

ارزیابی ضرایب تبدیل شتاب زلزله‌ی طرح به شتاب‌های سطوح مختلف زلزله برای شهرستان‌های ساری و فریدون‌شهر

موسی محمودی‌صاحی* (استادیار)

ابوالفضل سلطانی (استادیار)

شهرام صیدی سیدشکری (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

مهندسی عمران شریف، (پاییز ۱۳۹۳)
دوره‌ی ۲-۳، شماره‌ی ۳، ص. ۱۳۵-۱۳۳، (پادداشت‌ش)ی

برای نیل به اهداف طراحی لرزه‌یی، شناخت سطوح مختلف زلزله ضروری است. با وجود این، در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌یی، عمدتاً شتاب مبنای زلزله‌ی طرح ارائه می‌شود و در مورد سطوح دیگر زلزله، صراحتاً اظهارنظر نمی‌شود. هدف این پژوهش، تعیین ضرایب تبدیل شتاب زلزله‌ی طرح (زلزله‌ی ۱٪) به شتاب‌های سطوح دیگر زلزله (۲، ۵، ۲۰، ۵۰ و ۶۴ درصد) است. برای رسیدن به این هدف، دو منطقه‌ی ساری و فریدون‌شهر انتخاب و نسبت شتاب‌ها در این دو منطقه تعیین شده است. برای تعیین شتاب‌ها، از روابط کاهندگی مختلف استفاده شده است. این نسبت‌ها برای ساری به ترتیب برابر با ۱/۵۱، ۲/۴۱، ۱/۶۴، ۰/۲۸ و ۰/۲ و برای فریدون‌شهر به ترتیب برابر با ۱/۸۸، ۱/۳۳، ۰/۷۴، ۰/۴۳ و ۰/۳۶ به دست آمده است. نتایج نشان می‌دهند که ضرایب حاصل از این پژوهش با ضرایب پیشنهادی در آیین‌نامه‌ها مطابقت دارد.

واژگان کلیدی: تحلیل خطر زلزله، ضرایب تبدیل، شتاب افقی طراحی، سطوح

مختلف زلزله، ساری، فریدون‌شهر.

۱. مقدمه

د) زلزله‌ی پیشینه، شدیدترین زلزله‌یی است که ممکن است در یک منطقه رخ دهد.

در آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌یی ایران (استاندارد ۲۸۰)، ویرایش سوم،^[۱] برای هر منطقه، ۲ سطح زلزله تعریف شده است: زلزله‌ی ضعیف (زلزله‌ی بهره‌بردار) و زلزله‌ی شدید (زلزله‌ی طرح). زلزله‌ی ضعیف، زلزله‌یی است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان برابر ۹۹/۵٪ باشد. این زلزله دارای دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله است (زلزله‌ی ۱۰ ساله). از نظر این آیین‌نامه، زلزله‌ی شدید (زلزله‌ی طرح) زلزله‌یی است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان برابر ۱٪ باشد. دوره‌ی بازگشت این زلزله برابر ۴۷۵ سال است. این سطح زلزله به زلزله‌ی شتاب مبنای طراحی (DBE)^۱ نیز معروف است. در آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰، مقادیر شتاب طراحی فقط برای زلزله‌ی ۴۷۵ ساله معرفی شده است و پیشنهاد می‌کند که در صورت نیاز به شتاب مربوط به زلزله‌ی ۱۰ ساله، مقدار شتاب زلزله‌ی طرح بر عدد ۶ تقسیم و به عنوان زلزله‌ی ضعیف استفاده شود. یعنی ضریب تبدیل شتاب برابر یک ششم تعریف شده است.

در دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی ساختمان‌های موجود، نشریه‌ی ۳۶،^[۲] سطوح مختلفی از زلزله تعریف شده است؛ که مهم‌ترین آنها دو سطح زلزله‌ی شدید (سطح خطر ۱-) و زلزله‌ی پیشینه (سطح خطر ۲-) است. زلزله‌ی سطح خطر ۱- بر اساس

در مهندسی زلزله، زلزله‌های هر منطقه به ۴ دسته (سطح) تقسیم می‌شوند. در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌یی، سطوح مختلف زلزله با اسامی مختلفی نام‌گذاری می‌شوند؛ ولی نام‌گذاری کلی آنها به صورت زلزله‌ی: ضعیف، متوسط، شدید و پیشینه است. این طبقه‌بندی مربوط به زلزله‌هایی است که در منطقه‌یی خاص اتفاق می‌افتند و با نام‌گذاری مربوط به خطر لرزه‌خیزی مناطق مختلف (مثلاً: طبقه‌بندی مناطق مختلف لرزه‌خیزی ایران در آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰ با عناوین پهنه با خطر نسبی: کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد) متفاوت است. در این قسمت تعاریف هر یک از سطوح مختلف زلزله، برای یک منطقه‌ی خاص، ارائه می‌شود:

الف) زلزله‌ی ضعیف، زلزله‌یی است که در طول عمر مفید ساختمان در یک منطقه‌ی خاص به دفعات اتفاق می‌افتد.

