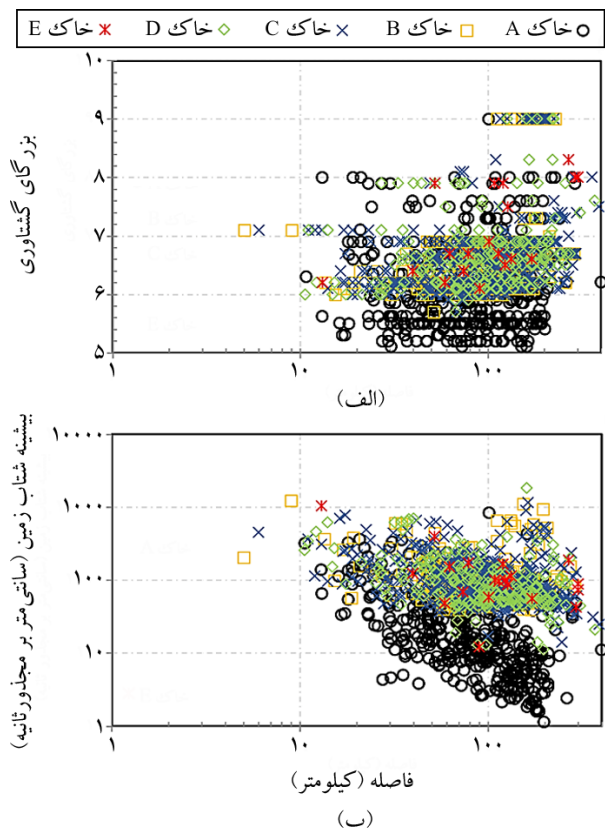
برای توسعه مدل پیش‌بینی مناسب در منطقه، بایستی روابط کاهندگی متناسب با بانک داده‌ها بررسی شوند. از میان روابط مشابه موجود در دنیا، چهار فرم تابعی متناسب، انتخاب و با استفاده از نرم‌افزار متلب تحلیل انجام شده و برای این مدل‌ها ضرایب رگرسیون<sup>۶</sup> به دست آمدند. این مدل‌های منتخب شامل مدل ۱ رابطه‌ی اتکینسون و بور [۱۱]، مدل ۲ رابطه‌ی گرگور [۱۶]، مدل ۳ رابطه‌ی اکار و بومر [۱۷] و مدل ۴ رابطه‌ی لین و لی [۱۰] می‌باشند، شکل (۳). بعد از انجام تحلیل‌های مورد نظر، لازم است که با بررسی مدل‌ها در بزرگای مختلف، نهایتاً یک مدل مناسب برای توسعه انتخاب شود. مدل ۴ به دلیل نداشتن ضرایب رگرسیون مناسب، حذف شده است، بنابراین برای ۳ مدل باقی مانده نمودار روابط کاهندگی در بزرگای ۶ تا ۹ رسم شده تا بتوان این مدل‌ها را به‌دقت با یکدیگر مقایسه کرد.

همان‌طور که در نمودارهای موجود مشخص می‌باشد، در مدل ۱ در فاصله‌های کم، اشباع‌شدگی وجود نداشته بنابراین بایستی مانند مدل ۴، این مدل نیز حذف شود. با توجه به دو شکل دیگر باقی مانده (مدل ۲ و مدل ۳)، برای تصمیم‌گیری صحیح و مناسب لازم است که هر سه رابطه بیشتر بررسی شوند؛ بنابراین این سه مدل با چندین روابط کاهندگی دیگر در دنیا نظیر رابطه‌ی گرگور و همکاران [۱۶]، ژائو و همکاران [۱۸]، کانو و همکاران [۱۹]، لین و لی [۱۰] و آبراهامسون و همکاران [۹] در بزرگای ۸، ۸/۵ و ۹ مقایسه شده‌اند، شکل (۴).

