

چکیده

در این مطالعه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه بر روی سنگ‌بستر برای بیشینه شتاب زمین به روش تعینی و احتمالاتی در استان فارس انجام گردید. فهرست‌نامه‌ی یکنواختی تا سال ۲۰۱۶ شامل زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگامی با بزرگای بیشتر از ۴ در مقیاس Mw تهیه شد. با توجه به روند گسل‌ها و زمین‌شناسی منطقه، ۲۳ چشمه بالقوه زمین‌لرزه به‌صورت پهنه‌ای در این منطقه در نظر گرفته شده و پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه گردید. در روش احتمالاتی با استفاده از نرم‌افزار OpenQuake بیشینه شتاب و سرعت زمین برای دوره بازگشت‌های ۵۰ سال و ۴۷۵ سال و نمودارهای منحنی خطر PGA و PGV برای دوره ۵۰ سال رسم شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین سطح PGA برای دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۴۷۵ سال به ترتیب $0.23g$ و $0.6g$ و به روش تعینی $0.8g$ می‌باشد. در استان فارس، چهار منطقه پرخطر در شمال غرب، غرب، جنوب و جنوب شرق قرار دارد. این مناطق نزدیک به گسل‌های کازرون، قیر و زاگرس مرتفع می‌باشند که سابقه زمین‌لرزه‌های بزرگ تاریخی و دستگامی را دارا هستند. به‌طور کلی می‌توان گفت که مناطق با تراکم جمعیت بالا و شهرهای مهم استان به دلیل نزدیک بودن به گسل‌های منطقه در مناطق با خطر بالا قرار دارند.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، استان فارس، نرم‌افزار OpenQuake، رهیافت احتمالاتی و تعینی.

پهنه‌بندی و تحلیل خطر زمین‌لرزه در استان فارس

پریرسا اشجع ناس

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

افسانه نصرآبادی (نویسنده مسئول)

استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان،
a.nasrabadi@kgut.ac.ir

محمد رضا سپهوند

استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

سید حسن موسوی بفروئی

استادیار، دانشگاه اردکان، یزد

۱- مقدمه

خاص با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه می‌شود و نتایج این روش به واقعیت نزدیک‌تر است. اولین بار در سال ۱۹۳۳ انگیزه‌ی اصلی برای تحلیل خطر لرزه‌ای توسط مهندسين آمريكايي برای کدهای ساختمانی به وجود آمد که زمین‌لرزه‌ی لانگ‌بیچ در کالیفرنیا با خرابی بسیار زیاد و به‌خصوص مدارس و مکان‌های مهم علت این انگیزه بود. در سال ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ مهندسين زلزله مقررات طراحی لرزه‌ای در کدهای ساختمانی را قرار دادند [۲]. سپس نقشه‌های خطر لرزه‌ای بر اساس تحلیل احتمالاتی معرفی شدند که در کانادا در سال ۱۹۷۰ برای اولین بار نقشه‌های ملی ریسک احتمالاتی طراحی شدند. فرانکل [۳] راهکاری را ارائه داد که در آن، لرزه‌خیزی چشمه‌ها را به‌صورت متفاوت نسبت به روش مرسوم و به‌صورت هموار شده مکانی معرفی کرد. پس از آن این روش برای تهیه نقشه‌های PGA در مناطق مختلف کره زمین، به کار گرفته شد. در این روش امکان

تحلیل خطر زمین‌لرزه به تخمین کمی خطرات زمین در یک منطقه مربوط می‌شود و شامل دو روش عمده تعینی و احتمالاتی می‌باشد. تحلیل خطر به روش تعینی بیشتر بر اساس کارها و تحقیقات تجربی استوار بوده و برای توصیف خطر زمین‌لرزه از رخدادهای چشمه‌های مجزا استفاده می‌شود. بزرگ‌ترین زلزله رخ داده بر اساس گسل مسبب و فاصله از ساختگاه با اهمیت بالا انتخاب شده و با بهره‌گیری از یک یا چند رابطه کاهندگی انتخابی مقدار پارامترهای جنبش زمین برآورد می‌شود [۱]. در روش احتمالاتی مدل‌های احتمالی از مکان‌ها، اندازه‌ها، زمان‌ها و اثرات زلزله‌ها را در یک یا چندین مکان باهم ترکیب می‌کند و احتمال وقوع یک واقعه ناخواسته (معمولاً یک جنبش شدید زمین) در یک محل خاص و در یک دوره زمانی خاص را محاسبه می‌کند. یکی از مزیت‌های روش احتمالاتی، این است که مجموعه‌ای از تمامی رویدادهای محتمل برای احتمال فزونی برای یک سطح

از اراضی شهری شیراز، در بافت فرسوده طبقه‌بندی شده‌اند که این موضوع خرابی بیشتر را برای این شهر هشدار می‌دهد. زمین‌لرزه ۱۰ آوریل ۱۹۷۲ (۲۱ فروردین ۱۳۵۱) قیر و کارزین ($M=6/9$) از جمله زمین‌لرزه‌های بزرگ این منطقه محسوب می‌شود و بافت فرسوده این شهر، موضوع را حساس‌تر می‌کند. کازرون شهری است که ۸۷ هزار نفر جمعیت دارد و قریب به ۲۲ هزار نفر از آن جمعیت در بافت فرسوده زندگی می‌کنند و این موضوع بدین جهت حائز اهمیت است که ۲۵ درصد از جمعیت این شهر در خطر بالای تخریب منازلشان قرار دارند. این شهر زلزله‌های بزرگ بسیاری را به خود دیده است که از جمله آنها در سال ۱۳۷۸ خورشیدی بوده و با بزرگای ۶/۳ این ناحیه را لرزاند و باعث مرگ ۲۶ نفر شد. از این رو هرگونه کوشش برای ارزیابی دقیق خطر زلزله با مطالعه لرزه‌خیزی، پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای منطقه و جلوگیری از خسارات ناشی از آن حائز اهمیت فراوان می‌باشد.

توکلی و غفوری آشتیانی [۱۲] نقشه خطر احتمالاتی زلزله را برای دوره ۷۵ و ۴۷۵ سال ایران تهیه نمودند. نتایج حاصله از مطالعه ایشان شهرهای شیراز و فیروزآباد در منطقه با خطر بالا و شهر فسا در خطر متوسط واقع شده است. همچنین کازرون نیز در منطقه با خطر خیلی بالا قرار گرفته است. موسوی و همکاران [۱۳] پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی اصلاح شده در ایران پرداخته‌اند و بیشینه شتاب را برای مراکز استان‌ها محاسبه کرده‌اند. بر طبق مطالعه ایشان بیشینه شتاب برای شهرستان شیراز با دوره بازگشت ۵۰ سال، $0/109 g$ و برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال $0/305$ محاسبه شده است. حمزه‌لو و همکاران [۱۴] نیز پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای به روش احتمالاتی را برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال محاسبه نموده‌اند. باید به این موضوع اشاره نمود که طبق آیین‌نامه لرزه‌ای ۲۸۰۰ ایران، استان فارس دارای مناطق لرزه‌خیز با نسبت متوسط و زیاد و نیز شهر شیراز با خطر نسبی زلزله بسیار زیاد پیش‌بینی شده است.

۲- موقعیت لرزه‌زمین‌ساختی استان فارس

با توجه به موقعیت ایران و قرار گرفتن در بین دو قاره

استفاده از اطلاعات لرزه‌زمین‌ساختی، زمین‌شناسی، دیرینه‌شناسی و اطلاعات مربوط به گسل‌های فعال، در محاسبات خطر زمین‌لرزه وجود نداشت. شی و همکاران [۴]، روش احتمالاتی اصلاح شده را برای برآورد خطر زمین‌لرزه پیشنهاد دادند، که در آن استفاده از اطلاعات ذکر شده امکان‌پذیر بود. از آنجایی که برآورد خطر در یک منطقه بر پایه مدل تضعیف مورد استفاده و نحوه محاسبات ریاضی آن استوار است امروزه غالب نرم‌افزارهای جدید بر پایه همین تغییرات و اثرات حجمی چشمه استوار شده‌اند. پیش‌تر به دلیل حجم بالای پردازش اثرات عمقی زمین‌لرزه‌ها دخالت دادن تحلیل‌های سه‌بعدی در برآورد خطر بسیار مشکل بود. ولی امروزه به لطف توسعه روش‌های پردازشی این مهم در برآورد خطر زمین‌لرزه به کار گرفته می‌شود. به‌عنوان نمونه می‌توان نرم‌افزار OpenQuake را یکی از به‌روزترین و جدیدترین نرم‌افزارهای تحلیل خطر به حساب آورد که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است. در مورد رابطه تضعیف جنبش زمین در سال‌های اخیر نیز چندین رابطه تضعیف ارائه شده است [۵-۷]. در این روابط اثر گسلش در نظر گرفته نشده است. از آنجایی که در این مطالعه لحاظ کردن اثر سازوکار گسلش در رابطه تضعیف مورد نظر بوده، استفاده از رابطه‌های تضعیف ارائه شده برای ایران مناسب نبود. شجاع طاهری و همکاران [۸] میزان کارایی مدل‌های تضعیف نسل جدید (از جمله مدل‌های تضعیف [۹-۱۱]) را برای داده‌های شبکه شتاب‌نگاری ایران به کار بردند و در ارزیابی رابطه‌ها، برای رویدادهایی که سازوکار گسلش و سطح گسیختگی آنها تعیین شده بود، نوع گسلش و فاصله ساختگاه از سطح گسیختگی را نیز در نظر گرفتند و نشان دادند که هر سه مدل بدون شک می‌تواند در ایران به کار رود.