ب) زلزله‌ی متوسط به زلزله‌یی اطلاق می‌شود که در طول عمر مفید ساختمان در منطقه، گاهی اتفاق می‌افتد و یا دست‌کم یک بار به وقوع می‌پیوندد.

ج) به زلزله‌یی، زلزله‌ی شدید گفته می‌شود که به ندرت در طول عمر مفید ساختمان در یک منطقه‌ی مورد نظر رخ می‌دهد.

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۱/۳/۲۸، اصلاحیه ۱۳۹۱/۱/۲۸، پذیرش ۱۳۹۲/۲/۳۰.

۱۰٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال است، تعیین می‌شود و زلزله‌ی سطح خطر ۲- بر اساس ۲٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره‌ی بازگشت ۲۴۷۵ سال است، مشخص می‌شود و به زلزله‌ی MPE^۲ معروف است. در این دستورالعمل، متناسب با نیازهای آیین‌نامه‌ی، سطوح مختلف دیگری از زلزله تعریف شده است که مشخصات آن با هماهنگی کارفرما تعیین می‌شود.

در گزارش SSC ۹۶-۰۱ شورای تکنولوژی کاربردی، ATC^{۳،۴} سه سطح برای زلزله‌ی هر منطقه تعریف شده است که عبارت‌اند از: زلزله‌ی متوسط، زلزله‌ی شدید (طرح) و زلزله‌ی بیشینه. براساس این نشریه، زلزله‌ی متوسط، زلزله‌ی است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان برابر ۵۰٪ باشد. دوره‌ی بازگشت این زلزله ۷۰ سال است و به زلزله‌ی ۷۰ ساله معروف است. زلزله‌ی شدید (طرح)، زلزله‌ی است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان برابر ۱۰٪ است، که مشابه تعریف زلزله‌ی طرح در استاندارد ۲۸۰۰ و سطح خطر ۱- در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ی ساختمان‌های موجود است. زلزله‌ی بیشینه، زلزله‌ی است که احتمال وقوع آن در ۵۰ سال، برابر ۵٪ باشد. دوره‌ی بازگشت این زلزله برابر ۱۰۰۰ سال است. براساس این نشریه، در صورتی که مقدار شتاب مبنای زلزله‌ی طرح در اختیار باشد، می‌توان مقدار شتاب طراحی زلزله‌ی متوسط را نصف شتاب زلزله‌ی طرح (ضریب تبدیل برابر ۰/۵) و مقدار شتاب زلزله‌ی بیشینه را ۱/۲۵ تا ۱/۵ برابر شتاب زلزله‌ی طرح (ضریب تبدیل برابر ۱/۲۵ تا ۱/۵) در نظر گرفت.

آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ی دیگری از جمله آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ی کشور ژاپن (BSL)، آیین‌نامه‌های نیروهای سه‌گانه‌ی ارتش آمریکا برای ساختمان‌های عمده^۴، آیین‌نامه‌ی لرزه‌ی کشور نیوزلند (NZS)، آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ی کشور چین (GBJ)، و آیین‌نامه‌ی UBC تعاریف مشابهی برای زلزله‌های ضعیف، متوسط و شدید ارائه کرده‌اند.^[۴]

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در آیین‌نامه‌های مختلف طراحی لرزه‌ی، چندین سطح زلزله برای طراحی وجود دارد، ولی عمدتاً شتاب طراحی مربوط به زلزله‌ی شدید (زلزله‌ی ۴۷۵ ساله) معرفی می‌شود و برای تعیین شتاب‌های طراحی سطوح دیگر زلزله، باید شتاب طراحی زلزله‌ی شدید را در عددی به‌عنوان ضریب تبدیل ضرب کرد. هدف از این پژوهش بررسی و ارزیابی ضرایب پیشنهادی در آیین‌نامه‌های طراحی برای تعیین شتاب طراحی زلزله‌های قوی‌تر و یا ضعیف‌تر از زلزله‌ی طرح با تأکید بر دو منطقه‌ی خاص است. برای این منظور دو منطقه‌ی ساری و فریدون‌شهر به‌عنوان نمونه انتخاب و مقادیر شتاب‌های طراحی سطوح مختلف زلزله برای این دو منطقه تعیین شده است. سپس نسبت مقادیر شتاب‌های طراحی به شتاب زلزله‌ی طرح محاسبه و با مقادیر پیشنهادی در آیین‌نامه‌ها مقایسه شده است.

