

زلزله طرح در منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی عسلویه

آزاد یزدانی*: دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان، سنندج؛ Email: a.yazdani@uok.ac.ir

میلاذ کوشری: کارشناسی ارشد عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان، سنندج.

ثاراله رجیبی: کارشناسی ارشد عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان، سنندج.

محمد رشید سلیمی: دانشجوی دکتری عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه کردستان، سنندج.

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۲۴

چکیده

منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی عسلویه شامل مجموعه‌ای از تأسیسات و کارخانه‌های مختلف با هدف بهره‌برداری از منابع عظیم گازی و نفتی است. هدف از این پژوهش ارائه‌ی روشی احتمالی برای به دست آوردن شتاب‌نگاشت‌های شبیه‌سازی شده در این ناحیه است. به کمک تحلیل خطر احتمالی که سهم بزرگ‌های مختلف در تمامی فواصل را با یکدیگر ترکیب می‌کند، سطوح خطر نظیر دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله بر روی بستر سنگی در این ناحیه تعیین می‌شود. بیشینه‌ی شتاب زمین برای دوره‌ی بازگشت‌های یاد شده به ترتیب برابر با $0.27g$ و $0.34g$ محاسبه شد. برای به دست آوردن بزرگا و فاصله‌ی محتمل، تفکیک خطر لرزه‌ای صورت پذیرفت. مشارکت نسبی چشمه‌های مختلف به وسیله‌ی تابعی از نرخ رویداد و پتانسیل لرزه‌ای آن‌ها محاسبه و مشخصات زلزله‌های طرح در منطقه تعیین می‌گردد. با استفاده از روش گسل محدود تصادفی در سناریوهای تخمین زده شده، زمین‌لرزه طرح تولید گردید. این روش علاوه بر مدل کردن چشمه‌ی زمین‌لرزه، اثرهای کاهشی و افزایشی مسیر و ساختگاه، مشخصات هندسی و دینامیکی گسل را نیز به خوبی به تصویر می‌کشد. نتایج تفکیک خطر لرزه‌ای، زمین‌لرزه در فواصل زیر ۵ کیلومتر و با بزرگای $5/85$ و $6/75$ را به ترتیب به ازای احتمال فراگذشت ۱۰ و ۲ درصد در ۵۰ سال محتمل می‌داند. این نتایج اهمیت استفاده از روش‌های تصادفی به منظور تولید زمین‌لرزه‌های مصنوعی را در منطقه‌ی عسلویه، که فاقد چنین رویدادهایی است، تأکید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل خطر احتمالی، تفکیک خطر لرزه‌ای، روش گسل محدود، عسلویه.

Design Earthquake in Asalouyeh Special Economic Zone

Azad Yazdani^{1*}, Milad Kowsari², Sarolla Rajabi³, Mohammad-Rashid Salimi⁴

Abstract

Asalouyeh special economic zone, a collection of different plants, was established for the utilization of different oil and gas resources. The main objective of this paper is to present a probabilistic procedure to construct time-series, in Asalouyeh over the hard-rock site. Probabilistic seismic hazard procedure is compatible with the source-path and site reflecting the influence of different magnitude events at different distances that may occur during a specified time period. The peak ground acceleration is estimated to be $0.27g$ to $0.34g$, for a return period of 475 and 2475 years, respectively. The disaggregation of the seismic hazard is carried out to identify hazard-dominating events. The relative contributions of the various sources to the total seismic hazard are determined as a function of their occurrence rates and their ground-motion potential. Finally, the stochastic finite-fault technique based on region-specific seismic parameters is used to generate time series of earthquake scenario. This technique which models source, path and site as a simple function is based upon the simulation of several small earthquakes as sub-events that comprise a large fault-rupture event. The disaggregation results show the probable events would be at distances up to 5 km, with magnitudes 5.85 and 6.75, for ground motion corresponds to 10% and 2% probability of exceedance in 50 years, respectively. This indicates the use of stochastic models would be particularly important in generating synthetic ground motions for large events at close distances in Asalouyeh zone where such a recorded ground motion is rare.

Keywords: Probabilistic seismic hazard, Disaggregation, Finite-fault method, Asalouyeh.

1 Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran; E-mail: a.yazdani@uok.ac.ir

2 MA Graduate in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3 MA Graduate in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

4 Ph.D. student of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

۱۰

شماره نهم

بهار و تابستان

۱۳۹۵

دوفصلنامه
علمی و پژوهشی



۴۵۰ هکتار در طول جغرافیایی ۵۲/۲۷ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶/۲۷ شمالی واقع شده است. با توجه به اهمیت منطقه، در این مطالعه روندی برای ترکیب نتایج رویکردهای احتمالی و تعیین ارائه می‌گردد تا به کمک آن شتاب‌نگاشت‌هایی که در تحلیل دینامیکی سازه‌های با اهمیت زیاد ضروری است، محاسبه شود. از این رو به کمک تحلیل و تفکیک خطر لرزه‌ای میزان خطر و مشخصه‌های زلزله طرح تخمین زده شده و با استفاده از روش گسل محدود و اطلاعات زمین‌شناسی و لرزه‌شناسی منطقه، زمین‌لرزه‌های نظیر سطوح مختلف در این منطقه تولید می‌گردد.

منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی عسلویه در حاشیه‌ی خلیج فارس و حدود ۱۰۰ کیلومتری حوزه‌ی گازی پارس جنوبی واقع شده است. از لحاظ لرزه‌شناسی نیز این استان در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس قرار دارد که لرزه‌خیزترین منطقه‌ی ایران محسوب می‌شود [۵]. نوار چین‌خورده -راندگی زاگرس که در تصویر ۱ نشان داده شده است، بخشی از کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا و یکی از جوان‌ترین پهنه‌های برخورد قاره‌ای در روی زمین است که در حدود ۱۵۰۰ کیلومتر از کوه‌های تاروس در جنوب شرق ترکیه تا گسل میناب در شرق جزیره‌ی هرمز در جنوب ایران امتداد دارد [۶]. از جمله گسل‌های مهمی که در ایالت لرزه‌خیز این منطقه قرار دارند می‌توان به گسل‌های جبهه‌ی کوهستان، کازرون - برازجان، قیر، کره بس، سبز پوشان، میشان، رگ سفید، لار، گودال زاگرس و گسل معکوس اصلی زاگرس اشاره کرد که مکانیزم آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

بربریان [۷] با مطالعه بر روی گسل‌های زاگرس و ارتباط آن‌ها با لرزه‌خیزی منطقه نشان داد که بیشتر رویدادهای بزرگ این منطقه ناشی از جنبش گسل‌های کازرون - برازجان و جبهه‌ی

جدول ۱: مکانیزم گسل‌های موجود در منطقه [۷]

گسل	نوع
قیر	امتداد لغز راستگرد
ناحیه‌ی سبزپوشان	امتداد لغز راستگرد
گسل جبهه‌ی پیشانی	معکوس
لار	معکوس
بریز	معکوس
برازجان	امتداد لغز راستگرد
کازرون	امتداد لغز راستگرد
میشان	معکوس
رگ سفید	معکوس
بختگان	معکوس
سروستان	امتداد لغز راستگرد
گسل اصلی معکوس	معکوس
زاگرس مرتفع	معکوس
گسل گودال زاگرس	معکوس
کره بس	امتداد لغز راستگرد
دهشیر	امتداد لغز راستگرد

