



تحلیل خطر زمین لرزه به روش احتمالی در شهر ساوه به مرکزیت ساختگاه بیمارستان ۲۵۰ تختخوابی

سید داود محمدی*^۱، هانا مرادی سلیمی^۲ آرام اردلان زاده^۳

^۱ دانشگاه بوعلی سینا، همدان d.mohammadi@basu.ac.ir

^۲ دانشگاه بوعلی سینا، همدان Hannah.moradisalimi90@gmail.com

^۳ دانشگاه بوعلی سینا، همدان aramardalans@gmail.com

چکیده

ارزیابی خطر زمین لرزه در یک ناحیه به دانش زمین شناسی و شناخت گسل های فعال نیاز دارد. با تعیین محل گسل های فعال می توان منبع زلزله های آینده را پیش بینی کرد. به منظور ارزیابی خطر زمین لرزه در مناطق مسکونی و یا در پروژه های عمرانی بعد از شناخت گسل های فعال ناحیه باید نسبت به تعیین بزرگترین زلزله منطقه و محاسبه مقادیر ناشی از آن اقدام نمود. در این راستا اقدام به بررسی گسل های محدوده شهرستان ساوه گردید. همچنین یک گمانه به عمق ۶۰ متر حفاری شده و آزمایش دانهول جهت تعیین سرعت موج برشی انجام شد. سپس بیشینه شتاب به روش احتمالی در ساختگاه برای سنگ بستر برآورد گردید. بر اساس نتایج بدست آمده در صورت در نظر گرفتن گسلها به شکل چشمه های خطی، گسل ساوه با فاصله ۰/۵ کیلومتر (فاصله از لایه لرزه زا) نزدیکترین گسل به ساختگاه می باشد. نتیجه ارائه شده در این مطالعه برای سطح طراحی (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) با مقادیر پیشنهاد شده در آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) دارای اختلاف کمی می باشد. مقدار شتاب افقی در این مطالعه ۰/۲۷۰g و در آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله ایران ۰/۳۰g پیشنهاد شده است.

واژه های کلیدی

گسل ساوه، بیشینه شتاب، روش احتمالی، ساختگاه شهر ساوه

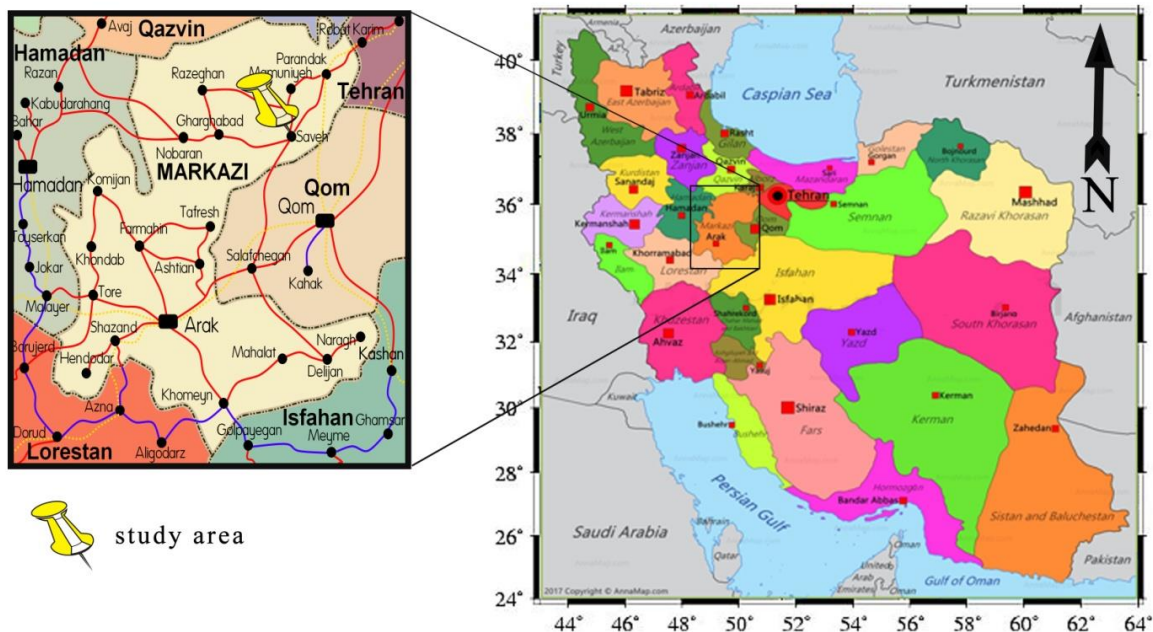


۱. مقدمه

ارزیابی خطر لرزه‌ای، با فراهم کردن پارامترهای حداکثر شتاب زمین (Peak ground acceleration (PGA) و دامنه طیف در پرپودهای طبیعی نقش مهمی در طراحی مقاوم در برابر زلزله دارد [1]. ارزیابی خطر لرزه‌ای می‌تواند با استفاده از روش‌های قطعی یا احتمالی اندازه‌گیری شود. ارزیابی خطر لرزه‌ای بر اساس منطقه، زمین‌شناسی و اطلاعات زلزله‌شناسی انجام می‌شود [2]. هر دو روش از داده‌های یکسانی استفاده می‌کنند که شامل اطلاعات لرزه‌ای، فرکانس وقوع و روابط کاهندگی است [3]. از روش قطعی زمانی برای طراحی استفاده می‌شود که مبنای طراحی زلزله‌ای باشد که حداکثر حرکت زمین در یک منطقه را ناشی شده‌است ولی در روش احتمالی، احتمال وقوع زلزله نیز در نظر گرفته می‌شود [4]. هدف روش احتمالی، تخمین یا احتمال مقدار مشخصی از حرکات زمین خواهد بود که از مقدار مشخصی بیشتر خواهد بود [5]. روش احتمالی روشی عملی است و می‌تواند اطلاعات مفیدی جهت جلوگیری از خطرات زلزله ارائه دهد [6]. تاکنون محققین مختلفی جهت ارزیابی خطر لرزه‌ای در ایران از روش‌های احتمالی و قطعی استفاده کرده‌اند که می‌توان به منابع [7]، [8]، و [9] و [10] اشاره کرد.