در این مطالعه تحلیل خطر استان فارس به دلیل وجود زلزله‌های بزرگ بسیاری که به خود دیده و جمعیت $4/633/878$ نفره این استان بر اساس آمار سال ۱۳۸۵، انجام شده است. شهر شیراز با جمعیت یک میلیون و ۷۰۰ هزار نفری خود، پهنه‌ای حساس به لحاظ لرزه‌خیزی است. مسئله آنجایی حساس‌تر می‌شود که ۳۰ محله از محله‌های شیراز یعنی مساحتی بالغ بر حدود ۱۷۰۰ هکتار

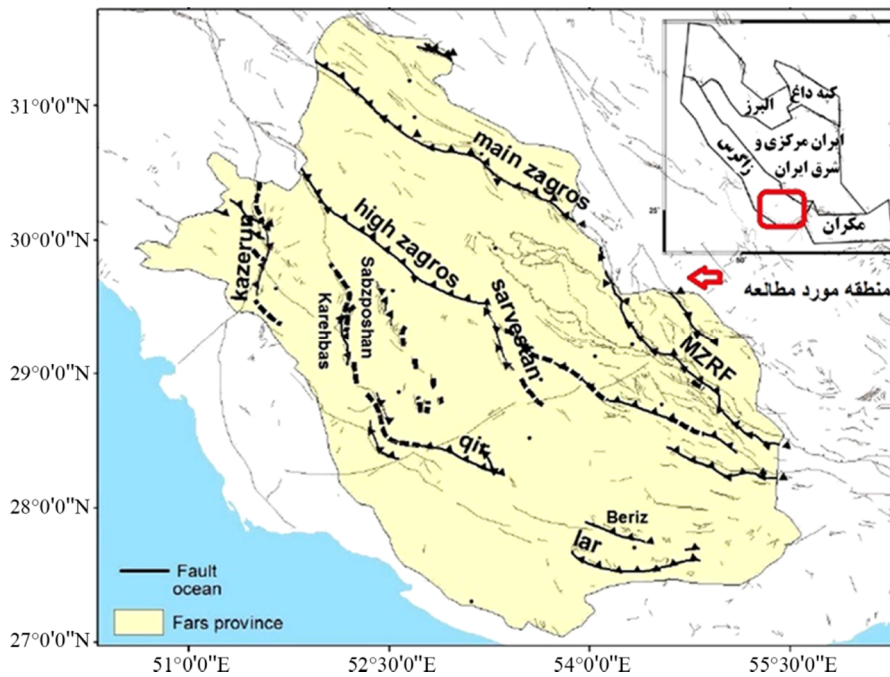
بر اساس توپوگرافی، ریخت زمین ساخت، لرزه‌شناسی، چینه‌شناسی، کمربند کوهستانی رانده، چین خورده زاگرس به پنج واحد مورفوتکتونیک تقسیم می‌شود. هر تراز از نظر راندگی، چین خوردگی، فرسایش و رسوب گذاری با دیگری متفاوت است. هر واحد ویژگی خاص خود را داشته و زمین‌شناسی ساختمانی و لرزه‌زمین ساخت زاگرس متأثر از پنج واحد کمربند راندگی زاگرس مرتفع، کمربند چین خورده ساده، پیش گودال زاگرس، دشت ساحلی زاگرس و سرزمین پست خلیج فارس - بین‌النهرین می‌باشد [۱۶]. استان فارس و نواحی اطراف آن شامل گسل‌هایی است که هر کدام به خودی خود توان تولید زمین‌لرزه‌های بزرگی را دارند و تاکنون زمین‌لرزه‌های بزرگی را نیز شاهد بوده‌اند. گسل‌های مهم منطقه عبارتند از: گسل اصلی زاگرس (MZRF)، گسل اصلی عهد حاضر (MRF)، گسل زاگرس مرتفع (HZF)، گسل کازرون (Kazerun Fault)، گسل سروستان (Sarvestan Fault)، گسل سبزپوشان (Sabzpoushan Fault)، گسل کره بس (Karehbas Fault)، گسل قیر (Qir Fault)، گسل بریز (Beriz Fault) و گسل لار (Lar Fault). شکل (۱) موقعیت لرزه‌زمین ساخت منطقه و گسل‌های فعال منطقه را نشان می‌دهد [۱۷]. در جدول (۱) لیست گسل‌ها و مشخصات آنها آورده شده است.

قدیمی و مقاوم، یعنی اوراسیا در شمال و آفریقا - عربستان در جنوب صفحه‌ای ترد و شکننده بوده و گسل‌های فعال و فراوان و زمین‌لرزه‌های متعدد و نیز دیگر شواهد زمین‌شناسی، زلزله‌شناسی و ژئوفیزیکی، همگی دلالت بر این مطلب دارند که همواره احتمال رخداد زلزله شدید دیگری در گستره ایران وجود دارد [۱۵]. موقعیت استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲۷/۲۰ درجه تا ۳۱/۴۲ درجه عرض شمالی و ۵۰/۴۲ درجه ۵۵/۳۶ درجه طول شرقی در ایالت لرزه‌زمین ساخت زاگرس واقع شده است که یکی از لرزه‌خیزترین نواحی این ایالت به‌شمار می‌رود.

نوار چین خورده راندگی زاگرس، بخشی از کمربند کوهزایی آلپ هیمالیا و یکی از جوان‌ترین و جنباترین پهنه‌های برخورد قاره‌ای در روی زمین است که در طول حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و عرض ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر از کوه‌های تاروس در جنوب شرق ترکیه تا گسل میناب در شرق جزیره هرمز در جنوب ایران امتداد دارد. از دیدگاه ساختمانی، شکل‌گیری آن با حرکت همگرای مداوم صفحه عربستان در جنوب غرب و خرد قاره ایران مرکزی در شمال شرق، که خود ناشی از حرکت به سوی شمال شرق صفحه آفریقا - عربستان نسبت به اوراسیا می‌باشد، مرتبط است. تقسیم‌بندی کمربند کوهزایی زاگرس توسط بربریان [۱۶] انجام شده است. وی معتقد است

جدول (۱): مشخصات گسل‌های منطقه مورد مطالعه.

نام گسل	علامت اختصاری	نوع گسل	حرکت گسل	طول گسل (کیلومتر)	شیب گسل
گسل معکوس اصلی زاگرس	MZRF	راندگی - فشارشی		۱۳۵۰	به سمت شمال شرق
گسل اصلی عهد حاضر	MRF	امتداد لغز	راست گرد		
گسل زاگرس مرتفع	HZF			۲۰	
گسل کازرون	KF		راست گرد	۵۰۰	
مجموعه گسلی سروستان	SRF			۹۰	۳۰ تا ۷۰ درجه
گسل سبز پوشان	SPF	امتداد لغز	راست گرد	۲۰۰	
گسل کره بس	KBF	راست‌لغز	راست گرد	۱۶۰	
گسل بریز	BF	راندگی		۵۰	کمتر از ۴۵ درجه
گسل لار	LAR	رورانده			کمتر از ۴۵ درجه
گسل قیر	QIR	راندگی			۴۵ درجه



شکل (۱): موقعیت لرزه‌زمین ساخت و گسل‌های فعال منطقه استان فارس.

۳- روش تحقیق

۳-۱- تهیه فهرست‌نامه زمین لرزه‌ها

فهرست‌نامه اضافه شده است. سپس با توجه به متفاوت بودن و تنوع واحد بزرگی‌ها، با بهره‌گیری از روابط مناسب تبدیل بزرگا (روابط موسوی و همکاران [۱۸])، برای لرزه‌زمین ساخت زاگرس) استفاده شده است و تمامی پارامترها به M_W با استفاده از روابط زیر تبدیل شده‌اند (σ عدم قطعیت می‌باشد):

$$M_W = 1.298m_b - 1.349 \quad (1)$$

$$\sigma = 0.2 \quad 3.9 \leq m_b < 6.2$$

$$M_W = 0.67M_s + 1.945 \quad (2-الف)$$

$$\sigma = 0.16 \quad 3 \leq m_s \leq 6.1$$

$$M_W = 0.94M_s + 0.32 \quad (2-ب)$$

$$\sigma = 0.17 \quad 6.2 \leq m_s \leq 8.1$$

بزرگی بر حسب M_N برای سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۰۵:

$$M_W = 0.948M_N + 0.664 \quad \sigma = 0.18-0.19 \quad (3-الف)$$

بزرگی بر حسب M_N برای سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۱۵:

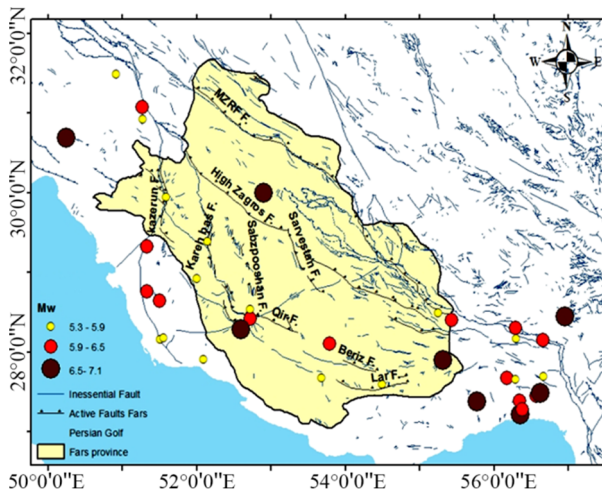
$$M_W = 0.922M_N + 0.494 \quad \sigma = 0.2 \quad (3-ب)$$

$$M_W = 0.81M_I + 1.098 \quad (4)$$

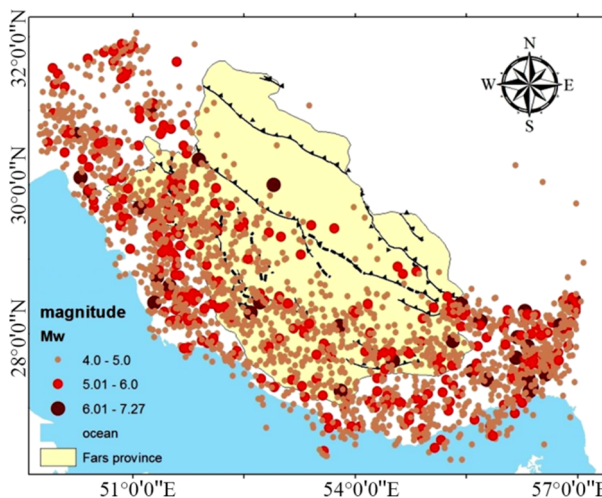
$$\sigma = 0.19 \quad 3.7 \leq M_I < 6.4$$

