

تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان

غلامرضا قدرتی امیری^{۱*}، سید علی رضویان امرئی^۲، محمدعلی طهماسبی بروجنی^۳

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه پیام نور

۳- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد

چکیده

مطالعه حاضر تحت عنوان تحلیل خطر لرزه‌ای و تهیه طیف خطر یکسان برای مناطق مختلف شهر کرمان انجام شده است. مجموعه‌ای از داده‌های لرزه خیزی تاریخی و دستگاهی با پوشش زمانی از قرن هشتم میلادی تا به امروز تا شعاع ۲۰۰ کیلومتری بکار گرفته شده و منابع لرزه‌ها مدل شده‌اند. برای برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی با توجه به کمبود داده‌های مناسب لرزه خیزی و دقت کم اطلاعات موجود و نیز عدم قطعیت در بزرگا در زمانهای مختلف، از روش کیکو استفاده شده است. در تعیین بیشینه شتاب روی سنگ بستر از روابط کاهندگی مختلف قدرتی و همکاران و زارع و همکاران استفاده شده که با کمک درخت منطقی و به ترتیب با وزن‌های ۰/۶ و ۰/۴ با هم ترکیب شده‌اند. تحلیل احتمالی خطر زلزله برای یک شبکه نقاط ۱۳×۸ که شهر کرمان را پوشش داد شده و با استفاده از نرم افزار SEISRISK III محاسبه گردیده و جهت تعیین شتاب طیفی از رابطه کاهندگی طیفی قدرتی و همکاران استفاده شده است.

کلمات کلیدی: پارامتر لرزه خیزی، تحلیل خطر زلزله، طیف خطر یکسان، شهر کرمان.

Seismic Hazard Analysis and Uniform Hazard Spectra for Different Regions of Kerman

Gholamreza Ghodrati Amiri^{*1}, Seyyed Ali Razavian Amrei², Mohammad Ali Tahmasbi Broujeni³

1- Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Payame Noor University

3- MSc Student Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Shahrkord Branch

Abstract

This paper was present a seismic hazard analysis and uniform hazard spectra for different regions of Kerman city. A collected catalogue containing both historical and instrumental events and covering the period from 8th century AD until now within the area of 200 Km in radius were used and Seismic sources are modeled. Kijko method has been applied for estimating the seismic parameters considering lack of suitable seismic data, inaccuracy of the available information and uncertainty of magnitude in different periods. To determine the peak

* مولف مسئول: غلامرضا قدرتی امیری ghodrati@iust.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۴/۱۱، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۴/۲۱

ground acceleration the calculations were performed by using the logic tree method. Two weighted attenuation relations were used; including Ghodrati et al, 0.6 and Zare et al, 0.4. Analysis was conducted for 13×8 grid

points over Kerman region and adjacent areas with SEISRISK III software and in order to determine the seismic spectra Ghodrati et al, spectral attenuation relationships was used.

Keywords: Seismicity Parameter, Seismic Hazard Analysis, Uniform Hazard Spectrum, Kerman.

۱- مقدمه

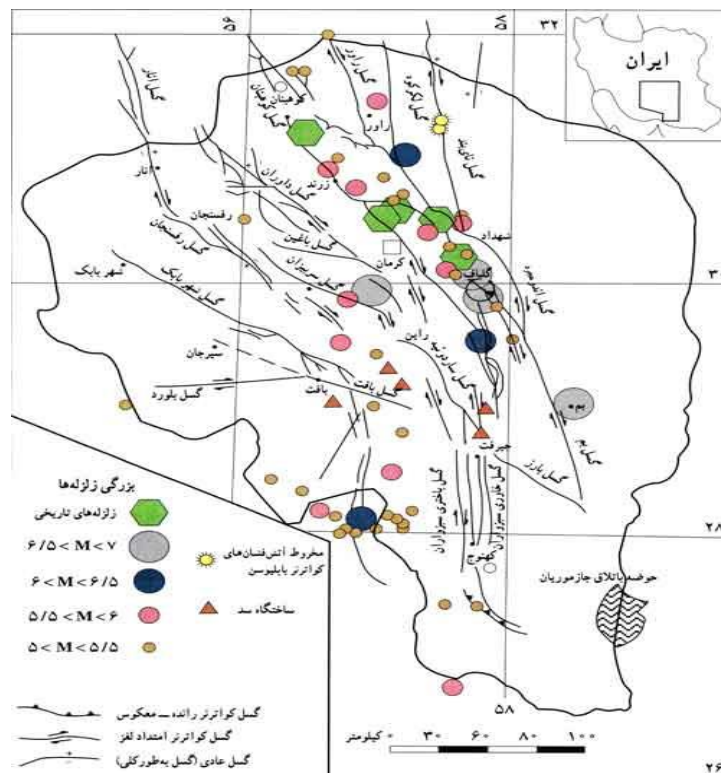
شهر کرمان به دلیل وجود مراکز مهم صنعتی نظیر سدها، نیروگاه‌ها، معادن و غیره یکی از مهمترین شهرهای کشور می‌باشد. باتوجه به وجود آثار ارزشمند تاریخی که در استان کرمان وجود دارد، لزوم توجه هرچه بیشتر به بحث بهسازی این آثار باید مورد توجه قرار گیرد تا حوادث ناخواسته مثل زلزله بم باعث از بین رفتن این آثار گرانبقدر فرهنگی و تاریخی نگردد. باتوجه به تاریخچه زمین لرزه‌های گذشته و وجود گسلهای مهم در این منطقه، احتمال رویداد زلزله‌های دیگر نظیر زلزله بم، اجتناب ناپذیر خواهد بود.

