

برآورد شتاب طیفی در منطقه اصفهان و مقایسه نتایج با شتاب طیفی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران و آیین نامه IBC امریکا

سید هادی دهقان منشادی^۱، نوربخش میرزائی^{۱*} و مرتضی اسکندری قادی^۲

^۱موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
^۲پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۲۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۸)

چکیده

در این تحقیق به منظور برآورد شتاب طیفی به صورت مستقیم با استفاده از روابط تضعیف در منطقه اصفهان ($34^{\circ}N$ و $53^{\circ}E$) استفاده از نقشه‌های لرزه‌خیزی در گستره مورد بررسی به تفکیک ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی منطقه محاسبه، و سپس، با استفاده از نقشه‌های گسل‌ها و اطلاعات زمین‌لرزه‌های گذشته، نقشه‌ای از چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه برای منطقه اصفهان تهیه شده است. با استفاده از روابط تضعیف طیفی کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، بیشینه شتاب جنبش زمین و شتاب طیفی در دوره تناوب‌های متفاوت تعیین و از آن نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لرزه به روش احتمالاتی اصلاح شده برای دوره تناوب‌های صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۱ ثانیه تهیه شده است. با اعمال ضریب بازتاب آیین‌نامه ۲۸۰۰ بر نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین، نقشه‌های پهنه‌بندی برای دوره تناوب‌های دیگر بر پایه شتاب طیفی تهیه و نتایج آن با نتایج روش مستقیم برآورد شتاب طیفی مقایسه شده است. بیشینه شتاب افقی در شهر اصفهان برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال با استفاده از رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳)، ۰/۱g و با استفاده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، ۰/۱۹g به دست می‌آید. در منحنی شتاب طیفی شهر اصفهان، بیشترین شتاب افقی با استفاده از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) در دوره تناوب ۰/۱ ثانیه برابر ۰/۳۵g و با استفاده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) در دوره تناوب ۰/۱۱ ثانیه برابر ۰/۶۱g حاصل می‌شود. همچنین، مقایسه شتاب طیفی حاصل از روابط تضعیف و شتاب طیفی به دست آمده از آیین‌نامه‌های ۲۸۰۰ ایران و IBC امریکا در دوره تناوب‌های متفاوت، به طور مشخص برای شهر اصفهان نشان می‌دهد که تا دوره تناوب ۰/۱ ثانیه مقادیر شتاب طیفی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و مقادیر به دست آمده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) نزدیکی قابل قبولی با یکدیگر دارند. شتاب طیفی حاصل از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) کمتر از شتاب طیفی به دست آمده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) است. رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، به علت دخیل بودن داده‌های ایران در آن، نسبت به رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) برای گستره مورد بررسی قابل اطمینان‌تر است. شتاب طیفی به دست آمده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای دوره تناوب‌های بزرگ‌تر از ۰/۱ ثانیه مقادیر بیشتری را نسبت به شتاب‌های طیفی برآورد شده از روش‌های دیگر (کمبل و بزرگنیا، ۲۰۰۳؛ آمبرسیز و همکاران، ۲۰۰۵ و IBC امریکا) نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه صورت گرفته در این پژوهش، علت این اختلاف را می‌توان نبود دقت کافی در نتایج حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران دانست، که این را می‌توان به نبود دقت کافی در ضرایب طیف پاسخ آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، برای گستره مورد بررسی، نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: شتاب طیفی، بیشینه شتاب جنبش زمین، برآورد احتمالاتی خطر زمین‌لرزه، منطقه اصفهان

Evaluation of spectral accelerations for Isfahan region and comparison of the results with the spectral acceleration of Iranian Building Code (Standard No. 2800) and IBC

Seyed Hadi Dehghan-Manshadi¹, Noorbakhsh Mirzaei^{1*} and Morteza Eskandari-Ghadi²

¹*Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*

²*College of Engineering, University of Tehran, Iran*

(Received: 15 September 2013, accepted: 29 November 2014)

Summary

The spectral acceleration, SA, is used as the most commonly tool for the building response analysis. In many international or national engineering standards/codes such as International Building Code (IBC) and Iranian Building Code (standard 2800), the buildings are desiged on the basis of spectral acceleration method. This method is based on orthogonal functions and has received much attention because of its simplicity. The target of this study was to estimate the spectral accelerations of ground motions due to earthquakes and compare them with the results of the standard No. 2800 and IBC in Isfahan and the adjoining regions (the area between 49.5-54° E and 31-34.1° N). The spectral accelerations, which are the input data for building design, are determined via spectral attenuation relationships by multiplying the response factor given in Iranian Building Code (standard 2800) to the Peak Ground Acceleration (PGA) determined from attenuation relationships. To this end, first, the seismicity parameters in the interest region for each seismotectonic province were calculated using a unified, homogenized and a complete catalog in the method proposed by Kijko and Sellevoll (1992), in which one can consider magnitude uncertainty and completeness of data in calculations. Geological maps with scales of 1:100000 and 1:250000 were used to provide the fault map of this region. We determined several probable faults in the interest region to help us to introduce the potential seismic sources more precisely. Based on the fault maps, the potential seismic sources of the interest region were determined (twelve and six potential seismic sources for Zagros and Central-East Iran provinces, respectively). Then, the maps of the maximum and the spectral acceleration seismic zonation were prepared using a modified probabilistic approach (Shi et al., 1992) as well as the spectral attenuation relationships of Campbell and Bozorgnia (2003) and also Ambraseys et al. (2005). In the modified probabilistic approach, the concept of spatial distribution function is introduced. By calculating the spatial distribution function, the contribution to annual mean occurrence rate of seismotectonic province is made for each potential seismic source. In other words, a spatial distribution function characterizes the seismicity differences among potential seismic sources. The spectral acceleration seismic zonation maps are produced for Peak Ground Acceleration (PGA) and periods of 0.2, 0.4, 0.6 and 1 seconds using the *EZ-FriskTM* computer program. By multiplying the spectral response given in the standard 2800 to the zonation map of PGA, zoning maps for other periods were obtained based on the spectral acceleration and compared with the results of the direct estimation method.

Macrozonation probabilistic seismic hazard maps of the interest region for 10% and 63% probability of exceedance were produced for each attenuation relations. It was shown that the maximum horizontal acceleration in Isfahan city for a 10% exceedance in 50 years, via Campbell and Bozorgnia (2003) and Ambraseys et al. (2005) relations was equal to 0.1g and 0.19g, respectively. As the spectral acceleration curve for the Isfahan city showed, the largest horizontal acceleration using Campbell and Bozorgnia (2003) relation obtained as 0.35g in the period 0.1 sec, while with the use of the Ambraseys et al. (2005) relations, it was obtained as 0.61g at period of 0.11 sec. It means that the frequency content of acceleration derived from both attenuation relationships was the same. In addition, a comparison between the spectral acceleration obtained via attenuation relationships and the one derived from the IBC and standard 2800 of Iran in different periods, exclusively for the city of Isfahan showed that up to 0.1 sec, the spectral acceleration of standard 2800 of Iran and the values obtained from Ambraseys et al. (2005) relations were substantially close to each other. However, the spectral accelerations derived from Campbell and Bozorgnia (2003) relations have a lower value than those obtained based on standard 2800 and Ambraseys et al. (2005) relations. Considering these results as well as the less involvement of Iranian event data in Campbell and Bozorgnia (2003) attenuation relations than Ambraseys et al. (2005), the second one was more reliable at the interest region of this study. The spectral acceleration obtained from standard No. 2800 of Iran for the periods larger than 0.1 sec showed some values more than those obtained from other methods. According to the comparison made in the present study, this discrepancy may be due to a lack of sufficient accuracy of the relations proposed in standard 2800 of Iran. All calculations in the present study have been conducted for soil type I (according to the standard 2800).

Keywords: Spectral acceleration, peak ground acceleration (PGA), probabilistic seismic hazard assessment (PSHA), Isfahan region

۱ مقدمه

کرنل، ۲۰۰۶).

امروزه، شتاب طیفی رایج‌ترین ابزار ساده برای بیان میزان اثرات شدت زمین‌لرزه با دقت مناسب روی سازه است و تحلیل سازه بناهای گوناگون براساس آن صورت می‌گیرد. طراحی ساختمان‌ها براساس شتاب طیفی دارای کاربرد قابل توجهی است، به طوری که آیین‌نامه‌هایی مانند IBC (International Building Code) امریکا و ۲۸۰۰ ایران (کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۳)، مبنای طراحی را بر آن استوار کرده‌اند. همچنین، اهمیت موضوع چنان است که محققان نسل جدیدی از روابط تضعیف را برای در اختیار گذاردن شتاب طیفی به‌طور مستقیم عرضه کرده‌اند (برای نمونه،

طراحی سازه‌های مقاوم در برابر خطر زمین‌لرزه‌های احتمالی آتی نیازمند برآورد دو پارامتر است: ۱- برآورد احتمال رویداد زمین‌لرزه‌ها و بزرگی آنها در گستره موردنظر، ۲- محاسبه پاسخ سازه به این زمین‌لرزه‌های احتمالی. این مهم اغلب با استفاده از اندازه‌گیری شدت لرزش وارد بر ساختمان صورت می‌گیرد. زلزله‌شناسان یا متخصصان علوم زمین احتمال رویداد سطوح متفاوت خطر زمین‌لرزه را با برآورد خطر برای ساختگاه‌های معین و تهیه نقشه‌های تحلیل خطر زمین‌لرزه عملی می‌سازند و مهندسان اثرات سطوح متفاوت زمین‌لرزه روی سازه را با تحلیل‌های ایستا و دینامیک سازه، بررسی می‌کنند (بیکر و

صورت گیرد تا تحلیل خطر و به تبع آن برآورد شتاب طیفی قابل اعتماد، در گستره موردنظر عملی شود.

در برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی اثر توأم چشمه‌های متعدد بر ساختگاه بررسی می‌شود (کرنل، ۱۹۶۸) و عدم قطعیت در پارامترهای متفاوت را می‌توان در محاسبات دخالت داد. شعبانی و میرزائی (۲۰۰۷) با به‌کارگیری ویرایش اصلاح شده روش کرنل (روش احتمالاتی اصلاح شده)، خطر زمین‌لرزه در گستره سندیج-کرمانشاه را تحلیل و نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب جنبش زمین را با دقت مناسب رسم کردند.

در این تحقیق، به‌منظور برآورد شتاب طیفی در منطقه اصفهان گستره $31^{\circ}-34^{\circ}/1^{\circ}$ N و $49^{\circ}/5^{\circ}-54^{\circ}$ E و از روش احتمالاتی اصلاح شده (شی و همکاران، ۱۹۹۲) برای برآورد خطر زمین‌لرزه و محاسبه بیشینه شتاب جنبش زمین استفاده می‌شود. با استفاده از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) بیشینه شتاب زمین و شتاب طیفی محاسبه و نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لرزه برای دوره تناوب‌های صفر (PGA)، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۱، ثانیه تهیه شده است. علت استفاده از این روابط تضعیف، دخالت داده‌های ایران در تعیین آنها و همچنین، قابل استفاده بودنشان برای دوره تناوب‌های موردنظر این پژوهش است؛ که این باعث افزایش دقت محاسبات در برآورد شتاب طیفی در گستره مورد بررسی می‌شود. دقت نتایج حاصل از این روابط تا فاصله ۱۰۰ کیلومتری بوده و در فواصل بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر دقت نتایج حاصل از آن کاهش می‌یابد (کمبل و بزرگنیا، ۲۰۰۳؛ آمبرسیز و همکاران، ۲۰۰۵). محاسبه شتاب طیفی هر منطقه از ایران با روش‌های بهینه و مقایسه آنها با نتایج حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و نیز آیین‌نامه‌های معتبر دیگر مانند آیین‌نامه IBC امریکا به ارزیابی شتاب طیفی قابل اطمینان‌تر منجر خواهد شد.

آمبرسیز و همکاران، ۲۰۰۵؛ کمبل و بزرگنیا، ۲۰۰۳ را ببینید).

در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، شتاب طیفی از حاصل ضرب دو پارامتر، یکی بیشینه شتاب جنبش زمین و دیگری ضریب بازتاب به دست می‌آید. از آنجاکه طیف بازتاب خود می‌تواند تابعی از بیشینه شتاب زمین باشد، مساوی قرار دادن شتاب طیفی با این حاصل ضرب ممکن است از دقت نتایج بکاهد. هدف از این پژوهش مقایسه شتاب طیفی حاصل از محاسبه مستقیم آن با استفاده از روابط تضعیف شتاب طیفی و مقادیر این شتاب از راه حاصل ضرب بیشینه شتاب زمین در طیف پاسخ است. از آنجاکه شتاب طیفی به نوع خاک بستگی دارد، در این تحقیق خاک نوع I براساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (ساختگاه سنگی با سرعت موج برشی بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه) درحکم لایه خاکی مبنا مورد توجه قرار می‌گیرد و تفاوت موجود در محاسبه شتاب طیفی از حاصل ضرب بیشینه شتاب زمین در ضریب بازتاب با شتاب طیفی به دست آمده از روابط تضعیف طیفی بررسی می‌شود.

برای به دست آوردن شتاب طیفی به صورت مستقیم، با استفاده از روابط تضعیف، لازم است که تحلیل خطر زمین‌لرزه در گستره مورد بررسی صورت گیرد تا پارامترهای جنبش زمین (بیشینه شتاب، بیشینه سرعت، بیشینه جابه‌جایی)، در گستره موردنظر بر اثر رویداد زمین‌لرزه در چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در مدت زمان معین برآورد شود. در تحلیل خطر زمین‌لرزه، لرزه‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی گستره موردنظر به منزله گام‌های اولیه تحلیل خطر آن ناحیه به دقت بررسی می‌شود. در این بررسی‌ها باید دقت لازم در جمع‌آوری و فرآوری داده‌ها و اطلاعات، شناسایی داده‌های ناکامل و نامناسب و نیز برآورد عدم قطعیت‌ها و وارد کردن آنها در محاسبه کمیت‌ها (پارامترهای لرزه‌خیزی و در ادامه آن تحلیل خطر زمین‌لرزه و برآورد بیشینه شتاب جنبش زمین)

دستگاهی ثبت شده در گستره مورد بررسی، زمین لرزه ۱۹۷۸/۱۲/۱۴ به بزرگی $M_s = 6/2$ با سازوکار معکوس در فاصله رومرکزی ۱۹۸ کیلومتری از شهر اصفهان است که در قسمت غربی ناحیه مورد بررسی روی داده است (شکل ۱). بازه زمانی، کل فهرست‌نامه ۹۵۹ سال است.

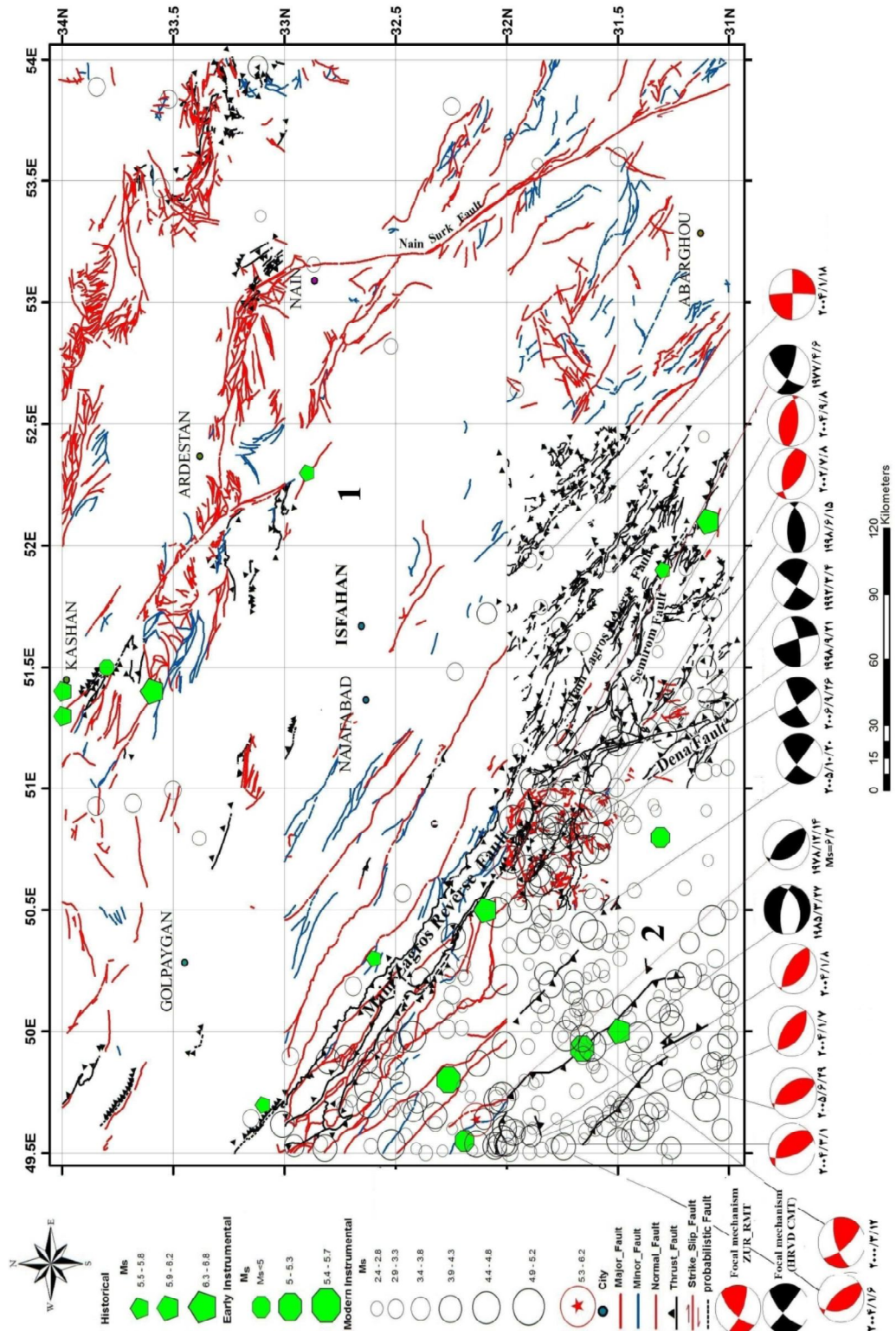
۳ اساس برآورد خطر زمین لرزه به روش احتمالاتی تحلیل احتمالاتی خطر زمین لرزه، همه جنبش‌های زمین ناشی از چشمه‌های بالقوه زمین لرزه موثر در ساختگاه (سایت) را درحکم یک مجموعه در نظر می‌گیرد به طوری که ترکیبی از دامنه‌های طیفی و خطرها (فرونی فراوانی‌های سالانه) را در آن ساختگاه نمایندگی کند (مک‌گائر، ۲۰۰۸). این روش، پایه قوی در علوم زمین و مهندسی زلزله دارد و اجازه تصمیم‌گیری در مورد سطوح طراحی لرزه‌ای برای بناهای گوناگون با توجه به بزرگی و مکان زمین لرزه و جنبش احتمالی زمین را می‌دهد. استفاده از تحلیل احتمالاتی خطر زمین لرزه امری رایج برای تعیین سطوح طراحی لرزه‌ای است (مک‌گائر، ۲۰۰۸). در روش احتمالاتی اثر همه زمین لرزه‌ها با اندازه‌های متفاوت که در مکان‌های گوناگون چشمه‌ها با احتمال رویدادهای متفاوت اتفاق می‌افتند، جمع زده می‌شود تا احتمال افزایش سطوح متفاوت جنبش زمین (مثلاً، بیشینه شتاب) در هر ساختگاه در دوره زمانی مشخصی را نشان دهد. مراحل فوق در رابطه زیر خلاصه می‌شود (مک‌گائر، ۱۹۹۵):