یک زمین لرزه بزرگ می‌تواند تعداد زیادی پس لرزه ایجاد

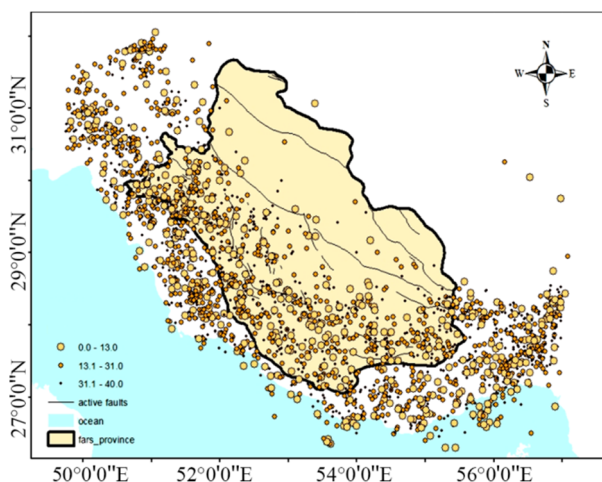
در این مطالعه ابتدا فهرست‌نامه زمین لرزه‌ها با بزرگای بیشتر از ۴ در مقیاس M_W را آماده کرده و از کامل بودن آن اطمینان حاصل شده است. برای این منظور، اطلاعات زمین لرزه‌های تاریخی منطقه مورد مطالعه از کتاب تاریخ زمین لرزه‌های ایران نوشته آمبرسیز و ملویل و همچنین داده‌های فهرست‌نامه موسوی و همکاران [۱۸] استخراج شده است. این اطلاعات مربوط به قبل از سال ۱۹۰۰ است که برای منطقه مورد مطالعه ۳۷ مورد ثبت شده است. سپس داده‌های دستگاهی دوره اول از داده‌های فهرست‌نامه موسوی و همکاران [۱۸] و مرکز ISC تهیه و در فهرست‌نامه اضافه شده است. تعداد ۸۷ داده در سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳ ثبت شده است. سپس اطلاعات داده‌های رخداد دستگاهی دوره دوم از سال ۱۹۶۳ تا ۲۰۱۶ با استفاده از داده‌های فهرست‌نامه موسوی و همکاران [۱۸] و مراکز ثبت زمین لرزه‌ها مانند مرکز لرزه‌نگاری جهانی (ISC)، سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (IIEES) تعداد ۲۵۳۴ رخداد نیز گردآوری و به



(الف)



(ب)



(پ)

شکل (۲): (الف) نقشه رو مرکز زمین‌لرزه‌های تاریخی، (ب) رو مرکز تمامی زمین‌لرزه‌ها از سال ۸۴۰ تا ۲۰۱۶، (پ) پراکندگی عمقی زمین‌لرزه‌ها در منطقه مورد مطالعه.

نماید و پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه شده در این حالت با آنچه در حالت نرمال در منطقه تعیین می‌شود تفاوت دارد. در این مطالعه با توجه به داده‌های بزرگی در فهرست‌نامه تهیه شده و مقایسه آن با جدول ترکیبی، حذف داده‌های وابسته، از پنجره زمان و مکان (T_1, L_1) که برحسب روش اوهرامر [۱۹] و پنجره زمان و مکان (T_2, L_2) برحسب روش گاردنر و نویوف [۲۰] می‌باشند، انجام شده است. حذف پس‌لرزه‌ها در سه مرحله صورت گرفته است. در مرحله اول، همه رویدادهای واقع در پنجره‌های زمانی و مکانی T_1 و L_1 ، برای زمین‌لرزه‌های با بزرگی $M_w \leq 6.3$ و همه زمین‌لرزه‌های واقع در T_2 و L_2 برای $M_w \leq 6.3$ پس‌لرزه در نظر گرفته شده‌اند، و در مرحله دوم، با در نظر گرفتن اندازه پنجره‌های مکانی و زمانی، رویدادهای واقع در محدوده بین دو پنجره مکانی و دو پنجره زمانی شناسایی شده است. در مرحله سوم، با توجه به اصل توالی پس‌لرزه‌ها برای زمین‌لرزه‌های مختلف بسیار متفاوت است، بعضی از رویدادهای واقع در بین دو پنجره که در دو مرحله قبل تشخیص داده شده است، به عنوان پس‌لرزه، خطای تعیین محل زمین‌لرزه‌ها با توجه به زمان و مکان رویداد در نظر گرفته شده است. در این مطالعه پس‌لرزه‌ها و زلزله‌های با بزرگی کمتر از ۴ با مقیاس M_w حذف گردیدند. اغلب این داده‌ها در داده‌های دستگاهی دیده شده‌اند. در نهایت مجموع داده‌ها به ۲۱۸۸ داده رسیده است. شکل (۲-الف) رومرکز زمین‌لرزه‌های تاریخی، (۲-ب) رومرکز تمام زمین‌لرزه‌های منطقه و (۲-پ) نقشه پراکندگی عمقی زمین‌لرزه‌ها را نشان می‌دهد.

۳-۲- تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه

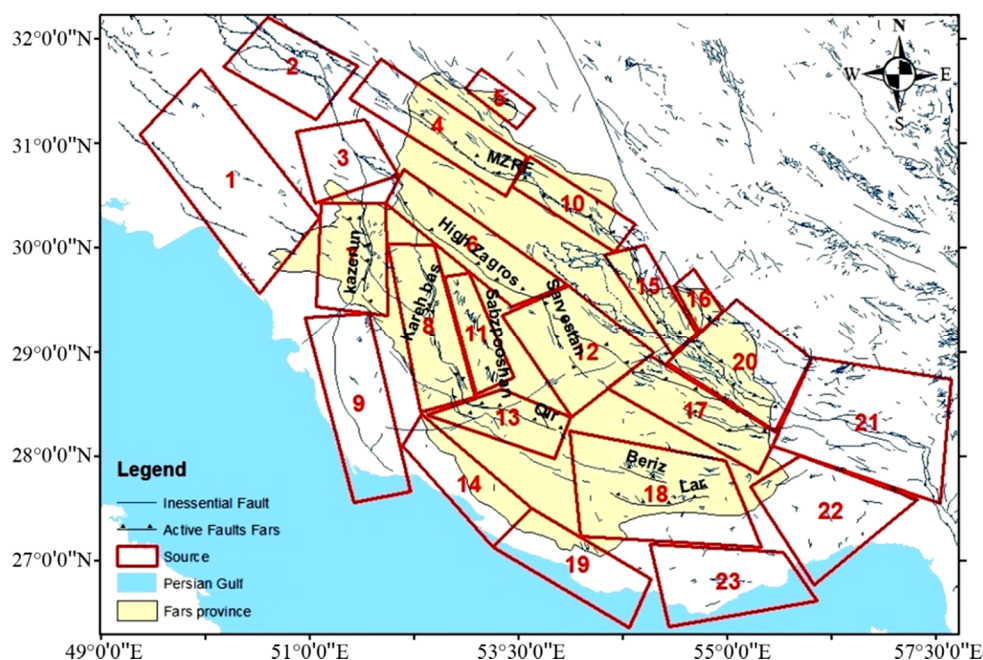
تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه، از مهم‌ترین مراحل برآورد خطر زمین‌لرزه است. به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی، نمی‌توان با اعتماد کافی، چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه را تعیین کرد. در فلات ایران به دو دلیل تراکم بالای گسل‌های فعال و دقت پایین داده‌های لرزه‌ای چشمه برخی از زمین‌لرزه‌ها به بیش از یک گسل

به روند و سازوکار گسل‌ها در نظر گرفته شد. گسل‌های با طول زیاد به دلیل متفاوت بودن وضعیت لرزه‌خیزی به قسمت‌های مختلف تقسیم شده‌اند. شکل (۳) چشمه‌های تعیین شده در استان فارس و شعاع ۲۰۰ کیلومتری آن را نشان می‌دهد.

۳-۳- تخمین M_{max} در چشمه‌های بالقوه

برای هر چشمه لرزه‌ای، بیشینه بزرگی‌ای که در اثر یک زمین لرزه در آن چشمه می‌تواند به وقوع بپیوندد، تخمین زده می‌شود. این تخمین بر پایه داده‌های زمین لرزه‌های گذشته و بررسی‌های زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی صورت می‌گیرد. تخمین M_{max} ، اغلب با استفاده از رابطه‌های تجربی بین بزرگی زمین لرزه و پارامترهای مختلف گسل مانند نوع خاک، بزرگی مختلف و فواصل تا سایت مورد نظر انجام می‌شود. در این مطالعه از روابط طول گسل بزرگی مختلف زارع [۲۱]، آمبرسیز و ملویل [۲۲]، نوروزی [۲۳] و ولز و کوپراسمیت [۲۴] بیشترین بزرگی حاصل از بزرگی طول گسل برای هر چشمه محاسبه و از نتایج به دست آمده میانگین آماری اخذ شده است.