۲- لرزه زمین ساخت

با مطالعه تاریخچه لرزه خیزی منطقه، شاهد رویداد زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی متعددی در شهرها و روستاهای این گستره از کشورمان هستیم که گرچه اغلب این زمین لرزه‌ها داری شدت بالایی نیستند، اما شناخت دقیق گسل‌های منطقه و تعیین سطح خطر دقیق‌تر و واقعی‌تر باعث می‌شود که این منطقه بعنوان یکی از مهمترین مناطق ایران برآورد دقیقی نسبت به تعیین دقیق خطر لرزه‌ای در آن انجام گیرد. به منظور ارزیابی خطرات لرزه‌ای، شناخت تمامی منابع لرزه‌زا حائز اهمیت خواهد بود. لیست این گسلها در جدول ۱ و موقعیت آنها نسبت به شهر کرمان در شکل ۱ آورده شده است [۱].

جدول ۱: گسلهای اصلی موجود در شعاع ۲۰۰ کیلومتری کرمان [۱]

شماره	نام گسل	راستای گسل	رفتار گسل	طول گسل (کیلومتر)
۱	نابیند	شمالی - جنوبی	راستالغز راست بر	۳۵۰
۲	کوهبنان	شمال غربی - جنوب شرقی	فشاری با شیب به سمت شمال شرقی	۳۰۰
۳	بهباد	شمالی - جنوبی	راست بر واژگون	۱۷۰
۴	رفسنجان	شمال غربی - جنوب شرقی	-----	۱۴۰
۵	لکرکوه	شمالی - جنوبی	راستالغز	۱۳۰
۶	راندگی شهداد	خمیده با تحدب شمالی	-----	۱۲۰
۷	گوک	شمالی - جنوبی	پرشیب با مؤلفه حرکت اصلی راستالغز بر	۱۰۰
۸	انار	شمال - شمال غربی	راست رو	۱۰۰
۹	بافت	شمال باختری - جنوب خاوری	امتداد لغز چپگرد	۹۶
۱۰	بم	شمال - شمال غربی	-----	۶۵



شکل ۱: نقشه گسل‌های اصلی موجود در شعاع ۲۰۰ کیلومتری کرمان [۱]

۳- لرزه‌خیزی

تاریخچه زلزله‌های گذشته در هرپهنه، نشانگر وضعیت لرزه‌خیزی آن است و برای دستیابی به ویژگی‌های لرزه‌خیزی، باید فهرست کاملی از زلزله‌های رویداده در پهنه مورد نظر را گردآوری و مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه از گستره‌ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتری شهر کرمان استفاده شده است.

فرض اساسی در برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی این است که رویداد زمین‌لرزه‌ها مستقل از یکدیگر باشند. لذا حذف پس لرزه و پیش لرزه‌ها برای هر یک از زمین‌لرزه‌های اصلی از فهرست رویداد زمین‌لرزه‌ها ضروری است. مسئله دیگر که حائز اهمیت است، در نظر گرفتن میزان خطای بزرگای زمین‌لرزه‌ها در گذشته دور و نزدیک در محاسبه و برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی یاد شده می‌باشد [۲].