نقشه‌های ارزیابی ریسک به منظور جلوگیری و یا کمینه‌ی کاهش فجایع زمین‌شناختی و همچنین راهنمایی برای بازسازی‌های بعد از زلزله اهمیت بالایی دارند.^[۵] در سال ۱۳۸۹، تحلیل خطر زمین‌لرزه برای گستره‌ی استان آذربایجان شرقی با رویکرد احتمالاتی توسط ۴ رابطه‌ی کاهندگی قدرتی، امبرسیز، صدیق و کمپبل، برای یک شبکه‌ی نقاط ۲۱×۲۰ با فواصل ۱۵ کیلومتر انجام شد و نتایج آن به‌صورت نقشه‌های هم‌شتاب در دو سطح خطر ۲٪ و ۱۰٪ در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان ارائه شده است.^[۶]

همچنین در سال ۱۳۸۹، به مطالعه‌ی خطر زمین‌لرزه در محدوده‌ی جزیره‌ی خارک پرداخته شد و براساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، منطقه‌ی مورد مطالعه به ۱۱

ایالت لرزه‌زا تقسیم‌بندی و براساس ویژگی لرزه‌شناسی، پارامترهای لرزه‌خیزی برای هر ایالت محاسبه شد. و نیز تحلیل خطر منطقه‌ی مورد مطالعه براساس دو روش تعیینی و احتمالی انجام و بیشینه‌ی شتاب‌های زمین‌لرزه برای منطقه‌ی مورد مطالعه محاسبه شد.^[۷]

در سال ۲۰۰۹ میلادی نیز با استفاده از روش تحلیل احتمالاتی خطر زلزله، بیشینه‌ی شتاب زمین بر روی سنگ بستر در ۴ سطح خطر زلزله ۲، ۱۰، ۲۰ و ۵۰ درصد برای شهر سنندج محاسبه شد.^[۸] همچنین در سال ۱۳۸۸، با توجه به آنکه اهمیت ساخت و سازهای حریم حرم مطهر امام رضا (ع)، که دارای طول عمری بیشتر از ۵۰ سال هستند، براساس تحلیل خطر زلزله با استفاده از ۳ رابطه‌ی کاهندگی قدرتی، امبرسیز و سارما، نسبت به تهیه‌ی نقشه‌های خطوط هم‌شتاب برای سطوح خطر لرزه‌ی مختلف حریم حرم مطهر امام رضا (ع) اقدام شد.^[۹]

در سال ۲۰۱۱ میلادی، نیز مطالعات ارزیابی خطر برای سد رودبار لرستان انجام و نتیجه گرفته شد که این سد در منطقه‌ی گسل‌های فعال لغزشی قرار دارد و ممکن است این گسل‌ها سبب خطرات لرزه‌ی در آینده شوند.^[۱۰] در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۲ میلادی، ارزیابی خطر زمین‌شناختی در اثر زلزله‌ی یوشو^۵ بررسی و پیشنهاداتی برای تصمیم‌گیری مدیریتی بعد از زلزله ارائه شده است.^[۱۱] در سال ۲۰۱۰ نیز پارامترهای مهندسی رکورد‌های زلزله‌ی منطقه‌ی کبک کانادا (۲۰۱۰) مورد بررسی قرار گرفت و براساس آن، روابط کاهندگی برای تعیین شتاب بیشینه پیشنهاد شده است.^[۱۲]

۲. لرزه‌ی زمین‌ساخت گستره‌ی شهرستان‌های ساری و

فریدون‌شهر

به‌منظور محاسبه و ارزیابی احتمال زمین‌لرزه‌ها برای یک منطقه، تمامی منابع داده‌های محتمل باید شناسایی شوند و ارزش و قابلیت آنها در تأثیرگذاری در حرکت صفحه‌ی (نظریه‌ی تکتونیک صفحه‌ی) منطقه، مورد بررسی قرار گیرد. گام نخست در این بازبینی و بررسی، شناخت دقیق و تا حد امکان، کامل گسله‌های گستره‌ی ساری و فریدون‌شهر است. بر همین اساس فهرستی از نام، طول و توان لرزه‌زایی بیشینه‌ی گسل‌های اصلی موجود در محدوده‌ی مازندران (در گستره‌ی ۲۰۰ کیلومتری شهرستان ساری) در جدول ۱ و شکل ۱ ارائه شده است.^[۱۳] همچنین در شکل ۲، نقشه‌ی گسل‌های فعال اطراف فریدون‌شهر تا گستره‌ی ۲۰۰ کیلومتر نشان داده شده است. شایان ذکر است که اعداد مربوط به توان لرزه‌زایی بیشینه‌ی گسل‌ها با رابطه‌ی ۱ محاسبه شده است،^[۱۴] که در آن L طول گسل بر حسب متر است.

$$Ms = 1,244 \text{Log}(L) + 1,259 \quad (۱)$$

۳. لرزه‌خیزی

تاریخچه‌ی زمین‌لرزه‌های گذشته‌ی هر پهنه، نشان‌گر وضعیت لرزه‌خیزی آن گستره است. برای دستیابی به ویژگی‌های زمین‌شناختی باید فهرست کاملی از رویداد زمین‌لرزه‌های هر پهنه را گردآوری و مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، مراکز زمین‌لرزه‌های بزرگ که دارای دقت مکان‌یابی نسبتاً بهتری هستند، در گستره‌ی ۲۰۰ کیلومتری ساری و فریدون‌شهر گردآوری شده‌اند.

جدول ۴. زمین‌لرزه‌های تاریخی مهم رویداده در گستره‌ی فریدون‌شهر.