(۱)

$$\gamma(y) = \sum_{i=1}^N v_i \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_{r=0}^{r=\infty} f_i(m) f_i(r) P(Y > y | m, r) dr dm,$$

که، $\gamma(y)$ تعداد دفعات افزایش از سطح جنبش زمین، y در دوره تناوب زمانی t و N تعداد چشمه‌ها است. v_i آهنگ متوسط رویداد زمین لرزه‌ها با بزرگی محدود

۲ فهرست‌نامه زمین لرزه‌ها در گستره مورد بررسی اولین قدم در بررسی لرزه‌خیزی برای هر گستره، تهیه فهرست‌نامه (کاتالوگ) زمین لرزه‌های آن گستره درحکم اطلاعات ورودی پایه است. پس از فرآوری این داده‌ها (بررسی عدم قطعیت‌ها و آزمون کامل بودن) به منظور تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی برای درک قوانین عمومی مربوط به وقوع زمین لرزه و تحلیل خطر زمین لرزه، بیشینه شتاب و یا شتاب طیفی در گستره موردنظر محاسبه می‌شود. این امر اهمیت فهرست‌نامه زمین لرزه‌ها را نشان می‌دهد. برای بالا بردن کیفیت نتایج ارزیابی پارامترهای لرزه‌خیزی و به تبع آن، برآورد شتاب طیفی، باید کیفیت و کمیت فهرست‌نامه زمین لرزه‌ها ارزیابی شود. برای اینکه از فهرست‌نامه با کیفیتی برخوردار باشیم باید تا جایی که ممکن است کامل باشد. از طرفی دیگر لازم است که فهرست‌نامه یکنواخت باشد، یعنی برای بیان بزرگی زمین لرزه‌ها از مقیاس بزرگی مناسب و یکسان استفاده شود. در این مقاله برای بررسی لرزه‌خیزی گستره موردنظر، در ابتدا، با استفاده از منابع اطلاعات جهانی و محلی فهرست‌نامه یکنواختی از زمین لرزه‌های رویداده در گستره مورد بررسی مشتمل بر زمین لرزه‌های تاریخی (قبل از سال ۱۹۰۰) و زمین لرزه‌های دستگاهی از ۱۹۰۰ تا انتهای ۲۰۰۹ تهیه شده است. در این مرحله از نظر اولویت و اعتبار به ترتیب داده‌های تاریخی و دوره نخست دستگاهی (۱۹۰۰-۱۹۶۳) بر پایه کار آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، داده‌های مرکز بین المللی زلزله‌شناسی (International Seismological Center, ISC) و مرکز اطلاعات زلزله سازمان زمین‌شناسی امریکا (National Earthquake Information Center, NEIC)، مورد توجه قرار گرفت. فهرست‌نامه به‌دست آمده شامل ۱۰ زمین لرزه تاریخی، ۵ زمین لرزه مربوط به دوره نخست دستگاهی (۱۹۰۰-۱۹۶۳) و ۳۳۱ زمین لرزه مربوط به دوره جدید دستگاهی (بعد از ۱۹۶۳) است. بزرگ‌ترین زمین لرزه



شکل ۱. نقشه لرزه‌زمن‌ساختی گستره مورد بررسی (دهقان و همکاران، ۱۳۹۱). (نواحی شماره ۱ و ۲ به ترتیب آن گستره مورد بررسی هستند که در ایالت لرزه‌زمن‌ساختی ایران مرکزی-شرق ایران و زاگرس قرار می‌گیرند. این دو ناحیه را گسل اصلی معکوس زاگرس از هم جدا می‌کند.)

۱-۴ برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی

برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی در مواردی که داده‌های مربوط به زمین‌لرزه‌ها کامل نیست و در طول زمان میزان کامل بودن آنها متفاوت است، از دهه ۱۹۸۰ مورد توجه قرار گرفت و راه‌حلهایی برای ارتقا کیفیت برآوردهای حاصل عرضه شد. کیجکو و سلفول (۱۹۹۲) روشی را عرضه کردند که امکان دخالت عدم قطعیت بزرگی زمین‌لرزه‌ها توأم با بزرگی آستانه و بیشینه بزرگی در دوره تناوب‌های زمانی متفاوت را برای ارزیابی پارامترهای لرزه‌خیزی فراهم می‌آورد. با استفاده از این روش پارامترهای لرزه‌خیزی گستره موردنظر محاسبه و نتایج در جدول ۱ عرضه شده است.

۲-۴ چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در گستره مورد

بررسی

شکل هر چشمه زمین‌لرزه را بسته به میزان شناخت و توانایی در تعیین آن، می‌توان به صورت نقطه‌ای، خطی، پهنه‌ای و یا حجمی تعریف کرد (ریتر، ۱۹۹۰). به‌طور خلاصه، برای تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه، باید با اتخاذ تدابیر مناسب، از همه اطلاعات زمین‌شناسی، زمین‌ساختی، زلزله‌شناسی و ژئوفیزیکی موجود استفاده شود. در عمل، نقشه‌های زمین‌ساختی و نقشه رومرکز زمین‌لرزه‌ها در نقش راهنما مورد استفاده قرار می‌گیرد و تصمیم‌نهایی در مورد چگونگی مدل کردن و هندسه چشمه‌های زمین‌لرزه براساس سایر اطلاعات و مدارک علمی موجود، و همچنین، به‌نحو چشمگیری بر پایه دیدگاه‌ها و تجربیات پژوهشگران صورت می‌پذیرد (میرزائی، ۱۳۸۵). دو فرض کلیدی در تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه مدنظر است:

فرض اساسی اول، فرض تکرار زمین‌لرزه‌ها است: این فرض دلالت بر این مطلب دارد که زمین‌لرزه‌های اصلی

به M_{min} و M_{max} ناشی از چشمه نام، $f_i(m)$ تابع چگالی احتمال بزرگی زمین‌لرزه‌ها، $f_i(r)$ تابع چگالی احتمال برای فاصله بین چشمه‌نام تا ساختگاه و $P(Y > y | m, r)$ احتمال افزایش جنبش زمین برای زمین‌لرزه‌ای با بزرگی m و فاصله r از سطح جنبش زمین، یعنی r است.

۴ روش تحلیل خطر احتمالاتی اصلاح شده

روش احتمالاتی مرسوم برای تحلیل خطر زمین‌لرزه، در عمل با مشکلاتی مواجه می‌شود که عمدتاً به علت کمبود داده‌های زمین‌لرزه‌ای در دسترس برای تحقیقات لرزه‌خیزی در چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه است. محققان چینی برای غلبه بر مشکلات روش احتمالاتی مرسوم و به‌منظور ایجاد بازتاب واقعی ناهمگنی لرزه‌خیزی در زمان و مکان، اصلاحاتی در این روش صورت داده‌اند. روش احتمالاتی اصلاح شده دارای سه مرحله اساسی زیر است (شی و همکاران، ۱۹۹۲):

۱- تعیین ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی. پارامترهای لرزه‌خیزی شامل مقدار b ، آهنگ رویداد میانگین سالانه (λ) و بیشینه بزرگی (M_{max}) در هر یک از ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی تعیین می‌شود.

۲- تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی و برآورد M_{max} در هر چشمه. برای هر بازه بزرگی در هر یک از چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه تابع توزیع مکانی برآورد می‌شود.

۳- تقسیم ناحیه موردنظر به شبکه‌ای از نقاط و برآورد خطر زمین‌لرزه برای هر نقطه شبکه. با استفاده از مشخصات فعالیت لرزه‌ای در هر ایالت لرزه‌زمین‌ساختی و چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه، و نیز استفاده از رابطه تضعیف جنبش زمین، خطر زمین‌لرزه در هر نقطه شبکه برآورد می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای لرزه‌خیزی در گستره مورد بررسی.

پارامترهای لرزه‌خیزی	β	b	λ	M_{min}	M_{max}
ایران مرکزی-شرق ایران (ناحیه شماره ۱)	$1/87 \pm 0/28$	$0/81 \pm 0/12$	$0/480 \pm 0/129$	۳	$7/80 \pm 1/74$
زاگرس (ناحیه شماره ۲)	$2/19 \pm 0/1$	$0/95 \pm 0/05$	$4/976 \pm 0/413$	۳	$7/40 \pm 0/67$
کل گستره	$2/17 \pm 0/1$	$0/94 \pm 0/04$	$5/272 \pm 0/422$	۳	$7/17 \pm 0/63$

۴- در مواردی که در منطقه‌ای یک زون گسلی (مجموعه‌ای از گسل‌های نزدیک به هم) موجود است، به طوری که زمین‌لرزه‌های رخ داده را نتوان با قطعیت به یک گسل خاص نسبت داد، مجموعه این ساخت‌ها در زون گسلی را در حکم ساخت متمرکز و به صورت یک چشمه بالقوه زمین‌لرزه در نظر می‌گیرند.

در این تحقیق با استفاده از معیارهای فوق و با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، و فهرست‌نامه زمین‌لرزه‌ها، مجموعاً ۱۸ چشمه بالقوه زمین‌لرزه در گستره اصفهان به منظور تحلیل خطر زمین‌لرزه مدل شده است (شکل ۲).