۳-۱- زلزله‌های تاریخی

زمین لرزه‌های تاریخی به زمین‌لرزه‌های قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی گفته می‌شود که براساس اطلاعات بدست آمده از نوشتارهای تاریخی و گفتارهای شفاهی بدست می‌آید که قطعاً باید به مشکلات، کمبودها و عدم قطعیت‌های موجود در این اطلاعات توجه گردد. که توجه به چگونگی گسترش جمعیت و بزرگنمایی و زیاده‌انگاری حائز اهمیت خواهد بود، ولی وجود تراکم جمعیت می‌تواند کمک زیادی در گردآوری زمین لرزه‌های تاریخی انجام دهد. از زلزله‌های مهم تاریخی این گستره می‌توان به زلزله‌های زیر اشاره نمود [۳-۵]:

زلزله آذرماه ۱۲۳۳ هـ ش خورجند، زلزله ۲۸ دیماه ۱۲۴۲ هـ ش چترود، زلزله سال ۱۲۵۵ هـ ش سایرج، زلزله ۲ خرداد ۱۲۷۶ هـ ش کرمان.

۳-۲- زلزله‌های دستگاهی

ثبت زلزله بوسیله دستگاه از قرن بیستم به بعد راه‌اندازی شد که دارای خطاهای زیادی در ثبت مرکز سطحی، ژرفای کانونی و بزرگای زلزله بود که از سال ۱۹۶۳ با ایجاد شبکه جهانی زلزله نگاری از مقدار این خطاها به نحو قابل ملاحظه‌ای کاسته شد. فهرست زلزله‌های

دستگاهی در گستره ۲۰۰ کیلومتری شهر کرمان از سال ۱۹۰۰ میلادی تاکنون از منابع مختلفی جمع آوری و مورد استفاده قرار گرفته که مهمترین آنها سایت اینترنتی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله است [۶].

۳-۳- بزرگای زلزله‌ها

در این مطالعه از بزرگای موج سطحی Ms در محاسبات استفاده شده است و به دلیل اینکه تمام بزرگای جمع آوری شده از نوع Ms نیستند، لذا باید آنها را به Ms تبدیل کنیم. بنابراین برای تبدیل بزرگای موج حجمی mb از رابطه ۱ [۷] و برای تبدیل بزرگای گشتاوری Mw و بزرگای محلی ML از جدول ۲ استفاده گردید.

$$Ms=1.21mb-1.29 \quad (1)$$

جدول ۲: تبدیل بزرگای Mw و ML به Ms

ML	Mw	Ms
۴/۸	۴/۵	۳/۶
۵/۳	۵/۲	۴/۶
۵/۸	۵/۸	۵/۶
۶/۳	۶/۶	۶/۶
۶/۸	۷/۳	۷/۳

۴- پارامترهای لرزه خیزی کرمان

برای پی بردن به سرشت لرزه‌خیزی هر گستره، برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی β و λ از ارکان لرزه‌خیزی هر منطقه محسوب می‌شود. در این راستا، ابتدا ضرورت دارد که زمین لرزه‌های گذشته دور و نزدیک گستره مورد پژوهش گردآوری شود. فرض اساسی در برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی اینست که رویداد زمین لرزه‌ها مستقل از یکدیگر باشند. لذا حذف پس‌لرزه و پیش‌لرزه‌ها از روش پنجره زمانی و مکانی برای هر یک از زمین لرزه‌های اصلی از فهرست رویداد زمین لرزه‌ها ضروری است [۲]. مسئله دیگر که حائز اهمیت است، در نظر گرفتن میزان خطای بزرگای زمین لرزه‌ها در گذشته دور و نزدیک در محاسبه و برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی یاد شده می‌باشد.

۴-۱- برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی

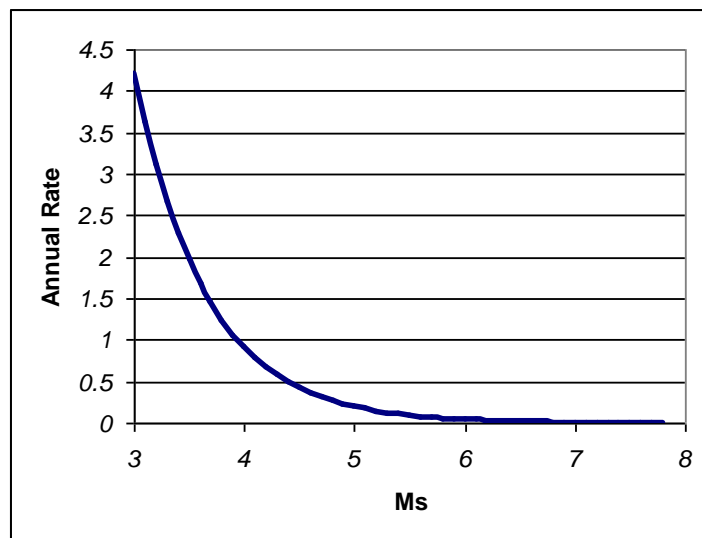
محاسبات مربوط به برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی، بر پایه رویداد زمین لرزه‌ها و رابطه بزرگا - فراوانی آنها صورت می‌گیرد. برای برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی باتوجه به کمبود اطلاعات مناسب لرزه‌خیزی، دقت کم اطلاعات موجود و همچنین عدم قطعیت در بزرگا، از روش کیکو [۸] استفاده شده است که بر مبنای تابع توزیع دو کراندار گوتنبرگ - ریشتر و روش آماری پیشینه احتمال بنا گردیده است.