۲. گستره مورد مطالعه

گستره مورد مطالعه در شهر ساوه و در محل احداث بیمارستان ۲۵۰ تختخوابی ساوه واقع شده است. ساختمان مورد نظر از لحاظ موقعیت جغرافیایی در عرض ۳۵/۰۱۳۵ و طول ۵۰/۳۳۴۸ واقع شده است. محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی گستره مورد مطالعه

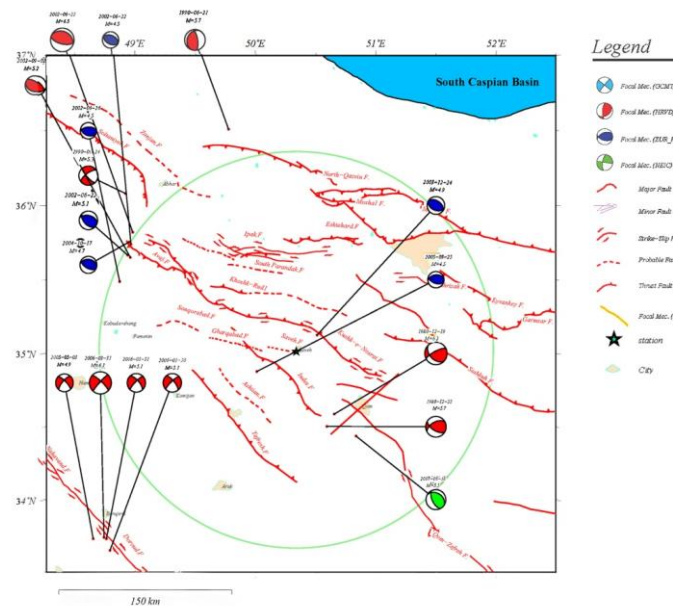
۳. مواد و روش‌ها

۱.۳. شناسایی گسل‌ها، لرزه زمین ساخت و تعیین پارامترهای لرزه‌ای

گستره مورد مطالعه در بخش مرکزی ایران و حاشیه شهرستان ساوه قرار دارد. شهرستان ساوه از دیدگاه زمین‌شناسی در محل پیوند دو ایالت لرزه‌زمین ساختی ایران مرکزی و البرز قرار دارد. برای دستیابی به دانسته‌های بیشتر و مورد نیاز به منظور تحلیل لرزه‌خیزی، بررسی‌های لرزه زمین‌ساختی در شعاع ۱۵۰ از مرکز ساختمان صورت گرفته‌است. برای این کار نخست نقشه‌های پایه به شعاع ۱۵۰



کیلومتر از مرکز ساختگاه و به منظور شناسایی سرچشمه های لرزه‌ای تهیه شد. این بررسیها بر پایه تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 و نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) موجود با دقت ۳۰ متر صورت گرفته و بر اساس آنها نقشه رده‌بندی شده گسل‌ها و موقعیت آنها نسبت به شهر ساوه، تهیه و ترسیم شده‌است. نتایج این مرحله در قالب یک مدل لرزه‌زمین-ساختی، مهمترین گسل‌های منطقه به همراه پارامترهایی نظیر طول، کوتاهترین فاصله تا ساختگاه و سابقه لرزه‌خیزی جهت استفاده در تحلیل خطر زمینلرزه، ارائه گردیده‌است. در مرحله بعدی با استفاده از مدل فرازنمای رقومی یا (Digital Elevation Model) DEM منطقه با دقت ۳۰ متر و نقشه‌های زمین‌شناسی نقشه گسل‌ها جنبا همراه با نقشه لرزه‌خیزی گستره‌ای به شعاع ۱۵۰ کیلومتر پیرامون ساختگاه تهیه شده‌است. نقشه گسل‌های مهم گستره مورد مطالعه، در شکل ۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۲. گسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه

۲.۳. برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی

پارامترهای لرزه‌خیزی به روش‌های گوتنبرگ-ریشتر و کیکو تعیین و چشمه‌های لرزه‌ای تعیین گردید. از روابط کاهندگی که توسط محققین مختلفی ارائه شده استفاده و نهایتاً بیشینه شتاب به روش احتمالی انجام گرفت و طیف خطر یکنواخت برای احتمال وقوع ۶۳٪، ۱۰٪، ۵٪ و ۲٪ در ۵۰ سال محاسبه شده‌است.

۳.۳. روش پایه گوتنبرگ-ریشتر

تابع توزیع مقدماتی یا پایه گوتنبرگ-ریشتر در سال ۱۹۵۶ ارائه گردید. در این رابطه فراوانی انباشتی زمین‌لرزه‌ها N_c به طور خطی و با در نظر گرفتن رابطه ساده (۱) به بزرگا نسبت داده می‌شود.

$$\text{Log}N_c = a - bM \quad (1)$$

در رابطه (۱) که M بزرگای زمین لرزه و N_c فراوانی تجمعی می‌باشد. a و b ضرایب ثابتی هستند که از روش کمترین مربعات به دست می‌آیند. این روش، برای زمین‌لرزه‌های سده بیستم به بعد به کار می‌رود زیرا اطلاعات سده‌های قبل به صورت تاریخی می‌باشد و استفاده از این روش برای سده‌های قبل ممکن است جوابهای قابل قبولی برای دوره بازگش‌های طولانی ارائه ندهد. لذا از روش‌های کامل‌تری برای برآورد دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها می‌توان استفاده نمود. با بکارگیری این رابطه ساده می‌توان با انجام یک دسته‌بندی مناسب برای بزرگای