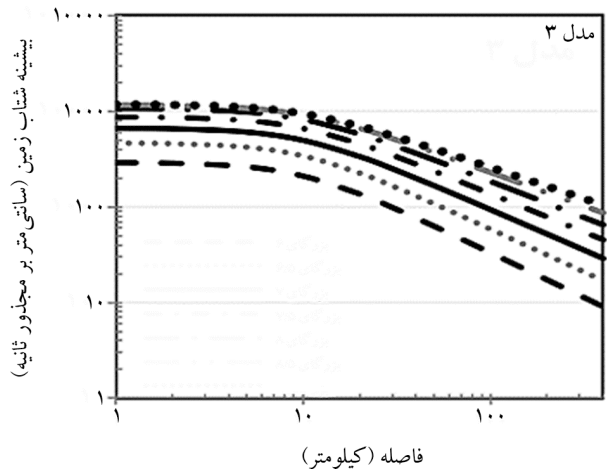
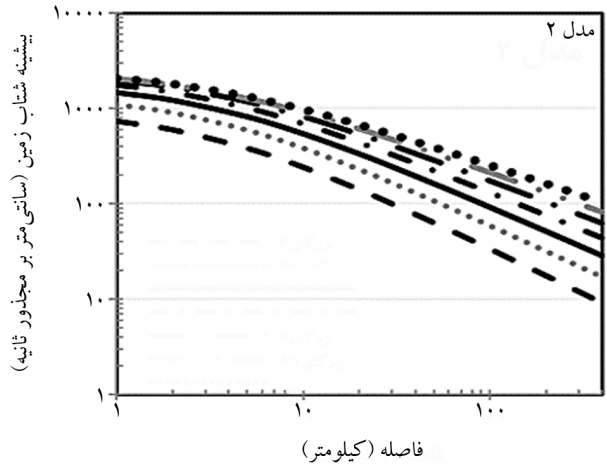
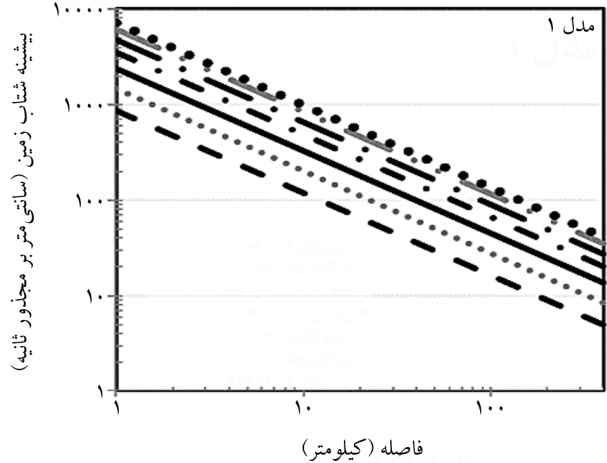
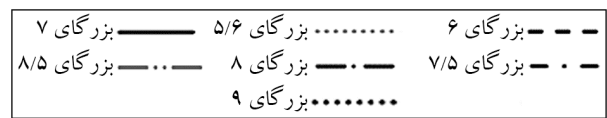
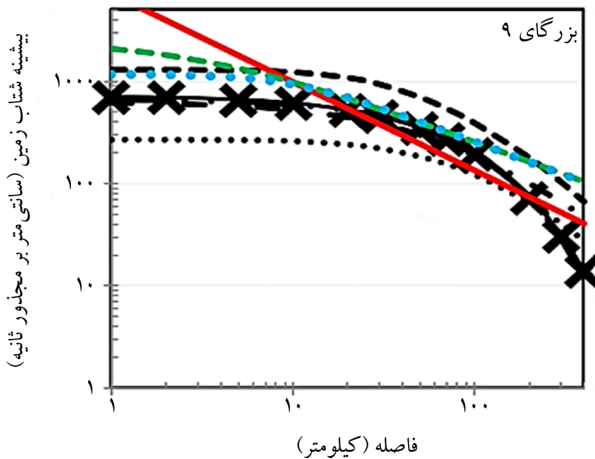
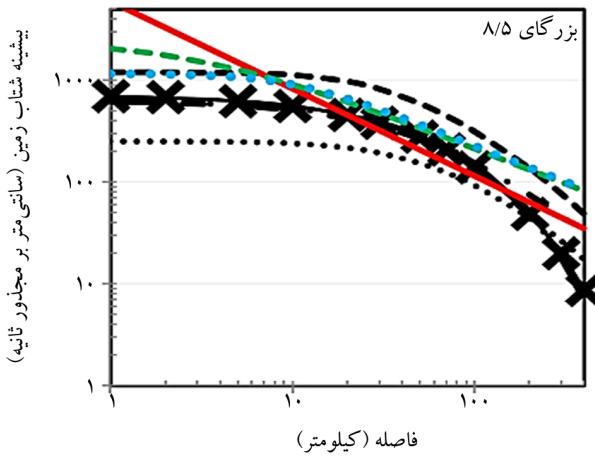
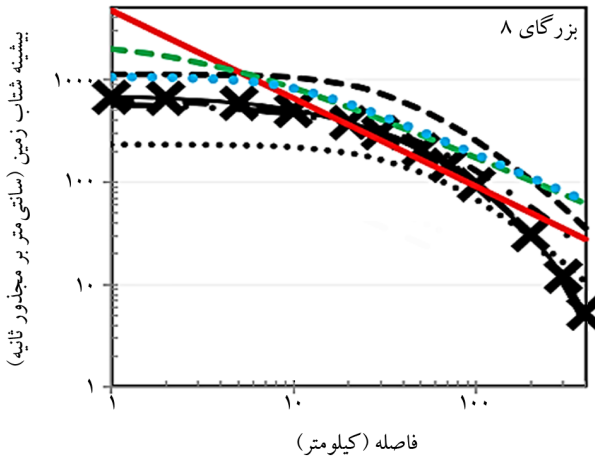
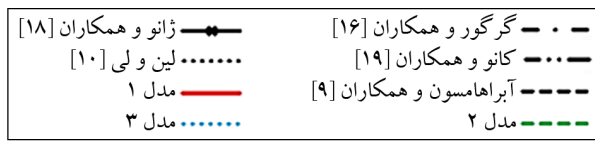
با توجه به نمودارها باز هم مشخص است که مدل ۱ اشباع‌شدگی نداشته، بنابراین قطعاً این مدل بایستی حذف شود. از میان آن دو مدل دیگر، مدل ۲ در فواصل کم از بقیه روابط بالاتر است، مقدار بیشتری داشته و همچنین دیرتر اشباع می‌شود (توقع داریم که زیر ۱۰ کیلومتر اشباع‌شدگی اتفاق بیافتد). با توجه به نمودارها و بررسی‌ها مدل ۳ از سایر مدل‌ها مناسب‌تر می‌باشد.



شکل (۱): دسته‌بندی رکوردهای موجود.



شکل (۲): (الف) توزیع بزرگای گشتاوری بر حسب فاصله‌ی کانونی و (ب) توزیع پیشینه شتاب زمین بر حسب فاصله‌ی کانونی.



شکل (۳): بررسی مدل های ۱، ۲ و ۳ در بزرگای مختلف.

شکل (۴): مقایسه مدل ۱، ۲ و ۳ با دیگر روابط موجود در بزرگای ۸، ۸/۵ و ۹.

$$\log(\text{PGA}) = b_1 + b_2 M_w + b_3 M_w^2 + (b_4 + b_5 M_w) \times \log \sqrt{R^2 + b_6^2} + b_7 S_1 + b_8 S_2 + b_9 S_3 + b_{10} S_4 + b_{11} S_5 \quad (1)$$

بنابراین بر اساس مقایسه مدل ها، پراکندگی باقی مانده ها<sup>۷</sup> و میزان انحراف معیار<sup>۸</sup> مدل ها، مدل ۳ برای توسعه انتخاب شده است و همین طور رابطه (۱) نشان دهنده رابطه مدل منتخب می باشد.

