



فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۳۹۹، سال چهارم، شماره ۱۶

10.22077/JT.2021.4033.1104

تحلیل خطر لرزه خیزی به روش آماری و احتمالاتی در شهر میامی (استان سمنان)

سهام عموری*؛ رمضان رضانی اومالی^۲، هاشم منصوری^۳

۱- کارشناسی ارشد تکنیک، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳- دانشجوی دکتری تکنیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۸

چکیده

شهر میامی در شرق استان سمنان واقع شده است و به دلیل نزدیکی به گسل فعال میامی و همچنین شواهد لرزه خیزی ثبت شده، مطالعه لرزه خیزی از اهمیت زیادی برخوردار است. مهمترین چشمه های لرزه زا در اطراف این شهر را می توان به گسلهای میامی، حکم آباد و ارمیان اشاره کرد. در این پژوهش برای مطالعه آماری لرزه خیزی از دو روش گوتنبرگ-ریشتر و کیکو-سلول استفاده شده است. مطالعات آماری بر اساس گوتنبرگ-ریشتر، دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را برای زمین لرزه ۶/۵ ریشتری نشان می دهد. همچنین بر اساس روش کیکو-سلول دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را برای زلزله ۵/۹ ریشتر نشان می دهد. که به مراتب بزرگای کمتری دارد که از نظر آماری تطابق بهتری با وقایع رخ داده دارد. نتایج حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی در میامی به شعاع ۱۵۰ کیلومتری، نشان دهنده بیشینه شتاب افقی ۰/۷g در یک دوره بازگشت ۴۷۵ ساله می باشد. که میامی در محدوده شتاب افقی ۰/۴-۰/۳ قرار دارد که می توان آن را به عنوان یک شهر با خطر لرزه ای زیاد در منطقه قلمداد کرد.

واژگان کلیدی: گسل میامی، روش گوتنبرگ ریشتر، روش کیکوسلول، شتاب افقی، تحلیل خطر زمین لرزه



Seismic Hazard Analysis by Statistic and Probability Methods in Miamei City (Semnan province)

Saham Amouri^{*1}, Ramazan Ramazani omali², Hashem Mansouri³

1-MSc in Tectonics, Geology Department, Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology

2-Associate Professor in Tectonics, Geology Department, Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology

3- Ph.D. Student in Tectonics, Geology Department, Faculty of Science, University of Birjand

Abstract

Miamei city is located in the east of Semnan province and It is important to seismic study because of proximity to the active Miamei Fault and recorded seismic events. Miamei, Hokmabad and Armian Faults are more importance for Seismic sources around Miamei city. In this research two methods (Gutenberg-Richter and Kijko-Selevoll methods) have been used for seismic statistical studies. Statistic studies based on Gutenberg-Richter show a 100 years return period for an earthquake with magnitude 6.5 Richter. Also based on Kijko-Selevoll show a 100 years return period for an earthquake with magnitude 5.9 Richter tat statistically has more coincide with actual events. The results of probabilistic seismic hazard analysis around the Miamei city at a radios 150 km indicate maximum horizontal acceleration of 0.7g in a 475 years return period. In this zoning, Miamei city is located in horizontal acceleration of 0.3g-0.4g which can be considered as a city with high seismic hazard class in area.

Keywords: Miamei fault, Gutenberg-Richter method, Kijko-Selevoll, Horizontal Acceleration, Seismic Hazard Analysis.