بزرگا (Mw)	رو مرکز زمین لرزه (درجه)		رویداد زمین لرزه
	عرض شمالی	طول شرقی	
۶٫۸	۵۰٫۰۰	۳۱٫۵۰	۱۰۵۲ خوزستان
۶٫۲	۴۹٫۴۰	۳۳٫۵۰	۱۳۱۶ گلپایگان
۶٫۵	۵۰٫۵۰	۳۲٫۱۰	۱۶۶۶ زاگرس
۶٫۴	۵۱٫۴۰	۳۳٫۶۰	۱۸۴۴ کاشان
۵٫۵	۵۰٫۳۰	۳۲٫۶۰	۱۸۵۳

جدول ۵. زمین‌لرزه‌های دستگاهی مهم رویداده در گستره‌ی فریدون‌شهر.

بزرگا (Mw)	رو مرکز زمین لرزه (درجه)		رویداد زمین لرزه
	عرض شمالی	طول شرقی	
۶٫۳	۴۹٫۶۰	۳۲٫۰۶	اندیکا ۱۹۲۹
۶٫۲	۴۹٫۸۰	۳۲٫۲۶	۱۹۵۱
۶٫۱	۵۰٫۷۰	۳۱٫۹۹	ناغان ۱۹۷۷
۶٫۱	۴۹٫۶۵	۳۲٫۱۴	۱۹۷۸
۵٫۶	۴۹٫۳۳	۳۲٫۰۰	۲۰۰۲

۴. پارامترهای لرزه‌خیزی گستره‌ی شهرستان‌های ساری و فریدون‌شهر

به منظور محاسبه‌ی پارامترهای اساسی لرزه‌خیزی هر گستره یعنی β و λ ، باید ابتدا داده‌های زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی گردآوری شود و با توجه به اینکه استقلال زمین‌لرزه‌ها فرض اساسی برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی است، از روش پنجره‌ی زمانی و مکانی،^[۱۷] به منظور حذف پیش‌لرزه و پس‌لرزه استفاده شده است.

محاسبات مربوط به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی بر پایه‌ی رویداد زمین‌لرزه‌ها و رابطه‌ی بزرگای فراوانی آنها صورت می‌گیرد. این پارامترها در تعیین میزان خطر زمین‌لرزه در این پژوهش از روش نوین کیکو - سلول استفاده شده است.^[۱۸] در این روش می‌توان با در نظر گرفتن خطاهای داده‌های زمین‌لرزه‌های مربوط به دوره‌های مختلف، با استفاده از مدل کیکو، رویداد آنها را در برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی β و λ دخالت داد. نتایج حاصله از این روش شامل پارامترهای لرزه‌خیزی یعنی ضرایب β و λ (آهنگ لرزه‌خیزی)، دوره‌ی بازگشت، احتمال رویداد و عدم رویداد بزرگای زمین‌لرزه در زمان‌های متفاوت هستند. به‌طور کلی در این روش ۳ دسته زمین‌لرزه در نظر گرفته شده‌اند:

۱. زمین‌لرزه‌های تاریخی که خطای بزرگا برای زمین‌لرزه‌ی با کیفیت خوب، متوسط و بد به ترتیب ۰٫۳، ۰٫۴ و ۰٫۵ واحد بزرگا در نظر گرفته شده است.
۲. زمین‌لرزه‌های قرن حاضر پیش از نصب شبکه‌ی لرزه‌نگاری جهانی (از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳ میلادی) است، که خطای بزرگا برای آنها ۰٫۲ واحد بزرگا و نیز بزرگای آستانه $M_s = 4.5$ در نظر گرفته شده است.
۳. زمین‌لرزه‌های دستگاهی از ۱۹۶۴ تاکنون است که با دقت مناسب ثبت شده‌اند و خطای کم‌تری دارند. برای این زمین‌لرزه‌ها خطای بزرگا ۰٫۱ واحد بزرگا و بزرگای آستانه $M_s = 4$ در نظر گرفته شده است.

پارامترهای لرزه‌خیزی مورد استفاده در این پژوهش در جدول‌های ۶ الی ۸ ارائه شده‌اند.

جدول ۶. پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه‌شده برای شهرستان ساری.

M_{max}	$\lambda_{ms} = 3.9$	b	β
8.4 ± 0.64	1.86 ± 0.12	0.82 ± 0.01	1.89 ± 0.01

جدول ۷. درصد مشارکت داده‌های دوره‌های مختلف زمانی.

پارامتر	درصد مشارکت داده‌های بازه‌ی زمانی	قبل از ۱۹۰۰	۱۹۰۰-۱۹۶۴	۱۹۶۴-۲۰۱۱
β		۳۴٫۲	۳۲٫۸	۳۳
λ		۹٫۲	۳۴	۵۶٫۸

جدول ۸. پارامترهای لرزه‌خیزی محاسبه‌شده برای فریدون‌شهر.