ارتباط داده می‌شود. در تعیین چشمه‌های زمین لرزه این فرض که امکان رخداد زلزله‌ها در مناطقی که قبلاً زلزله رخ داده است، بیشتر از مناطق دیگر است، یعنی تکرار زمین لرزه و ساخت‌های تکتونیکی مشابه زمین لرزه‌های مشابه ایجاد می‌کنند و نبود ثبت داده‌های لرزه‌ای بر روی یک ساخت زمین‌شناسی به معنی عدم رخداد زلزله در آن منطقه نیست [۱۳] مد نظر قرار می‌گیرد. در عمل جهت تعیین چشمه‌ها، نقشه‌های تکتونیکی و نقشه رو مرکز زمین لرزه‌ها به عنوان راهنما مورد استفاده قرار گرفته و تصمیم نهایی در مورد هندسه چشمه‌های زمین لرزه بر اساس مدارک علمی موجود و بر پایه دیدگاه‌ها و تجربیات پژوهشگران صورت می‌گیرد. در ایران، با توجه به کمیت و کیفیت داده‌های موجود مناسب‌ترین شیوه تعیین چشمه‌های بالقوه زمین لرزه به صورت پهنه‌ای است. با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ فارس و نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ شهرهای این استان، استفاده از فهرست‌نامه یکنواخت زمین لرزه‌ها، در نظر گرفتن سازوکار کانونی آنها که از سایت‌های معتبر مانند CMT گرفته شده و تعیین وضعیت لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه، مدل‌های لازم برای چشمه‌های لرزه‌زا تعریف شدند و برای گستره مورد مطالعه ۲۳ چشمه به صورت پهنه‌ای با توجه



شکل (۳): چشمه‌های تعیین شده در استان فارس و شعاع ۲۰۰ کیلومتری آن.

امکان استفاده توأم از زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی سده بیستم با انجام دسته‌بندی‌های مناسب با در نظر گرفتن عدم قطعیت در اعلام بزرگای زمین‌لرزه‌ها و بزرگای آستانه متفاوت برای هر دسته وجود دارد. در مناطقی که اطلاعات ناکافی اجازه مشخص شدن چشمه‌های بالقوه زلزله را نمی‌دهد و حتی در آن نواحی که گسله‌های فعال تعیین شده‌اند، لازم است که لرزه‌خیزی زمینه مدل شود. در مفهوم لرزه‌خیزی زمینه، زلزله‌های با اندازه کوچک و میانگین در هر ناحیه به‌طور تصادفی روی می‌دهند و مقادیرشان بسته به سطح زلزله‌خیزی منطقه با بزرگای در حدود ۶ و پایین‌تر، تعیین می‌شود. طبق مطالعه موسوی و همکاران [۱۳] مقدار لرزه‌خیزی زمینه برای لرزه‌زمین‌ساخت زاگرس، بزرگای ۶ محاسبه شده است. همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، در این مطالعه زلزله‌های ۵/۵ تا ۶ برای کل منطقه به‌عنوان لرزه‌خیزی

۳-۴- برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از روش K-S-G
 برای انجام برآورد خطر نیاز به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی از جمله نرخ رویداد سالیانه بزرگای می‌باشد. محاسبات مربوط به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی بر پایه رویداد زلزله‌ها و رابطه بزرگای-فراوانی آنها صورت می‌گیرد. تاکنون روش‌های متعددی جهت محاسبه این ضرایب ارائه شده است که تقریباً همگی بر مبنای رابطه مقدماتی پایه گوتنبرگ-ریشتر استوار می‌باشد. نظر به اهمیت بسیار زیاد این پارامترها در تعیین میزان خطر زمین‌لرزه در این مطالعه از روش کیکو و سلوول [۲۵] استفاده شده است که بر مبنای تابع توزیع دو کراندار گوتنبرگ-ریشتر و روش آماری تخمین بیشینه احتمال بنا گردیده است. مزیت این روش به کارگیری رویداد زمین‌لرزه‌های آمیخته و ناهمگون است که مشابه با شرایط داده‌های لرزه‌ای ایران می‌باشد. بدین صورت که

جدول (۲): پارامترهای لرزه‌خیزی منطقه.

شماره چشمه‌ها	کمترین بزرگی	بیشینه بزرگی	تقسیم‌بندی بازه‌های بزرگی	کمترین نرخ آهنگ رویداد	بیشترین نرخ آهنگ رویداد	مقدار a	مقدار b
لرزه‌خیزی زمینه	۵/۵	۶	۰/۵	۱۶/۱	۰/۰۰۰۰۰۱۹۵		
۱	۶	۷/۱	۰/۲	۰/۰۸۴۳	۰/۰۰۰۳۳۵		
۲	۶	۶/۱	۰/۱	۰/۲۳۱	۰/۰۰۱۵	۵/۰۲	۰/۷۸۸
۳	۶	۶/۲	۰/۲	۰/۱۵	۰/۰۰۰۹۵۴		
۶	۶	۶/۸	۰/۴	۰/۰۵۸۴	۰/۰۰۰۰۲۰۲		
۷	۶	۶/۲	۰/۲	۰/۴۴۷	۰/۰۰۳۶۱		
۸	۶	۶/۱	۰/۱	۰/۲۴۰	۰/۰۰۰۰۱۰۶	۱/۲۳	۶/۹۸
۹	۶	۶/۴	۰/۴	۰/۳۰۲	۰/۰۰۰۵۶۰	۰/۸۱۹	۵/۱۴
۱۱	۶	۶/۱	۰/۱	۰/۰۸۱۸	۰/۰۰۵۳۳	۰/۷۵۳	۵/۳۷
۱۲	۶	۶/۶	۰/۱	۰/۰۹۷۱	۰/۰۰۰۷۴۷	۰/۷۴۴	۵/۳۲
۱۳	۶	۶/۶	۰/۳	۰/۲۱۵	۰/۰۰۰۲۱۹	۰/۶۴۸	۴/۰۶
۱۴	۶	۶/۲	۰/۲	۰/۱۳۲	۰/۰۰۰۵۷۵	۰/۷۵۹	۴/۶۷
۱۷	۶	۶/۸	۰/۴	۰/۱۶۱	۰/۰۰۰۱۱۴	۰/۹۵	۵/۸۷
۱۸	۶	۶/۵	۰/۵	۰/۱۶	۰/۰۰۱۰۴	۰/۹۸	۵/۵۵
۱۹	۶	۶/۴	۰/۴	۰/۱۳۱	۰/۰۰۰۲۲	۱/۳۱	۷/۰۸
۲۰	۶	۶/۶	۰/۳	۰/۰۹۵۸	۰/۰۰۰۱۸۵	۰/۶۷۴	۴/۰۷
۲۱	۶	۷	۰/۵	۰/۲۴۳	۰/۰۰۰۴۴		
۲۲	۶	۶/۲	۰/۲	۰/۲۲۵	۰/۰۰۰۹۹		
۲۳	۶	۶/۵	۰/۵	۰/۱۵۹	۰/۰۰۰۹۹		

شرایط ساختگاهی است [۲۸] از درخت منطقی استفاده شده است. در یکی از شاخه‌ها روابط تضعیف مورد استفاده با وزن‌های برابر در نظر گرفته شده است. در شاخه دیگر آهنگ رویداد سالانه مربوط به چشمه‌های بالقوه در هر بازه بزرگی بر اساس دو مدل مرز سخت و نرم، مطابق کیکو و سلوول [۲۵] با وزن‌های برابر قرار گرفته است [۲۸].

۶- برآورد خطر و پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ای به روش تعینی

تحلیل خطر به روش تعینی شامل چهار مرحله شناخت چشمه‌های لرزه‌ای، تعیین زمین‌لرزه کنترلی (بزرگ‌ترین زمین‌لرزه قابل انتظار برای چشمه لرزه‌ای)، انتخاب رابطه کاهندگی مناسب برای جنبش نیرومند زمین و محاسبه پارامترهای جنبش نیرومند زمین و برآورد خطر زمین‌لرزه می‌باشد. با توجه به اینکه شکستگی و گسلش‌های لرزه‌زا در چشمه‌های مختلف متفاوت است، لذا در این مطالعه برای هر چشمه میانگین عمق رویدادها به‌عنوان عمق کانونی بیشینه بزرگا در نظر گرفته شده است. جهت تعیین بزرگ‌ترین زمین‌لرزه قابل انتظار برای هر چشمه از روش بزرگا-طول گسیختگی سطحی گسل و روابط تجربی ارائه شده توسط زارع [۲۱]، آمبرسیز و ملویل [۲۲]، نوروزی [۲۳] و ولز-کوپراسمیت [۲۴] استفاده گردید. این روابط در زیر ارائه شده است:

$$M_w = 0.91 \ln L_R + 3.66 \quad L_R = 0.37 L_F \quad [21] \text{ زارع (5)}$$

که در آن L_R ، طول گسیختگی (طول مؤثر) برابر با ۳۷ درصد طول گسل، L_F ، می‌باشد. با توجه به اینکه معمولاً گسیختگی در کل طول گسل اتفاق نمی‌افتد، بلکه قسمتی از گسل گسیخته می‌شود، لذا در این تحقیق طبق مطالعه زارع [۲۱] طول مؤثر به‌عنوان ۳۷ درصد از طول گسل در نظر گرفته شد.

$$M_S = 1.429 \log L_R + 4.692 \quad [22] \text{ آمبرسیز و ملویل (6)}$$

$$M_S = 1.244 \log L_R + 1.259 \quad [23] \text{ نوروزی (7)}$$

$$M_S = 1.122 \log L_R + 5 \quad [24] \text{ ولز و کوپراسمیت (8)}$$

بزرگ‌ترین زمین‌لرزه قابل انتظار برای هر چشمه از روابط

زمینه در نظر گرفته شده است و کمترین مقدار بزرگی چشمه‌ها، بزرگای ۶ را شامل می‌شود و با توجه به چشمه‌بندی‌های منطقه بیشترین مقدار بزرگی ثبت شده است. این جدول تمامی پارامترهای موجود در هر چشمه را نشان می‌دهد. همچنین با استفاده از رابطه نمایی گوتنبرگ-ریشتر پارامترهای a و b رابطه نمایی نیز در جدول آورده شده است. شماره چشمه‌هایی که در این جدول نیامده‌اند، جزو لرزه‌خیزی زمینه محاسبه شده‌اند.