* samaamoori9527@yahoo.com

گسلهای فعال در محدوده مطالعاتی:

از گسلهای فعال در محدوده مطالعاتی می توان به گسلهای میامی، آستانه، دامغان، شاهرود، حکم آباد، ارمیان، سیاه کوه و .. اشاره کرد که در اینجا به توضیح برخی از آنها می پردازیم

گسل میامی:

گسل میامی با راستای شمال خاوری جنوب باختری جدا کننده پهنه بینالود از ایران مرکزی است. حد خاوری آن فرورفتگی ناحیه تربت جام و ممکن است دنباله گسل هرات در افغانستان باشد (نبوی، ۱۳۵۵). مرز باختری این گسل در جنوب باختری شاهرود در زیر رسوبات عهد حاضر و کویر دامغان ناپدید می شود ولی ممکن است گسل عطاری در فاصله ۱۰۰ کیلومتری ادامه باختری آن باشد. مرز شمالی این گسل بیشتر زمین های آبرفتی و کوهپایه ای است ولی مرز جنوبی آن جدا کننده آمیزه های فیولیتی از واحد های دیگر است (آقاناتی، ۱۳۸۳). گسل میامی تا آخرین مراحل چین خوردگی آلپی در پلیوسن حالت راست بر داشته است.

گسل آستانه:

بخش اعظم گسل آستانه در فاصله بین آستانه تا فولاد محله روند کلی شمال خاوری- جنوب باختری داشته و این روند به سمت جنوب باختری تا شمال شه میرزاد ادامه می یابد. به سمت شمال خاوری، پس از عبور از آستانه، با تغییر روند به حالت تقریبی خاوری- باختری ادامه یافته، که به عنوان گسل طزره شناخته می شود (امیدی، ۱۳۸۰).

بشر از دیر باز با پدیده های مخرب طبیعی روبه رو بوده و همیشه سعی کرده راه حل هایی برای مقابله با این پدیده ها پیدا کند. از این پدیده ها، زمین لرزه ها نقش تخریبی زیادتری در زندگی بشر داشته است. هرچند گاهی، وقوع زمین لرزه جان هزاران انسان را مورد تهدید قرار داده است، بسیاری از سازه ها و تأسیسات ساخته دست بشر را تخریب کرده و خسارت جانی و مالی فراوانی را به بار آورده است. از آنجایی که زلزله به عنوان یکی از بلایای طبیعی، خسارات مالی و جانی زیادی به بشر در طول تاریخ وارد کرده است لذا ارزیابی خطر زمین لرزه در مناطق زلزله خیز حائز اهمیت فراوان است. کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای لرزه خیز در جهان مطرح می باشد و گسل ها از مهمترین عناصر ساختاری تغییر شکل دهنده پوسته ایران می باشند، لذا زمین شناسان با روش های گوناگون سعی در مطالعه، شناسایی و ارزیابی میزان فعالیت این گسل ها دارند. شهر میامی در شرق استان سمنان واقع شده است و به دلیل نزدیکی به گسل فعال میامی و همچنین شواهد لرزه خیزی ثبت شده، ضرورت مطالعه لرزه خیزی آشکار می گردد.

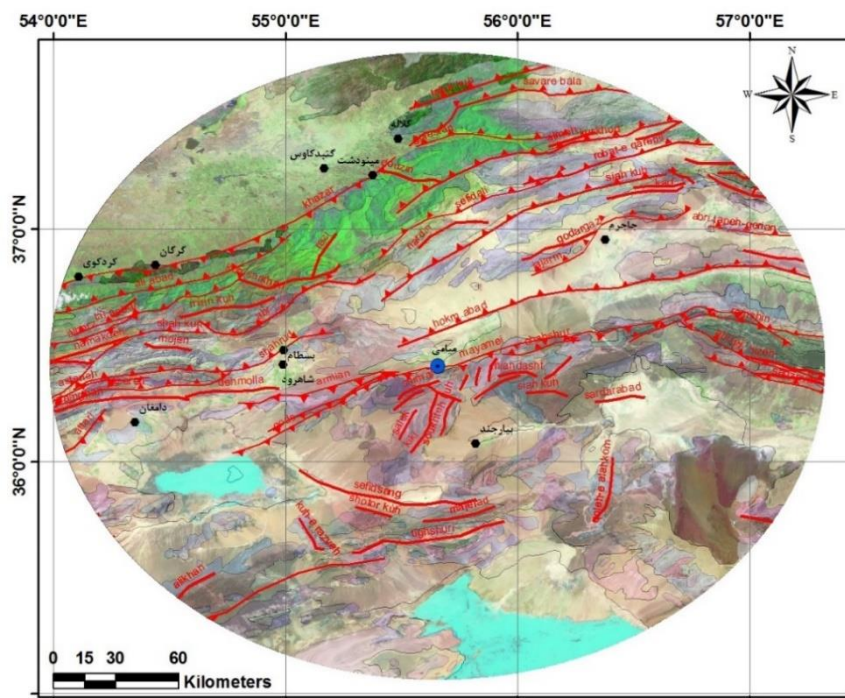
داده ها و روش تحقیق:

در این تحقیق، ابتدا بر اساس نقشه های زمین شناسی و عکسهای ماهواره ای، گسلهای فعال به عنوان چشمه های لرزه ای احتمالی تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر میامی مشخص و ترسیم گردید (شکل ۱). همچنین با گردآوری فهرست زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر میامی به تعیین پارامترهای لرزه خیزی و دوره بازگشت زمین لرزه ها به روش گوتنبرگ ریشتر و کیکو-سلول در گستره ی مورد مطالعه اقدام گردیده است. در ادامه طول گسیختگی گسلها و روابط کاهیدگی جهت برآورد پارامتر شتاب افقی در دوره های مختلف به کار گرفته شد.



جدول ۱. مشخصات برخی از گسلهای فعال اطراف میامی (شیخ الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۳)

ردیف	نام گسل	سازوکار گسل	طول گسل	فاصله از میامی (کیلومتر)	روند گسل
۱	کی کی	راستالغز	۳۰	۱۳	NNE-SSW
۲	آرمیان	معکوس	۶۵	۱۵	NE-SW
۳	قدس	معکوس	۷۵	۲۰	NE-SW
۴	شیرمار	معکوس	۲۵	۸	NE-SW
۵	سکون	---	۲۵	۱۲	NE-SW
۶	سوخته کوه	معکوس	۲۰	۱۷	NNE-SSW
۷	چاه سیدان	معکوس با مولفه چپگرد	۲۰	۲۱	NE-SW
۸	سیاه کوه	راستالغز	۲۰	۳۶	W-E
۹	میاندشت	راستالغز	۲۰	۲۳	W-E
۱۰	کال طاقی	راستالغز	۱۰	۱۵	N-S
۱۱	خوندر	---	۱۱	۱۰	NW-SE
۱۲	چاه شور	معکوس	۳۴	۲۵	ENE-WSW
۱۳	دهملا	---	۴۰	۶۲	W-E
۱۴	دامغان	راستالغز	۱۰۰	۹۷	W-E
۱۵	شاهرود	معکوس	۱۰۵	۴۳	W-E
۱۶	میامی	معکوس-راستالغز	۲۲۰	۵	NE-SW
۱۷	سالک	معکوس	۳۰	۲۲	NNE-SSW
۱۸	ابر	معکوس	۸۲	۵۰	NE-SW
۱۹	دوچپله	امتدادلغز	۱۱	۲۰	N-S
۲۰	عباسنو	امتدادلغز	۱۲	۱۲	N-S



شکل ۱. نقشه گسل‌های فعال محدود مورد مطالعه در گستره ای به شعاع ۱۵۰ کیلومتری از شهر میامی (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲)