زمین لرزه‌ها رابطه لرزه‌خیزی و ضرایب مربوط به آن را (ضرایب a و b) را به دست آورد. اما باتوجه به محدودیت‌های رابطه (۱) از یک طرف امکان استفاده از زمین‌لرزه‌های تاریخی وجود نداشته و از سوی دیگر به دلیل نداشتن حد بالا و پائین برای بزرگا نتایج به دست آمده تنها تابع ماهیت ریاضی رابطه بوده با واقعیات لرزه‌خیزی منطقه سازگار نمی‌باشد. باید توجه کرد که به دلیل عدم استفاده از زمین‌لرزه‌های تاریخی نتایج مربوط به دوره بازگشت بزرگای زمین‌لرزه‌ها را نمی‌توان معیار صحیحی برای پیشینه لرزه‌خیزی دراز مدت منطقه که دارای زمین‌لرزه‌های متعدد و بزرگ در سده‌های پیشین می‌باشد دانست. زمین‌لرزه‌های پیرامون سایت مورد مطالعه در گستره شعاعی ۱۵۰ کیلومتر دسته بندی شده و سپس با استفاده از روش آماری کمترین مربعات ضرائب رابطه گوتنبرگ-ریشتر برای گستره‌های شعاعی فوق به دست آمده‌است. رابطه گوتنبرگ-ریشتر در شعاع ۱۵۰ کیلومتری ساختگاه بیمارستان ۲۵۰ تختخوابی عبارت است از:

$$\text{Log } N = 5.69 - 0.874 M_s \quad (\text{Radius } 150 \text{ km}) \text{ for Alborz-Azerbayejan} \quad (2)$$

$$\text{Log } N = 6.41 - 0.974 M_s \quad (\text{Radius } 150 \text{ km}) \text{ for Central Iran} \quad (3)$$

لازم به ذکر است، رابطه ۲ برای ایالت زمین ساختی البرز- آذربایجان و رابطه ۳ برای ایالات زمین ساختی ایران مرکزی معتبر می باشد. جهت تخصیص این پارامترها به هر یک از چشمه‌ها باید ضریب a به طول چشمه و مدت زمان گردآوری داده‌ها نرمالیز شوند و سپس در محاسبات تحلیل خطر به روش احتمالاتی مورد استفاده قرار گیرند.

۴.۳. روش کیکو

روش ارائه شده توسط (Kijko and Sellevoll, 1992) [12] دارای قابلیت‌های سودمندی در بکارگیری فهرست زمین‌لرزه‌های آمیخته و ناهمگون می‌باشد که مناسب با خصوصیات داده‌های لرزه‌ای ایران است. توابع استفاده شده در برنامه کیکو شامل تابع توزیع پردازش مقادیر نهائی برای زمین‌لرزه‌های پیش از سده بیستم که اغلب بزرگ ولی دارای خطای بالا می‌باشند و تابع توزیع دوکراندار گوتنبرگ-ریشتر برای زمین لرزه‌های ثبت شده دستگامی و بکارگیری روش آماری تخمین بیشینه درست نمائی می‌باشد. پارامترهای لرزه‌خیزی برآورد شده، شامل حداکثر بزرگای زمین‌لرزه (M_{max})، ضریب β و آهنگ سالیانه λ در گستره ۱۵۰ کیلومتری، بر اساس وزن‌دهی اعمال شده بر اساس طول چشمه‌های لرزه‌ای و همچنین در نظر گرفتن ایالت لرزه زمین ساختی مربوطه بوده‌است. به گونه‌ای که برخی از چشمه‌ها در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی البرز-آذربایجان واقع شده‌اند، رابطه (۴)، و برخی دیگر نیز در ایالت ایران مرکزی و شرق ایران، رابطه (۵). چشمه‌های لرزه‌ای متاثر از ویژگی لرزه‌زمین‌ساختی مشخص شده برای ایالت مربوطه هستند و پارامترهای اساسی تحلیل خطر مانند نرخ رویداد لزه ای و مقدار b-value باید برای چشمه‌هایی با ویژگی یکسان لرزه‌زمین‌ساختی در نظر و محاسبه گردد.

$$M_{max} = 7.6, \beta = 2.457, \lambda = 2.9244 \text{ (for } M_{min} = 4.4 \text{ Mw)} \text{ for Alborz-Azerbayejan} \quad (4)$$

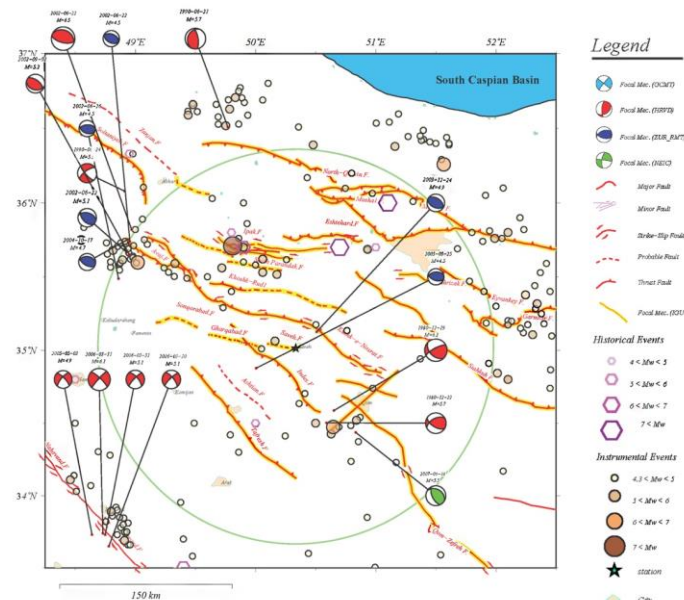
$$M_{max} = 7.3, \beta = 2.53, \lambda = 1.257 \text{ (for } M_{min} = 4.3 \text{ Mw)} \text{ for Central Iran} \quad (5)$$