۴- رابطه تضعیف جنبش نیرومند زمین

یکی از عناصر مهم در ارزیابی خطر لرزه، روابط تضعیف است که تغییرات حداکثر جنبش نیرومند زمین (به‌عنوان مثال شتاب) را با تغییر فاصله و بزرگا بیان می‌کند. این روابط به‌صورت توابعی با ضرایب مجهول می‌باشند که فرم تابع با توجه به مطالعات پیشین و یا مدل‌های فیزیکی کاهیدگی امواج زلزله در پوسته زمین مشخص می‌شود که ضرایب از اطلاعات لرزه‌ای منطقه و داده‌های زلزله پیشین به‌دست می‌آید. برای تحلیل خطر منطقه باید بتوانیم پارامترهای حرکت زمین را تخمین بزنیم که این تخمین‌ها توسط یک سری روابط موسوم به رابطه تضعیف صورت می‌گیرد. این روابط عموماً توسط روش تجربی محاسبه می‌شوند در این مطالعه از دو رابطه تضعیف بور-اتکینسون [۹] و همچنین رابطه کمپبل-بزرگ‌نیا [۱۰] که از روابط جهانی هستند، استفاده شده است.

۵- عدم قطعیت

نبود مدل مناسب سرعت، توزیع بد ایستگاهی و کمبود ایستگاه‌های لرزه‌نگاری محلی و ناحیه‌ای، دلیل وجود عدم قطعیت‌هایی در پارامترهای مختلف زمین‌لرزه‌های ثبت شده (بزرگی، رومرکز و عمق کانونی) شده است. در این مطالعه عدم قطعیت بزرگی زمین‌لرزه‌های تاریخی، دوره نخست دستگامی و دوره مدرن دستگامی بر اساس مطالعات آمبرسیز و ملویل [۲۲]، آمبرسیز [۲۶] و میرزائی و همکاران [۲۷] در نظر گرفته شده است. برای عدم قطعیت شناختی که ناشی از کمبود اطلاعات پارامترهای چشمه زمین‌لرزه، مسیر انتشار امواج و

قطعی برای برآورد بیشینه زمین‌لرزه باورکردنی (MCE) استفاده می‌شود. بیشینه زمین‌لرزه باورکردنی عبارت است از بزرگ‌ترین زمین‌لرزه‌ای که در منطقه مورد مطالعه بر اثر جنبش یک گسله یا در یک گستره، مطابق شرایط زمین‌ساختی موجود می‌تواند به وقوع بپیوندد. با تقسیم ناحیه مورد نظر به صورت شبکه‌ای از نقاط (به فاصله ۱۰ کیلومتری) و با استفاده از بیشینه بزرگی‌های به‌دست‌آمده در جدول (۳) و رابطه کاهندگی تضعیف کمپیل-بزرگ‌نیا [۱۰] برآورد خطر زمین‌لرزه برای هر نقطه شبکه انجام شد و نهایتاً خم‌های هم‌شتاب در گستره مورد مطالعه ترسیم شده است. شکل (۴) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه به روش قطعی را نشان داده است. تمام شتاب‌ها بر روی سنگ بستر محاسبه شده است.

بالا به‌دست آمد و از نتایج به‌دست‌آمده میانگین‌گیری شد. در برخی از چشمه‌ها بزرگای زمین‌لرزه رخ‌داده بیشتر از بزرگای به‌دست‌آمده توسط روابط تجربی مورد نظر است. در این موارد از بزرگ‌ترین زمین‌لرزه رخ‌داده در چشمه به‌عنوان زمین‌لرزه کنترلی استفاده شده است. اطلاعات مربوط به طول گسل شاخص مربوط به هر چشمه، طول مؤثر گسل، بیشینه بزرگای قابل انتظار و رخ‌داده و عمق چشمه برای ۲۳ چشمه لرزه‌زای استان فارس و نواحی مجاور در جدول (۳) آمده است. قابل ذکر است که در این روش عدم قطعیت موجود در تشخیص چشمه، بیشینه بزرگی و ... ارزیابی نمی‌شود و نیز دوره بازگشت رویداد زمین‌لرزه تعیین نمی‌شود. به‌عبارت‌دیگر از روش

جدول (۳): اطلاعات مربوط به طول گسل شاخص مربوط به هر چشمه، طول مؤثر گسل، بیشینه بزرگای قابل انتظار و رخ‌داده.

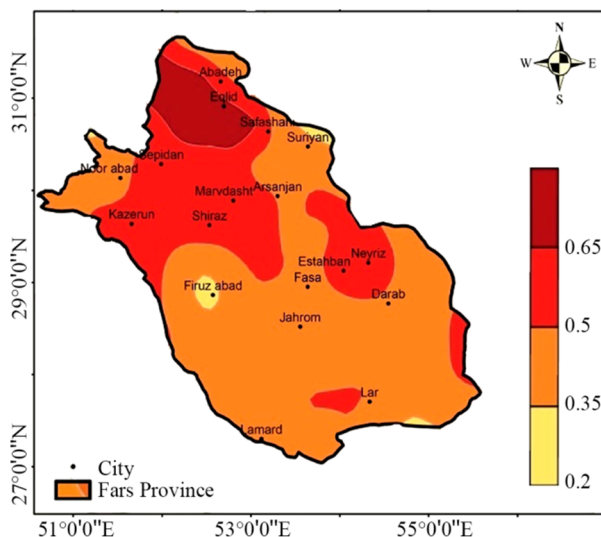
چشمه	طول گسل شاخص (کیلومتر)	طول مؤثر (کیلومتر)	بزرگی (زارع)	بزرگی (ولز و کوپراسمیت)	بزرگی (نوروزی)	بزرگی (آمبرسیز و ملویل)	بزرگی میانگین	بیشینه بزرگای رخ‌داده (M_w)
۱	۹۱	۳۳/۷	۶/۹	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۳	۷/۱
۲	۱۱۴	۴۲/۲	۷/۱	۷/۵	۷/۵	۷/۵	۷/۴	۱/۶
۳	۶۸	۲۵/۲	۶/۶	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۱	۶/۲
۴	۱۷۳	۶۴/۰	۷/۴	۷/۷	۷/۷	۷/۸	۷/۷	۴/۷
۵	۳۸	۱۴/۱	۶/۱	۶/۹	۶/۹	۶/۹	۶/۷	۵/۴
۶	۱۷۲	۶۳/۷	۷/۵	۷/۷	۷/۷	۷/۲	۷/۷	۶/۸
۷	۸۹	۳۳/۰	۶/۸	۷/۴	۷/۴	۷/۵	۷/۳	۶/۲
۸	۱۷۰	۶۳/۰	۷/۴	۷/۷	۷/۷	۷/۸	۷/۷	۱/۶
۹	۱۸۶	۶۸/۹	۷/۵	۷/۸	۷/۸	۷/۹	۷/۷	۶/۴
۱۰	۱۱۸	۴۳/۷	۷/۱	۷/۵	۷/۵	۷/۶	۷/۴	۵/۴
۱۱	۳۰	۱۱/۱	۵/۸	۶/۸	۶/۸	۶/۷	۶/۶	۱/۶
۱۲	۱۲۰	۴۴/۴	۷/۱	۷/۵	۷/۶	۷/۶	۷/۵	۶/۶
۱۳	۸۷	۳۲/۲	۶/۸	۷/۳	۷/۴	۷/۴	۷/۲	۶/۶
۱۴	۹۴	۳۴/۸	۶/۹	۷/۴	۷/۴	۷/۴	۷/۳	۲/۶
۱۵	۱۱۶	۴۳/۰	۷/۱	۷/۵	۷/۵	۷/۶	۷/۴	۴/۵
۱۶	۴۳	۱۶/۰	۶/۲	۶/۹	۷/۱	۶/۹	۶/۸	۵/۴
۱۷	۱۲۲	۴۵/۱	۷/۲	۷/۵	۷/۶	۷/۶	۷/۵	۶/۸
۱۸	۱۰۰	۳۷/۱	۶/۹	۷/۴	۷/۵	۷/۵	۷/۳	۶/۵
۱۹	۷۳	۲۷/۱	۶/۶	۷/۲	۷/۳	۷/۳	۷/۱	۶/۰
۲۰	۱۰۷	۳۹/۶	۷/۱	۷/۴	۷/۵	۷/۵	۷/۴	۵/۶
۲۱	۱۸۴	۶۸/۱	۷/۵	۷/۷	۷/۸	۷/۹	۷/۷	۶/۶
۲۲	۷۶	۲۸/۲	۶/۶	۷/۳	۷/۳	۷/۳	۷/۲	۷/۰

$$Prob(IMT \geq IML | Site, Forecast) =$$

$$1 - \prod_{i=1}^I \left(1 - \sum_{n=1}^{N(i)} Prob \times \right. \\ \left. (IMT \geq IML | Site, Rup_{n,i}) Prob(Rup_{n,i}) \right) \quad (9)$$

Forecast مفهوم پیش‌بینی گسیختگی ناشی از زلزله است که توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود. در این روش به‌طور مستقیم با احتمال مواجه هستیم. در حالی که در مورد فرمول‌های قبلی مجموع میانگین نرخ‌های سالیانه با هم جمع می‌شود و در پایان، احتمال محاسبه می‌شود. علاوه بر آن، روابط مرسوم شامل اجتماع بزرگی و فاصله است، در حالی که در این فرمول‌بندی جمع گسسته بزرگی‌ها و سطوح گسیختگی سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رابطه فرض پواسونی بودن رویدادها نیز در نظر گرفته شده است [۳۰]. گستره طرح با ابعاد ۵ کیلومتر در طول و عرض جغرافیایی توسط نرم‌افزار شبکه‌بندی شد. برآورد خطر لرزه‌ای توسط نرم‌افزار، با در نظر گرفتن چشمه‌های منطقه و مشخصات مربوط به آنها شامل ابعاد چشمه، عمق بالایی و پایینی صفحه شکست، نسبت طول به عرض صفحه شکست و همچنین پارامترهای مربوط به گسلش (strike, dip, rake) صورت گرفت. به این ترتیب مقادیر PGA ساختگاه سنگی و با استفاده از رابطه‌های تضعیف بور-اتکینسون [۹] و کمپیل-بزرگ‌نیا [۱۰] دوره بازگشت ۵۰ سال (۶۳ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال عمر مفید سازه) و دوره بازگشت ۴۷۵ (معادل ۱۰ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال عمر مفید سازه)، محاسبه شد و بر اساس نتایج، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه رسم گردید (شکل‌های ۵ و ۶).