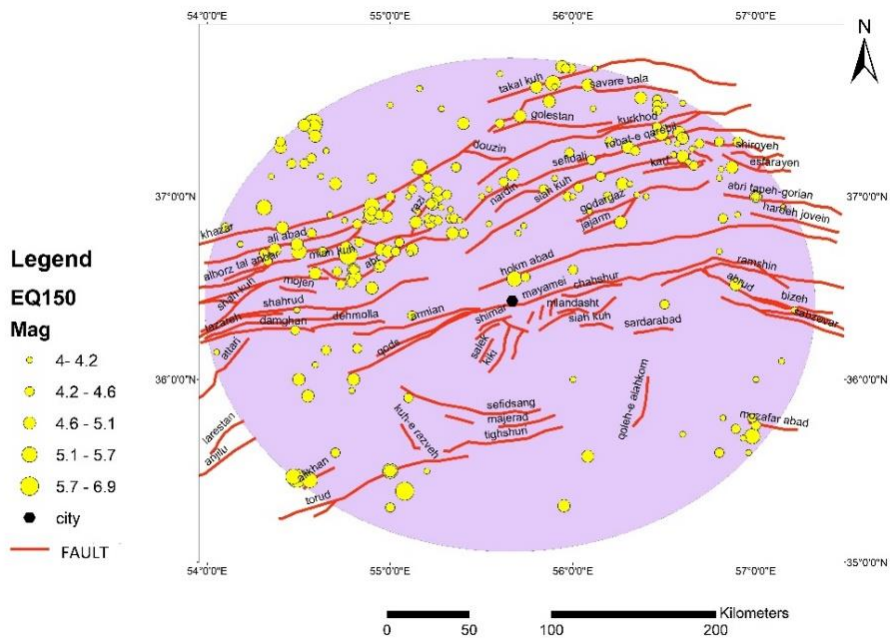
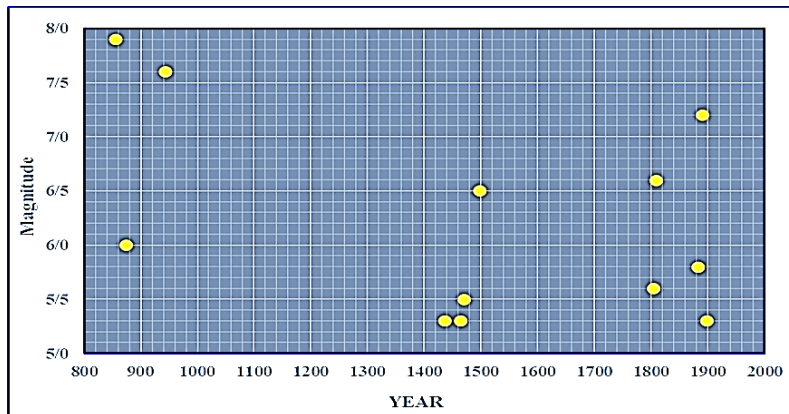
زمین لرزه های تاریخی:

بزرگ‌ترین رویدادهای لرزه‌ای تاریخی در گستره مورد مطالعه به ترتیب شامل زیر است: رویداد زمین لرزه‌ای ۲۲ دسامبر سال ۸۵۶ میلادی با بزرگای $M_s = 7.9$ که منجر به ویرانی ناحیه وسیعی از قومس در جنوب غرب دامغان تا نیشابور گردید، رویداد زمین لرزه‌ای ماه آگوست سال ۹۴۳ میلادی با بزرگای $M_s = 7.6$ در منطقه اترک نسا بر اثر فعالیت گسل آبخانه (قطعه شرقی گسل تکل کوه) و زمین لرزه‌ی ۱۱ جولای سال ۱۸۹۰ با بزرگای $M_s = 7.2$ در منطقه تاش شاهرود می‌باشد.

زمین لرزه های دستگاهی:

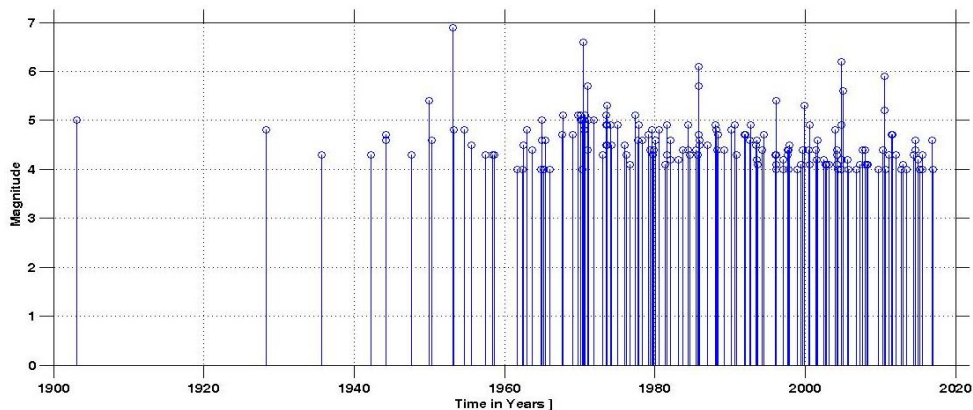
زلزله های دستگاهی ثبت شده بیش از سه ریشتر از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۸ در محدوده مورد مطالعه نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. در گستره ۱۵۰ کیلومتری اطراف شهر میامی بزرگترین زمین لرزه‌های روی داده در منطقه، رویداد زمین لرزه‌ای ۱۲ فوریه سال ۱۹۵۳ میلادی با بزرگای $M_b = 6.9$ و زمین لرزه‌ی ۲۹ اکتبر ۱۹۸۵ با بزرگای $M_w = 6.2$ و زلزله ۱۷ اکتبر سال ۲۰۰۴ میلادی با بزرگای $M_L = 6.2$ می‌باشد (نمودار ۲).

نمودار ۱. پراکندگی زمین لرزه های تاریخی نسبت به بزرگا و زمان در گستره ی مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه پراکندگی زمین لرزه های دستگاهی

نمودار ۲. پراکندگی زمین لرزه های اصلی دستگاهی نسبت به بزرگا و زمان در گستره ی مورد مطالعه



بحث:

بر آورد پارامترهای لرزه خیزی:

بررسی لرزه خیزی یک ناحیه معمولا با مطالعه آماری فراوانی رویداد زمین لرزه‌ها نسبت به بزرگا و مشاهده پراکندگی بزرگای زمین لرزه‌ها در حوزه زمان و مکان می‌باشد، که به طور کلی وضعیت لرزه خیزی ناحیه مورد مطالعه را نمایش می‌دهد. به منظور تحلیل و بررسی‌های آماری، و بر آورد پارامترهای لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه، پس از جمع آوری داده‌های لرزه‌ای، این داده‌ها مورد بررسی و پردازش قرار می‌گیرد. پارامترهای لرزه خیزی، الگوی آماری لرزه خیزی هر گستره را با یک کمیت عددی بیان می‌کند. این پارامترها عبارتند از M_{max} : بیشینه بزرگای منطقه‌ای، λ : آهنگ فعالیت سالانه و b پارامتر لرزه‌ای در رابطه ریشتر-گوتنبرگ

با استفاده از خصوصیات زمین لرزه‌های روی داده در گستره‌ی مورد مطالعه، می‌توان این کمیت‌ها را مورد ارزیابی و بررسی قرار داد. براساس فراوانی رویداد زمین لرزه‌ها بر حسب بزرگای آن‌ها که بر مبنای روابط مختلف گوتنبرگ- ریشتر بیان می‌گردد و استفاده از روش‌های مختلف آماری، پارامترهای لرزه خیزی که همان ضرایب ثابت رابطه گوتنبرگ-ریشتر هستند، محاسبه می‌شوند. در این پژوهش علاوه بر روش مقدماتی گوتنبرگ ریشتر از روش کیکو- سلوول^۲ که بر پایه تابع توزیع دو کراندار گوتنبرگ- ریشتر است نیز استفاده گردیده تا مناسب‌ترین پارامترهای لرزه خیزی در رابطه با فعالیت چشمه‌های لرزه‌زا اختیار شود. در تحلیل لرزه خیزی