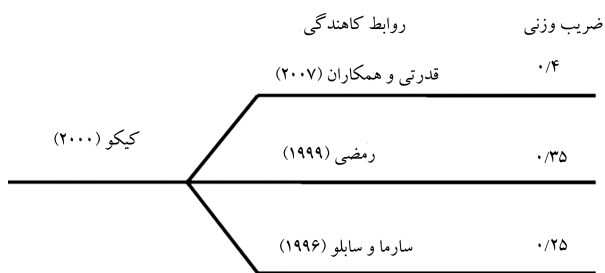
M_{max}	$\lambda_{ms} = 3.99$	b	β
7.9 ± 0.71	1.39 ± 0.10	0.91 ± 0.03	2.09 ± 0.08

۵. روش احتمالاتی (PSHA)

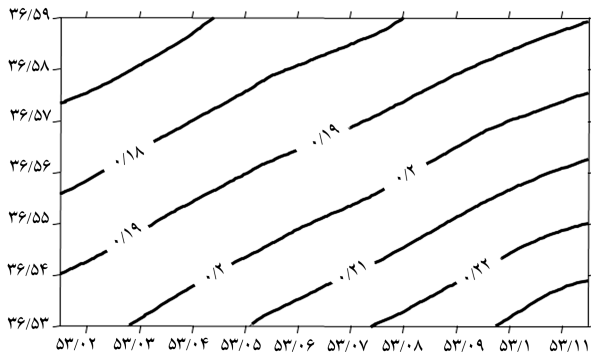
در روش احتمالاتی ضمن در نظر گرفتن ایمنی، مسئله‌ی اقتصاد نیز در نظر گرفته می‌شود و با مدل‌سازی سرچشمه‌های لرزه‌ی گستره‌ی مورد مطالعه و تئوری احتمالات به ازای هر درصدی از ریسک وقوع زلزله، بیشینه‌ی شتاب (PGA) محاسبه می‌شود. جهت مدل‌سازی و تعیین بیشینه‌ی شتاب از نرم‌افزار SEISRISKIII استفاده می‌شود.^[۱۹] جهت حصول نتیجه‌ی منطقی با انتخاب چند رابطه‌ی کاهندگی مناسب و استفاده از روش آنالیز درخت منطقی میانگین وزنی شتاب‌ها محاسبه می‌شود.

۱.۵. انتخاب روابط کاهندگی

یکی از موارد اساسی در تعیین پارامترهای جنبش زمین انتخاب روابط کاهندگی است. انتخاب روابط کاهندگی بستگی به نوع ساز و کار زلزله (نحوه‌ی گسیختگی گسل)، نوع خاک منطقه، نوع بافت سنگ‌ها، عمق کانونی و نوع مؤلفه‌ی شتاب انتخابی دارد. جهت حصول نتیجه‌ی منطقی‌تر، با انتخاب چند رابطه‌ی کاهندگی مناسب و استفاده از روش آنالیز درخت منطقی میانگین وزنی شتاب‌ها محاسبه می‌شود. پارامتر مهم در انتخاب وزن روابط مذکور، میزان تطابق آن با شرایط ساختگاه مورد مطالعه و چگونگی محاسبه‌ی آنها و داشتن تطابق بهتر با منطقه‌ی مورد نظر است. در این پژوهش ۳ رابطه‌ی کاهندگی قدرتی و همکاران،^[۲۰] رمضی،^[۲۱] و سارما،^[۲۲] به گونه‌ی انتخاب شدند که با منطقه‌ی مورد نظر سنخیت داشته باشند. رابطه‌ی اول و دوم برای ایران و رابطه‌ی سوم برای کلیه‌ی نقاط جهان پیشنهاد شده است. این روابط برای ناحیه‌ی دور است و برای فواصل بیشتر از ۱۰ کیلومتر صادق هستند. در شکل ۳، مقادیر ضریب هر کدام از این روابط در درخت منطقی برای شتاب افقی نشان داده شده است.



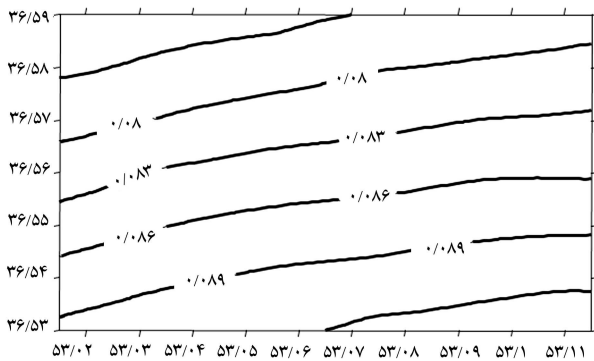
شکل ۳. نمایش درخت منطقی برای بیشینه‌ی مؤلفه‌ی افقی.