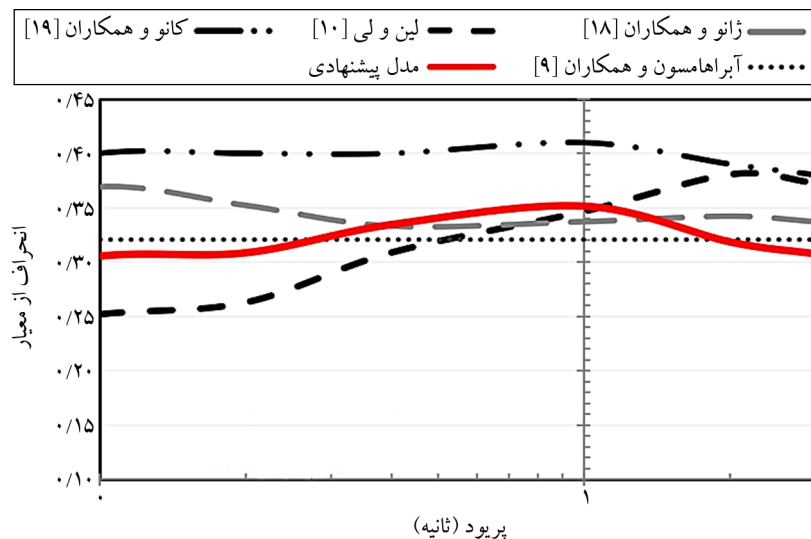
آبراهامسون و همکاران [۹] در پیوندهای مختلف، مقایسه شده است.

با توجه به شکل (۵)، میانگین انحراف معیار مدل توسعه داده شده حدوداً ۰/۳۰۸ بوده و تقریباً مقداری بین مقادیر سایر مدل‌های موجود می‌باشد. در پیوندهای کوتاه، مقادیر مدل توسعه پیشنهادی به مقادیر رابطه‌ی آبراهامسون و همکاران [۹] و لین و لی [۱۰] نزدیک بوده و در این محدوده از مقادیر روابط ژائو و همکاران [۱۸] و کانو و همکاران [۱۹] کمتر است. رفته‌رفته این مقادیر افزایش یافته و به مقادیر رابطه ژائو و همکاران [۱۸] نیز نزدیک می‌شود. در پیوند یک ثانیه این مقادیر از مقادیر سایر مدل‌ها (به جز رابطه کانو) بیشتر می‌باشد. در پیوندهای بلند این مقادیر از مقادیر سایر مدل‌ها کمتر می‌باشد.

که در رابطه (۱)، PGA بیشینه شتاب زمین،  $M_w$  بزرگای گشتاوری، R فاصله و مابقی پارامترها ضرایب ثابت، ضرایب رگرسیون مدل در پیوندهای مختلف و ضرایب مرتبط با نوع ساختگاه می‌باشند.

بعد از انتخاب رابطه کاهندگی مناسب جهت توسعه رابطه، با استفاده از نرم‌افزار متلب، ضرایب رگرسیون متناظر مدل در پیوندهای مختلف به دست آمده‌اند، جدول (۳). مقادیر انحراف از معیار درون‌رخدادی ( $\sigma_r$ ) و فرا‌رخدادی ( $\sigma_e$ ) به دست آمده و همچنین مقدار انحراف از معیار کل ( $\sigma_T$ ) نیز محاسبه شده است.

در شکل (۵)، مقادیر انحراف از معیار به دست آمده، با مقادیر انحراف از معیار مدل‌های پیش‌بینی جنبش مشابه موجود در دنیا نظیر کانو و همکاران [۱۹]، ژائو و همکاران [۱۸]، لین و لی [۱۰] و



شکل (۵): مقایسه‌ی انحراف معیار مدل توسعه داده شده با انحراف از معیار سایر مدل‌های موجود.