خطرهای متعدد طبیعی و مصنوعی همواره زندگی در جوامع شهری را مورد تهدید قرار داده است. این خطرها و رویدادهای غیرمترقبه که موجب اختلال در زندگی روزمره‌ی مردم در ابعاد مختلف می‌گردد را بحران، و به دانشی که برای پیشگیری، آمادگی و مقابله با چنین حوادثی مطرح شده را مدیریت بحران گویند. به عبارتی مدیریت بحران، فعالیت‌ها و عملیات پیوسته در قالب برنامه‌ریزی، سازماندهی تشکیلات، رهبری، پایش و هماهنگی برای پیشگیری از بحران و کاهش اثرهای ناشی از آن و بهبود امور و اوضاع بعد از بحران است [۱]. یکی از روش‌های کارآمد در مدیریت بحران پدیده‌ی زمین‌لرزه، تحلیل خطر لرزه‌ای در یک ساختگاه مشخص است که بدین منظور دو رویکرد احتمالی و تعیینی تعریف می‌گردد و هر کدام از این رویکردها دارای مزایا و معایبی هستند. در روش تعیینی یک زمین‌لرزه با بزرگای معلوم در موقعیتی مشخص از یک گسل به طور دقیق محاسبه می‌گردد. وجود عدم قطعیت در مکان، زمان و بزرگای زمین‌لرزه‌های آتی و از طرف دیگر گرایش رایج در آیین‌نامه‌های لرزه‌ای به استفاده از رویکرد احتمالی در تخمین زمین‌لرزه‌ها و طراحی عملکردی سازه‌ها موجب شده است که استفاده از رویکرد احتمالی در تخمین زمین‌لرزه برای طراحی سازه‌ها بیشتر گسترش یابد [۲]. در رویکرد احتمالی علاوه بر اینکه می‌توان عدم قطعیت‌های مکانی و زمانی را در برآورد خطر منطقه در نظر گرفت، امکان تعیین زلزله‌های نظیر سطوح مختلف طراحی نیز وجود دارد [۳، ۴].

در تحلیل خطر احتمالی، تمامی سناریوهای ممکن در تعیین زلزله طرح در نظر گرفته می‌شود و به همین علت نمی‌توان جزئیات زلزله طرح را معلوم کرد. به کمک روش تفکیک خطر لرزه‌ای برای رفع این مشکل می‌توان ضرایب مشارکت نسبی مقادیر مختلف بزرگا و فاصله از گسل را در تحلیل خطر محاسبه کرد و محتمل‌ترین بزرگا و فاصله برای تعیین زلزله طرح را مشخص نمود. با معلوم شدن مشخصات زلزله طرح و استفاده از روش‌های تعیینی تولید زمین‌لرزه و بر اساس اطلاعات و مشخصات هندسی گسل و مکان گسیختگی و مقدار بزرگایی که ممکن است روی دهد، می‌توان شتاب‌نگاشت‌های لازم برای تحلیل‌های تاریخچه‌ی زمانی سازه‌ها و تأسیسات مهم را محاسبه کرد.

استان بوشهر از استان‌های جنوبی ایران است که به علت قرارگیری در سواحل خلیج فارس، وجود ذخایر عظیم انرژی، صادرات و واردات دریایی و همچنین وجود نیروگاه هسته‌ای از اهمیت استراتژیک بالایی برخوردار است. منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی عسلویه نیز یکی از مناطق استان بوشهر است که به علت وجود طرح‌های عظیم پتروشیمی و پالایشگاهی دارای اهمیت بالایی است. این تأسیسات حاوی مواد سمی و مخرب زیست‌محیطی، جزء سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد محسوب می‌شوند که علاوه بر بحث پایداری در برابر زلزله، قابل استفاده بودن آن‌ها پس از وقوع زلزله نیز اهمیت خاصی دارد. بندر نخل تقی نزدیک‌ترین شهر به تأسیسات عظیم پارس جنوبی و پر جمعیت‌ترین شهر بخش عسلویه است که با مساحتی در حدود

کوهستان بوده است. گسل کازرون - برازجان گسلی فعال با روند شمالی - جنوبی در عرض کمربند زاگرس است که موجب خمیدگی، کشیدگی و دورافتادگی محور به صورت راستگرد شده است. بر اثر فعالیت این گسل جابه‌جایی راستگردی در حدود ۱۴۰ کیلومتر در امتداد گسل جبهه‌ی کوهستان در طول این سامانه‌ی گسلی قابل اندازه‌گیری است. گسل دیگر، گسل جبهه‌ی کوهستان است که به علت قرارگیری در مرز جنوب غربی کمربند چین‌خورده‌ی زاگرس با این نام معرفی شده است. این گسل در امتداد شمال غربی - جنوب شرقی است و سازوکار گسلش، راندگی و شیب آن به سمت جنوب شرقی است. یزدانی و کوثری [۵] با انجام تحلیل خطر و تعیین احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از بزرگای ۶/۵ در مقیاس امواج سطحی در ایران، احتمال وقوع زمین‌لرزه طراحی در بندر عسلویه را به ازای ضرایب تغییرات مختلف بین ۰/۵۲ تا ۰/۶۰ برآورد کردند که نشان‌دهنده‌ی خطر نسبی متوسط در این منطقه است.

تحلیل خطر احتمالی زمین لرزه

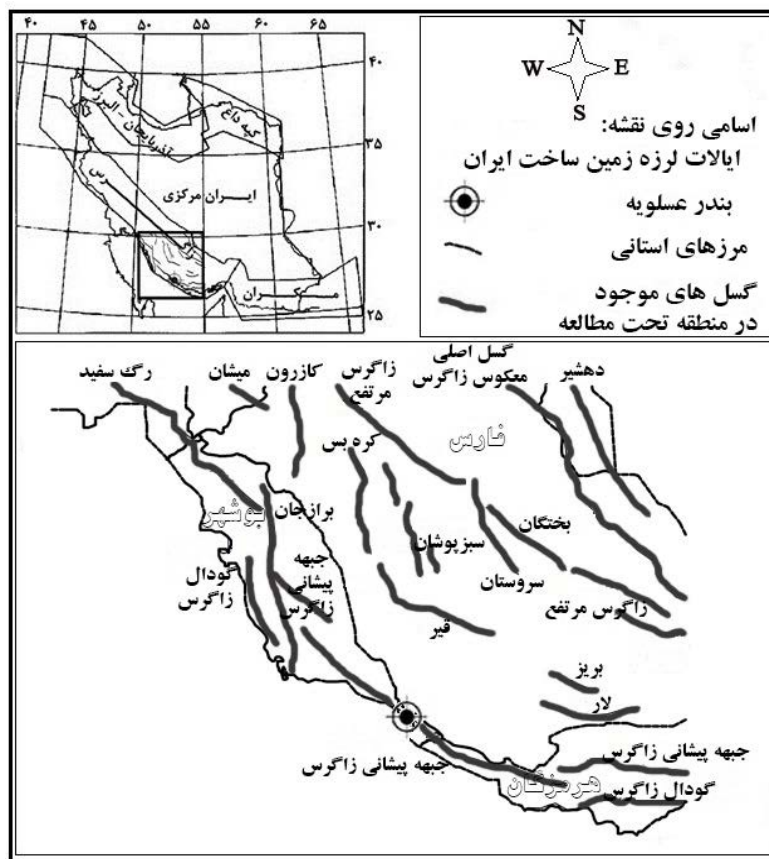
در روش احتمالی سهم تمامی زمین‌لرزه‌های محتمل ترکیب و احتمال یک یا چند عامل مشخص از زمین‌لرزه در یک بازه‌ی زمانی خاص محاسبه می‌گردد. در واقع روش احتمالی، هر رویداد بالقوه را با توجه به احتمال وقوع آن در نظر می‌گیرد و در نهایت منحنی خطر لرزه‌ای محاسبه می‌گردد [۸]. رویکرد احتمالی شامل چهار مرحله‌ی شناسایی چشمه‌ها، تعیین توزیع بزرگا و پارامترهای لرزه‌ای، انتخاب رابطه‌ی کاهندگی مناسب و در نهایت محاسبه‌ی