۵.۳. تهیه چشمه‌های لرزه‌ای متفاوت در گستره مورد مطالعه

یکی از مراحل اساسی در تحلیل خطر زمین‌لرزه، تعریف چشمه یا چشمه‌های لرزه‌زا که در پیرامون ساختگاه قرار دارند می‌باشد. تعریف چشمه‌های لرزه‌ای اغلب نیاز به دانشی از زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی و زمین‌ساخت محلی و منطقه‌ای دارد. با توجه به شرایط زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی و لرزه زمین‌ساخت منطقه چشمه‌های مختلف لرزه‌ای که هر کدام می‌تواند به طور مستقل در رویداد یک زلزله مؤثر باشد تعیین شده‌است. در تعیین این چشمه‌ها روند لرزه‌خیزی چشمه‌های مختلف و نوع گسلش در تعیین این چشمه‌ها بیشترین نقش را داشته‌است. با توجه به خطاهای موجود از قبیل مشخص نبودن امتداد گسل، خطا در پیاده کردن نقاط بر روی نقشه و وجود شیب در برخی گسلها معمولاً نمی‌توان چشمه‌ها را به صورت خطی در نظر گرفت و معمولاً پهنایی را (معمولاً ۱۰ کیلومتر) از هر دو طرف گسل در نظر گرفته می‌شود که البته این پهنای با توجه به شیب گسل و رومرکز زمین لرزه‌ها می‌تواند از یک طرف و یا از هر دو طرف بیشتر گردد. با توجه به



این مطلب، اطلاعات لرزه زمین‌ساختی، اطلاعات ساز و کار کانونی زمین لرزه‌ها و عمق لایه لرزه‌زا (Seismogenic Layer) شیب متوسطی برای گسل‌های منطقه در نظر گرفته شده‌است و از روی آن پهنه‌ای حدود ۱۰ کیلومتر در راستای شیب در نظر گرفته شده‌است. در این مطالعه چشمه‌های لرزه‌ای به صورت چشمه‌های خطی تعیین شده‌اند. در شکل ۴ چشمه‌های لرزه‌ای تعیین شده در گستره مورد مطالعه آورده شده‌است. چشمه‌های خطی بر روی گسل‌های شناخته شده با رنگ زرد هایلایت شده‌اند.



شکل ۴. چشمه‌های لرزه‌ای تعیین شده در گستره مورد مطالعه

۳.۶. رابطه کاهندگی

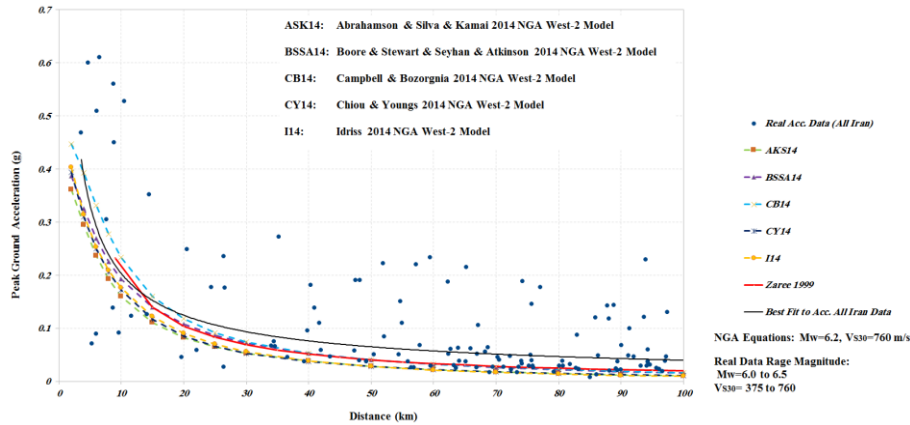
در تحلیل خطر زمین‌لرزه، روابط کاهندگی (Attenuation Relationships)، جزئی کلیدی به شمار می‌روند. این روابط، یک رابطه (۶) ریاضی بین پارامترهای وابسته به زمین لرزه و پارامترهای وابسته به حرکت زمین را ارائه می‌دهد. پارامترهای وابسته به حرکت زمین، پارامترهایی هستند که توسط مهندسیین طراح، در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، لذا اهمیت این روابط به خوبی مشخص می‌شود. این روابط عموماً از طریق تحلیل آماری بر روی اطلاعات ثبت شده از زلزله‌های رخ داده، حاصل می‌شوند. شکل تابع رابطه کاهندگی را به صورت ذیل استفاده شده‌است:

$$\text{Log}(Y) = C_1 + C_2 \cdot M + C_3 \cdot \log(R + C_4 \cdot \exp(C_5 \cdot M)) + C_6 \cdot R + f(S_i) + C_7 \cdot \sigma \quad (6)$$