۴-۱-۱- برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی به روش کیکو

باتوجه به اینکه میزان خطای داده‌های زمین لرزه‌های گسترده مورد پژوهش در زمان‌های مختلف قرن حاضر یکسان نمی‌باشد، لذا بکارگیری روش تخمین احتمال پیشینه مدل نسبتاً مناسبی برای برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی ایران می‌باشد. در این روش می‌توان با در نظر گرفتن خطاهای داده‌های زمین لرزه‌ای مربوط به دوره‌های مختلف بصورت مدل ارائه شده توسط کیکو [۸]، رویداد آنها را در برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی β و λ دخالت داد. نتایج حاصل از بکارگیری این روش شامل تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی در جدول ۳ آورده شده است که در حالت اول فقط از زمین لرزه‌های تاریخی، در حالت دوم فقط از زمین لرزه‌های دستگامی و در حالت سوم ترکیب زمین لرزه‌های تاریخی و دستگامی بکار رفته است. در شکل ۲ نرخ رویداد سالیانه زمین لرزه‌ها در گستره ۲۰۰ کیلومتری شهر کرمان ارائه شده است.

جدول ۳: مقایسه پارامترهای لرزه خیزی درحالت‌های مختلف گستره ۲۰۰ کیلومتری کرمان

Catalogue	Parameter	Value	Data Contribution to the parameters (%)		
			<1900	1900~1964	>1964
Historical Data	β	۳/۵۷	۱۰۰	-----	-----
	$\lambda(M_s = 4)$	۲/۹۹	۱۰۰	-----	-----
Instrumental Data	β	۱/۵۱	-----	۴۱/۹	۴۸/۲
	$\lambda(M_s = 4)$	۴/۱۳	-----	۱۹/۴	۸۰/۶
Historical & Instrumental Data	β	۱/۵۳	۲۲/۶	۳۶/۱	۴۱/۴
	$\lambda(M_s = 4)$	۴/۲۲	۴/۶	۱۸/۴	۷۶/۹



شکل ۲: نرخ رویداد سالانه برای زمین لرزه‌ها

۵- تحلیل خطر زلزله

به منظور برآورد پارامترهای جنبش نیرومند زمین که در این بخش مقادیر بیشینه شتاب طیفی افقی موردنظر می‌باشد، از روش احتمالاتی استفاده شده است. برای برآورد صحیح پارامتر مورد نظر (شتاب) و انجام تحلیل خطر زمین لرزه، لازم است تا به مواردی همچون انتخاب رابطه کاهندگی، مدل نمودن چشمه های لرزه زا، برآورد توان لرزه زایی هر یک از چشمه‌ها و مشخص نمودن نوع خاک ساختگاه توجه کافی شود [۹ و ۱۰].

۵-۱- رابطه کاهندگی

روابط کاهندگی، ارتباط بین پارامترهای حرکت زمین را با بزرگا و فاصله و در برخی حالات با دیگر پارامترها بیان می‌کنند و تابع پارامترهای فراوانی می‌باشند که مهمترین آنها به شرح زیر می‌باشند [۱۱]:

۱. خصوصیات چشمه، بزرگا، نوع گسلش و فاصله از چشمه لرزه‌زا
۲. مسیر عبور موج، انعکاس، انکسار و جذب انرژی به خاطر خصوصیت موادی که امواج از آنها عبور می‌کند
۳. زمین شناسی ساختگاه و توپوگرافی ساختگاه