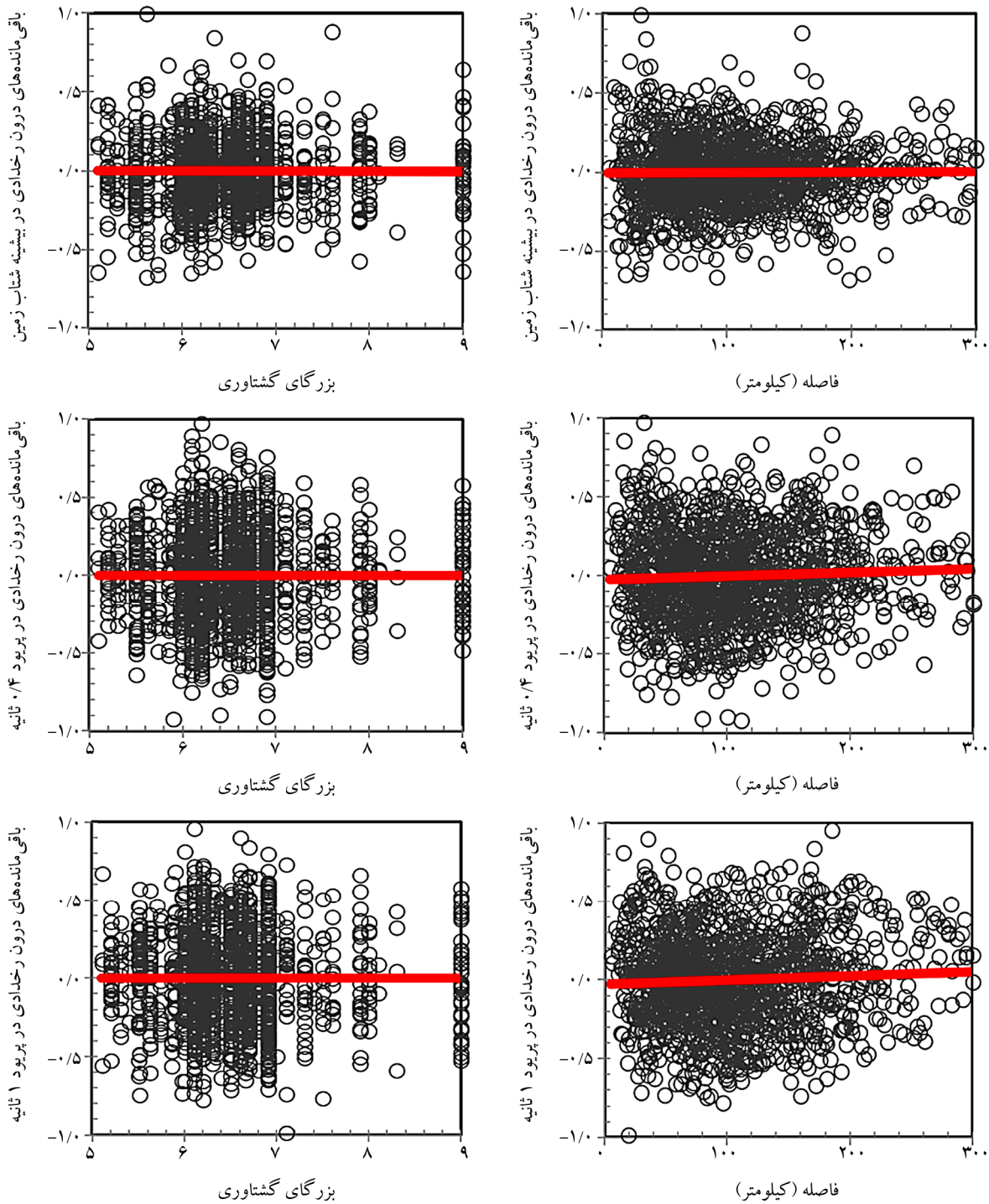
جدول (۳): ضرایب رگرسیون مدل توسعه داده شده و انحراف از معیار در پیوندهای مختلف.

$\sigma_T$	$\sigma_e$	$\sigma_r$	$b_{11}$	$b_{10}$	$b_9$	$b_8$	$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	T(s)
۰/۲۵۰	۰/۱۱۷	۰/۲۲۰	۰/۵۲۳۶	۰/۴۸۱۹	۰/۵۱۲۵	۰/۴۸۹۳	۰/۱۸۰۳	۱۰	۰/۰۹۵۶	-۱/۵۱۹۰	-۰/۰۷۶۰	۱/۲۴۵۱	-۱/۸۱۲۴	صفر
۰/۲۸۲	۰/۱۳۲	۰/۲۴۹	۰/۵۲۲۴	۰/۵۱۶۲	۰/۵۹۴۳	۰/۶۵۰۵	۰/۲۲۶۵	۱۰	۰/۱۱۲۱	-۱/۷۴۷۳	-۰/۰۸۵۱	۱/۳۱۱۶	-۱/۴۹۰۳	۰/۰۴
۰/۳۰۶	۰/۱۴۴	۰/۲۷۰	۰/۵۳۴۸	۰/۵۱۷۲	۰/۶۰۶۲	۰/۵۰۱۵	۰/۱۹۸۷	۱۰	-۰/۰۱۲۲	-۰/۸۰۷۳	-۰/۰۵۵۸	۱/۱۲۹۷	-۱/۶۴۱۷	۰/۱
۰/۳۰۹	۰/۱۴۵	۰/۲۷۳	۰/۵۴۲۷	۰/۵۳۵۶	۰/۴۵۸۲	۰/۲۹۲۹	۰/۲۱۶۴	۱۰	۰/۰۲۱۲	-۱/۰۳۱۱	-۰/۰۵۵۰	۱/۱۶۲۵	-۱/۹۵۴۲	۰/۲
۰/۳۳۵	۰/۱۵۷	۰/۲۹۵	۰/۶۵۸۰	۰/۶۰۵۴	۰/۳۵۸۳	۰/۲۰۲۷	۰/۱۸۴۷	۱۰	۰/۰۷۲۵	-۱/۳۰۶۰	-۰/۰۵۱۶	۱/۰۹۱۰	-۱/۹۹۰۹	۰/۴
۰/۳۵۲	۰/۱۶۵	۰/۳۱۰	۰/۵۴۶۹	۰/۳۷۹۳	۰/۱۸۲۴	۰/۰۴۹۱	۰/۰۶۹۷	۱۰	۰/۱۰۶۲	-۱/۵۷۷۳	-۰/۰۵۴۸	۱/۱۸۸۱	-۲/۷۷۲۷	۱
۰/۳۱۹	۰/۱۵۰	۰/۲۸۲	۰/۳۱۰۹	۰/۱۷۶۶	۰/۰۳۶۶	-۰/۰۷۱۲	۰/۰۹۳۵	۱۰	۰/۱۳۸۹	-۱/۷۶۰۵	-۰/۰۶۷۵	۱/۳۴۳۱	-۳/۶۴۰۵	۲
۰/۳۰۸	۰/۱۴۴	۰/۲۷۲	۰/۳۴۷۷	۰/۱۷۶۹	۰/۰۳۷۳	-۰/۰۴۳۵	-۰/۰۶۸۳	۱۰	۰/۱۹۷۰	-۲/۱۳۷۵	-۰/۰۶۹۰	۱/۲۸۴۴	-۳/۵۵۰۰	۳



نتایج سه پرپود صفر،  $0/4$  و یک ثانیه در شکل (۶) بررسی و خط برازش نیز در نمودارها رسم شده است. با توجه به نمودارها، در خط برازش، مقدار شیب و عرض از مبدأ تقریباً صفر بوده و این نشان‌دهنده‌ی خوب و منطقی بودن نتیجه تحلیل می‌باشد.