۴-۲-۱ تابع توزیع مکانی (Spatial distribution function)

به منظور توجه به ناهمگنی لرزه‌خیزی در زمان و مکان و پرهیز از برآوردهای با عدم قطعیت زیاد در محاسبات مربوط به تحلیل خطر زمین‌لرزه، باید سهم هر چشمه بالقوه زمین‌لرزه از آهنگ متوسط سالانه رویداد زمین‌لرزه‌ها در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی، در هر محدوده بزرگی تعیین شود. این سهم‌دهی با تابع توزیع مکانی صورت می‌گیرد (شی و همکاران، ۱۹۹۲). عوامل گوناگونی را می‌توان در ارزیابی تابع توزیع مکانی دخالت داد. با توجه به داده‌های موجود در ایران، تابع توزیع مکانی بر پایه: ۱- میزان اطمینان از چشمه بالقوه زمین‌لرزه تعیین شده (K_1)، ۲- جایگاه زمین

ترجیحاً در نزدیکی محل رویداد زمین‌لرزه‌های گذشته به وقوع می‌پیوندند. به گونه‌ای که اگر زمین‌لرزه‌ای روی یک گسل اتفاق افتاده باشد، احتمال رویداد زمین‌لرزه روی آن گسل با فاصله نزدیک به مرکز زمین‌لرزه قبلی به مراتب بیشتر از مناطق دور از گسل است (کیگان و جکسون، ۱۹۹۴؛ میرزائی و همکاران، ۱۹۹۹). فرض اساسی دوم، دلالت بر این دارد که ساخت‌های با ویژگی‌های زمین‌ساختی مشابه می‌توانند زمین‌لرزه‌های با بزرگی مشابه ایجاد کنند و فقدان ثبت زمین‌لرزه روی یک ساخت زمین‌شناسی نشان‌دهنده رخ ندادن زمین‌لرزه روی آن نخواهد بود. بنابراین، گستره‌ای که در آن زمین‌لرزه‌ای به ثبت نرسیده است، ممکن است به صورت چشمه بالقوه زمین‌لرزه‌ای ارزیابی شود که بیشینه زمین‌لرزه آن همانند چشمه زمین‌لرزه‌ای که از نظر ویژگی‌های زمین‌ساختی مشابه آن بوده و در آن زمین‌لرزه قوی به ثبت رسیده است باشد (میرزائی و همکاران، ۱۹۹۹).

برای تعیین چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه از معیارهای دیگری نیز استفاده می‌شود که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (میرزائی و همکاران، ۱۹۹۹؛ خادم الفقرا، ۱۳۸۵):

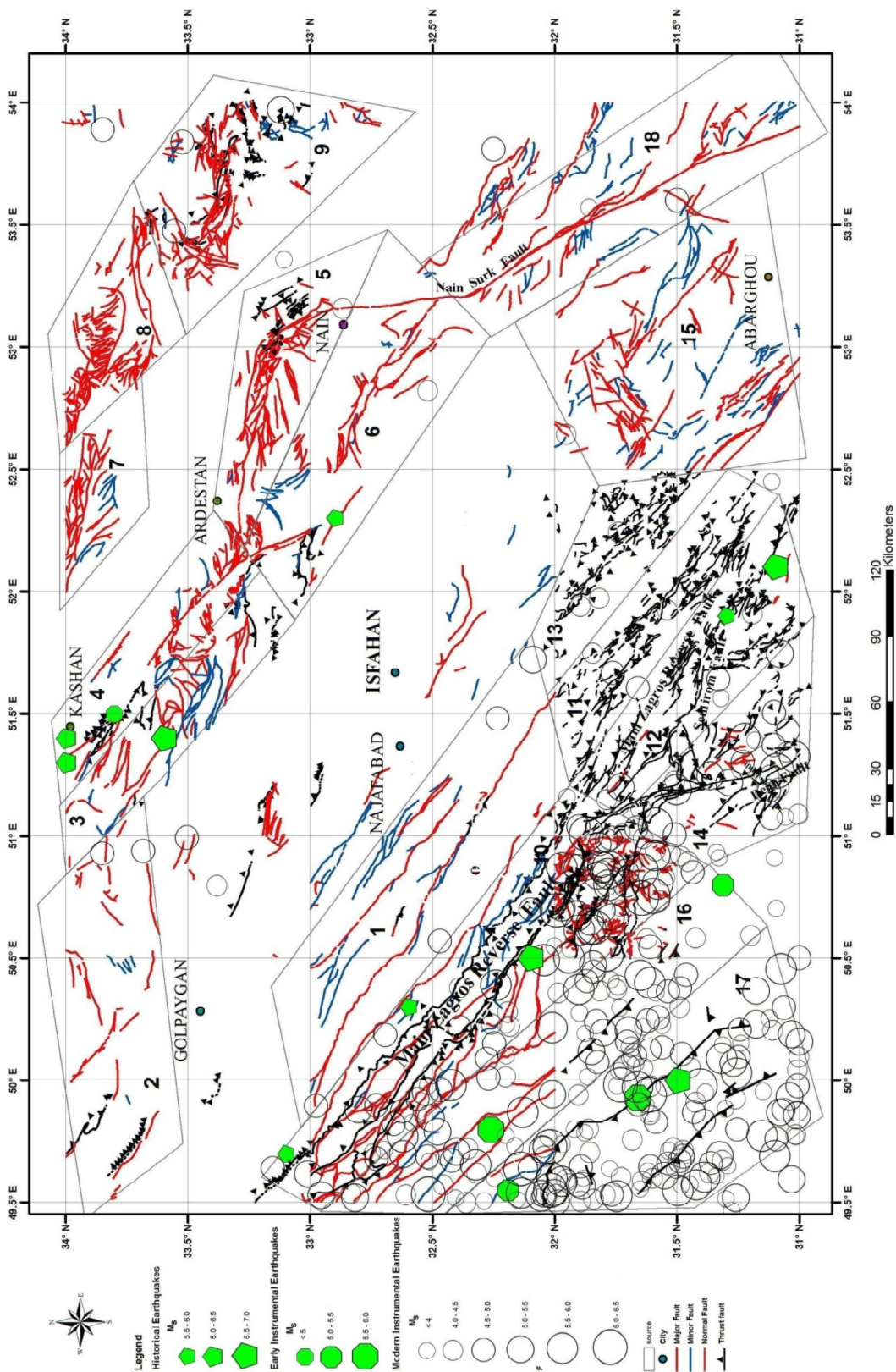
۱- گسترش گسل‌ها (طول گسل، شیب گسل و سمت

شیب گسل)

۲- سازوکار گسل‌ها (نرمال، معکوس، امتدادلغز

و مانند آن)

۳- عمق لرزه‌زایی



شکل ۲. چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در گستره اصفهان.

متوسط آهنگ رویداد سالانه در بازه بزرگی λ_{m_j} در ایالت لرزه زمین ساختی از رابطه زیر به دست می آید (گائو، ۱۹۸۸؛ شی و جانگ، ۱۹۹۶):

$$\lambda_{m_j} = \frac{2\lambda \exp[-\beta(m_j - M_{\min})] \sinh(0.5\beta\Delta M)}{1 - \exp[-\beta(M_{\max} - M_{\min})]}, \quad (4)$$

که $\beta = b \ln 10$ (مقدار b در رابطه بزرگی - فراوانی گوتبرگ-ریشتر)، λ آهنگ رویداد زمین لرزه در ایالت لرزه زمین ساختی برای زمین لرزه های برابر و بزرگ تر از m_j, M_{\min} میان مقدار محدوده بزرگی ΔM و M_{\min} کمینه سینوس هذلولوی، ΔM محدوده بزرگی و M_{\min} کمینه (کوچک ترین) بزرگی اثر گذار بر سازه های مهندسی و M_{\max} بیشینه (بزرگ ترین) زمین لرزه مورد انتظار در ایالت لرزه زمین ساختی است. در چشمه بالقوه زمین لرزه ΔM ، متوسط آهنگ رویداد سالانه λ_{m_j} محدود به بزرگی از رابطه زیر به دست می آید (گائو، ۱۹۸۸؛ شی و جانگ، ۱۹۹۶):

(5)

$$\lambda_{l,m_j} = \frac{2\lambda \exp[-\beta(m_j - M_{\min})] \sinh(0.5\beta\Delta M)}{1 - \exp[-\beta(M_{\max} - M_{\min})]} f_{l,m_j},$$

که λ_{l,m_j} و f_{l,m_j} به ترتیب متوسط آهنگ رویداد سالانه و تابع توزیع مکانی محدوده بزرگی ΔM در چشمه بالقوه زمین لرزه ΔM هستند.

برای تعیین بیشینه زمین لرزه مورد انتظار در هر چشمه، ابتدا M_{\max} هر چشمه با استفاده از رابطه تجربی ولز و کوپراسمیت (۱۹۹۴)، که به طور عام برای انواع گسلش ها عرضه شده، برآورد شده است (رابطه ۶):

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 5.08 + 1.16 \text{Log}L, \\ 5.1 &\leq M \leq 8.1 \\ 1.3 &\leq L \leq 432 \text{ Km} \end{aligned} \quad (6)$$

بدین منظور، طول بزرگ ترین قطعه گسلی (L) واقع در هر چشمه برحسب کیلومتر در این روابط وارد شده است. همچنین، با توجه به بیشینه زمین لرزه مشاهده شده در هر

زمین ساختی چشمه بالقوه زمین لرزه (K_2)، ۳- عنصرهای ساختاری (K_3) و ۴- خصوصیات فعالیت لرزه ای (K_4) تعیین شده است. این موارد را فاکتورهای کنترل کننده تابع توزیع مکانی نیز می نامند (میرزائی، ۱۹۹۷).

۴-۲-۱-۱ برآورد تابع توزیع مکانی

روش محاسبه تابع توزیع مکانی براساس عوامل کنترل کننده، بر پایه روش جمع بندی با وزن های مساوی (Equal Weight Summation)، را این (۱۹۹۳)، با سه مرحله زیر عرضه کرده است:

۱- برای فاکتور انتخابی ΔM ، و هر محدوده بزرگی ΔM با مقدار میانی m_j در چشمه بالقوه ΔM یک ضریب توزیع، $W_{l,m_j,k}$ ، نسبت داده می شود، که میزان نسبی سهم آهنگ رویداد را نشان می دهد.