نمودار دوره بازگشت زمین‌لرزه به‌خوبی حاکی از بالا بودن احتمال وقوع زلزله‌های بزرگ در فارس هستند، به‌طوری که در یک سال آینده ۵۰ درصد احتمال رویداد زلزله بالای ۵ و احتمال وقوع زلزله‌های ۴/۵ تا ۵/۵ به‌صورت سالیانه وجود دارد. همچنین در ۵۰ سال آینده، ۷۰ درصد احتمال رویداد زلزله با بزرگی ۶ را خواهیم داشت که بایستی توجه ویژه‌ای به ساخت‌وساز و طراحی سازه‌ها بر اساس اصول مهندسی داشت.



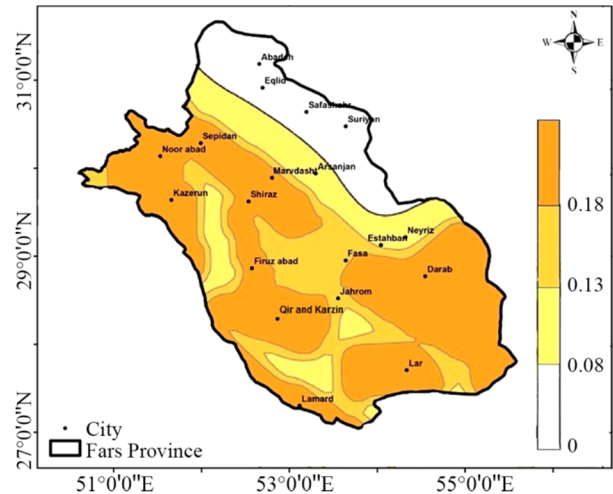
شکل (۴): نقشه پهنه خطر منطقه مورد مطالعه به روش تعیینی و رابطه تضعیف کمپیل-بزرگ‌نیا [۱۰].

این نقشه‌ها زمانی که مطالعه موردی و خاصی برای سازه معینی ممکن نباشد، ابزار عملی و مناسبی برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه می‌باشد. با توجه به شکل (۴) بیشترین PGA در محدوده استان فارس مقدار ۰/۸g و کمترین میزان آن ۰/۲g می‌باشد.

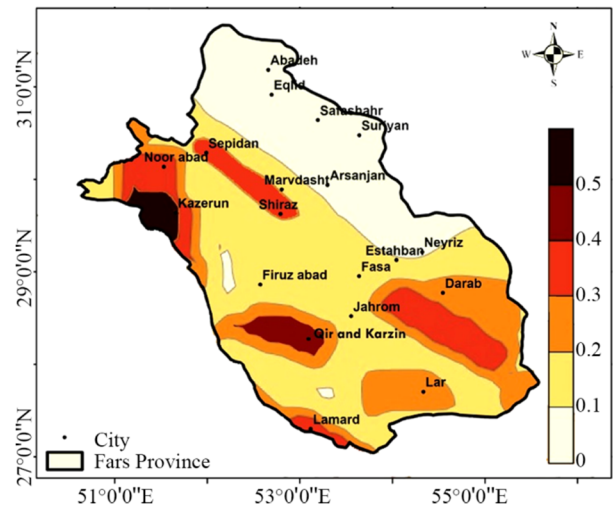
۷- برآورد خطر و پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ای به روش احتمالاتی

در برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی، تحلیل بر پایه تمامی حالات ممکن از مقادیر ممکن بزرگای زمین‌لرزه چشمه‌های لرزه‌زا در گستره مورد نظر و در تمامی فاصله‌های ممکن از ساختگاه مورد مطالعه انجام می‌گیرد. در این تحقیق از آخرین نسخه نرم‌افزار Open Quake [۲۹] استفاده شده است. در تحلیل خطر احتمالاتی به دنبال احتمال فزونی شدت پارامتر جنبش (IMT) از یک سطح شدت مشخص (IML) هستیم. علاوه بر این احتمال گسیختگی ناشی از زلزله نیز در نظر گرفته می‌شود. در واقع ورودی‌ها برای نرم‌افزار باید به گونه‌ای باشد که احتمال‌های مختلف شکست را برای چشمه تعیین شده، در نظر بگیرد. رابطه (۹) توسط نرم‌افزار استفاده می‌شود:

خطر کمتری برای مناطق مختلف استان برآورد شده است. بر پایه تقسیم‌بندی ارائه شده در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه (استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴)، نقشه پهنه‌بندی با دوره بازگشت ۴۷۵ سال دربرگیرنده چهار منطقه می‌باشد: مناطق با سطح خطر بسیار بالا، $PGA > 0.35g$ ، مناطق با سطح خطر بالا، $0.3g < PGA < 0.35g$ ، و مناطق با خطر پایین، $PGA < 0.25g$. بر پایه این تقسیم‌بندی و نقشه ارائه شده در شکل (۶) برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال بیشتر مناطق کم‌جمعیت استان، در محدوده خطر متوسط و پایین قرار گرفته‌اند. اما مناطق با تراکم جمعیت بالا و شهرهای مهم و پرجمعیت از جمله شهرستان‌های شیراز، کازرون، قیر و کارزین در مناطق با خطر بسیار بالا قرار گرفته‌اند. از مقایسه نتایج این تحقیق با نقشه‌های پهنه‌بندی پیشینه شتاب جنبش زمین برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال برای ایران که توسط موسوی و همکاران [۱۳]، حمزه‌لو و همکاران [۱۴] و توکلی و غفوری‌آشتیانی [۱۲] تهیه گردیده (شکل‌های ۲ تا ۴ پیوست)، می‌توان به روند تغییرات شتاب نسبتاً مشابهی در اغلب نقاط استان اشاره نمود. البته تفاوت‌هایی در مقدار و توزیع خطر قابل مشاهده می‌باشد. در مطالعه موسوی و همکاران [۱۳]، مناطق با خطر بالا در شمال غرب استان و شرق استان که شهرهای شیراز، اقلید، آباد، داراب و جهرم واقع شده‌اند، از مقدار PGA پایین‌تری ($0.25-0.35$) نسبت به مطالعه حاضر ($0.3-0.4$) برخوردار می‌باشند. همچنین در مطالعه ایشان شهر کازرون و منطقه اطراف آن دارای خطر در حدود $0.35-0.45$ شتاب جاذبه زمین می‌باشد که نسبت به مطالعه حاضر ($0.65-0.55$) از مقدار پایین‌تری برخوردار است. در مطالعه حمزه‌لو و همکاران [۱۴] شهر شیراز دارای شتاب $0.3-0.4$ شتاب جاذبه زمین می‌باشد که با شتاب حاصل از مطالعه حاضر (0.35) مشابه بوده و مناطق با خطر بالا و بسیار بالا بخش‌های بیشتری از استان را در بر می‌گیرند. همچنین در نقشه ایشان شهرهای قیر و کارزین در منطقه با خطر متوسط قرار گرفته‌اند، اما بر طبق مطالعه حاضر این شهرها در منطقه با خطر بسیار بالا قرار گرفته‌اند که این امر می‌تواند به جهت مجاورت این منطقه با گسل فعال قیر باشد.

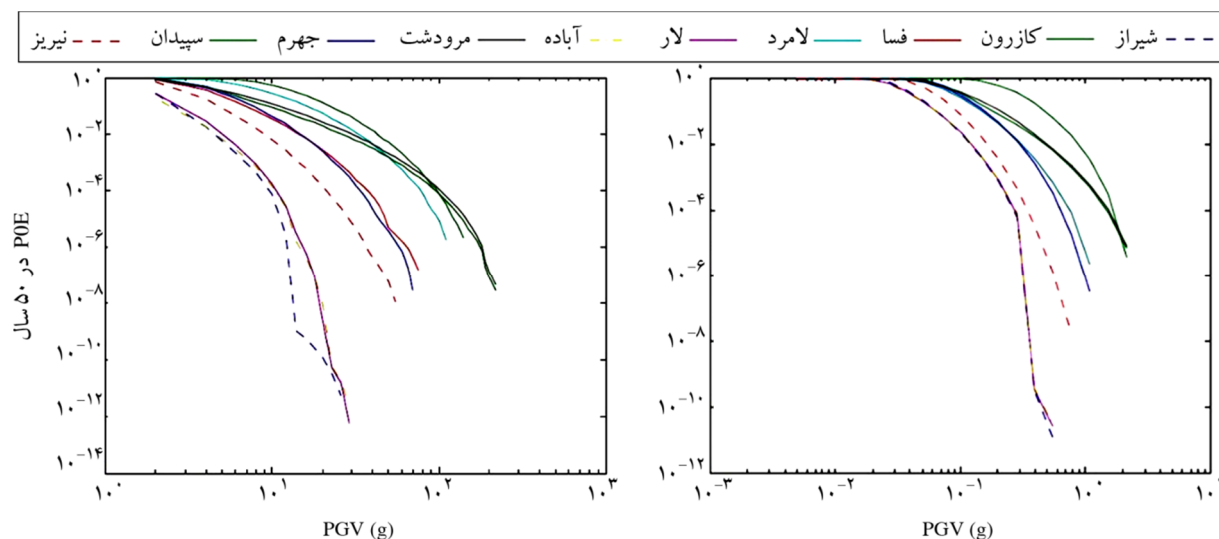


شکل (۵): نقشه پهنه‌بندی پیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب g استان فارس برای دوره بازگشت ۵۰ سال (۶۳ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال عمر مفید سازه، سطح مبنای بهره‌برداری).