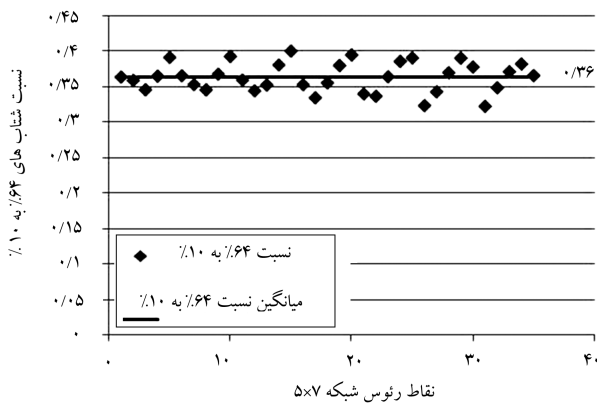


۲.۵. شتاب‌های مبنای طرح

با توجه به مطالب ارائه شده و یک شبکه بندی ۶×۷ برای ساری و ۵×۷ برای فریدون شهر به ابعاد شبکه‌ی حدود ۱۰۰۰ متر، محاسبه‌ی شتاب در نقاط مختلف، نقشه‌ی هم‌شتاب در سطوح خطر ۱۰٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال، ۲٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال، ۵٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال، ۲۰٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال، ۵۰٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال، ۶۴٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال محاسبه شدند. نتایج نهایی حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی برای شهرستان ساری برای درصد احتمال‌های مختلف در شکل‌های ۴ الی ۹ نشان داده شده است. در این شکل‌ها

شکل ۷. نقشه‌ی شتاب روی سنگ بستر (PGA) با ۲٪ احتمال رویداد در شهرستان ساری.





شکل ۱۹. نسبت شتاب ۶۴٪ به ۱۰٪ برای فریدون شهر.

جدول ۹. نتایج نهایی تحلیل خطر برای ساری و فریدون شهر.

درصد خطر	دوره بازگشت (سال)	بیشینه‌ی ساری افقی (g)	بیشینه‌ی شتاب افقی فریدون شهر (g)
۱۰	۴۷۵	۰٫۳۱	۰٫۳۱
۲	۲۴۷۵	۰٫۷۵	۰٫۵۹
۵	۹۷۵	۰٫۴۷	۰٫۴۱
۲۰	۲۲۴	۰٫۲	۰٫۲۳
۵۰	۷۲	۰٫۰۸	۰٫۱۳
۶۴	۵۰	۰٫۰۶	۰٫۱۱

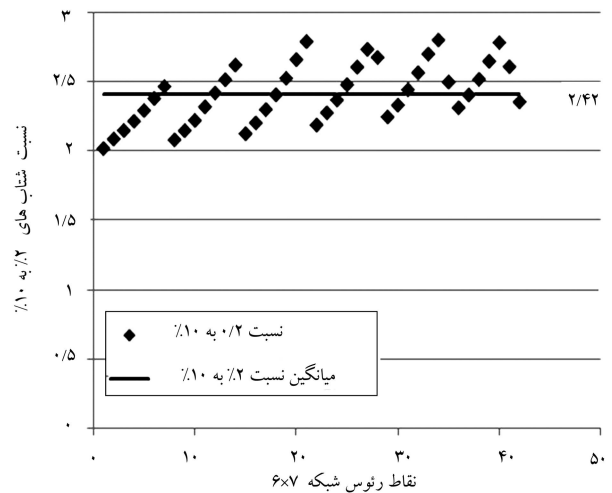
جدول ۱۰. ضرایب تبدیل شتاب برای ساری.

نتایج	نسبت شتاب‌های مبنای طراحی به شتاب مبنای طرح استاندارد ۲۸۰۰٪
۲٫۴۱	۲
۱٫۵۱	۵
۰٫۶۴	۲۰
۰٫۲۸	۵۰
۰٫۲	۶۴

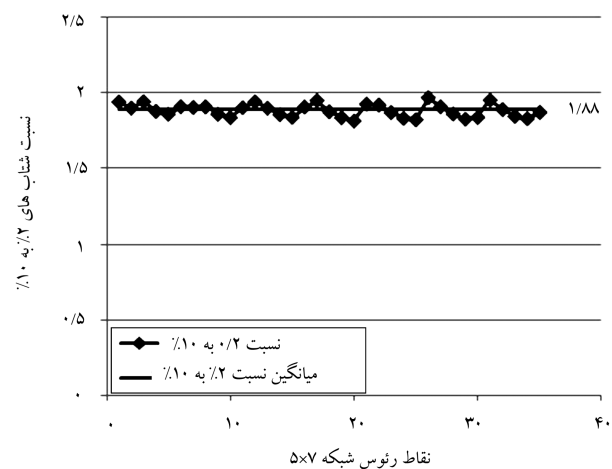
جدول ۱۱. ضرایب تبدیل شتاب برای فریدون شهر.

نتایج	نسبت شتاب‌های مبنای طراحی به شتاب مبنای طرح استاندارد ۲۸۰۰٪
۱٫۸۸	۲
۱٫۳۳	۵
۰٫۷۴	۲۰
۰٫۴۳	۵۰
۰٫۳۶	۶۴