۲- در هر ایالت لرزه زمین ساختی برای به دست آوردن سهم نسبی به سهم کل، ضرایب توزیع مرحله اول به هنجار (نرمالیزه) می شوند تا میزان اثر ضریب ΔM (که بار عامل نامیده شده است) تعیین شود:

$$Q_{l,m_j,k} = \frac{W_{l,m_j,k}}{\sum_l W_{l,m_j,k}}, \quad (2)$$

۳- از مجموع آثار ضریب ΔM ، در هر چشمه یعنی $\sum_k Q_{l,m_j,k}$ ، آثار (بار) کلی، یعنی، $R_{l,m_j} = \sum_k Q_{l,m_j,k}$ ، در هر ایالت لرزه زمین ساختی به هنجار می شود تا تابع توزیع مکانی برای محدوده بزرگی ΔM در هر چشمه بالقوه ΔM به دست آید:

$$f_{l,m_j} = \frac{R_{l,m_j}}{\sum_l R_{l,m_j}}, \quad (3)$$

این مقدار (تابع توزیع مکانی)، ضریبی است که با آن چشمه بالقوه ΔM ایالت لرزه زمین ساختی از آهنگ رویداد زمین لرزه برای بازه بزرگی ΔM سهم می گیرد.

دوره دوره تناوب یا بسامد طبیعی، به دست می‌دهند. رابطه تضعیف دونوان (۱۹۷۳) نمونه‌ای از این روابط تضعیف است.

۲- گروه دوم روابط تضعیف پارامترهای جنبش زمین (بیشینه شتاب، بیشینه سرعت و بیشینه جابه‌جایی) را به صورت طیفی برحسب دوره تناوب یا بسامد طبیعی به دست می‌دهند. در این گروه از روابط، بیشینه پارامتر جنبش زمین (اغلب بیشینه شتاب افقی)، برای دوره تناوب‌های متفاوت به دست می‌آید. پارامترهای جنبش نیرومند زمین مورد توجه در این گروه از روابط تضعیف، مؤلفه‌های قائم و افقی بیشینه شتاب جنبش زمین (PGA)، بیشینه سرعت جنبش زمین ($Peak\ Ground\ PGV$ $Velocity$) و یا پاسخ طیفی بیشینه شتاب مطلق با میرایی خاص ($Peak\ Spectral\ Acceleration, PSA$) که بیشینه شتاب طیفی نامیده می‌شود، هستند. روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳، ۲۰۰۶)، و نیز روابط تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، نمونه‌هایی از این روابطند. روابط تضعیف دسته اول، معادل روابط تضعیف دسته دوم برای دوره تناوب صفر هستند.

در این تحقیق، با توجه به هدف بررسی که برآورد شتاب طیفی است، از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، به علت دخیل بودن داده‌های ایران در آنها استفاده شده است. در روابط کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) از مولفه‌های افقی ۴۹ زمین‌لرزه رویداده در سراسر جهان استفاده شده است که در بین آنها داده‌های زمین‌لرزه طیس (۱۹۷۸) و زمین‌لرزه رودبار-منجیل (۱۹۹۰) نیز دیده می‌شود. در رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، از داده‌های زمین‌لرزه‌های طیس (۱۹۷۸)، رودبار-منجیل (۱۹۹۰)، زنجیران (۱۹۹۴) و آوج (۲۰۰۲) استفاده شده است که در مقایسه با رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) داده‌های بیشتری از ایران در آن مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از این روابط تا

چشمه، بیشینه زمین‌لرزه مورد انتظار در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی مربوط و نیز شواهد زمین‌ساختی، بیشینه بزرگی هر چشمه با قضاوت برآورد شده است (جدول ۲).

جدول ۲. بیشینه بزرگی چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه در گستره مورد بررسی.

شماره چشمه	طول چشمه ^۱ (Km)	M_{max} (برحسب طول)	M_{max}^{obs}	M_{max}^{Final}
1	120	7.49	4.5	7.0
2	33	6.84	4.0	6.5
3	49.7	7.05	6.4	7.3
4	55.4	7.10	6.2	7.4
5	55	7.09	3.7	6.5
6	80.5	7.29	5.7	7.0
7	47.3	7.02	-	6.0
8	51.8	7.07	-	6.0
9	46	7.00	4.5	6.5
10	205	7.76	6.5	7.4
11	78.5	7.27	4.0	6.5
12	92.6	7.36	6.6	7.4
13	51	7.06	4.2	6.5
14	73.1	7.24	5.2	7.0
15	68.5	7.18	-	6.5
16	95	7.37	5.7	7.4
17	102	7.40	6.8	7.4

۱ منظور طول بزرگ‌ترین قطعه گسلی، در چشمه بالقوه زمین‌لرزه است.

در تعیین بیشینه بزرگی نهایی، این اصل که بیشینه بزرگی چشمه بالقوه زمین‌لرزه از بیشینه بزرگی ایالت لرزه‌زمین‌ساختی خود نباید بیشتر باشد، در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، در مواردی که بیشینه بزرگی ای که با رابطه (۶) به دست آمده بیشتر از M_{max} ایالت لرزه‌زمین‌ساختی آن چشمه باشد، M_{max} ایالت لرزه‌زمین‌ساختی جایگزین آن شده است.

۵ انتخاب رابطه تضعیف مناسب

روابط تضعیفی را که امروزه وجود دارند، می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:

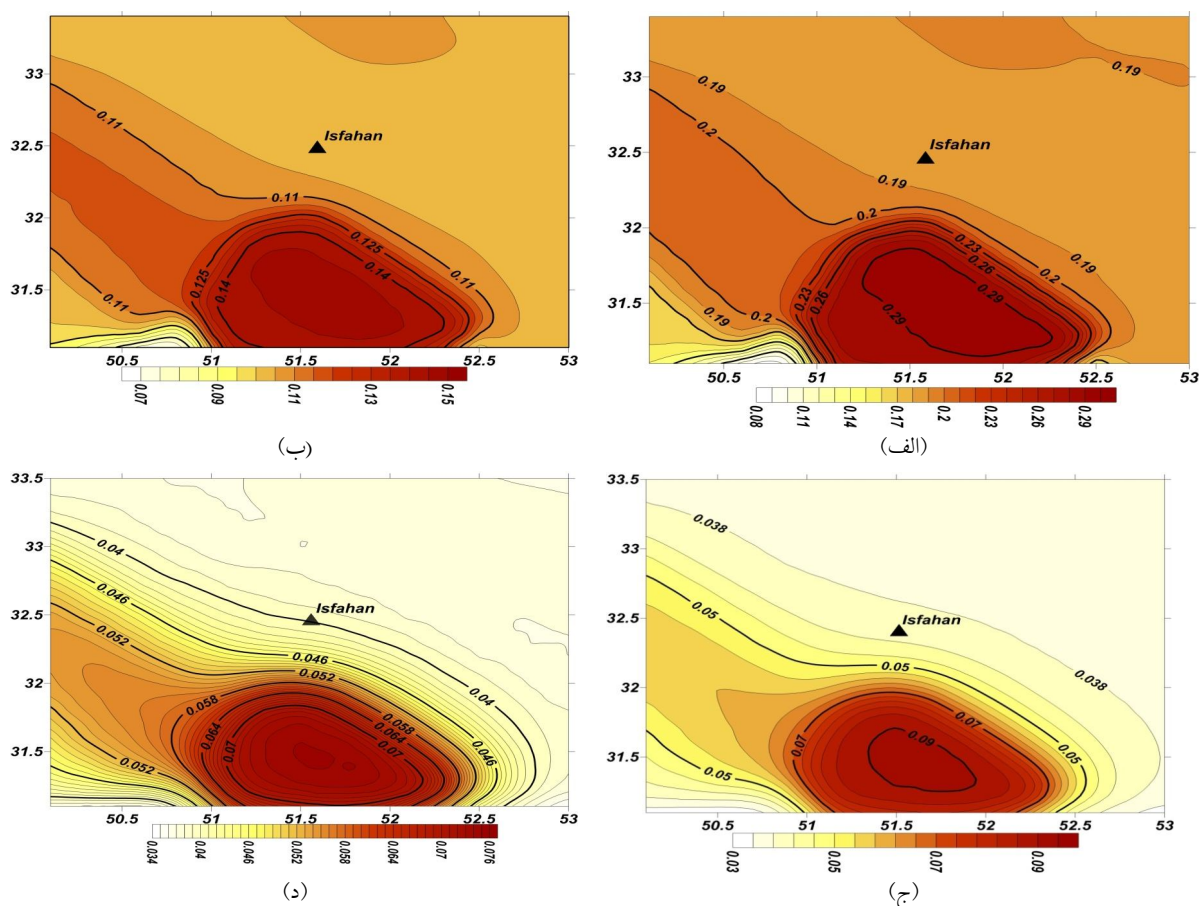
۱- روابط تضعیفی که پارامترهای جنبش زمین را به صورت بیشینه پارامتر جنبش زمین و بدون در نظر گرفتن

ساختگاه‌های واقع بر گره‌های شبکه برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال و ۶۳٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال به دست آمد (شکل ۳). بدین منظور از نرم افزار *EZ-FriskTM* استفاده شده است. برای تحلیل خطر گستره مورد نظر، در این نرم افزار، برای هر کدام از چشمه‌های بالقوه زمین لرزه، هندسه (مختصات) چشمه، آهنگ رویداد زمین لرزه (با توجه به ساختار نرم افزار *EZ-FriskTM*، آهنگ رویداد زمین لرزه برای هر چشمه بر پایه مفهوم تابع توزیع مکانی، برای بازه بزرگی بین زمین لرزه زمینه (*Background Seismicity*) و M_{max} محاسبه شده