شکل (۶): نقشه پهنه‌بندی پیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب g استان فارس برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال عمر مفید سازه، سطح مبنای بهره‌برداری).

در استان فارس بیشترین مقدار PGA برای دوره بازگشت ۵۰ سال $0.23g$ و برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال $0.6g$ محاسبه شد که نواحی دارای این مقادیر بالای PGA با راستای کمربند چین‌خورده زاگرس مطابقت دارد، که هر دو این مقادیر مربوط به شهر کازرون است. پس از کازرون شیراز و لامرد از جمله شهرهای پرخطر هستند. شهرستان شیراز، مرکز استان فارس، در ناحیه با بیشینه شتاب بین $0.18g-0.13g$ واقع شده است. در نقشه تهیه شده توسط موسوی و همکاران [۱۳] (شکل ۱ پیوست) میزان



شکل (۷): نقشه منحنی‌های خطر برای PGV و PGA برای شهرهای مهم استان فارس.

لار، آباده و جهرم پایین‌ترین سطح خطر محسوب می‌شوند. در منحنی خطر PGV، که بیشینه سرعت افقی را ملاک عمل قرار می‌دهد، محورهای مختصات بیشینه سرعت زمین و احتمال فزونی در ۵۰ سال است. طبق این نمودار همچنان کازرون شهری است که بیشینه شتاب را دارد. پس از کازرون، شهرهای مرودشت، سپیدان و لامرد بیشترین استعداد PGV بالا در میان ۱۰ شهر انتخاب شده را دارند. پس از آنها دو شهر فسا و شیراز قرار دارند. آباده، لار و جهرم نیز تقریباً از سطح خطر یکسان و کمترین آن برخوردار هستند.

۹- نتیجه‌گیری

سطح بیشینه شتاب زمین در روش تعیینی، با توجه به رابطه تضعیف کمپیل-بزرگ‌نیا [۱۰] مورد استفاده در این مطالعه، مقدار ۰/۸ شتاب جاذبه زمین محاسبه شده و کمترین میزان آن ۰/۲ شتاب جاذبه زمین می‌باشد. در روش تعیینی با توجه به محاسبه طول گسل به‌عنوان فاکتور مؤثر در پتانسیل لرزه‌خیزی منطقه و اثرگذاری آن در تعیین بزرگی بیشینه چشمه‌های لرزه‌ای، برای مناطق شمالی استان به جهت مجاورت با گسل‌های بزرگ منطقه خطر بالاتری برآورد شده است به‌طوری‌که شهرهای اقلید و آباده با شتاب ۰/۶۵ شتاب جاذبه زمین پرخطرترین مناطق استان فارس می‌باشند. همچنین کمترین میزان

به‌علاوه در مطالعه ایشان شهر کازرون در منطقه با شتاب بیشتر از ۰/۴۵ قرار گرفته است، درحالی‌که در مطالعه حاضر کازرون دارای بیشینه شتاب ۰/۵۵ می‌باشد. تفاوت مقادیر PGA و شکل پربندهای مطالعات پیشین با مطالعه حاضر را می‌توان به تفاوت در چشمه‌بندی و انتخاب روابط تضعیف مختلف برای مطالعات خود نسبت داد. البته مقدار بیشینه شتاب در هر چهار نقشه برای شهرستان‌های شیراز و کازرون تقریباً مشابه و خطر نسبی بالا را نشان می‌دهد. از دیگر نتایج مقایسه این نقشه‌ها، یکسان بودن کمترین مقدار بیشینه شتاب در شهرستان‌های اقلید، آباده، صوریان و ارسنجان می‌باشد.

۸- نمودارهای منحنی خطر

از دیگر نتایج و خروجی‌های مطالعه، منحنی‌های خطر هستند. این منحنی‌ها برای PGV و PGA محاسبه شده‌اند (شکل ۷). در منحنی خطر برحسب PGA که برای ۱۰ شهر بزرگ استان فارس محاسبه شده است، در محور افقی بیشینه شتاب افقی برحسب مضربی از شتاب جاذبه (۹/۸ متر بر مجذور ثانیه) و در محور عمودی احتمال فزونی در ۵۰ سال آینده را نشان می‌دهد. این نمودار کازرون و مرودشت و سپیدان را در بالا دارد که نشان از احتمال رویدادهای بزرگ‌تر در ۵۰ سال آینده است. بعد از آن احتمال رویداد PGA بالاتر در شهرهای شیراز و لامرد افزایش می‌یابد. شهر نیریز از سطح خطر متوسط برخوردار است.

منطقه پر خطر قابل مشاهده می‌باشد، که بخش‌هایی از مناطق شمال غرب، غرب، جنوب و جنوب شرق استان فارس را پوشش می‌دهند. بخش غربی استان که شامل شهر کازرون می‌باشد به جهت حضور گسل فعال کازرون و لرزه‌خیزی بالای منطقه و نیز تجربه زمین‌لرزه بزرگ تاریخی و تخمین توان لرزه‌ای بالاتر از ۷، دارای بالاترین سطح خطر لرزه‌ای در استان فارس می‌باشد. زمین‌لرزه‌های ژانویه ۱۹۶۷ و اکتبر ۱۹۷۱ در بخش جنوبی گسل کازرون، نشانگر فعالیت بخشی از گسل کازرون در دوره کواترنری است [۳۱]. بخش جنوبی استان که شامل شهرهای قیر و کازرون می‌باشد به جهت تأثیرپذیری آن از گسل فعال قیر با تجربه زمین‌لرزه‌های تاریخی دارای سطح خطر لرزه‌ای بالایی می‌باشد. قسمت شمال غرب استان فارس که شهر شیراز و مرودشت در این منطقه واقع شده‌اند در مجاورت گسل بزرگ زاگرس مرتفع بوده و سابقه زمین‌لرزه تاریخی بزرگ‌تر از ۶ و توان لرزه‌ای بالاتر از ۷ موجب قرارگیری این منطقه در بازه سطح خطر بسیار بالا شده است. در جنوب شرق استان محدوده بین شهرستان‌های جهرم و داراب که گسل زاگرس مرتفع در این منطقه امتداد یافته و نیز به جهت نزدیکی با گسل اصلی معکوس زاگرس می‌باشد، از سطح خطر لرزه‌ای بسیار بالایی برخوردار است. وجود حوزه‌های نفتی در این منطقه و ضرورت مقاوم‌سازی در بحث تأسیسات و سازه‌های منطقه موجب حساسیت مضاعف منطقه می‌شود.

مراجع

1. Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. (2003) Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**, 314-331.
2. Zare, M. (1384) *An Introduction to Applied Seismology*. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (in Persian).
3. Frankel, A. (1995) Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States. *Seismological*

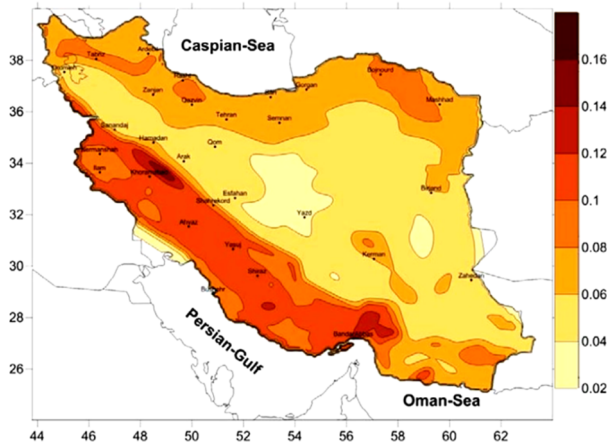
شتاب ناشی از روش تعیینی مربوط به شهر فیروزآباد برآورد گردید. مقادیر محاسبه شده در محدوده شهرهای شیراز، کازرون و مرودشت نیز با PGA در حدود ۰/۵ تا ۰/۶۵ شتاب جاذبه زمین از لرزه‌خیزترین نواحی استان فارس محسوب می‌شوند. نمودار دوره بازگشت زمین‌لرزه به‌خوبی حاکی از بالا بودن احتمال وقوع زلزله‌های بزرگ در فارس هستند به‌طوری‌که در یک‌سال آینده ۵۰ درصد احتمال رویداد زلزله بالای ۵ و احتمال وقوع زلزله‌های ۴/۵ تا ۵/۵ به‌صورت سالیانه وجود دارد. همچنین در ۵۰ سال آینده، ۷۰ درصد احتمال رویداد زلزله با بزرگی ۶ را خواهیم داشت که نیازمند توجه ویژه پارامترهای طراحی در این منطقه از جمله پیشینه شتاب طراحی است.