$$\lambda(Y > y) = \sum_{l=1}^N \lambda(Y > y)_l$$

$$= \sum_{l=1}^N V_l \iiint f_{M,R,E}(m_i, r_j, \varepsilon_k) P[Y > y | m_i, r_j, \varepsilon_k] dm_i dr_j d\varepsilon_k$$

منحنی خطر در ساختگاه مورد نظر است. منحنی خطر ساختگاه برای یک مشخصه‌ی زمین‌لرزه نظیر Y به صورت احتمال فراگذشت زمین‌لرزه (λ) از یک مقدار مشخص نظیر y و با ترکیب اثر تمام چشمه‌های مستقل زمین‌لرزه محاسبه می‌گردد. تعداد فراگذشت از مقدار مشخص y به صورت رابطه‌ی ۱ بیان می‌شود:

در این رابطه N تعداد چشمه‌های لرزه‌زا و V_l میانگین نرخ رویداد زمین‌لرزه‌های حاصل از چشمه‌ی l با بزرگای بیشتر از بزرگای حد آستانه است که بر اساس رویدادهای زمین‌لرزه در منطقه محاسبه می‌گردد. عبارت $P(Y > y | m_i, r_j, \varepsilon_k)$ برابر با احتمال فراگذشت مشخصه از زمین‌لرزه از مقدار معلوم y در یک ساختگاه مشخص به شرط رویداد زمین‌لرزه به ازای بزرگا، فاصله و انحراف معیار از مقدار میانگین در چشمه‌ی l است. عبارت $f_{m,r,\varepsilon}(m_i, r_j, \varepsilon_k)$ به عنوان تابع چگالی احتمال بزرگا، فاصله و انحراف معیار از مقدار میانگین در چشمه‌ی l تعریف می‌گردد. به منظور ساده‌سازی در انجام محاسبات، این تابع چگالی احتمال به صورت $f_m(m_i) f_r(r_j) f_\varepsilon(\varepsilon_k)$ تفکیک می‌شود که به ترتیب برابر با تابع چگالی احتمال بزرگی، فاصله و انحراف معیار از مقدار میانگین است.



تصویر ۱: گسل‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه

تفکیک خطر لرزه‌ای

در رویکرد احتمالی تحلیل خطر، مقدار احتمال فراگذشت معیار شدت مشخصی از زمین لرزه با در نظر گرفتن سهم تمامی چشمه‌های لرزه‌ای و بزرگ‌های ممکن در ساختمان محاسبه می‌شود. از معایب مهم تحلیل خطر احتمالی، که از تجمیع سهم تمامی چشمه‌ها ناشی می‌شود، می‌توان به این نکته اشاره کرد که مفهوم زمین لرزه طراحی به خوبی نشان داده نمی‌شود، یعنی نمی‌توان به طور خاص یک رویداد زمین لرزه با بزرگا و فاصله‌ی مشخص را به عنوان زمین لرزه طرح در نظر گرفت. تفکیک خطر لرزه‌ای را به نوعی می‌توان عکس روند تحلیل خطر احتمالی در نظر گرفت، زیرا در این روش جداسازی خطر لرزه‌ای به دست آمده از نتایج تحلیل خطر مطرح می‌شود و میزان مشارکت رویدادهای مختلف در زمین لرزه طرح تعیین می‌گردد [۹]. برای نمونه برای تعیین بزرگای زلزله طرح باید احتمال اینکه بزرگای زمین لرزه برابر با مقدار مشخص m باشد و مشروط بر اینکه معیار شدت زمین لرزه از مقدار مفروض y بیشتر شود محاسبه گردد که برابر است با:

$$P(m_i = m | Y > y) = \frac{\lambda(Y > y, m_i = m)}{\lambda(Y > y)} \quad \text{رابطه ی ۲}$$

در این رابطه، مخرج کسر برابر با رابطه‌ی ۱ است که از نتایج حاصل از تحلیل خطر احتمالی به دست می‌آید. صورت این رابطه برابر با نتیجه‌ی حاصل از تحلیل خطر به ازای یک بزرگای مشخص است، که به صورت:

رابطه ی ۳:

$$\lambda(Y > y, m_i = m) = \sum_{l=1}^N v_l \iint f_m(m_i = m) f_r(r) f_\varepsilon(\varepsilon) P[Y > y | m_i = m, r_j, \varepsilon_k] dr d\varepsilon$$

نتیجه‌ی حاصل از رابطه‌ی ۲ تفکیک خطر نسبت به توزیع شرطی بزرگا را بیان می‌کند. این توزیع شرطی اصلاح شده نسبت به فاصله از گسل به شکل زیر نوشته می‌شود:

رابطه ی ۴:

$$P(m_i = m, r_j = r | Y > y) = \frac{\lambda(Y > y, m_i = m, r_j = r)}{\lambda(Y > y)}$$

که در این وضعیت صورت کسر رابطه‌ی بالا به شکل زیر نوشته می‌شود:

رابطه ی ۵:

$$\lambda(Y > y, m_i = m, r_j = r) = \sum_{l=1}^N v_l \int f_m(m_i = m) f_r(r_j = r) f_\varepsilon(\varepsilon) P[Y > y | m_i = m, r_j = r, \varepsilon_k] d\varepsilon$$

که این رابطه نتیجه‌ی حاصل از تحلیل خطر احتمالی به ازای یک بزرگا و فاصله‌ی مشخص را بیان می‌کند.

تولید زمین لرزه با استفاده از پارامترهای لرزه‌ای

اولین تلاش‌ها به منظور مدل کردن و تولید زمین لرزه را اکی [۱۰] مطرح کرد که تابع لغزش حاصل از گسیختگی را به صورت تابعی از مکان و زمان مدل کرد. محققین مختلفی به منظور تولید و پیش‌بینی زمین لرزه به ویژه در فرکانس‌های بالا یعنی جایی که توزیع زمان و مکان لغزش در گسل به اندازه‌ی کافی پیچیده است

و یک روند تصادفی از چشمه‌ی لرزه‌ای را بیان می‌کند، کار کرده‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴].