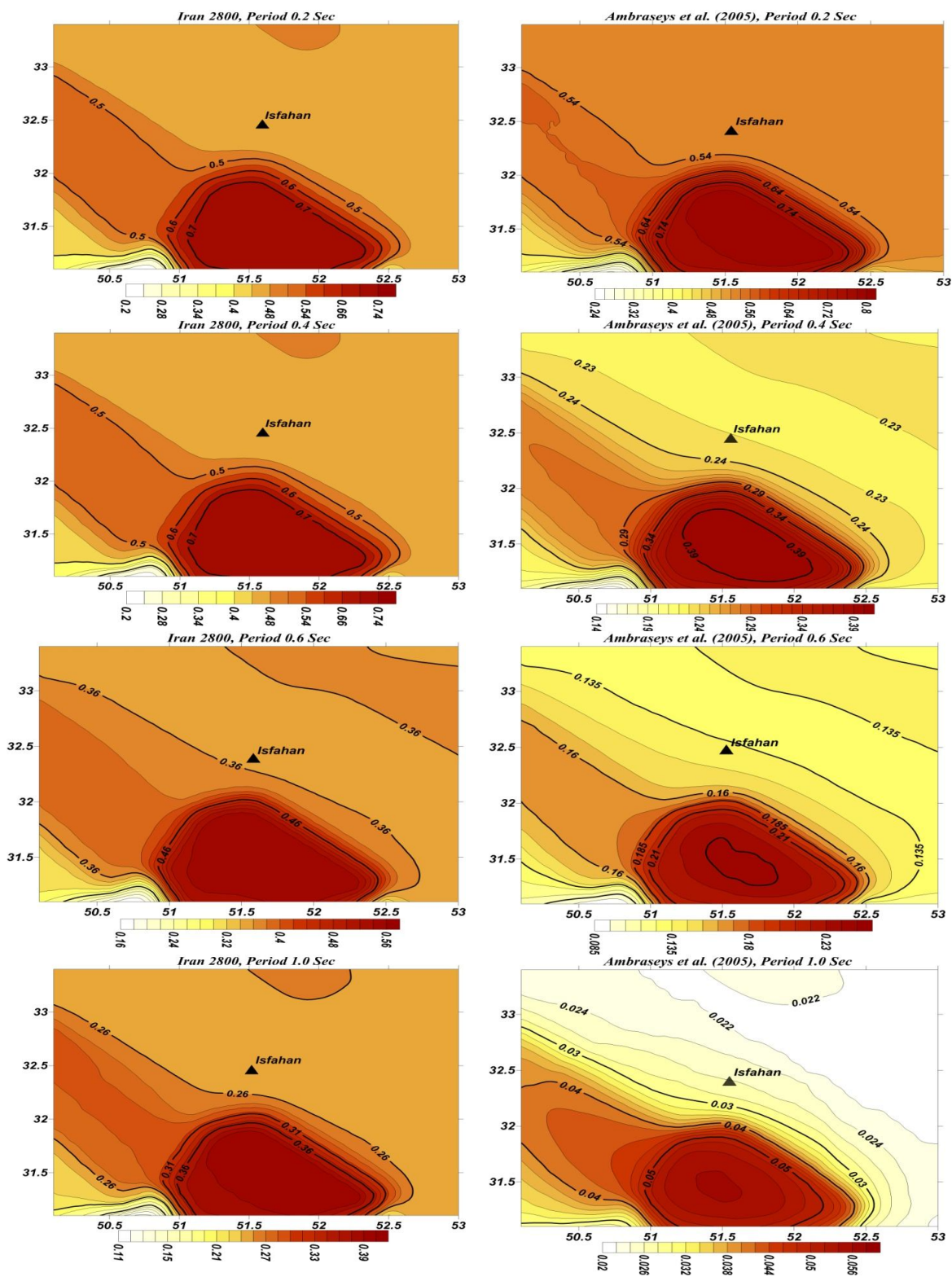
فاصله ۱۰۰ کیلومتری قابل اطمینان است (کمبل و بزرگنیا، ۲۰۰۳؛ آمبرسیز و همکاران، ۲۰۰۵).

۶ پهنه بندی خطر زمین لرزه در گستره مورد بررسی و برآورد شتاب طیفی

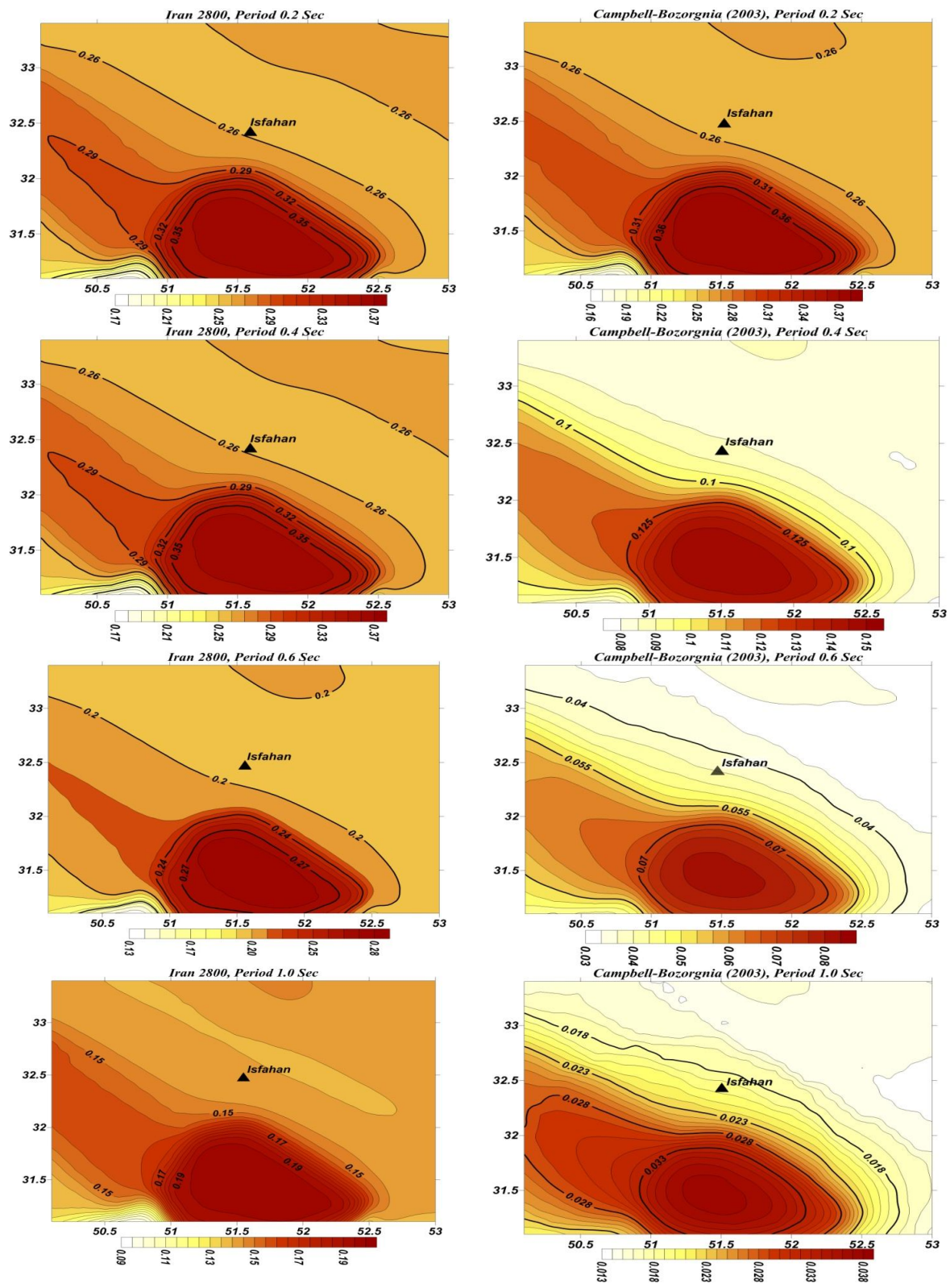
در این تحقیق، به منظور پهنه بندی خطر زمین لرزه برای گستره مورد نظر، ابتدا، منطقه به فاصله ۰/۱ درجه طول و عرض جغرافیایی شبکه بندی شد و سپس، با استفاده از رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و نیز رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) شتاب افقی در



شکل ۳. پهنه بندی زمین لرزه‌ای بیشینه شتاب جنبش زمین در گستره اصفهان و نواحی مجاور برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال، با استفاده از: (الف) رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، (ب) رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و برای ۶۳٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال، با استفاده از: (ج) رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) و (د) رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳).



شکل ۴. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ای شتاب طیفی در گستره اصفهان و نواحی مجاور برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال، با استفاده از رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) (سمت راست) و با استفاده از ضرایب آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (سمت چپ).



شکل ۵. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ای شتاب طیفی در گستره اصفهان و نواحی مجاور برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال، با استفاده از رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) (سمت راست) و با استفاده از ضرایب آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (سمت چپ).

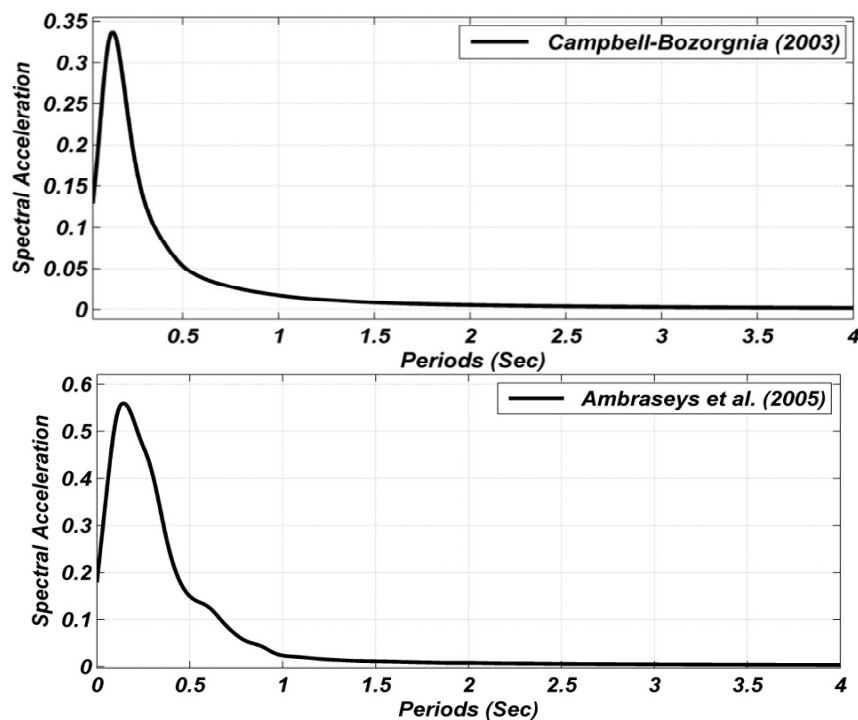
روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) به دست آمده و در شکل ۶ آورده شده است. همان طور که دیده می شود، بیشترین شتاب برای شهر اصفهان با استفاده از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) در دوره تناوب ۰/۱ ثانیه و با استفاده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) در دوره تناوب ۰/۱۱ ثانیه حاصل می شود. این بدان معنی است که محتوای بسامدی شتاب حاصل از دو رابطه تضعیف، یکسان است. به عبارت دیگر، اگر به روش معکوس تاریخچه های زمانی شتاب به این طیف ها نسبت داده شوند، همه آن تاریخچه ها محتوای بسامدی یکسانی خواهند داشت.