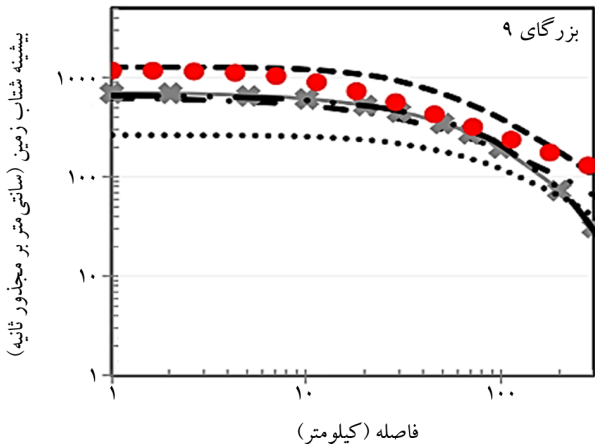
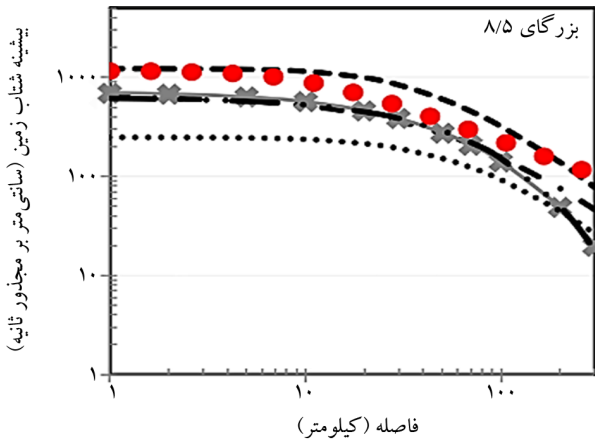
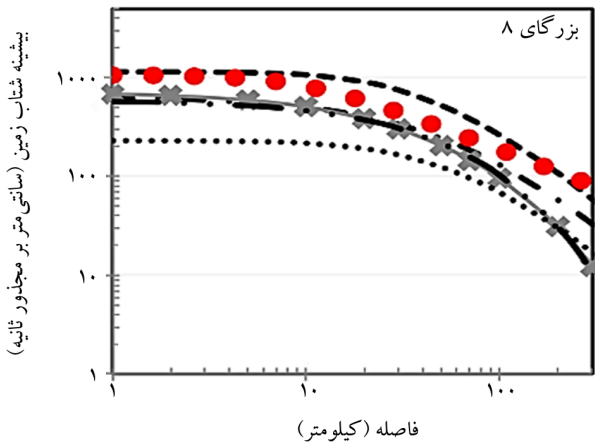
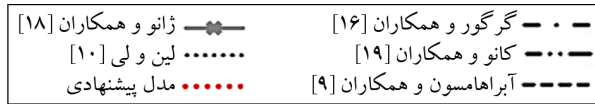
در تحلیل صورت گرفته، مقادیر باقی‌مانده‌های درون‌رخدادی<sup>۹</sup> و فرا‌رخدادی<sup>۱۰</sup> در پرپودهای مختلف نیز به دست آمده است. از آنجایی که مقادیر باقی‌مانده درون‌رخدادی برای هر رکورد زلزله متفاوت می‌باشد، لازم است که در چندین پرپود بررسی شوند. از بین بررسی نتایج در چندین پرپودهای مختلف،



شکل (۶): توزیع باقی‌مانده‌های درون‌رخدادی داده‌ها.

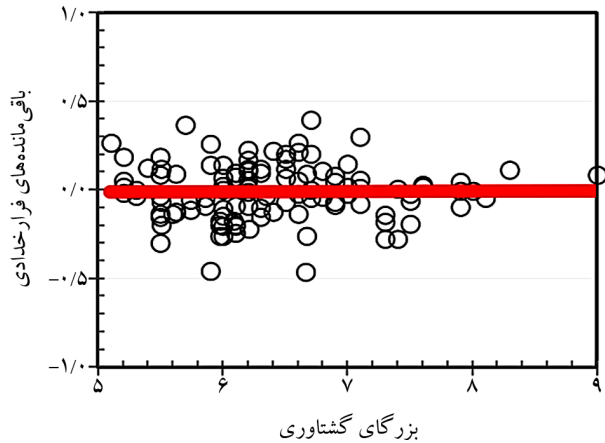


رابطه کاهندگی مناسب برای نواحی فرورانشی لبه پرداخته شده است و از لحاظ نوع زلزله با روابط کاهندگی منتخب در مطالعه زعفرانی و سقراط [۲۰] تفاوت دارد، مقایسه مدل پیشنهادی با مدل‌های منتخب مقاله زعفرانی و سقراط [۲۰] صورت نگرفته است.



شکل (۸): مقایسه‌ی مدل ارائه شده با سایر مدل‌ها در بزرگای ۸، ۸/۵ و ۹ در PGA.

باقی‌مانده‌های فرا رخدادی در هر زلزله مقدار ثابتی دارند. مقدار باقی‌مانده در هر زلزله میانگینی بین باقی‌مانده‌های پر یوده‌های مختلف گرفته شده، نمودار مربوطه رسم و بررسی شده و خط برازش نیز در نمودار رسم شده است، شکل (۷).