در رابطه (۶)، (Y) پارامتر مورد نظر جنبش نیرومند زمین است که به طور کلی با بزرگای (M) رابطه مستقیم و بافاصله (R) رابطه معکوس دارد. ضرائب ثابت این روابط به طور تجربی براساس شتاب نگاشتهای استفاده شده و با استفاده از روشهای آماری حاصل می‌گردد. (۷) خطای میانگین تصادفی با مقدار میانگین صفر و انحراف معیار معادل با خطای تخمین (Y) می‌باشد. پارامترهای دیگری نظیر شرایط ساختگاه، نوع گسلش، ضخامت آبرفت و یا پارامترهای خاص دیگر که قابل مدل شدن به صورت ریاضی باشند به صورت کلی f(S_i) در رابطه (۶) نشان داده شده‌است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در این مطالعه روابط کاهندگی مختلف با داده‌های شتاب‌نگاری ثبت شده برای مولفه‌های افقی در این ناحیه مورد بررسی و اعتبار سنجی قرار گرفته‌است. به این ترتیب داده‌های شتاب‌نگاری ثبت شده در ایستگاه‌های شبکه شتاب‌نگاری سازمان تحقیقات مسکن (BHRC) برای پهنه ایران جداسازی شده‌است و مقادیر بیشینه شتاب بر روی مولفه‌های افقی قرائت شده و به صورت میانگین‌گیری هندسی میان مولفه‌های افقی شتاب برای بزرگای ۶ الی ۶/۵ واحد Mw بر حسب



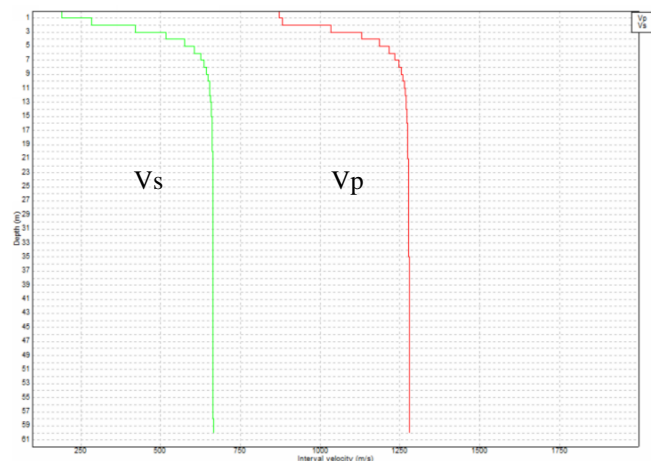
فاصله به تصویر کشیده شده‌اند. سپس مقادیر پیش‌بینی شتاب حاصل از روابط کاهندگی مختلف بر روی داده‌های شتاب واقعی به دست آمده به منظور مقایسه در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۵. مقایسه نتایج به دست آمده از روابط کاهندگی و NGA West2 و داده‌های شتاب برای ایران

۷.۳. آزمایش دانهول

شناخت کامل وضعیت لایه‌های زیر سطحی و مشخصات دینامیکی لایه‌های خاک از عوامل مهم در تحلیل دینامیکی یک سازه می‌باشد. به منظور تکمیل اطلاعات ژئوتکنیکی و لزوم ارزیابی پارامترهای دینامیکی لایه‌های زمین و تعیین نوع زمین از نظر مهندسی زلزله، در این مطالعات یک پروفیل لرزه‌ای درون گمانه‌ای با استفاده از امواج تراکمی و برشی برداشت شده است که نتایج آن به شرح شکل ۶ می‌باشد.



شکل ۶. سرعت امواج P و S

۴. نتایج و بحث

۱.۴. برآورد بیشینه شتاب به روش احتمالی

استفاده از مفهوم احتمالات، امکان بکارگیری و در نظر گرفتن دقیق عدم یقین در بزرگی، مکان و نرخ رویداد سالیانه زمین‌لرزه‌ها همین طور تغییرات ویژگیهای حرکات زمین برحسب مکان و بزرگی زمین لرزه‌ها را برای برآورد خطر رویداد زمین‌لرزه، فراهم آورده‌است. برآورد احتمالی خطر زمین لرزه‌ها می‌توان به صورت یک عملیات چهار مرحله‌ای در نظر گرفت. نخستین مرحله تشخیص و تعیین چشمه‌های لرزه‌ها می‌باشد. مرحله دوم شامل تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی می‌باشد. این پارامترها عبارتند از: پارامترهای λ ، β و M_{max} برای هر



چشمه. انتخاب رابطه کاهندگی مناسب با شرایط لرزه زمین ساختی منطقه مورد مطالعه مرحله سوم در روش احتمالی می باشد. نهایتاً عدم یقین مکان زمین لرزه‌ها، بزرگی زمین لرزه‌ها و پیش بینی پارامتر حرکات زمین با هم ترکیب شده و پارامتر حرکات زمین برای احتمال رویداد موردنظر تخمین زده می شود. نتایج تحلیل احتمالی خطر برای بیشینه شتاب افقی بر روی سنگ بستر لرزه‌ای حاصل از تمامی روابط کاهندگی در جدول ۱ و شکل های ۷ و ۸ مشاهده می‌شود.

جدول ۱. نتایج بیشینه شتاب افقی بر روی سنگ بستر لرزه ای با روابط کاهندگی مختلف

Return Period (Year)	Mean	Abrahamson-et al (2014) NGA West 2	Boore-et al (2014) NGA West 2	Campbell-Bozorgnia (2014) NGA West 2	Chiou-Youngs (2014) NGA West 2	Idriss (2014) NGA West 2
50	0.105	0.110	0.088	0.128	0.119	0.077
475	0.266	0.281	0.273	0.300	0.278	0.195
950	0.338	0.356	0.369	0.368	0.343	0.248
2475	0.457	0.479	0.534	0.479	0.448	0.339

همچنین نتایج تحلیل احتمالی خطر برای بیشینه شتاب قائم بر روی سنگ بستر لرزه‌ای حاصل از تمامی روابط کاهندگی در جدول ۲ و شکل های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود.