۷ مقایسه نتایج با شتاب طیفی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران و IBC امریکا

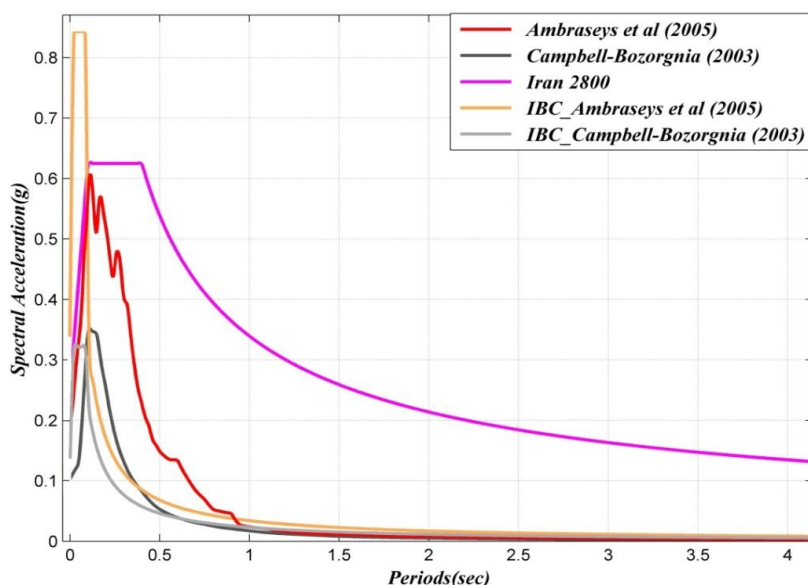
شتاب طیفی مورد انتظار در شهر اصفهان برای دوره

است. $\beta (bLn10)$ ، M_{min} و M_{max} و مقیاس بزرگی زمین لرزه های هر چشمه در حکم اطلاعات ورودی داده می شود و در ادامه با انتخاب رابطه تضعیف و دوره تناوب های مورد نظر، با حل معادله (۱) تحلیل خطر برای گستره تعیین شده، انجام می پذیرد. مقایسه تحلیل خطر زمین لرزه حاصل از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) نشان می دهد که از رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) مقادیر بزرگ تری برای جنبش زمین حاصل می شود. شتاب مبنای طرح در گستره مورد مطالعه با استفاده از رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) در بیشترین مقدار به $0/29g$ می رسد. این در حالی است که با استفاده از رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) این مقدار در حدود $0/14g$ است (شکل های ۳ تا ۵).

شتاب طیفی برای شهر اصفهان (یک ساختگاه معین) برای دوره تناوب های متفاوت و خاک نوع I با استفاده از



شکل ۶. نمودار هموار شده شتاب طیفی خاک نوع I برای شهر اصفهان با استفاده از روابط کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال.



شکل ۷. مقایسه شتاب‌های طیفی حاصل از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و آیین‌نامه IBC آمریکا برای شهر اصفهان.

(۲۰۰۵) برای گستره مورد بررسی رابطه قابل اطمینان‌تری است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای دوره تناوب‌های بیشتر از ۰/۱ ثانیه مقادیر بیشتری را نسبت به شتاب‌های طیفی برآورد شده از روش‌های دیگر (کمبل و بزرگنیا، ۲۰۰۳؛ آمبرسیز و همکاران، ۲۰۰۵؛ IBC آمریکا) نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه صورت گرفته در این پژوهش، علت این تفاوت را می‌توان به نبود دقت کافی در شتاب طیفی حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران نسبت داد که این خود به نبود دقت کافی در ضریب بازتاب آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای گستره مورد بررسی، بر می‌گردد.

۷ بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله گستره $49^{\circ}5' - 54^{\circ}E$ و $31^{\circ} - 34^{\circ}1'N$ که در دو ایالت لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس و ایران مرکزی-شرق ایران قرار گرفته است، برای بررسی لرزه‌خیزی و در نهایت برآورد شتاب طیفی در منطقه اصفهان انتخاب شده است. فهرست‌نامه یکنواختی از زمین‌لرزه‌های گستره مورد بررسی تهیه شده و محاسبه پارامترهای لرزه‌خیزی در هر

تناوب‌های متفاوت (جدول ۳) با استفاده از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) محاسبه و با شتاب طیفی به‌دست آمده از ضرایب آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و روش آیین‌نامه IBC آمریکا در جدول ۳ و شکل ۷ مقایسه شده است. شتاب طیفی به‌دست آمده از روش آیین‌نامه IBC آمریکا هم براساس PGA حاصل از رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و هم براساس PGA حاصل از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) محاسبه شده است. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، تا دوره تناوب ۰/۱ ثانیه مقادیر شتاب طیفی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و مقادیر به‌دست آمده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) نزدیکی قابل‌قبولی با یکدیگر دارند. شتاب طیفی حاصل از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) مقدار کمتری نسبت به شتاب طیفی به‌دست آمده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) نشان می‌دهد. با توجه به این موضوع و نیز دخیل بودن داده‌های کمتری از ایران در تعیین رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) نسبت به رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، رابطه آمبرسیز و همکاران

ایالت با اعمال آستانه کامل بودن و عدم قطعیت داده‌ها صورت گرفته است. سپس، با تهیه نقشه گسل‌ها و سایر داده‌های زلزله‌شناسی، نقشه‌ای از چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه برای منطقه اصفهان تهیه شده است. با استفاده از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) و براساس روش احتمالاتی اصلاح شده، نقشه‌های پهنه‌بندی شتاب طیفی زمین‌لرزه برای سطح طراحی ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال، در دوره تناوب‌های صفر (PGA)، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۱ ثانیه تهیه شد. بیشینه شتاب افقی (PGA) در شهر اصفهان برای ۱۰٪ احتمال افزایش در ۵۰ سال با استفاده از رابطه تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) برابر ۰/۱g و با استفاده از رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) برابر ۰/۱۹g بدست آمده است. علت استفاده از این روابط تضعیف بکار رفتن داده‌های ایران در تعیین آن‌ها، و همچنین، قابل استفاده بودن برای دوره تناوب‌های مورد نظر این مقاله بوده است که باعث افزایش دقت محاسبات در برآورد شتاب طیفی در گستره مورد مطالعه شده است.

با اعمال ضریب بازتاب آیین‌نامه ۲۸۰۰ بر نقشه پهنه‌بندی دوره تناوب صفر که با رابطه تضعیف مربوط تهیه شده است، نقشه‌های پهنه‌بندی برای دوره تناوب‌های دیگر به‌دست آمده و با نتایج روش مستقیم مبنی بر استفاده از روابط تضعیف مقایسه شده است. نقشه‌های پهنه‌بندی گستره مورد بررسی برای دوره‌های ۰/۲ و ۰/۴ ثانیه، با توجه به ضرایب بازتاب یکسان آنها در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران مشابه است. این در حالی است که، شتاب طیفی به‌دست آمده به‌صورت مستقیم از روابط تضعیف، برای این دو دوره با هم متفاوت است، به‌طوری‌که شتاب‌های حاصل از دوره تناوب ۰/۴ ثانیه مقدار کمتری را نسبت به دوره تناوب ۰/۲ ثانیه نشان می‌دهد.

شتاب طیفی حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در همه دوره‌ها مقدار بیشتری نسبت به شتاب طیفی حاصل از

روابط تضعیف به کار رفته در این مقاله نشان می‌دهد و اختلاف نتایج با افزایش دوره تناوب افزایش می‌یابد. فقط، شتاب طیفی در دوره تناوب ۰/۲ ثانیه به‌دست آمده از رابطه تضعیف آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، در بخش‌هایی از گستره موردنظر بیشتر از شتاب طیفی به‌دست آمده از ضرایب آیین‌نامه ۲۸۰۰ است؛ به‌گونه‌ای که بیشینه شتاب افقی در پاره‌ای از نقاط این گستره به عدد ۰/۸ می‌رسد، درحالی‌که برای همین نقاط، شتاب طیفی به‌دست آمده از ضریب آیین‌نامه ۲۸۰۰ بیش از ۰/۷۳ نیست. شتاب طیفی به‌دست آمده از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) برای دوره تناوب ۰/۲ ثانیه تقریباً با شتاب طیفی حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برابر است؛ اما، اختلاف این دو شتاب طیفی (شتاب طیفی حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ و شتاب طیفی حاصل از هرکدام از روابط تضعیف) برای دوره تناوب‌های بزرگ‌تر، افزایش می‌یابد و مقادیر حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ همواره بیشتر است.

در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه، بیشترین شتاب طیفی که به‌صورت مستقیم از روابط تضعیف به‌دست آمده است، در دوره تناوب ۰/۲ ثانیه مشاهده می‌شود و در سایر دوره تناوب‌ها شتاب طیفی با کاهش روبه‌رو است. این در حالی است که، شتاب طیفی حاصل از ضرایب بازتاب آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در دوره تناوب‌های ۰/۲ و ۰/۴ بیشترین مقدار را دارد و از دوره تناوب ۰/۴ ثانیه به بعد با کاهش مواجه می‌شود.