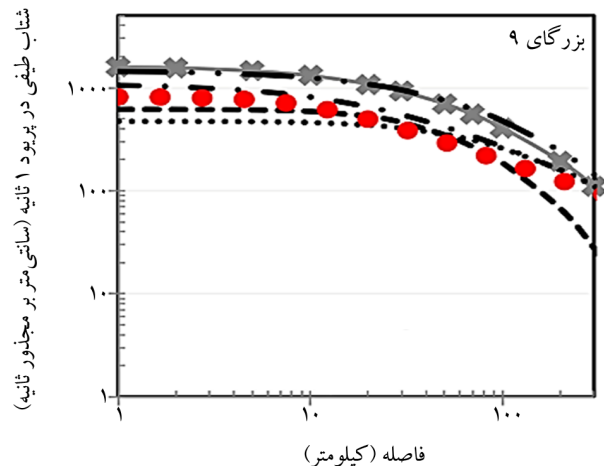
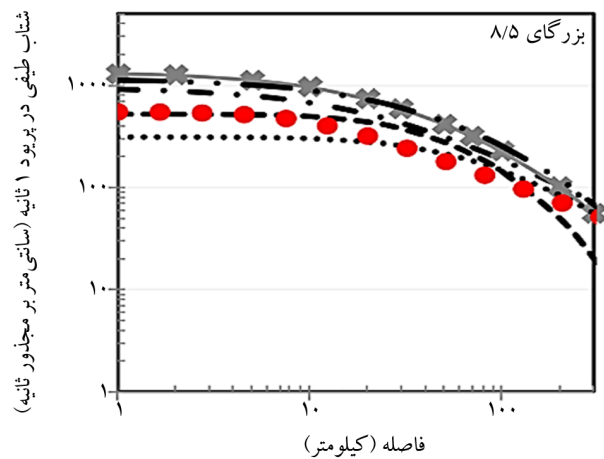
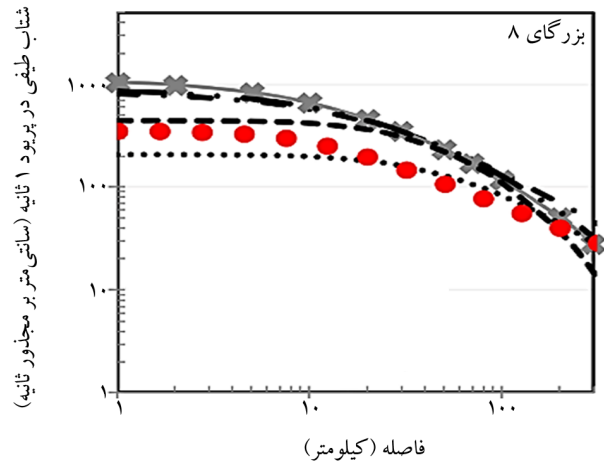
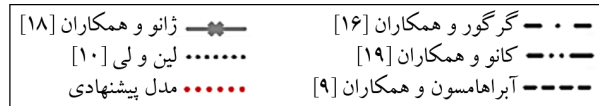
شکل (۷): توزیع باقی‌مانده‌های فرا رخدادی داده‌ها.

اینجا نیز در خط برازش، مقدار شیب و عرض از مبدأ تقریباً صفر بوده و این نشان‌دهنده‌ی خوب و منطقی بودن نتیجه تحلیل است. حال بایستی مدل توسعه داده شده در این مطالعه با دیگر مدل‌های موجود در دنیا (در زمینه‌ی زلزله‌های فرورانشی) مقایسه شود. بدین منظور این مدل با روابط کاهندگی دیگر نظیر رابطه‌ی گرگور و همکاران [۱۶]، ژانو و همکاران [۱۸]، کانو و همکاران [۱۹]، لین و لی [۱۰]، آبراهامسون و همکاران [۹] در بزرگای ۸، ۸/۵ و ۹ در دو پر یود صفر و یک ثانیه با هم مقایسه شده‌اند. نوع خاک در تمامی روابط نوع B از طبقه‌بندی NEHRP در نظر گرفته شده است و شکل‌های (۸) و (۹) این مقایسه‌ها را نشان می‌دهد. شایان ذکر است در ناحیه مکران سه دسته زلزله قابلیت وقوع دارند که عبارتند از: (۱) زلزله‌های کم عمق سطحی، (۲) زلزله‌های فرورانشی عمیق و (۳) زلزله‌های فرورانشی لبه. در مطالعه صورت گرفته توسط زعفرانی و سقراط [۲۰] به انتخاب روابط کاهندگی مناسب (نه توسعه رابطه) برای نواحی کم عمق سطحی و فرورانشی عمیق بر اساس داده‌های ثبت شده در منطقه مکران و انجام آزمون‌های آماری پرداخته شده است. با توجه به این نکته که مطالعه حال حاضر به توسعه

پیشنهادی تقریباً به بقیه مدل‌ها نزدیک می‌باشد. در فاصله‌ی بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر نسبت به بقیه مدل‌ها مقدار بیشتری دارد. با توجه به شکل (۹)، در بزرگای ۸ در فاصله‌ی ۱ تا ۱۰ کیلومتر، مدل پیشنهادی به مدل آبراهامسون کمی نزدیک بوده و از مقادیر مدل لین و لی بیشتر و از مقادیر بقیه مدل‌ها کمتر است. در فاصله‌ی ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتری مدل پیشنهادی از بقیه مدل‌ها کمتری دارد. در فاصله‌ی بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر نیز به همه مدل‌ها نزدیک است. بزرگای ۸/۵ شبیه حالت بزرگای ۸ بوده با این تفاوت که در فاصله ۱ تا ۱۰ کیلومتری مدل پیشنهادی به مدل آبراهامسون بیشتر نزدیک می‌باشد. در بزرگای ۹ در فاصله ۱ تا ۱۰ کیلومتری مدل پیشنهادی به مدل آبراهامسون و گرگور نزدیک است، از مدل لین و لی و گرگور بالاتر و از بقیه مدل‌ها پایین تر است. در فاصله ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتری هر چه فاصله به ۱۰۰ کیلومتر نزدیک تر می‌شود، مقادیر مدل پیشنهادی از بقیه مدل‌ها کمتر می‌شود. در فاصله بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر مقادیر مدل پیشنهادی به بقیه مدل‌ها (به جز مدل آبراهامسون) نزدیک می‌باشد.