مشخصات یک زمین لرزه به شدت تحت تأثیر هندسه و خصوصیات دینامیکی گسل مسبب آن است. مشخصات هندسی شامل اندازه، شکل، عمق، زاویه و راستای لغزش گسل؛ و خصوصیات دینامیکی شامل تنش‌های روی گسل، خواص فیزیکی سنگ‌هایی که گسل را احاطه کرده و نیز قدرت گسل است. مدل تصادفی روشی ساده و پرکاربرد به منظور تولید زمین لرزه است که با استفاده از انرژی لرزه‌ای آزاد شده و انتشار موج به ازای یک اندازه، فاصله‌ی چشمه تا سایت، ابعاد گسل و بسیاری از پارامترهای دیگر، دامنه‌ی زمین لرزه را مدل می‌کند. این روش گسل مسبب زمین لرزه را به منزله‌ی یک چشمه‌ی نقطه‌ای منفرد در نظر می‌گیرد و در مرحله‌ی اول طیف دامنه‌ی فوریه‌ی هدف را با استفاده از مدل لرزه‌ای مشخصی تولید و در مرحله‌ی بعدی آن را با مجموعه‌ای از زوایای فاز ورودی تصادفی ترکیب می‌کند [۱۲، ۱۳]. این روش به‌ویژه برای مدل کردن فرکانس‌های بالای زمین لرزه مناسب است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این روش این است که عوامل مهم شناخته‌شده‌ی اثرگذار بر روی طیف دامنه‌ی فوریه (FFT) حرکت زمین یعنی چشمه، مسیر و ساختگاه را که مجموعاً پارامترهای لرزه‌ای نامیده می‌شوند به صورت یک تابع بیان می‌کند که به صورت رابطه‌ی ۶ تعریف می‌شود:

رابطه ی ۶:

$$FFT(M_0, R, f) = \frac{R_{\phi} Y F M_0}{(4\pi \rho_s \beta_s^3 R_0) \cdot (1 + (f/f_c)^2)} G(R) e^{-\pi i R / Q \beta} G(f)$$

در این رابطه R_{ϕ} ضریب انتشار امواج، V ضریب افراز انرژی امواج برشی در مؤلفه‌ی افقی، F ضریب تقویت سطح آزاد، M_0 گشتاور لرزه‌ای، ρ_s و β_s به ترتیب چگالی و سرعت امواج برشی در نزدیکی چشمه و R_0 فاصله‌ی مرجع، f فرکانس موج، $G(R)$ ضریب کاهندگی هندسی، R طول مسیر حرکت امواج، Q ضریب کیفیت انتقال امواج و $G(f)$ ضریبی است که اثرهای سایت را منعکس می‌کند. در این مطالعه برای تولید زمین لرزه از روش تصادفی گسل محدود دینامیکی [۱۴] استفاده شده است. در این روش گسل اصلی به زیرگسل‌های مستطیلی شکل تقسیم می‌گردد و اثر هر کدام از این زیرگسل‌ها در ساختگاه با استفاده از روش چشمه نقطه‌ای محاسبه و با همدیگر جمع می‌شوند. در روش گسل محدود، گسیختگی از کانون شروع شده و سپس به صورت شعاعی گسترش می‌یابد. زمانی که شکست به مرکز هر ایلمان (عنصر) برسد، آن ایلمان به حرکت می‌افتد. اثر مشارکت این ایلمان‌ها با یک زمان تأخیری در ساختگاه با هم جمع می‌شود که این زمان برابر است با مجموع زمان رسیدن شکست به ایلمان و زمان انتشار موج برشی از ایلمان به ساختگاه است. انتخاب سرعت انتشار شکست می‌تواند بر جهت انتشار امواج از زیرگسل‌ها تأثیر بگذارد. همچنین زیرگسل‌ها نیز باید به گونه‌ای انتخاب شوند که بقای گشتاور لرزه‌ای حفظ شود. در نهایت زمین لرزه‌های تولید شده به وسیله‌ی هر زیرگسل با

در نظر گرفتن تأخیر زمانی با یکدیگر جمع شده و سری زمانی نهایی را می‌سازند [۱۴]:

$$a(t) = \sum_{i=1}^w \sum_{j=1}^h a_{ij}(t + \Delta t_{ij})$$

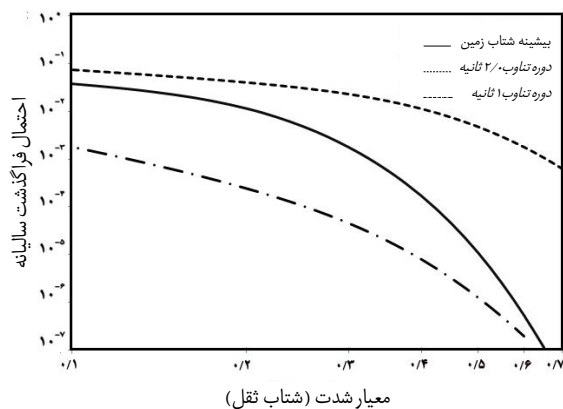
رابطه ی ۷:

که در این رابطه nl و nw به ترتیب تعداد زیرگسل‌ها در راستای طول و عرض صفحه‌ی گسل و Δt_{ij} زمان تأخیر امواج منتشر شده از i تا j زیرگسل تا نقطه‌ی مشاهده هستند.