در منحنی شتاب طیفی شهر اصفهان، بیشترین شتاب با استفاده از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) در دوره تناوب ۰/۱ ثانیه برابر ۰/۳۵g و با استفاده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) در دوره تناوب ۰/۱۱ ثانیه برابر ۰/۶۱g حاصل می‌شود.

در صورت وجود رابطه تضعیف مناسب، محاسبه شتاب طیفی با استفاده از روابط تضعیف (برای سازه‌های معمولی) باعث کاهش زمان و افزایش دقت نتایج می‌شود،

چرا که اولاً، شتاب طیفی به طور مستقیم از روابط تضعیف به دست می آید و نیازی به محاسبه ضرایب بازتاب مربوط نیست، و ثانیاً، از آنجا که ضرایب محاسبه شده، خود دارای

عدم قطعیت هستند، محاسبه شتاب طیفی با این حاصل ضرب می تواند از دقت نتایج بکاهد.

جدول ۳. شتابهای طیفی حاصل از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)، آیین نامه ۲۸۰۰ ایران و آیین نامه IBC آمریکا برای دوره تناوبهای متفاوت در شهر اصفهان.

آمریکا 'IBC	آمریکا 'IBC	ایران ۲۸۰۰	آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)	کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳)	پریود (ثانیه)	آمریکا 'IBC	آمریکا 'IBC	ایران ۲۸۰۰	آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵)	کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳)	پریود (ثانیه)
0.019	0.028	0.169	0.016	0.300	1.2	0.128	0.338	0.250	0.187	0.103	PGA
0.018	0.026	0.160	0.014	0.285	1.3	0.321	0.845	0.325	0.240	0.113	0.02
0.016	0.024	0.152	0.012	0.271	1.4	0.321	0.845	0.363	0.279	0.120	0.03
0.015	0.023	0.146	0.012	0.259	1.5	0.321	0.845	0.400	0.310	0.125	0.04
0.014	0.021	0.139	0.011	0.248	1.6	0.321	0.845	0.438	0.336	0.130	0.05
0.014	0.020	0.134	0.010	0.238	1.7	0.321	0.845	0.475	0.362	0.169	0.06
0.013	0.019	0.129	0.009	0.229	1.8	0.321	0.845	0.513	0.405	0.213	0.07
0.012	0.018	0.124	0.008	0.221	1.9	0.321	0.845	0.550	0.506	0.257	0.08
0.012	0.017	0.120	0.008	0.214	2.0	0.321	0.845	0.588	0.496	0.304	0.09
0.011	0.016	0.116	0.008	0.207	2.1	0.230	0.340	0.625	0.571	0.351	0.10
0.010	0.015	0.113	0.007	0.201	2.2	0.153	0.227	0.625	0.498	0.344	0.15
0.010	0.015	0.110	0.007	0.195	2.3	0.115	0.170	0.625	0.521	0.254	0.20
0.010	0.014	0.106	0.006	0.189	2.4	0.092	0.136	0.625	0.456	0.176	0.25
0.009	0.014	0.104	0.006	0.184	2.5	0.077	0.113	0.625	0.397	0.132	0.30
0.009	0.013	0.101	0.006	0.179	2.6	0.066	0.097	0.625	0.311	0.102	0.35
0.009	0.013	0.098	0.005	0.175	2.7	0.058	0.085	0.625	0.228	0.083	0.40
0.008	0.012	0.096	0.005	0.171	2.8	0.051	0.076	0.578	0.179	0.065	0.45
0.008	0.012	0.094	0.005	0.167	2.9	0.046	0.068	0.539	0.148	0.053	0.50
0.008	0.011	0.092	0.005	0.163	3.0	0.042	0.062	0.505	0.136	0.045	0.55
0.007	0.011	0.090	0.005	0.160	3.1	0.038	0.057	0.477	0.134	0.039	0.60
0.007	0.011	0.088	0.005	0.156	3.2	0.035	0.052	0.452	0.106	0.034	0.65
0.007	0.010	0.086	0.004	0.153	3.3	0.033	0.049	0.430	0.084	0.031	0.70
0.007	0.010	0.084	0.004	0.150	3.4	0.031	0.045	0.411	0.069	0.028	0.75
0.007	0.010	0.083	0.004	0.147	3.5	0.029	0.043	0.394	0.052	0.025	0.8
0.006	0.009	0.081	0.004	0.144	3.6	0.027	0.040	0.378	0.049	0.023	0.85
0.006	0.009	0.080	0.004	0.142	3.7	0.026	0.038	0.364	0.046	0.021	0.90
0.006	0.009	0.078	0.004	0.139	3.8	0.024	0.036	0.351	0.027	0.019	0.95
0.006	0.009	0.077	0.004	0.137	3.9	0.023	0.034	0.339	0.024	0.017	1.0
0.006	0.009	0.076	0.004	0.135	4.0	0.021	0.031	0.318	0.021	0.014	1.1

۱ با استفاده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵).

۲ با استفاده از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳).

کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۳، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش ۳. انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

میرزائی، ن.، ۱۳۸۵، برآورد خطر و پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ای گستره تهران: نشر تدبیر.

Ambraseys, N. N., and Melville, C. P., 1982, A History of Persian Earthquakes: Cambridge University Press, Cambridge.

Ambraseys, N. N., Douglas, J., and Sarma, S. K., 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 Earthquake Engineering, **3**, 1-53.

Baker, J. W., and Cornell, C. A., 2006, Which spectral acceleration are you using?: Earthquake Spectra., **22**, 293-312.

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: Bull. Seism. Soc. Am., **93**, 314-331.

Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y., 2006, Campbell-Bozorgnia next generation attenuation (NGA) relations for PGA, PGV and spectral acceleration", Proceedings of the 8th: National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, CA, Paper 906.

Cornell, C. A., 1968, Engineering seismic risk analysis: Bull. Seism. Soc. Am., **58**, 1583-1606.

Donovan, N. C., 1973, A statistical evaluation of strong motion data including the February 9, 1971, San Fernando Earthquake, in Proc: 5th World Conf. Earthq. Eng., Rome, **1**, 1252-1261.

Gao, M., 1988, Discussion on annual occurrence rates, Developments in World Seismology, **1**, 1-5 (in Chinese).

Kagan, Y. Y., and Jackson, D. D., 1994, Long-term probabilistic forecasting of earthquakes, J. Geophys. Res., **99**, 13685-13700.

Kijko, A., and Sellevoll, M. A., 1992, Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files, Part II: Incorporation of magnitude heterogeneity: Bull. Seism. Soc. Am., **82**, 120-134.

مقایسه شتاب طیفی حاصل از روابط تضعیف کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) و آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) و شتاب طیفی به‌دست آمده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و IBC امریکا در دوره تناوب‌های متفاوت، به‌طور مشخص برای شهر اصفهان نشان می‌دهد که تا دوره تناوب ۰/۱ ثانیه، مقادیر شتاب طیفی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و مقادیر به‌دست آمده از رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) نزدیکی قابل‌قبولی با یکدیگر دارند. شتاب طیفی حاصل از رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳) کوچک‌تر از شتاب طیفی به‌دست آمده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و روابط آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) است. با توجه به این موضوع و نیز دخالت داده‌های کمتری از ایران در به‌دست آوردن رابطه کمبل و بزرگنیا (۲۰۰۳)، دیده می‌شود که رابطه آمبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) برای گستره مورد بررسی، مقادیر قابل اطمینان‌تری در اختیار قرار می‌دهد. شتاب طیفی به‌دست آمده از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران برای دوره تناوب‌های بیشتر از ۰/۱ ثانیه بزرگ‌تر از شتاب‌های طیفی برآورد شده از روش‌های دیگر (کمبل و بزرگنیا، ۲۰۰۳؛ آمبرسیز و همکاران، ۲۰۰۵ و IBC امریکا) است. با توجه به مقایسه صورت گرفته در این پژوهش، علت این تفاوت نبود دقت کافی در نتایج حاصل از آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران است که این خود به نبود دقت کافی در ضرایب بازتاب آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران، برای گستره مورد بررسی بر می‌گردد.

منابع

خادم الفقرا، ن.، ۱۳۸۵، برآورد خطر منطقه اصفهان به روش احتمالاتی: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران.

دهقان منشادی، س. ه.، میرزائی، ن. و اسکندری قادی، م.، ۱۳۹۱، مطالعه لرزه زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی منطقه

اصفهان: مجله فیزیک زمین و فضا، **۳۸**(۴)، ۱-۲۲.

- Wells, D. L., and Coppersmith, K. J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **84**, 974–1002.
- Yan, J., 1993, Principles and methods to determine spatial distribution function. In: *Proc. PRC/USSR Workshop on Geodynamics and Seismic Risk Assessment*, Beijing, pp. 159-167.
- McGuire, R. K., 2008, Probabilistic seismic hazard analysis: Early history, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, **37**, 329-338.
- Mirzaei, N., 1997, *Seismic Zoning of Iran*, Ph.D. dissertation in Geophysics, Institute of Geophysics, State Seismological Bureau, Beijing, People's Republic of China, 134 pp.
- Mirzaei, N., Gao, M., and Chen, Y. T., 1999, Delineation of potential seismic sources for seismic zoning of Iran: *J. Seismol.*, **3**, 17–30.
- McGuire, R. K., 1995, Probabilistic seismic hazard analysis and design earthquakes: closing the loop: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **85**, 1275–1284.
- Reiter, L., 1990, *Earthquake Hazard Analysis*: Columbia University Press, New York, 254 pp.
- Shabani, E., and Mirzaei, N., 2007, Probabilistic seismic hazard assessment of the Kermanshah-Sanandaj region of western Iran: *Earthquake Spectra*, **23**(1), 175-197.
- 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.
- Shi, Z., and Zhang, T., 1996, Seismic intensity zoning map of China, In: *Achievements of seismic hazard prevention and reduction in China*: Seismological Press, Beijing, pp. 143-164.