## ۵- بحث و نتیجه گیری

توسعه‌ی مدل پیش‌بینی جنبش زمین در هر منطقه‌ی لرزه‌خیز، از اهمیت بسیاری برخوردار است. تهیه بانک داده‌های مناسب اولین گام برای توسعه‌ی این روابط می‌باشد. محققین زیادی در سال‌های اخیر در این زمینه فعالیت داشته‌اند. منطقه‌ی مکران جزو مناطقی است که شامل زلزله‌های فرورانشی بوده و لازم است روابط کاهندگی در آن برای اولین بار بررسی شود. با توجه به کمبود داده‌های شتاب‌نگاری ثبت شده در این منطقه در زمینه‌ی رویدادهای لبه برخورد تا کنون رابطه کاهندگی مناسبی به دست نیامده است؛ بنابراین با استفاده از رکوردهای مناطق مشابه در دنیا، این تحقیق انجام شده است. بانک داده‌ها شامل ۱۴۲۴ رکورد رویدادهای لبه برخورد فرورانشی بوده که در محدوده بزرگای گشتاوری ۵ تا ۹، عمق کانونی کمتر از ۴۰ کیلومتر، فاصله‌ی رومرکزی کمتر از ۳۰۰ کیلومتر تهیه گردیده است که شامل



شکل (۹): مقایسه‌ی مدل ارائه شده با سایر مدل‌ها در بزرگای ۸، ۸/۵ و ۹ در پرپود یک ثانیه.

با توجه به شکل (۸)، در فاصله‌ی ۱ تا ۱۰ کیلومتر، مدل پیشنهادی به مدل آبراهامسون نزدیک بوده و از مقادیر بقیه مدل‌ها بیشتر است. در فاصله‌ی ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومتری مدل

4. Adnan, A., Hendriyawan, H., and Irsyam M. (2004) Selection and development of appropriate attenuation relationship for Peninsular Malaysia. *In Malaysian Science Technology Congress (MSTC)*.
5. Nabilah, A.B. and Balendra, T. (2012) Seismic hazard analysis for Kuala Lumpur, Malaysia. *Journal of Earthquake Engineering*, **16**(7), 1076-1094.
6. Shoushtari, A.V., Adnan, A., and Zare, M. (2018) Ground-motion prediction equations for distant subduction interface earthquakes based on empirical data in the Malay Peninsula and Japan. *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, **109**(1), 339-353.
7. Bommer, J.J., Scherbaum, F., Bungum, H., Cotton, F., Sabetta, F., and Abrahamson, N.A. (2005) On the use of logic trees for ground-motion prediction equations in seismic hazard analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **95**(2), 377-389.
8. Di Alessandro, C., Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., Akkar, S., and Erdik, M. (2012) GEM-PEER global ground motion prediction equations project: An overview. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*.
9. Abrahamson, N., Gregor, N., and Addo, K. (2016) BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes. *Earthquake Spectra*, **32**(1), 23-44.
10. Lin, P.S. and Lee, C.T. (2008) Ground-motion attenuation relationships for subduction-zone earthquakes in Northeastern Taiwan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**(1), 220-240.
11. Atkinson, G.M. and Boore, D.M. (2003) Empirical ground-motion relations for subduction-zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**(4), 1703-1729.
12. Shedlock, K.M. (1999) Seismic hazard map of North and Central America and the Caribbean. *Annali Di Geofisica*, **42**(6).
13. Boore, D.M., Thompson, E.M., and Cadet, H. (2011) Regional correlations of  $V_{S30}$  and velocities averaged over depths than and greater than 30 meters. *Bulletin of the Seismological Society of*

زلزله‌های فرورانشی دو ناحیه ژاپن، مکزیک و بانک داده‌های اتکینسون و بور [۱۱] می‌باشد. رکوردها تصحیح شده و مقادیر شتاب طیفی آنها به دست آمده است. سپس با انتخاب چهار مدل مناسب در این زمینه، تحلیل انجام شده و مدل‌ها در بزرگ‌گام‌های مختلف بررسی و با هم مقایسه شدند. نهایتاً یک مدل نهایی مناسب برای توسعه انتخاب شده و ضرایب رگرسیون و انحراف معیار حاصل از تحلیل به دست آمده است. مقایسه انحراف معیار این مدل با انحراف از معیار سایر روابط، نشان می‌دهد که میانگین این مقادیر بین مقادیر سایر مدل‌ها می‌باشد. باقی‌مانده‌های درون‌رخدادی و فرا‌رخدادی و برازش آنها نیز نشان‌دهنده‌ی این بوده که برازش به‌خوبی انجام شده و نتایج تحلیل نیز به‌خوبی محاسبه شده‌اند. در نهایت مدل توسعه داده شده‌ی منتخب با سایر مدل‌های موجود در دنیا مقایسه شده و نشان می‌دهد که مدل به‌خوبی انتخاب شده و با سایر مدل‌های موجود همخوانی دارد.

### تقدیر و تشکر

لازم به ذکر است این اثر تحت حمایت مادی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) برگرفته شده از طرح شماره «۴۰۰۲۷۰۷» انجام شده است. نویسندگان از حمایت‌های پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در طی انجام این طرح قدردانی می‌کنند.

### مراجع

1. Arango, M.C., Strasser, F.O., Bommer, J.J., Boroschek, R., Comte, D., and Tavera, H. (2011) A strong-motion database from the Peru-Chile subduction zone. *Journal of Seismology*, **15**(1), 19-41.
2. Atkinson, G. and Casey, R. (2003) A comparative study of the 2001 Nisqually, Washington and Geiyo, Japan in-slab earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*.
3. Crouse, C. (1991) Ground-motion attenuation equations for Cascadia subduction zone earthquakes. *Earthquake Spectra*, **7**(2), 201-236.