جدول ۲. نتایج بیشینه شتاب قائم بر روی سنگ بستر لرزه ای با روابط کاهندگی مختلف

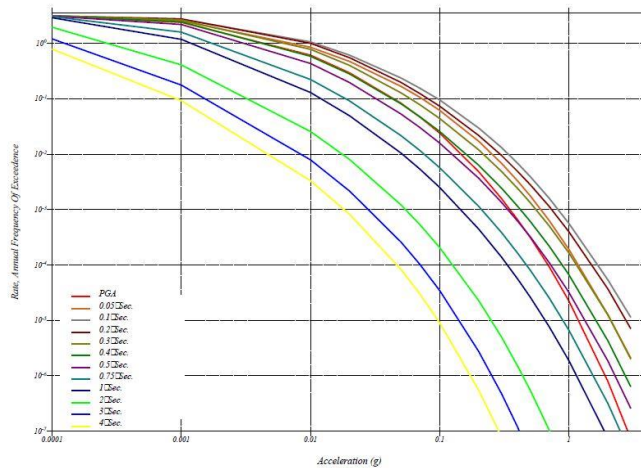
Return Period (Year)	Mean	Abra.-Silva (1997) Deep Soil - Vertical	Ambraseys et al (2005) Vertical	Campbell-Bozorgnia (2003) Cor.-Vertical	Somerville et al (2001) Vertical
50	0.062	0.060	0.061	0.071	0.056
475	0.165	0.201	0.150	0.177	0.131
950	0.212	0.264	0.193	0.227	0.166
2475	0.292	0.370	0.263	0.310	0.224

با تلفیق مطالعات لرزه‌خیزی و لرزه زمین‌ساختی محل ساختگاه، مقدار شتابی که با احتمال مشخص در طول عمر مفید سازه ممکن است رخ دهد، به روشهای تعینی و احتمالی محاسبه شده‌است. با بهره‌گیری از نتایج مطالعات لرزه‌خیزی و لرزه زمین‌ساخت به عمل آمده در گستره طرح و اعمال وزنهای مناسب در روابط استفاده شده، مقادیر بیشینه شتاب افقی و قائم برای دوره بازگشت ۵۰، ۴۷۵، ۹۵۰ و ۲۴۷۵ سال (سطوح مختلف طراحی) به شرح جدول ۳ و شکل ۱۱ پیشنهاد می‌گردد.

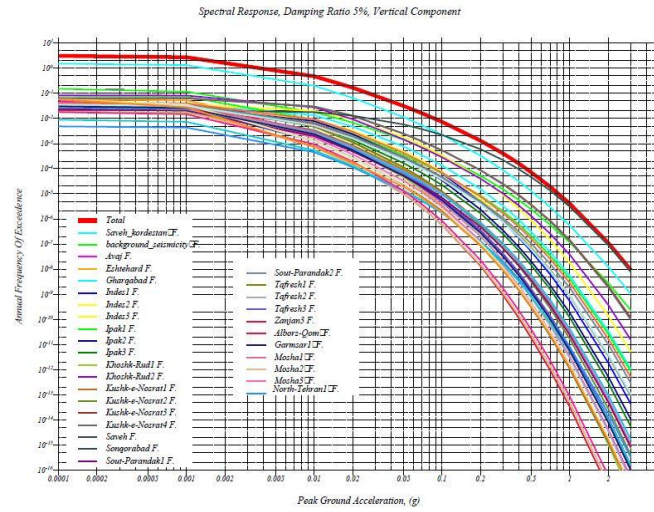


جدول ۳. مقادیر شتاب احتمالی بر روی سنگ بستر لرزه‌ای در طول عمر مفید سازه (۵۰ سال)

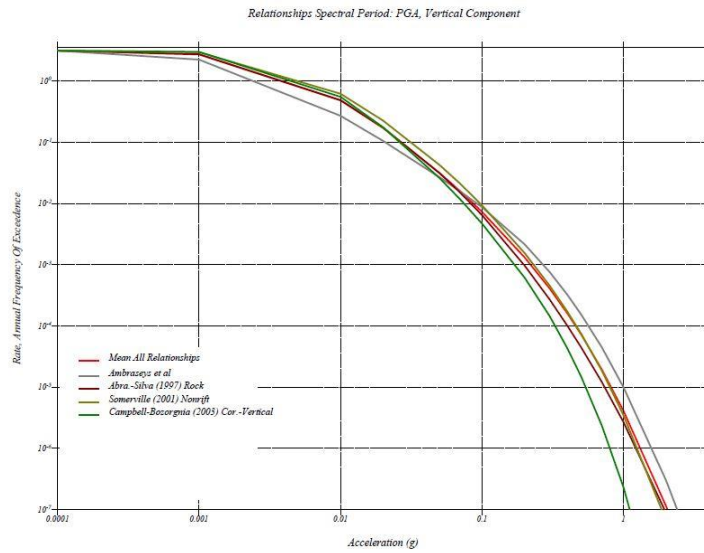
سطوح مختلف طراحی	شتاب بیشینه بر حسب (g)
زمین لرزه با دوره بازگشت ۵۰ سال (۶۳٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه افقی	۰/۱۰۵
زمین لرزه با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه افقی	۰/۲۶۶
زمین لرزه با دوره بازگشت ۹۵۰ سال (۵٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه افقی	۰/۳۳۸
زمین لرزه با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال (۲٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه افقی	۰/۴۵۷
زمین لرزه با دوره بازگشت ۵۰ سال (۶۳٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه قائم	۰/۰۶۲
زمین لرزه با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه قائم	۰/۱۶۵
زمین لرزه با دوره بازگشت ۹۵۰ سال (۵٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه قائم	۰/۲۱۲
زمین لرزه با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال (۲٪ احتمال وقوع در عمر مفید) برای مؤلفه قائم	۰/۲۹۲