بررسی نتایج

این مطالعه شامل سه بخش تحلیل خطر احتمالی منطقه، تفکیک خطر لرزه‌ای و تولید زمین لرزه به صورت تاریخچه‌ی زمانی است. در بخش اول تحلیل خطر احتمالی منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی انجام می‌گیرد که شامل چهار گام است. در این مطالعه در شعاع ۲۰۰ کیلومتری بندر عسلویه و در محدوده‌ی زمانی سال ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۲ داده‌های اصلی زمین لرزه جمع‌آوری شده است. زمین لرزه‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل رویدادهای تاریخی و رویدادهای دستگاهی است. رویدادهای تاریخی بر اساس مطالعات امبرسیز و ملویل [۱۵] و معین‌فر و همکاران [۱۶] و زمین لرزه‌های دستگاهی از مرکز بین‌المللی لرزه‌نگاری^۲، پژوهشگاه بین‌المللی مهندسی زلزله و لرزه‌نگاری^۳ و کاتالوگ لحظه‌ای لرزه‌های هاروارد^۴ جمع‌آوری شدند. بزرگای گشتاوری به دلیل توانایی و قدرت فیزیکی و سازگاری با اصول و مبانی لرزه‌شناسی، بهترین معیار بزرگا در مطالعات تحلیل خطر محسوب می‌شود. این مقیاس بزرگا می‌تواند به تنهایی اندازه‌ی زمین لرزه را نشان دهد و دارای سطح اشباع نیز هست و می‌توان آن را از تغییر شکل زمین و یا از امواج لرزه‌ای به دست آورد. از طرفی کاتالوگ زمین لرزه‌هایی که از منابع مختلف گردآوری شده باشد ناهمگن است، یعنی مقیاس‌های مختلفی برای بزرگای زمین لرزه ارائه شده‌اند، از این رو باید داده‌های زمین لرزه تنها بر حسب یک نوع مقیاس بزرگا بیان شود. برای تبدیل مقیاس‌های مختلف به بزرگای گشتاوری از روابط پیشنهادی توسط نوروزی [۱۷، ۱۸] استفاده شده است. به منظور حاکم کردن توزیع پواسون بر داده‌ها، پیش لرزه‌ها و پس لرزه‌ها از کاتالوگ حذف و رویدادهای لرزه‌ی اصلی در محاسبات پارامترهای لرزه‌ای استفاده می‌شود. همان طوری که در تصویر نشان داده شد، تمامی چشمه‌های مورد مطالعه چشمه خطی در نظر گرفته شد. در گام دوم از تحلیل خطر احتمالی پارامترهای لرزه‌ای رابطه‌ی بازگشتی و توزیع بزرگا محاسبه می‌گردد. توزیع فراوانی زمین لرزه‌ها از رابطه‌ی بازگشتی گوتنبرگ-ریشر پیروی می‌کند و توزیع بزرگای مورد استفاده در این مطالعه دارای توزیع نمایی دو سر قطع شده است. به منظور تخمین پارامترهای لرزه‌ای از روشی که کیکو و سلوول [۱۹] ارائه کردند و بر پایه‌ی روش درست‌نمایی بیشینه است و عدم قطعیت در بزرگا را نیز لحاظ می‌کند، استفاده گردید. انتخاب رابطه‌ی کاهندگی در گام سوم یکی از مهم‌ترین مراحل کار است، به طوری که انتخاب نامناسب یک رابطه می‌تواند تأثیر بسزایی بر نتایج تحلیل خطر داشته باشد. رابطه‌ی کاهندگی مورد استفاده در این مطالعه رابطه‌ی امبرسیز و همکاران [۲۰] است که

به علت استفاده از داده‌های خاورمیانه، برای استفاده در ایران نیز رابطه‌ای مناسب است. این رابطه که سازگاری خوبی با روابط کاهندگی شناخته شده دارد هر دو معیار بیشینه‌ی شتاب زمین و شتاب طیفی را به منزله‌ی معیار شدت زمین لرزه داراست و از بزرگای گشتاوری به منزله‌ی معیار بزرگا استفاده می‌کند. نگاشت‌های مورد استفاده در این رابطه به طور دقیقی اصلاح و سپس تحلیل شده‌اند و همچنین نوع گسلس نیز در این رابطه در نظر گرفته شده است. پس از لحاظ نمودن تمامی عوامل ذکر شده با استفاده از رابطه‌ی ۱ منحنی خطر ساختگاه برای بیشینه‌ی شتاب زمین و دامنه‌های شتاب طیفی در دوره‌ی تناوب‌های ۰/۲ و ۱ ثانیه در منطقه محاسبه گردیده که در تصویر ۲ نشان داده شده است.

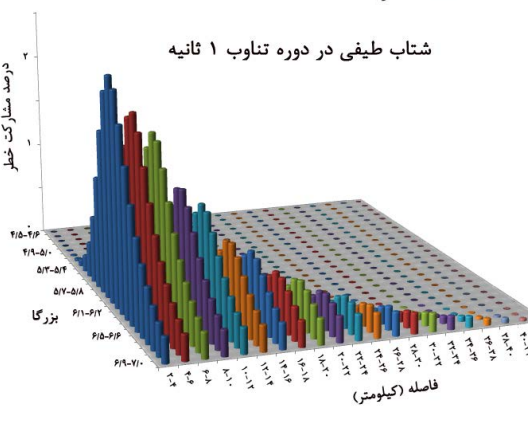
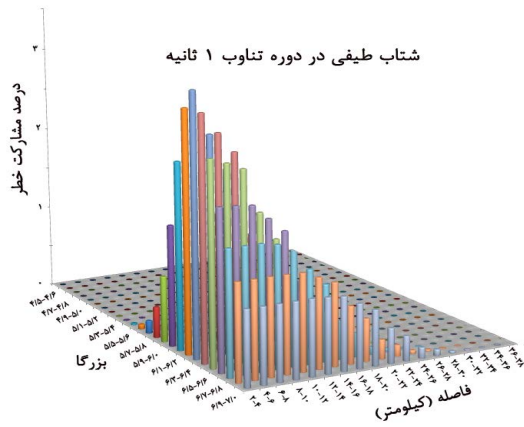
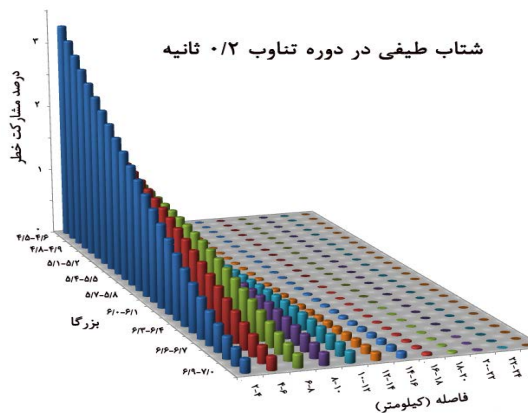
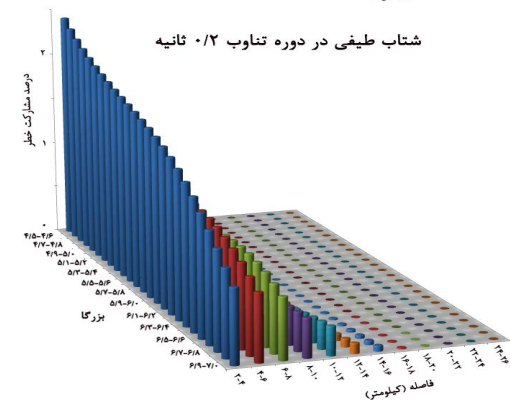
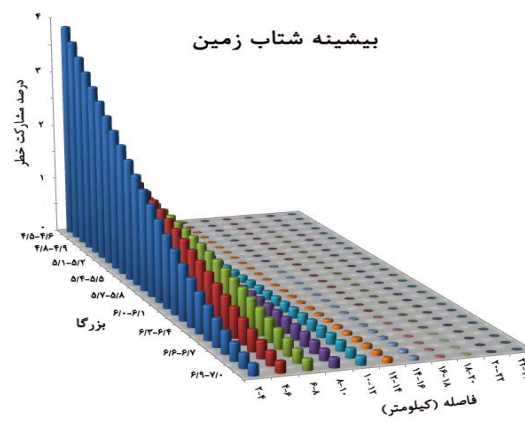
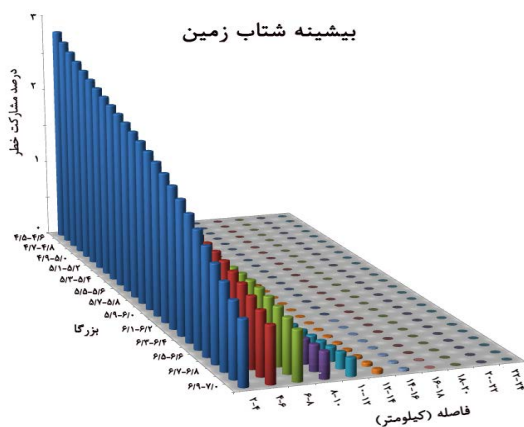