در روش احتمالاتی پیشینه شتاب PGA برای دوره بازگشت ۵۰ سال (با ۶۳ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال)، $0.23g$ برآورد شده است. این مقدار مربوط به محدوده شهر کازرون می‌باشد و می‌توان آن را به روند نواحی پرخطر در راستای کمربند چین‌خورده زاگرس نسبت داد. همچنین شهرهای شیراز، قیر، کارزین، لامرد، نورآباد، سپیدان، داراب، لار و مرودشت از دیگر شهرهایی هستند که در پهنه با خطر بالای این استان قرار دارند. در این میان، شیراز به‌عنوان پرجمعیت‌ترین شهر پهنه مورد بررسی، دارای پیشینه شتاب ۰/۲۰ شتاب جاذبه زمین می‌باشد که در مقایسه با مطالعات پیشین مقدار شتاب جنبش زمین افزایش یافته است.

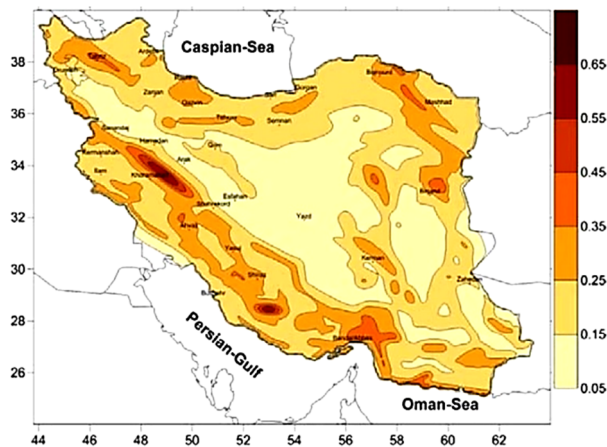
با توجه به نقشه خطر زمین‌لرزه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال، همچنان شهر کازرون پرخطرترین بخش استان فارس با ۰/۵۵ شتاب جاذبه زمین است. پس از آن شهرهای قیر و کارزین، با ۰/۴۵ شتاب جاذبه بیشترین سطح خطر را نشان می‌دهند. در این دوره بازگشت، شهرستان شیراز و لامرد با ۰/۳۵ شتاب جاذبه نیز جزو مناطق پرخطر منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شوند. ضمناً در این مطالعه شهرهای فسا و جهرم، استهبان، نیریز و فیروزآباد با حدود ۰/۱۵ شتاب جاذبه، از سطح خطر کمتری برخوردار می‌باشند.

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، در استان فارس چهار

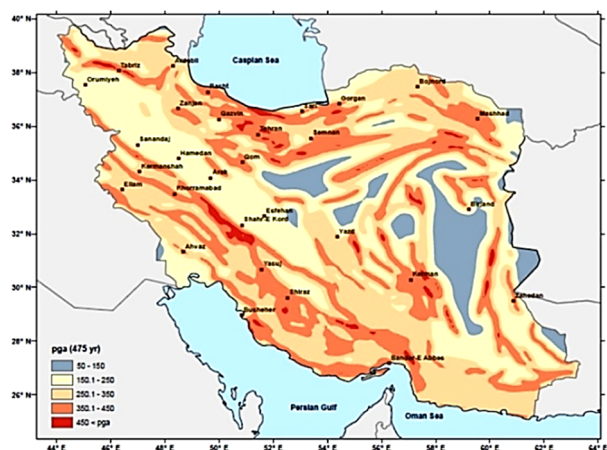
- Geofysica*, **42**(6), 2013-2021.
13. Mousavi, S.H. and Mirzaei, N., Shabani, E., and Eskandari-Ghadi, M. (2004) Seismic hazard zoning in Iran and estimating peak ground acceleration in provincial capitals. *The Journal of the Earth and Space Physics*, **4**, 15-38 (in Persian).
 14. Hamzehloo, H., Alikhanzadeh, A., Rahmani, M., and Ansari, A. (2012) Seismic hazard maps of Iran. *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal.
 15. Vernant, P., Nilforoshan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., and Masson, D. (2004) Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International*, **157**(1), 381-398.
 16. Berberian, M. (1995) Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morpho-tectonics. *Tectonophysics*, **241**, 193-224.
 17. Berberian, M. (1994) *Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran*. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), **1**, 620p.
 18. Mousavi, S.H. and Mirzaei, N., and Shabani, E. (2014) A declustered earthquake catalog for the Iranian plateau. *Annals of Geophysics*, **57**(6), 1-25.
 19. Uhrhammer, R.A. (1986) Characteristics of northern and central California seismicity. *Earthquake Notes*, **57**, 21p.
 20. Gardner, K. and Knopoff, L. (1947) Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian? *Bulletin of the Seismological Society of America*, **64**(5), 1363-1367.
 21. Zare, M. (1999) *Contribution a' l' Etude des Mouvements Forts en Iran; du Catalogue Aux Lois D'atte'nuation*. Observatoire de Grenoble et Laboratoire de Geophysique Interne et Tectonophysique, L' Universite' Joseph Fourier - Grenoble I.
 4. Shi, Z., Yan, J., and Gao, M. (1992) Research on the principles and methodology of seismic zonation-results of the trial in north China. *Acta Seismologica Sinica*, **5**, 305-314.
 5. Nowroozi, 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**, 109-128.
 6. Zafarani, H., Mousavi, M., Noorzad, A.S., and Ansari, A. (2008) Calibration of the specific barrier model to Iranian plateau earthquakes and development of physically based attenuation relationships for Iran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **28**, 550-576.
 7. Ghasemi, H., Zare, M., Fukushima, Y., and Koketsu, K. (2009) An empirical spectral ground motion model for Iran. *Journal of Seismology*, **13**, 499-515.
 8. Shoja Taheri, J., Naserieh, S., and Hadi, G. (2010) A test of the applicability of NGA models to the strong ground -motion data in the Iranian plateau. *Journal of Earthquake Engineering*, **14**, 278-292.
 9. Boore, D.M. and Atkinson, G.M. (2008) Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. *Earthquake Spectra*, **24**, 99-138.
 10. Campbell, K.W. and Bozorgnia, Y. (2008) NGA ground motion model for the geometric mean horizontal 139 component of pga, pgv, pgd and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 To 10 S. *Earthquake Engineering Research Institute*, **24**(1), 139-172.
 11. Chiou, B.S.J. and Youngs, R.R. (2008) An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra*, **24**, 173-215.
 12. Tavakoli, B. and Ghafory-Ashtiany, M. (1999) Seismic hazard assessment of Iran. *Annali Di*

پیوست


شکل (۱-پ): نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب g در ایران برای میانگین دوره بازگشت ۵۰ سال (۶۳ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال) در سنگ‌بستر [۱۳].

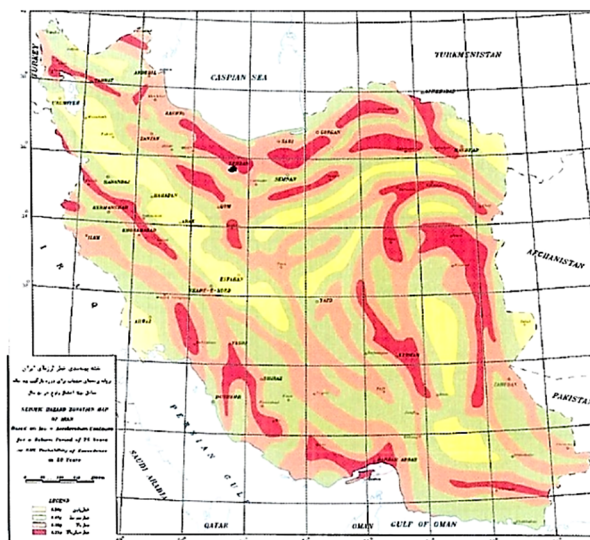


شکل (۲-پ): نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب g در ایران برای میانگین دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰ درصد احتمال فزونی در ۵۰ سال) در سنگ‌بستر [۱۳].



شکل (۳-پ): نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب g در ایران برای میانگین دوره بازگشت ۴۷۵ سال [۱۴].

22. Ambraseys, N.N. and Melville, C.P. (1982) A history of Persian earthquakes. *Geological Magazine*, **120**, 410p.
23. Nowrozi, A. (1985) Empirical relations between magnitudes and fault parameters for earthquakes in Iran. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **75**(5), 1327-1338.
24. 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), 974-1002.
25. Kijko, A. and Sellevoll, M.A. (1992) Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files. Part II, Incorporation of Magnitude Heterogeneity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **82**, 120-134.
26. Ambraseys, N.N. (1989) Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal*, **96**, 311-331.
27. Mirzaei, N., Gao, M., and Chen, Y.T. (1997) Evaluation of uncertainty of earthquake parameters for the purpose of seismic zoning of Iran. *Earthquake Research in China*, **11**, 197-212.
28. Mousavi, S.H. (2014) *Deaggregation of Seismic Hazard in Iran and Evaluating the Importance of Site Effects for Some Selected Sites*. Ph.D. Thesis (in Persian).
29. Pagni, M., Monelli, D., Weatherill, G., Danciu, L., Crowley, H., Silva, V., Henshaw, P., Butler, L., Nastasi, M., Panzeri, L., Simionato, M., and Vigano, D. (2014) OpenQuake-engine: An open hazard (and risk) software for the Global Earthquake Model. *Seismological Research Letters*, **85**(3), 692-702.
30. Field, E.H., Jordan, T.H., and Cornell, C.A. (2003) OpenSHA - a developing community modeling environment for seismic hazard analysis. *Seismological Research Letters*, **74**, 406-419.
31. Berberian, M. (1976) *Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part II*. Geological Survey of Iran, Report, **39**, 516p.



شکل (۴-پ): نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین بر حسب g در ایران برای میانگین دوره بازگشت ۴۷۵ سال [۱۲].