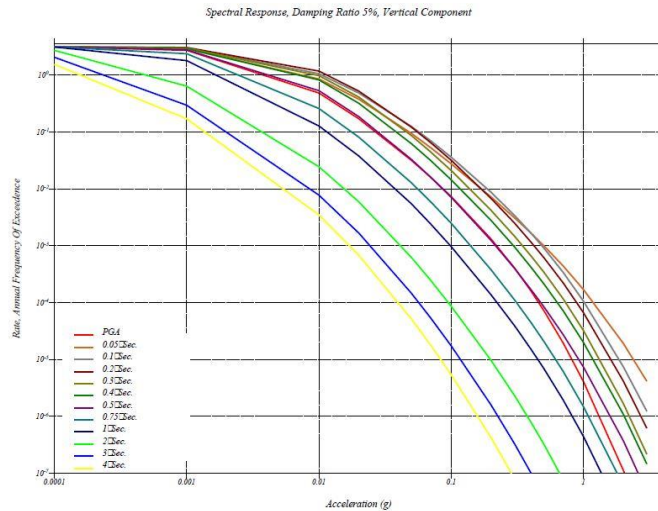
شکل ۷. منحنی خطر مولفه افقی شتاب برای تمامی چشمه‌ها به همراه منحنی خطر نهایی برای پیرو صفر (PGA)



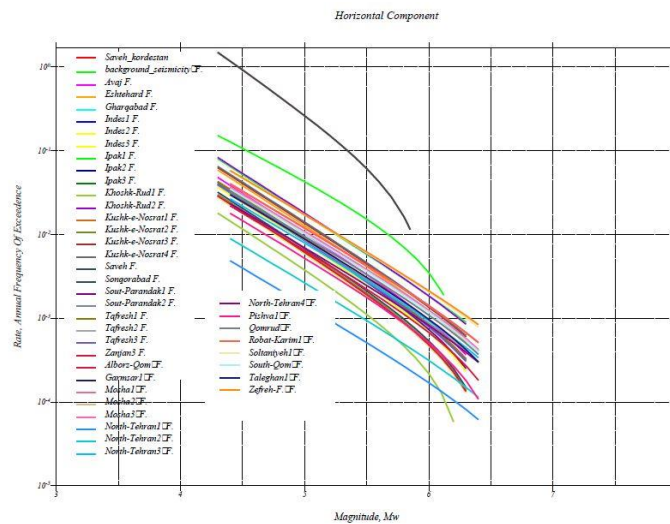
شکل ۸. منحنی خطر نهایی مولفه افقی شتاب برای پیوندهای مختلف



شکل ۹. منحنی خطر مولفه قائم شتاب برای تمامی چشمه ها به همراه منحنی خطر نهایی برای پیوند صفر (PGA)



شکل ۱۰. منحنی خطر نهایی مولفه قائم شتاب برای پیرودهای مختلف



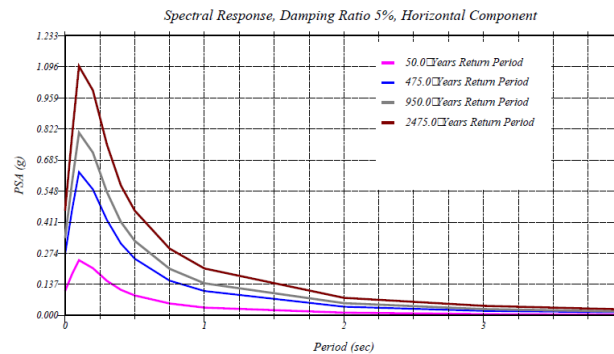
شکل ۱۱. منحنی‌های نرخ رویداد لرزه‌ای برای چشمه‌های مورد استفاده

۲.۴. طیف خطر یکنواخت

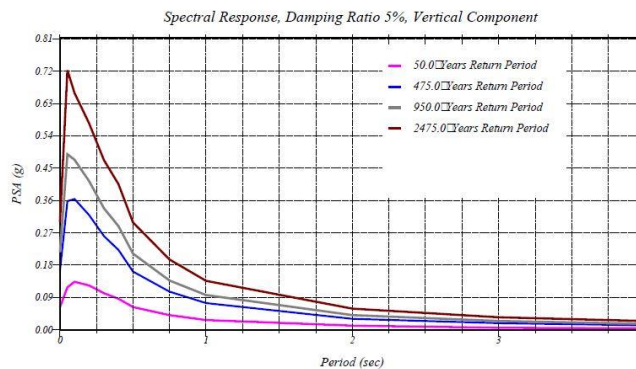
طیف خطر یکنواخت، طیف پاسخی است که احتمال وقوع یکسانی در تمام دامنه‌های آن در پیرودهای مختلف برقرار می‌باشد. در حقیقت، طیف خطر یکنواخت از مجموعه‌ای از نقاط که برای یک احتمال وقوع یکسان (مثلاً ۱۰٪ در ۵۰ سال) محاسبه شده‌اند تشکیل شده است. مراحل تهیه طیف خطر یکنواخت شبیه به مراحل تهیه نقشه‌های شتاب برای P.G.A به روش احتمالی می‌باشد. در فرایند تهیه طیف خطر یکنواخت تعداد m رابطه کاهندگی طیفی برای پارامترهای طیفی در m پیروید یا فرکانس به جای رابطه کاهندگی برای P.G.A استفاده می‌شود. به عبارت دیگر برای تخمین هر پارامتر طیفی برای احتمال مورد نظر از یک رابطه کاهندگی طیفی برای پیروید مورد نظر (مثلاً پیروید ۰/۲، ۰/۳، ۰/۵ ثانیه) برحسب بزرگای، فاصله، شرایط خاک استفاده می‌شود. در نهایت به جای یک منحنی هم شتاب P.G.A، m منحنی هم شتاب طیفی برای پیرودهای مورد نظر خواهیم داشت. با مشخص نمودن سطح احتمال مورد نظر (۴۸٪ در ۵۰ سال، ۲۹٪ در ۵۰ سال، ۱۰٪ در ۵۰ سال و ...) برای هر نقطه در محدوده مطالعاتی m پارامتر طیفی برای m پیروید استخراج شده که