تصویر ۲: احتمال فراگذشت بیشینه‌ی شتاب زمین و دامنه‌ی شتاب طیفی در دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۱ ثانیه در بندر عسلویه بر روی ساختگاه سنگی

در رویکرد احتمالی تحلیل خطر، مقدار احتمال فراگذشت معیار شدت زمین لرزه، با در نظر گرفتن سهم تمامی چشمه‌های لرزه‌ای و بزرگاهای ممکن که بر یک ساختگاه تأثیر می‌گذارند، تعریف می‌شود. همان طوری که پیش‌تر اشاره شد از معایب مهم تحلیل خطر احتمالی می‌توان به این نکته اشاره کرد که مفهوم زمین لرزه طراحی به خوبی نشان داده نمی‌شود، یعنی نمی‌توان به طور خاص یک رویداد زمین لرزه با بزرگا و فاصله‌ی مشخص را به منزله‌ی زمین لرزه طرح در نظر گرفت [۸]. برای برطرف نمودن این ایراد می‌توان از تفکیک خطر لرزه‌ای استفاده کرد. در این مطالعه تفکیک خطر لرزه‌ای نظیر بیشینه‌ی شتاب زمین و شتاب طیفی به ازای دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۱ ثانیه نظیر دوره‌ی بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله در تصویر ۳ آورده شده است. در تفکیک خطر لرزه‌ای سناریوهای مختلف به ازای بزرگا و فواصل مختلف در نظر گرفته شده است که در این مطالعه تغییرات بزرگا و فاصله به ترتیب برابر با ۰/۱ واحد بزرگا و ۲ کیلومتر انتخاب شدند. پس از انجام تفکیک خطر لرزه‌ای، محتمل‌ترین سناریوی به دست آمده در رابطه‌ی کاهندگی جایگذاری شده و مقادیر شتاب طیفی در دوره تناوب‌های مورد نظر محاسبه می‌شوند. همان طور که در تصویر ۳ مشاهده می‌شود، هر سناریو میزان مشارکت خود را در احتمال فراگذشت مربوطه نشان می‌دهد و این در حالی است که از لحاظ تئوری دلیلی مبنی بر اینکه محتمل‌ترین سناریو مقدار شتاب طیفی

همان طوری که اشاره شد در این مطالعه برای تولید شتاب نگاشت از روش گسل محدود تصادفی استفاده گردید. در این روش که مشخصات هندسی و خصوصیات دینامیکی گسل را به خوبی به تصویر می‌کشد نیاز به داشتن اطلاعات در مورد پارامترهای زمین‌شناسی و لرزه‌شناسی منطقه‌ی مورد نظر است. این پارامترها که شامل اطلاعات مربوط به اثرات چشمه، مسیر و ساختگاه هستند در جدول ۳ خلاصه شده است. از جمله پارامترهای کلیدی به منظور تولید زمین‌لرزه، افت تنش، ضریب کاهندگی هندسی، ضریب کیفیت انتقال امواج و مؤلفه‌ی افقی ضریب کاهندگی لایه‌ی فوقانی هستند.

مورد نظر را بازیابی کند وجود ندارد. از این رو سناریوهایی که مقادیر شتاب طیفی را در یک بازه‌ی خاص از مقدار شتاب طیفی مورد نظر به دست می‌آورند، مشخص کرده و محتمل‌ترین آن‌ها به منزله‌ی زمین‌لرزه نظیر آن سطح طراحی معرفی شده که این مقادیر در جدول ۲ آمده‌اند. به ازای بیشینه شتاب زمین و شتاب طیفی در دوره تناوب ۰/۲ ثانیه بزرگ‌های کوچک و فواصل خیلی نزدیک و به ازای شتاب طیفی در دوره تناوب ۱ ثانیه بزرگ‌های متوسط و فواصل نزدیک غالب هستند. پس از تفکیک خطر لرزه‌ای و به ازای محتمل‌ترین مقادیر بزرگا و فاصله نظیر معیارشدت‌های مختلف، زمین‌لرزه تولید می‌گردد.



سال ۲۴۷۵

سال ۴۷۵

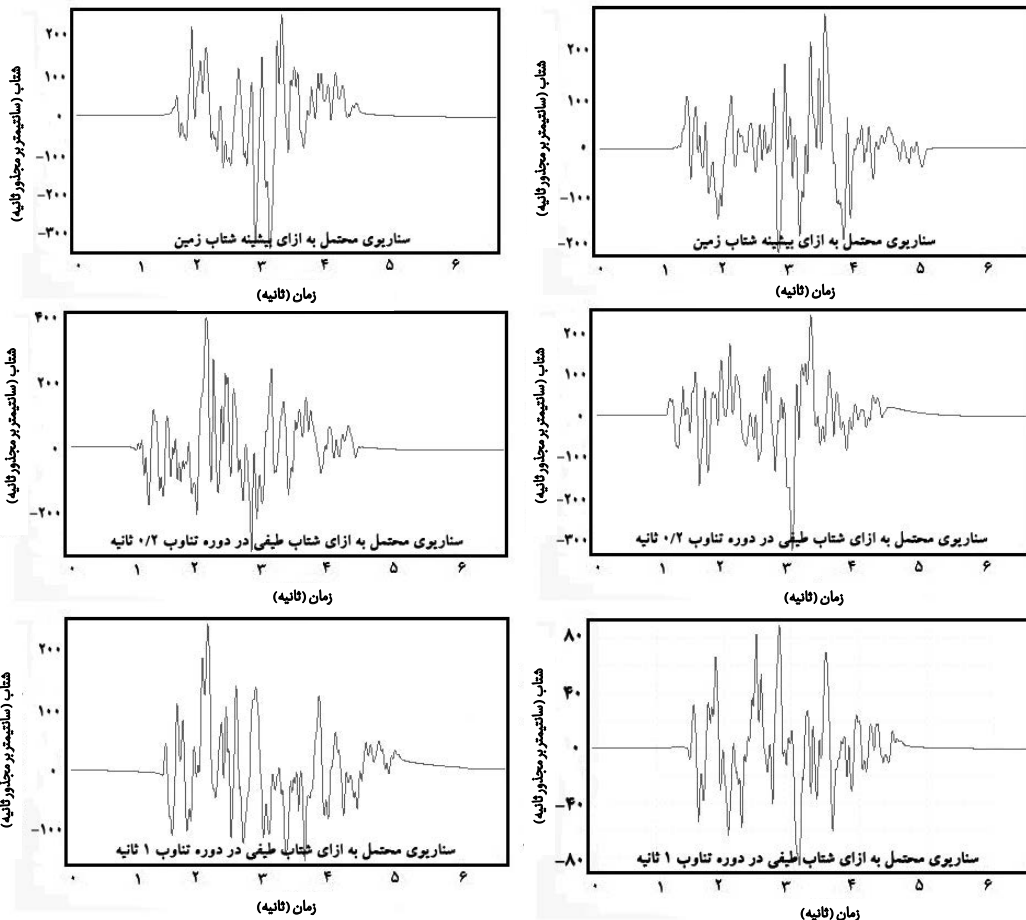
تصویر ۳: درصد مشارکت خطر بزرگا و فاصله برای بیشینه شتاب زمین و شتاب طیفی در دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۱ ثانیه برای دوره بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ سال.