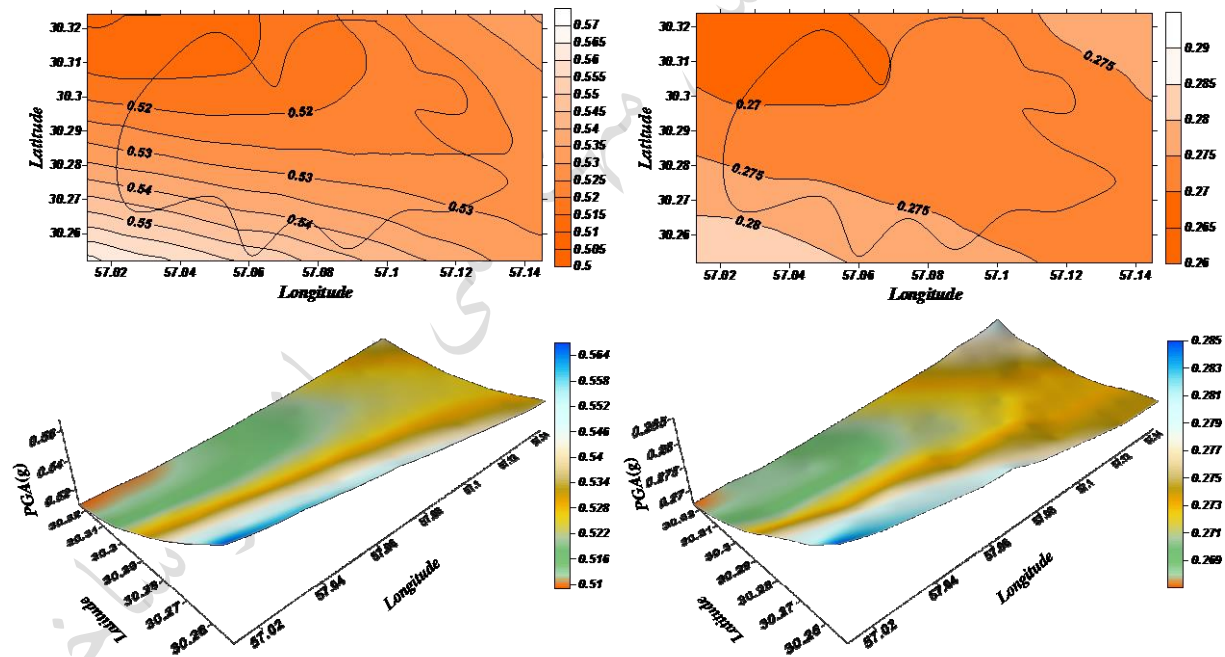
باتوجه به نکات ذکر شده در تحلیل خطر احتمالی زلزله برای یافتن حداکثر شتاب بر روی سنگ بستر (PGA) از دو رابطه کاهندگی قدرتی و همکاران [۱۲] و زارع و همکاران [۱۳] استفاده شد که به کمک روش درخت منطقی و بترتیب با ضرایب وزنی ۰/۶ و ۰/۴ باهم ترکیب شده‌اند. برای تهیه نقشه‌های شتاب طیفی هم از رابطه کاهندگی طیفی قدرتی و همکاران [۱۴] استفاده شده است.

۲-۵- نوع خاک ساختگاه

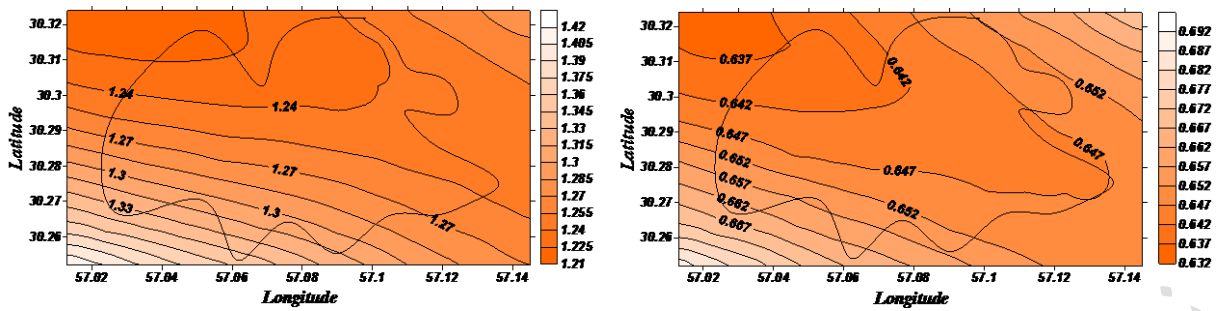
باتوجه به تحقیقات بعمل آمده و نتایج مطالعات ژئوتکنیک انجام شده در نقاط مختلف شهر کرمان، مشخص شد که برمبنای طبقه بندی خاک در استاندارد ۲۸۰۰ [۱۵]، نوع خاک این منطقه، نوع III در نظر گرفته می‌شود.