نهایتاً با استفاده از این مقادیر طیف خطر یکنواخت برای احتمال مورد نظر تهیه می شود. عمده مشکل تهیه این گونه طیف ها حجم زیاد محاسبات برای شبکه مورد نظر می باشد. با توجه به شکل؟؟؟ که در آن سرعت موج برشی ۷۵۰ متر بر ثانیه (برای یک بستر سنگی) می باشد، طیف خطر یکنواخت برای احتمال وقوع ۰/۶۳، ۰/۱۰، ۰/۵، و ۰/۲ در ۵۰ سال با استفاده از روابط کاهندگی ارائه شده در گزارش، محاسبه شده است. لازم به ذکر است که وزن مساوی برای این روابط در محاسبه طیف خطر یکنواخت در نظر گرفته شده است. طیف خطر یکنواخت برای احتمال وقوع ۰/۶۳، ۰/۱۰، ۰/۵، و ۰/۲ در ۵۰ سال برای مولفه های افقی و قائم در شکل ۱۲ و شکل ۱۳ ارائه گردیده است.



شکل ۱۲. طیف خطر یکنواخت برای احتمال وقوع ۰/۶۳، ۰/۱۰، ۰/۵، و ۰/۲ در ۵۰ سال برای مولفه افقی



شکل ۱۳. طیف خطر یکنواخت برای احتمال وقوع ۰/۶۳، ۰/۱۰، ۰/۵، و ۰/۲ در ۵۰ سال برای مولفه قائم

۵. نتیجه گیری

با در نظر گرفتن لرزه زمین ساخت، لرزه خیزی بیشینه شتاب به روش احتمالی در ساختمان بیمارستان ۲۵۰ تختخوابی برای سنگ بستر برآورد گردید. در صورت در نظر گرفتن گسلها به شکل چشمه های خطی، گسل ساوه با فاصله ۰/۵ کیلومتر (فاصله از لایه لرزه زا) نزدیکترین گسل به ساختمان می باشد. نتایج تخمین زده شده بر اساس این مطالعات برای سنگ بستر در جدول ۴ به صورت خلاصه آورده شده است. نتیجه ارائه شده در این مطالعه برای سطح طراحی (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) با مقادیر پیشنهاد شده در آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) دارای اختلاف کمی می باشد. مقدار شتاب افقی در این مطالعه ۰/۲۷g و در آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله ایران ۰/۳۰g پیشنهاد شده است.



جدول ۴. مقادیر شتاب احتمالی برای مولفه افقی و قائم و بر روی سنگ بستر لرزه‌ای در طول عمر مفید سازه بیمارستان ۲۵۰ تختخوابی (۵۰ سال)

سطح خطر	افقی (g)	قائم (g)
۶۳٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۵۰ سال)	۰/۱۰۵	۰/۰۶۲
۱۰٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ سال)	۰/۲۶۶	۰/۱۶۵
۵٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۹۵۰ سال)	۰/۳۳۸	۰/۲۱۲
۲٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال)	۰/۴۵۷	۰/۲۹۲

منابع

- [1] Ramanna, C. K., Dodagoudar, G. R., 2014. Impact Analysis of Seismic Source Area Extent on Hazard Estimate for Chennai City. *International Journal of Geotechnical Earthquake Engineering*, 5(1), 75–100.
- [2] Anbazhagan, P., Sitharam, T.G., Vipin, K.S., 2009. Site Classification and Estimation of Surface Level Seismic Hazard Using Geophysical Data and Probabilistic Approach, *Journal of Applied Geophysics*, 68(2), 219-230.
- [3] Joshi, A., Mohan, K., 2010. Expected peak ground acceleration in Uttarakhand Himalaya, India region from a deterministic hazard model. *Natural Hazards*, 52(2), 299–317.
- [4] Rafi, Z., Lindholm, C., Bungum, H., Laghari, A., Ahmed, N., 2012. Probabilistic seismic hazard of Pakistan, Azad-Jammu and Kashmir. *Natural Hazards*, 61(3), 1317–1354.
- [5] Ezzelarab, M., Shokry, M. M. F., Mohamed, A. M. E., Helal, A. M. A., Mohamed, A. A., El-Hadidy, M. S., 2016. Evaluation of seismic hazard at the northwestern part of Egypt, *J. Afr. Earth Sci.* 113, 114–125.
- [6] Yu-Sheng Sun, Hsien-Chi Li, Ling-Yun Chang, Zheng-Kai Ye, and Chien-Chih Chen., 2019. Real-time probabilistic seismic hazard assessment based 1 on seismicity anomaly. *Natural hazards and earth system sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhess-2019-167> Preprint. Discussion started: 23 July 2019.
- [7] Jarahi H., 2016. Ground-motion scenarios consistent with Probabilistic Seismic Hazard Deaggregation for Karaj city (Iran), *Am. J. Eng. Appl. Sci.* 9, 520–529.
- [8] Asadi A, Neshat Sh. and Barkhordari K., 2014. Seismic Hazard Assessment and Determination of Maximum Design Base Acceleration of Yazd. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering* 2(2), 1-8.
- [9] Haerifard, S, Jarahi H, Pourkermani M, and Almasian M., 2018. Seismic Hazard Assessment at Esfaraen–Bojnurd Railway, North–East of Iran. *ISSN 0016-8521, Geotectonics*, 52 (1), 151–156.
- [10] Kijko, A. and Sellevoll, M. A., (1992). Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part II. Incorporation of magnitude heterogeneity. *BSSA*, 82(1), 120-134.