جدول ۲: مقادیر به دست آمده حاصل از تفکیک خطر لرزه‌ای بندر عسلویه برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله.

دوره بازگشت ۴۷۵ ساله				
مقدار پیش‌بینی شده	مقدار به دست آمده	فاصله	بزرگا	معیار شدت
۰/۲۷g	۰/۲۸g	۴	۵/۸۵	بیشینه شتاب زمین
۰/۵۳g	۰/۵۵g	۵	۶/۰۵	شتاب طیفی در ۰/۲ ثانیه
۰/۰۹g	۰/۰۹g	۵	۵/۹۵	شتاب طیفی در ۱ ثانیه
دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله				
مقدار پیش‌بینی شده	مقدار به دست آمده	فاصله	بزرگا	معیار شدت
۰/۳۴g	۰/۳۵g	۵	۶/۷۵	بیشینه شتاب زمین
۰/۶۸g	۰/۷۰g	۵	۶/۶۵	شتاب طیفی در ۰/۲ ثانیه
۰/۱۴g	۰/۱۴g	۴	۶/۲۵	شتاب طیفی در ۱ ثانیه

جدول ۳: پارامترهای مورد نیاز برای تولید زمین‌لرزه در منطقه‌ی مورد مطالعه.

مقدار اختصاص داده شده	پارامتر
۰/۵۵	ضریب انتشار امواج (R_{sp})
۰/۷۰۷	ضریب افراز انرژی امواج برشی (V)
۲	ضریب تقویت سطح آزاد (F)
۲/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب	چگالی (ρ_s)
۳/۵ کیلومتر بر ثانیه	سرعت امواج برشی در نزدیکی چشمه (β_s)
۷۱ بار	افت تنش
$r^{1.0} (R < 100 \text{ Km})$ $r^{0.5} (R > 100 \text{ Km})$	کاهندگی هندسی
$Q(f) = 121f^{0.55}$	ضریب کیفیت انتقال امواج (Q)
۰/۰۴۳	مؤلفه‌ی افقی ضریب کاهندگی لایه‌ی فوقانی (κ)



سال ۲۴۷۵

سال ۴۷۵

تصویر ۴: شتاب‌نگاشت‌های سناریو برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله.

در این مطالعه مقدار افت تنش و ضریب کاهندگی لایه‌های فوقانی (پارامتر کاپا) که کاهش طیف حرکت زمین در فرکانس‌های بالا را بیان می‌کند، به ترتیب برابر با ۷۱ و ۰/۰۴۳ انتخاب گردیده است [۲۱]. از پارامترهای مهم دیگری که نشان‌دهنده‌ی اثر مسیر انتشار امواج است، ضریب کاهندگی هندسی و ضریب کاهندگی غیرارتجاعی کل مسیر است. اطلاعات در مورد کاهندگی غیرالاستیک امواج لرزه‌ای شکل طیف در فرکانس‌های بالا را تعیین نموده و ضریب کیفیت انتقال امواج در منطقه که با کاهندگی غیرالاستیک امواج لرزه‌ای رابطه‌ی عکس دارد با توجه به ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی هر منطقه به دست می‌آید. مقادیر اختصاص داده شده برای این پارامتر نیز با استفاده از مطالعه‌ی حمزه‌لو و همکاران [۲۲] در نظر گرفته شد. همچنین برای به دست آوردن طول و عرض گسیختگی از روابط تجربی ارائه شده توسط ولز و کاپراسمیت [۲۳] استفاده گردید.

پس از بررسی و تعیین پارامترهای منطقه با استفاده از برنامه‌ی *EXSIM-BETA* که بر مبنای فرکانس گوشه دینامیکی است و فرمت اولیه‌ی آن بر اساس مطالعه‌ی معتضدیان و اتکینسون [۲۴] تهیه شده و بور [۲۵] و اتکینسون و همکاران [۲۶] آن را اصلاح کرده‌اند، زمین‌لرزه تولید شد که شتاب‌نگاشت‌های تولیدی برای محتمل‌ترین سناریوهای زمین‌لرزه به ازای بیشینه شتاب زمین و دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۱ ثانیه برای دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله در تصویر ۴ نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری

کشور ایران جزء یکی از نقاط لرزه‌خیز دنیا محسوب می‌شود که وقوع رویدادهای مخرب گذشته همراه با تلفات جانی و مالی بسیار مؤید این موضوع است. مدیریت بحران را نباید فقط به منزله‌ی واکنش تاکتیکی در هنگام رخداد یک اتفاق در نظر گرفت، بلکه فعالیت‌های پیشگیرانه نیز امری مرتبط و جدانشدنی است. تحلیل خطر لرزه‌ای به مثابه‌ی یکی از روش‌های پیشگیری زمین‌لرزه در مناطق مهمی مانند عسلویه، که یکی از قطب‌های اقتصادی کشور محسوب می‌شود، امری ضروری است. در این مطالعه مقدار و شدت زمین‌لرزه‌های آتی عسلویه پیش‌بینی و با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و لرزه‌شناسی منطقه، شتاب‌نگاشت‌های شبیه‌سازی شده به منظور انجام تحلیل تاریخچه‌ی زمانی تولید گردیده است. تحلیل تاریخچه‌ی زمانی در سازه‌ها و تأسیسات مهم امری غیرقابل اجتناب است. با توجه به اینکه شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در هر منطقه در برگیرنده‌ی شرایط لرزه‌خیزی و محتوای فرکانسی بیان‌کننده‌ی میزان انرژی وارد شده بر سازه‌ها است، استفاده از شتاب‌نگاشت‌های مناطق دیگر در یک منطقه روند مناسبی نیست. از این رو بر اساس مطالعات لرزه‌شناسی و ژئوفیزیکی منطقه لازم است شتاب‌نگاشت‌های مختص منطقه که ماهیت فرکانسی منطقه را در بر می‌گیرد، تولید شود. در این مطالعه، شتاب‌نگاشت زمین‌لرزه‌هایی که به منزله‌ی سناریو در منطقه‌ی عسلویه حاکم هستند تولید می‌گردد. سناریوهای موجود به وسیله‌ی تحلیل خطر احتمالی و سپس تفکیک خطر لرزه‌ای تخمین زده شد. پس

از بررسی و شناخت پارامترهای لرزه‌ای مربوط، به منظور تولید شتاب‌نگاشت‌ها، از روش گسل محدود تصادفی استفاده شد. این روش ابزاری مناسب در تولید رویدادهای بزرگ و فاصله نزدیک است.