۳-۵- تحلیل خطر زلزله به روش احتمالاتی

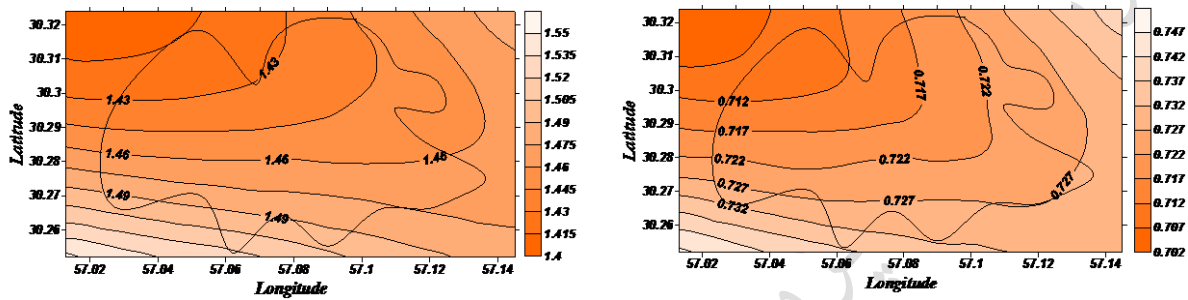
در این بخش برپایه چشمه‌های لرزه‌زای مدل شده و با استفاده از پارامترهای لرزه‌خیزی بدست آمده و نرم افزار *SEISRISKIII* [۱۶] حداکثر شتاب افقی بر روی سنگ بستر (PGA) و نیز شتاب طیفی افقی هرکدام با ۰/۱۰٪ و ۰/۲٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال عمر مفید سازه‌ها برای دو سطح خطر ۱ و ۲ مطابق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود [۱۷] برای یک شبکه ۸×۱۳ که شهر کرمان را بطور کامل پوشش دهند، برآورد شده است. در شکل ۳ نقشه شتاب روی سنگ بستر با ۰/۱۰٪ و ۰/۲٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال و همچنین در اشکال ۵ تا ۹ نقشه شتاب طیفی برای دوره‌های تناوب ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱ و ۲ ثانیه با ۰/۱۰٪ و ۰/۲٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی نشان داده شده است.



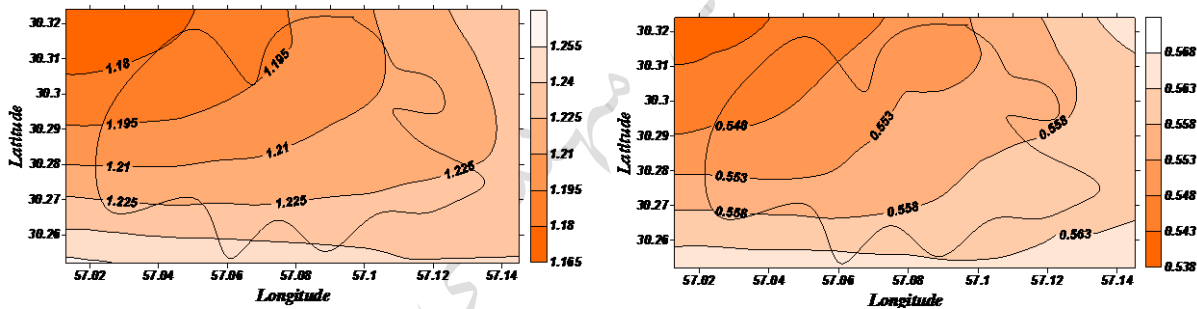
شکل ۳: نقشه شتاب روی سنگ بستر (PGA) با ۰/۱۰٪ (راست) و ۰/۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال



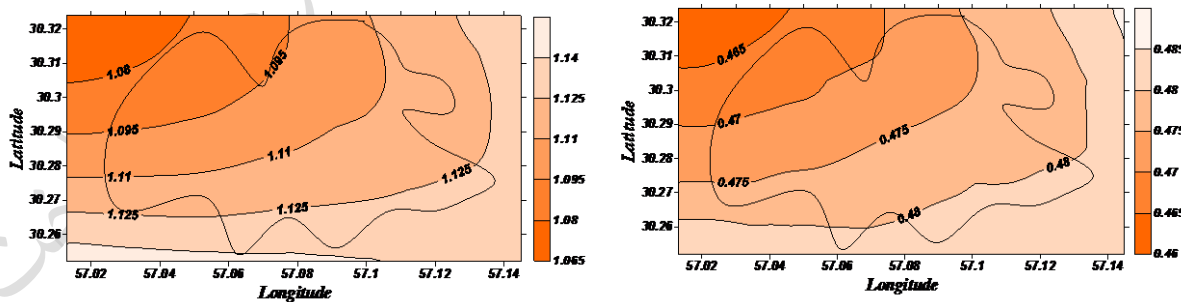
شکل ۴: نقشه شتاب طیفی ۰/۱ ثانیه با ۱۰٪ (راست) و ۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی خاک نوع III