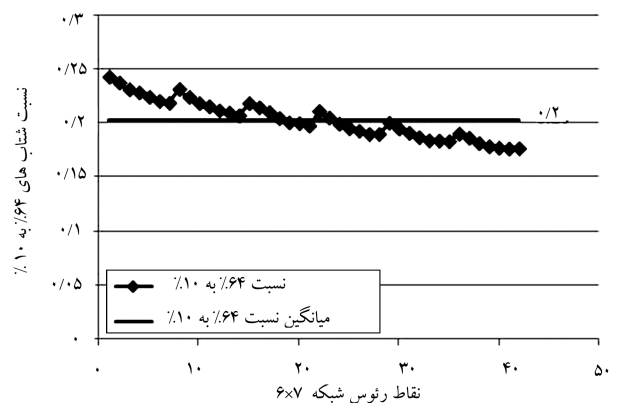
برابر ۱٫۸۸ به دست آمده است. مقادیر انحراف معیار این دو ضریب برای ساری و فریدون شهر به ترتیب برابر ۰٫۲۱ و ۰٫۴۳ است. این کار برای تمامی احتمال رویدادها انجام شده است. برای جلوگیری از طولانی شدن بحث، از ارائه‌ی تمامی شکل‌ها صرف نظر می‌شود و فقط نتایج مربوط به احتمال رویدادهای ۶۴٪ در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ به ترتیب برای ساری و فریدون شهر



شکل ۱۶. نسبت شتاب ۲٪ به ۱۰٪ برای شهرستان ساری.



شکل ۱۷. نسبت شتاب ۲٪ به ۱۰٪ برای فریدون شهر.



شکل ۱۸. نسبت شتاب ۶۴٪ به ۱۰٪ برای ساری.

ساری نشان داده شده است. برای کاربردی کردن این نسبت‌ها، مقدار میانگین آنها محاسبه شده است که برابر ۲٫۴۲ است. بدین ترتیب براساس نتایج این پژوهش می‌توان اعلام کرد که با دراختیار داشتن مقدار شتاب برای احتمال رویداد ۱۰٪ می‌توان با ضرب آن در عدد ۲٫۴۲، مقدار شتاب با احتمال رویداد ۲٪ را به دست آورد. در شکل ۱۷، این محاسبات برای شهرستان فریدون شهر انجام شده است، که این نسبت

نشان داده شده است. نسبت ضرایب در این حالت برای ساری و فریدون‌شهر به ترتیب برابر ۰/۲ و ۰/۳۶، و مقادیر انحراف معیار برای آنها به ترتیب برابر ۰/۱۷۵ و ۰/۰۲ است.

در جدول ۹، نتایج مربوط به بیشینه‌ی شتاب‌ها برای شهرستان‌های ساری و فریدون‌شهر ارائه شده است.

برای محاسبه‌ی ضرایب تبدیل شتاب‌ها، حاصل تقسیم تمامی شتاب‌ها با احتمال رویدادهای مختلف هر نقطه بر شتاب مبنای همان نقطه با احتمال وقوع ۱٪ به دست آمد و آنگاه میانگین همه‌ی آنها تعیین شد. این کار برای هر احتمال رویداد هر منطقه (ساری و فریدون‌شهر) به‌طور جداگانه به دست آمد و در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

۷. نتیجه‌گیری

این نوشتار، با هدف ارزیابی ضوابط پیشنهادی آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ی برای محاسبه‌ی شتاب طراحی با رویدادهای مختلف با استفاده از مقادیر شتاب مبنای طراحی ۱٪ ارائه شده است. برای این منظور شتاب‌های طراحی برای احتمال رویدادهای ۰/۲، ۰/۵، ۱/۰، ۲/۰، ۵/۰ و ۶۴ درصد برای مناطق شهرستان‌های ساری و فریدون‌شهر محاسبه و نسبت مقادیر آنها به مقادیر شتاب با احتمال رویداد ۱٪

تعیین شده است، و براساس اطلاعات به دست آمده، این نتایج حاصل شده است:
 -- مقدار میانگین شتاب طرح برای شهرستان ساری برابر ۰/۳۱g به دست آمد که با مقدار پیشنهادی در آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰۰ تقریباً مطابقت دارد.

-- مقدار میانگین شتاب طرح برای شهرستان فریدون‌شهر برابر ۰/۳۱g به دست آمد که با مقدار پیشنهادی در آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰۰ تقریباً مطابقت دارد.

-- ضرایب تبدیل شتاب‌های مختلف زلزله به زلزله‌ی طرح (۱٪) برای احتمال رویداد ۰/۲، ۰/۵، ۱/۰، ۲/۰، ۵/۰ و ۶۴ درصد در منطقه‌ی ساری به ترتیب برابر ۰/۲۴۱، ۰/۱۷۵، ۰/۱۶۴، ۰/۲۲۸ و ۰/۲ به دست آمد.

-- ضرایب تبدیل شتاب‌های مختلف زلزله به زلزله‌ی طرح (۱٪) برای احتمال رویداد ۰/۲، ۰/۵، ۱/۰، ۲/۰، ۵/۰ و ۶۴ درصد در منطقه‌ی فریدون‌شهر به ترتیب برابر ۰/۱۸۸، ۰/۱۳۳، ۰/۱۷۴، ۰/۲۴۳ و ۰/۳۶ به دست آمد.

-- در نشریه‌ی ATC ضریب تبدیل زلزله ۱٪ به ۰/۵ برابر ۱/۲۵ تا ۱/۵ پیشنهاد شده است که با مقادیر به دست آمده از شهرستان‌های ساری و فریدون‌شهر مطابقت دارد.