سطوح خطر مورد بررسی در این مطالعه زمین‌لرزه‌های با دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله است. پس از انجام تحلیل خطر احتمالی، بیشینه شتاب زمین طراحی بر روی بستر سنگی برای این دو سطح خطر محاسبه گردید. آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان در برابر زلزله‌ی ایران [۲۷] مقدار شتاب طراحی در بندر عسلویه را برابر با $0.3g$ پیشنهاد کرده است که با نتایج به دست آمده در این مطالعه همخوانی دارد. تفکیک خطر لرزه‌ای سناریوهای زمین‌لرزه‌ی منطقه را برای بیشینه شتاب زمین و شتاب‌های طیفی ۰/۲ و ۱ ثانیه برای زمین‌لرزه با دوره بازگشت‌های ۴۷۵ و ۲۴۷۵ ساله به ترتیب برابر با زمین‌لرزه با بزرگ‌های متوسط و بزرگ در فواصل نزدیک معرفی می‌کند.

با استفاده از روش گسل محدود تصادفی که در آن امکان مدل کردن زمین‌لرزه‌ها در حوزه‌ی نزدیک وجود دارد، به ازای سناریوهای تخمین زده شده زمین‌لرزه تولید می‌گردد. روش گسل محدود یک روش عمومیت یافته و نسبتاً ساده‌ای است که پژوهشگران در چند دهه‌ی اخیر آن را توسعه داده‌اند. پارامترهای لرزه‌ای برای تولید زمین‌لرزه شامل اطلاعاتی است که سه بخش چشمه، مسیر و سایت را به شکل ساده‌ای مدل می‌کند. مهم‌ترین بحث در این مدل‌سازی شناخت دقیق پارامترهای ذکر شده برای منطقه‌ی مورد مطالعه است چرا که برای تولید شتاب‌نگاشت مصنوعی، ساختگاه‌های شتاب‌نگاشت‌ها باید به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی، لرزه‌شناسی و به‌ویژه لایه‌های خاک با زمین محل احداث ساختمان تا حد امکان مشابهت داشته باشد. این شتاب‌نگاشت‌ها را می‌توان برای تحلیل تاریخچه‌ی زمانی بر سازه‌های مورد بررسی در این منطقه اعمال کرد. به علت کمبود شتاب‌نگاشت رویداد بزرگ و با فاصله‌ی نزدیک در منطقه‌ی ویژه‌ی اقتصادی عسلویه اینکه به منظور تحلیل تاریخچه‌ی زمانی از شتاب‌نگاشت‌های تولید شده استفاده گردد، امری اجتناب‌ناپذیر است.

پی‌نوشت

1. Dynamic stochastic finite-fault
2. International Seismological Center
3. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology
4. Harvard Central Moment Tensor

منابع

۱. علوی، سیدعلی؛ سالاروند، اسماعیل؛ احمدآبادی، علی؛ فرخی، سعیده؛ بسحاق، محمدرضا (۱۳۹۲). تحلیل فضا- مکانی عملکرد ایستگاه‌های آشنشانی بر پایه‌ی مدیریت و تحلیل شبکه‌ی MCDM بحران با استفاده از روش تلفیقی مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی ۶ تهران، مدیریت بحران، ۲، ۶۵-۵۷.

2. Yazdani, A. and Abdi, M.S. (2011). Stochastic modeling

horizontal and peak ground vertical accelerations at Tehran and surrounding areas. *Pure Appl. Geophys*, 167, 1459 - 1474.

19. 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(1), 120 - 134.
20. Ambraseys, N. N.; Douglas, J.; Sarma, S. K. and Smit, P. M. (2005). Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. *Bulletin of the earthquake engineering*, 3, 1 - 53.
21. Zafarani, H. and Hassani, B. (2013). Site response and source spectra of S waves in the Zagros Region, Iran. *Journal of Seismology*, 17, 645 - 666.
22. Hamzehloo, H.; Rahimi, H.; Sarkar, I.; Mahood, M.; Mirzaei Alavijeh, H. and Farzanegan, E. (2010). Modeling the strong ground motion and rupture characteristics of the March 31, 2006, Darb-e-Astane earthquake, Iran, using a hybrid of near-field SH-wave and empirical Green's function method. *Journal of Seismology*, 14, 169 - 195.
23. 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, 974 - 1002.
24. Motazedian, D., and Atkinson G. (2005). Stochastic finite-fault model based on dynamic corner frequency. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95, 995 - 1010.
25. Boore, D. M. (2009). Comparing stochastic point- and finite-source ground-motion simulations: SMSIM and EXSIM. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, 3202 - 3216.
26. Atkinson, G. M.; Boore, D. M.; Assatourians, K.; Campbell, K. W. and Motazedian, D. (2009). A guide to differences between stochastic point source and stochastic finite fault simulations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, 3192 - 3201.
27. Iranian Code of Practice for seismic resistant Design of Buildings (2005). Third Revision, Building & housing Research Center, Iran.
- of earthquake scenarios in Greater Tehran. *Journal of earthquake engineering*, 15, 331 - 337.
3. Cornell, C.A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, 1583 - 1606.
4. McGuire, R.K. and Shedloek, K.M. (1981). Statistical uncertainties in seismic hazard evaluations in the United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, 1287 - 1308.
5. Yazdani, A. and Kowsari, M. (2013). Bayesian estimation of seismic hazards in Iran. *Scientia Iranica*, 20 (3), 422 - 430.
6. Mirzaei, N. (2004). Seismotectonic provinces of Iran. Seminar of seismotectonic and seismic hazard analysis of ground motion. (In Persian).
7. Berberian, M. (1995). Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, 241, 193 - 224.
8. Yazdani, A. and Kowsari, M. (2012). An introduction to probabilistic seismic hazard analysis. First Edition, University of Kurdistan, Iran. (In Persian)
9. Bazzurro, P. and Cornell, C. A. (1999). Disaggregation of seismic hazard. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 501 - 520.
10. Aki, K. (1967). Scaling law of seismic spectrum. *J. Geophys. Res.*, 72, 1217 - 1231.
11. Boore, D. M. (2003). Prediction of ground motion using the stochastic method. *Pure and Applied Geophysics*, 160, 635 - 676.
13. Brune, J. N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 75, 4997 - 5009.
14. Brune, J. N. (1971). Correction. *J. Geophys. Res.*, 76, 5002.
15. Ambraseys, N. N. and Melville, C. P. (1982). A history of Persian earthquakes. Cambridge University Press, UK.
16. Moinfar, A.; Mahdavian, A. and Maleki, E. (1994). Historical and Instrumental Earthquake Data Collection of Iran. Mahab Ghods Consultant Engineers, Iran, (in Persian).
17. Nowroozi, A. A. (2005). Attenuation Relations for Peak Horizontal and Vertical Accelerations of Earthquake Ground Motion in Iran: A Preliminary Analysis. *JSEE*, 7, 109 - 128.
18. Nowroozi, A. A. (2010). Probability of peak ground