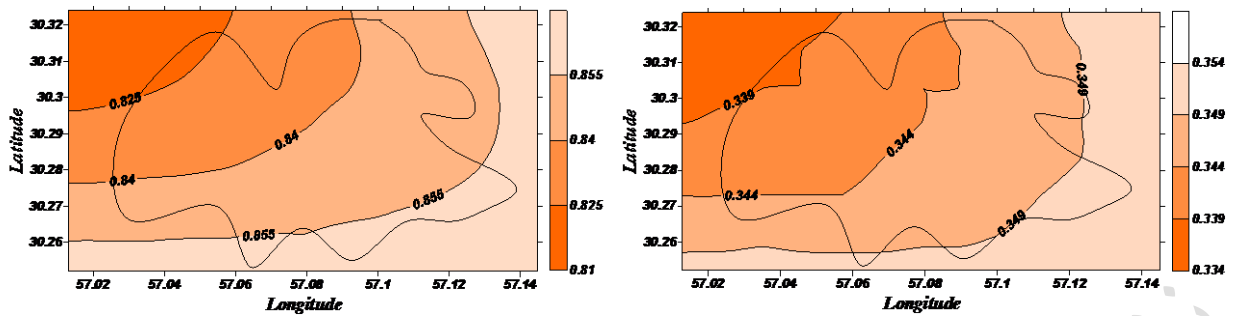
شکل ۵: نقشه شتاب طیفی ۰/۳ ثانیه با ۱۰٪ (راست) و ۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی خاک نوع III



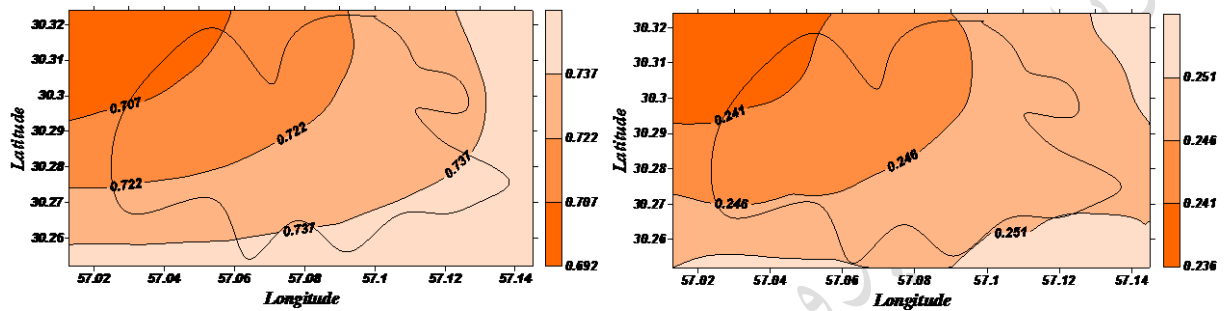
شکل ۶: نقشه شتاب طیفی ۰/۵ ثانیه با ۱۰٪ (راست) و ۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی خاک نوع III



شکل ۷: نقشه شتاب طیفی ۰/۷ ثانیه با ۱۰٪ (راست) و ۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی خاک نوع III

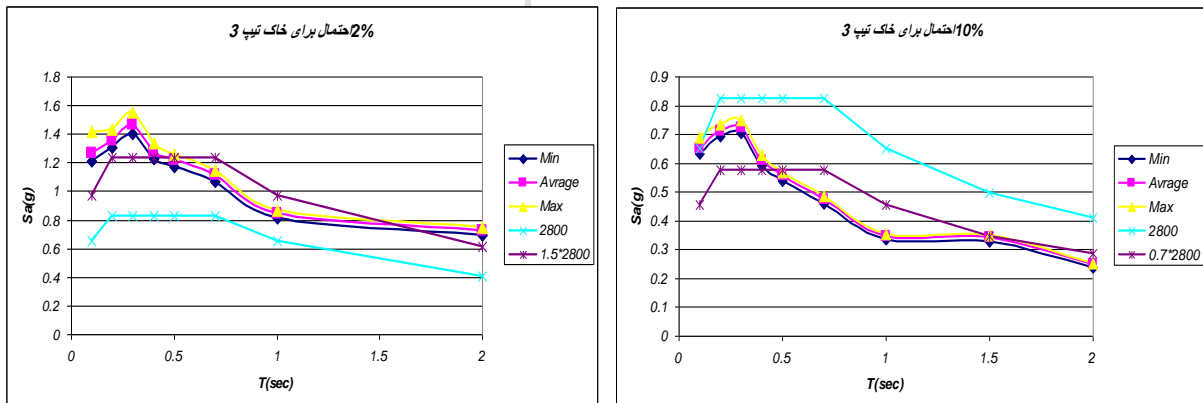


شکل ۸: نقشه شتاب طیفی ۱/۰ ثانیه با ۱۰٪ (راست) و ۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی خاک نوع III