-- مقادیر بیشینه‌ی شتاب بر روی سنگ بستر برای ساری در حالت ۰/۲ بین ۰/۴۸g و ۱g حاصل شد.

-- مقادیر بیشینه‌ی شتاب بر روی سنگ بستر برای فریدون‌شهر در حالت ۰/۲ بین ۰/۴۶g و ۰/۷۴g متغیر است.

پانویس‌ها

1. design base earthquake (DBE)
2. maximum probable earthquake (MPE)
3. applied technology council (ATC)
4. tri-services manual
5. Yushu

منابع (References)

1. Building and Housing Research Center, *Iranian Code Of Practice For Seismic Resistant Design Of Buildings*, Standard No. 2800, 3rd Edition (2005).
2. Management And Planning Organization, *Office Of Deputy For Technical Affairs Technical Criteria Codification & Earthquake Risk Reduction Affairs Bureau*, Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, No.360 (2005).
3. Applied Technology Council, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Building*, ATC40, Redwood (1996).
4. Mahmoudi, M. "Philosophy Of performance based seismic design", Shahid Rajaei Teacher Training University, pp.7-9 (1388).
5. Quanfu, N., Weiming, C., Yong, L., Yaowen, X., Hengxing, L. and Yanyong, C. "Risk assessment of secondary

geological disasters induced by the Yushu earthquake", *J. Mt. Sci.*, **9**(2), pp. 232-242 (2012).

6. Ghodrati Amiri, G., Rahimi, M.A., Razeghi, H.R. and Razavian Amrei, S.A. "Probabilistic seismic hazard analysis of province of east azarbyjan", *Proceedings of First Conference on Passive Defence and Resistant Structures*, Babol University of Technology, Iran (March 2011).
7. Ebadi, R., Zare, M., Solgi, A., and Sinaeyan, F. "A study on seismic hazard in khark island", *Journal of the Earth*, **5**(1), pp. 21-28 (Spring 2010).
8. Ghodrati Amiri, G., Andisheh, K. and Razavian Amri, S.A. "Probabilistic seismic hazard assessment of Sanandaj", *Structural Engineering And Mechanics*, **32**(49), pp.563-581 (2009).
9. Ghodrati Amiri, G., Razavian Amrei, S.A. and Pashanejati, S.R. "Seismic assessment of Imam Reza (peace be upon him), holy shrine region", *Journal of Science & Technology, Transaction on: Civil Engineering*, Sharif University of Technology, **51**(1), PP. 33-39 (2010).
10. Alipoor, R., Poorkermani, M., Zare, M. and Hamdouni, R. "Active tectonic assessment around Rudbar Lorestan dam site, High Zagros belt (SW of Iran)", *Geomorphology*, **128**(1-2), pp. 1-14 (2011).
11. Niu, Q., Cheng, W., Liu, Y., Xie, Y., Lan, H. and Cao, Y. "Risk assessment of secondary geological disasters induced by the Yushu earthquake", *J. Mt. Sci.*, **9**, pp. 232-242 (2012).

12. Lin, L. and Adams, J. "Engineering characteristics of ground motion records of the Val-des-Bois, Quebec, Earthquake of June 23, 2010", *Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference*, Ottawa (14-17 June 2011).
13. Shahpasand Zadeh, M. and Zare, M. "A preliminary study of seismicity, seismotectonics & earthquake-fault hazard in the Mazandaran province, Iran", *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology*, 74-95-7/3 (Oct. 1995).
14. Nowroozi, A. "Empirical relations between magnitude and fault parameters for earthquakes in Iran", *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, **75**(5), pp. 1327-1338 (1985).
15. Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., *A History of Persian Earthquake*, Cambridge University Press, Britain, Translated by Radeh, A., Agah Publishers, Tehran (1982).
16. IRCOLD, *Relationship Between Fault Length and Maximum Expected Magnitude*, Iranian Committee of Large Dams, Internal Report (1994) (In Persian).
17. Gardaner, J.K. and Knopoff, L. "Is the sequence of earthquake in southern California, with aftershocks removed, poissonian", *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSAS)*, **64**(5), pp. 1363-1367 (1974).
18. Kijko, A. "Statistical estimation of maximum regional earthquake magnitude m_{max} ", Workshop of seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping, Poljce, Slovenia (22-24 May 2000).
19. Bender, B. and Perkins, D.M. *SEISRISK-III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation*, Washington [D.C.], U.S. G.P.O.; Denver, CO: For Sale by the Books and Open-File Reports Section, U.S. Geological Survey, 1987 US Geological Survey, Bulletin 1772 (1987).
20. Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A. and Manouchehri Dana, F. "Attenuation relationships for Iran", *Journal of Earthquake Engineering*, **11**(4), pp. 469-492 (2007).
21. Ramazi, H.R. "Attenuation laws of Iranian earthquakes", *Proceedings of the Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran, Iran, pp. 337-344 (1999).
22. Sarma, S.K. and Srbulov, M. "A simplified method for prediction of kinematic soil foundation interaction effects on peak horizontal acceleration of a rigid foundation", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **25**(8), pp. 815-836 (1996).