Event Interface	۳- رویدادهای لبه برخورد
In-Slab Event	۴- رویدادهای درون صفحه‌های
Database	۵- بانک داده‌ها
Regression Coefficients	۶- ضرایب رگرسیون
Residuals	۷- باقی مانده‌ها
Standard Deviation	۸- انحراف معیار
Residuals Intra-Event	۹- باقی مانده‌های درون رخدادی
Inter-Event Residuals	۱۰- باقی مانده‌های فرا رخدادی

*America*, **101**(6), 3046-3059.

14. Atkinson, G.M. and Boore, D.M. (2008) Erratum to empirical ground-motion relations for subduction zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**(5), 2567-2569.
15. Thitimakorn, T. and Raenak, T. (2016) NEHRP site classification and preliminary soil amplification maps of Lamphun city, Northern Thailand. *Open Geosciences*, **8**(1), 538-547.
16. Gregor, N.J., Silva, W.J., Wong, I.G., and Youngs, R.R. (2002) Ground-motion attenuation relationships for cascadia subduction zone megathrust earthquakes based on a stochastic finite-fault model. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**(5), 1923-1932.
17. Akkar, S. and Bommer, J.J. (2010) Empirical equations for the prediction of PGA, PGV, and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region, and the Middle East. *Seismological Research Letters*, **81**(2), 195-206.
18. Zhao, J.X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., Ogawa, H., Irikura, K., Thio, H.K., Somerville, P.G., and Fukushima, Y. (2006) Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **96**(3), 898-913.
19. Kanno, T., Narita, A., Morikawa, N., Fujiwara, H., and Fukushima, Y. (2006) A new attenuation relation for strong ground motion in Japan based on recorded data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **96**(3), 879-897.
20. Zafarani, H. and Soghrat, M.R. (2021) Selection and modification of ground motion prediction equations for Makran subduction zone, southeast Iran. *Pure and Applied Geophysics*, **178**(4), 1193-1221.

## واژه‌نامه

Ground Motion Prediction	۱- پیش‌بینی جنبش زمین
Subduction Zones	۲- مناطق فرورانشی

## Development of Ground Motion Prediction Equations for the Makran Interface Subduction Zone

Hamid Zafarani<sup>1\*</sup>, Mohammad Reza Soghrat<sup>2</sup> and Zahra Nasrollahifar<sup>3</sup>

1. Professor, Seismological Research Center, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IIEES), Tehran, Iran, \*Corresponding Author, email: h.zafarani@iiees.ac.ir
2. Ph.D., International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran
3. M.Sc. Earthquake Engineering, Ale Taha Institute of Higher Education Non-Governmental, Non-Profitable, Tehran, Iran

One of the main tools in seismic hazard analysis is Ground Motion Prediction Equations (GMPEs). Selection of appropriate GMPEs is an important step in hazard evaluation, which can cause accurate seismic design of structures. The GMPEs have been developed based on the local or regional or global data. Iranian plateau is a shallow crustal environment except the Makran region in south-east Iran in which the subduction events can happen. Due to the tectonic characteristics of the Makran subduction zone, different categories of GMPEs are required for seismic hazard assessment including GMPEs for shallow crustal events and subduction zone earthquakes (both in-slab and interface events). Taking into account that most of GMPEs in Iran have been provided for shallow crustal earthquakes, development of a GMPE model is needed for this subduction zone. Therefore, a new ground motion prediction model (GMPE) is developed based on Makran interface subduction events in this study. Due to the lack of recorded data in the Makran zone, this study is based on records of strong ground motions in other subduction zones, including events in Japan and Mexico from 1985 to 2018, as well as a database compiled by Atkinson and Boore (2003) including events recorded in Japan, Mexico, Alaska, Peru and Chile from 1968 to 1998. The database contains 1424 records of interface subduction events with  $M_w$  5 to 9, distances less than 300 km and focal depth less than 40 km. Since all records should be the same in terms of magnitude and measured by  $M_w$ , records that were reported with  $M_b$  and  $M_s$  were separated. Then, by examining the relationships and relevant articles and the conditions of this database, these values were eventually converted to  $M_w$ . Soil type of some records was reported according to geological characteristics of the region. The soil type of some others, due to the lack of geological characteristics information, using the information of the stations in that area,  $V_{s30}$  values were extracted in different depths of the soil and using the studies, coefficients and relationships provided, the  $V_{s30}$  value for each station was obtained. The soil type of some others was determined according to NEHRP classification. Finally, using presented studies by previous researchers to match this available information, this unification has been done. Existing records are categorized by soil type,  $M_w$  and focal length, and diagrams representing them are also plotted. The soil type of the records is A, B, C, D and E according to NEHRP classification. Processing of the database have been performed and the spectral accelerations in different periods have been obtained. In this work, some functional forms have been tested to understand the best model according to the most possible accuracy to fit our dataset. Then, using regression analyses, the ground motion prediction model is developed. Therefore, based on the comparison of the models, the dispersion of residues and the standard deviation of the models, best model has been selected for development. The intra-event and inter-event residuals for the proposed model have been obtained. Since the intra-event residual values are different for each earthquake record, it has been investigated in several different periods and also the fitting line is plotted in the diagrams. Inter-event residues have constant values in each earthquake. The residual value in each earthquake is considered average between the residues of different periods, the corresponding diagram is plotted and the fitting line is plotted in these diagrams. Spectral values in the proposed model and the value of standard deviation are compared with other models in the world that shows that the proposed model has good accuracy for predicting spectral values and it is consistent with other models available.

**Keywords:** Interface Subduction Zone, Database, Ground Motion Prediction Equation, Regression Coefficients.