شکل ۹: نقشه شتاب طیفی ۲/۰ ثانیه با ۱۰٪ (راست) و ۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی خاک نوع III

در شکل ۱۰ طیف خطر یکسان بصورت مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر شتاب طیفی نقاط مختلف شبکه با ۱۰٪ و ۲٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال برای مؤلفه افقی به همراه طیف استاندارد ۲۸۰۰ جهت مقایسه ارائه شده است.



شکل ۱۰: طیف خطر یکسان حداقل، میانگین و حداکثر با ۱۰٪ (راست) و ۲٪ (چپ) احتمال رویداد در ۵۰ سال به همراه طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای شهر کرمان

۶- نتیجه گیری

- ۱- PGA با احتمال رویداد ۱۰٪ در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ سال یا سطح خطر ۱ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود) در شهر کرمان از 0.27g تا 0.285g متغیر می‌باشد که این مقدار در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران برابر 0.3g تعیین شده است.
- ۲- PGA با احتمال رویداد ۲٪ در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال یا سطح خطر ۲ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود) در شهر کرمان از 0.51g تا 0.57g متغیر می‌باشد.

۳- مقدار شتاب طیفی حداکثر در سطح خطر ۱ در تمامی پیوندها کمتر از طیف استاندارد ۲۸۰۰ می باشد.

۷- مراجع

- [1] Berberian, M., Ghoreishi, M., Ravesh, B.A., and Ashjaei, A.M., 1983, "Seismotectonic and Earthquake Fault Hazard Investigations in the Tehran Region"; Geological Survey of Iran, Report No.56 (1983) (In Persian)
- [2] Gardner, J. K. and Knopoff, L., "Is the sequence of earthquake in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?"; *Bulletin of the Seismological Society of America* 64, No. 5 (1974) 1363-1367
- [3] Berberian, M., "Natural Hazards & the First Earthquake Catalogue of Iran, Vol. 1: Historical Hazards in Iran Prior to 1900"; International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, IIEES, Tehran, Iran (1994)
- [4] Nabavi, S.M., "Historical earthquakes in Iran, 300BC - 1900 AD"; *Journal of Earth and Space Physics* 7, (1978) 70-117.
- [5] Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., "A History of Persian Earthquakes"; Cambridge University Press, Cambridge, Britain. (1982)
- [6] IIEES, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, <http://www.iiees.ac.ir>.
- [7] Iranian Committee of Large Dams (IRCOLD), "Relationship between Fault Length and Maximum Expected Magnitude"; Internal Report. (1994) (In Persian)
- [8] Kijko, A., "Statistical estimation of maximum regional earthquake magnitude Mmax"; Workshop of Seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping, Poljce, Slovenia, Geological Survey, 1-10. (2000)
- [9] Cornell, C.A., "Engineering seismic risk analysis"; *Bulletin of the Seismological Society of America* 58, No. 5 (1968) 1583-1606
- [10] Green, A.R. and Hall, W.J., "An Overview of Selected Seismic Hazard Analysis Methodologies"; A Report on a Research Project, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign. (1994)
- [11] Douglas, J., "Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: A review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates"; *Earth-Science Reviews* 61(1-2), 43-104 (2003)
- [12] Ghodrati Amiri, G., Mahdavian, A., Manouchehri Dana, F. "Attenuation Relationship for Iran"; *Journal of Earthquake Engineering* 11, No. 4 (2007) 469-492
- [13] Zar'eh, M., Ghafory-Ashtiani, M., & Bard, P.-Y., "Attenuation law for the strong-motions in Iran"; Proceedings of the Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Vol. 1., 345-354 (1999)
- [14] Ghodrati Amiri, G., Khorasani, M., Mirza Hesabi, R., and Razavian Amrei, S.A., "Ground-Motion Prediction Equations of Spectral ordinates and Arias Intensity for Iran"; *Journal of Earthquake Engineering* 14, No. 1 (2010) 1-29
- [15] Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, 2005, Standard No.2800, Third Revision, Building & Housing Research Center, Iran. (In Persian)
- [16] Bender, B. and Perkins, D.M., "SEISRISKIII: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation"; U.S. Geological Survey, Bulletin 1772. (1987)
- [17] IIEES, "Seismic Rehabilitation Code for Existing Buildings in Iran"; International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran (2002) (In Persian)