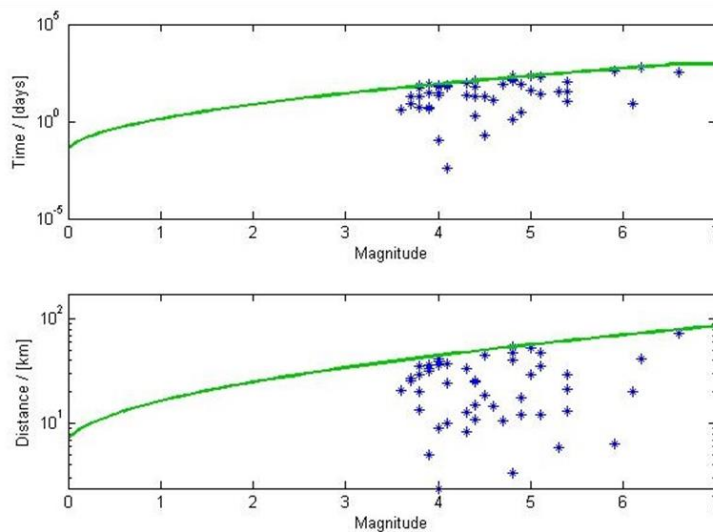
و بر آورد پارامترهای گستره مورد مطالعه، فرض بر این است که وقوع زمین لرزه‌ها بواسونی است، یعنی زمان و مکان رویداد زمین لرزه‌ها مستقل از یکدیگر هستند. در نتیجه فهرست خام زمین لرزه‌ها باید به منظور تبعیت از فرآیند بواسونی مورد پردازش قرار گیرد. البته نظریه‌های دیگری نیز در این باره ارائه شده، اما فرآیند بواسونی همچنان قابل قبول‌ترین و کاربردی‌ترین فرضیه تلقی شده که در این پژوهش نیز به آن عمل شده است. به همین خاطر در فهرست زمین لرزه‌ها، پیش لرزه‌ها و پس لرزه‌ها از رویدادهای اصلی تشخیص داده شده‌اند و پس از حذف آن‌ها برازش داده‌های نهایی با تابع توزیع بواسونی مورد ارزیابی قرار گرفته است

حذف پس لرزه و پیش لرزه:

قبل از انجام مطالعات آماری بر روی داده‌ها و به منظور بررسی دقیق سابقه‌ی لرزه خیزی منطقه و درک صحیح از رفتارهای لرزه شناسی منطقه مورد مطالعه، باید پس لرزه‌ها و پیش لرزه‌ها را از کاتالوک زمین لرزه‌ها حذف کرد. متداول‌ترین روش در حذف پس لرزه‌ها و پیش لرزه‌ها در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی و مکانی برای رویداد آن‌ها است (جدول ۲). برای این کار الگوریتم‌هایی ارائه شده است که در این پژوهش از یک الگوریتم معروف به نام نوپوف استفاده شده است (شکل ۳). در این پژوهش ۵۹۸ زمین لرزه در فواصل ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۸ رخ داده که پس از حذف پیش لرزه و پس لرزه‌ها به ۴۶۴ زمین لرزه رسیده است.

جدول ۲. پنجره زمانی-مکانی برای حذف پس لرزه ها و پیش لرزه ها بر حسب بزرگای Ms. (Gardner & Knopoff, 1974)

محدوده بزرگا	پنجره زمانی (روز) (T)	فاصله (کیلومتر) (R)
$3.6 \leq M_s \leq 4.4$	21	30
$4.5 \leq M_s \leq 5.4$	77	40
$5.5 \leq M_s \leq 6.4$	255	54
$6.5 \leq M_s \leq 7.4$	457	70



شکل ۳. نمودارهای پنجره زمانی و مکانی حذف پیش لرزه و پس لرزه ها به روش گاردنر نوپوف (۱۹۷۴)

محاسبه پارامترهای فرمول لرزه خیزی و دوره بازگشت به روش مقدماتی گوتنبرگ-ریشتر:

مدل های مختلفی از روابط گوتنبرگ-ریشتر در جهت تصحیح محاسبات، تعیین دقیق تر رابطه بزرگا-فراوانی و جبران کاستی های روابط قبلی ارائه شده اند. ساده ترین مدل که به نام رابطه مقدماتی گوتنبرگ-ریشتر، (۱۹۵۸) نامیده می شود به صورت زیر بیان می شود:

$$\text{Log}(N_c) = a - b(M) \quad (\text{رابطه ۱})$$

یکی از روش های مناسب که به منظور تشریح میزان لرزه خیزی یک ناحیه معرفی شده روابط شناخته شده ی گوتنبرگ-ریشتر می باشند. توسط این رابطه، ارتباط بزرگا-فراوانی رویداد زمین لرزه ها تعریف می شود که ضرائب ثابت آن نشانگر وضعیت لرزه خیزی ناحیه یا چشمه مورد نظر خواهد بود.



ضریب a: نمادی از اندازه لرزه خیزی گستره

N: تعداد تجمعی زلزله‌ها در دوره زمانی مورد نظر

ضریب b: نمادی از ویژگی لرزه خیزی منطقه

M: بزرگای زلزله در یک بازه زمانی و مکانی

که ایجاد تنش‌های زیاد در نمونه‌های آزمایشگاهی با مقدار کوچکتر b همراه است. برعکس تنش‌های کوچکتر با مقدار بزرگتر همراه خواهد بود. بنابراین مقدار b با مقدار تنش رابطه معکوس دارد. فرمول لرزه خیزی به دست آمده برای منطقه به رابطه زیر است که مقادیر a و b به ترتیب ۰/۸ و ۳/۲ می‌باشد.

بررسی ضرایب a و b در معادلات فوق از اهمیت ویژه‌ای در زلزله‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه برخوردار است. ضریب a مقدار فعالیت لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه است و مقدار آن به وسعت منطقه و بازه زمانی مورد نظر بستگی دارد. بر اساس تجربیات آزمایشگاهی، تعبیر فیزیکی معتبری برای تغییر مقدار ضریب b با تغییر مقدار تنش حاصل شده است. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد

$$\text{Log}N=3.2-0.8Ms \quad (\text{رابطه ۲})$$

دوره بازگشت زمین لرزه‌ها به روش گوتنبرگ-ریشتر در جدول ۳ آمده است.

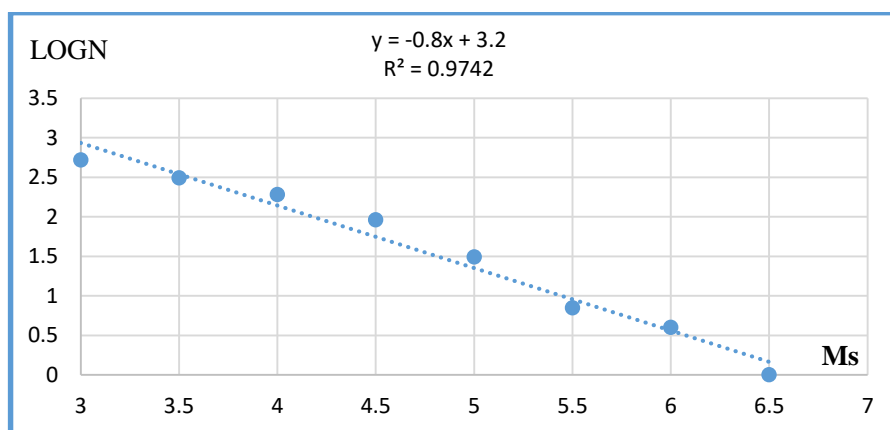
از نظر آماری آهنگ رویداد سالیانه زلزله با بزرگای M برابر عکس دوره بازگشت آن زلزله می‌باشد، یعنی

$$\lambda = \frac{1}{T}$$

جدول ۳. دوره بازگشت زمین لرزه‌ها با استفاده از روش گوتنبرگ-ریشتر

دوره بازگشت زلزله (سال)	5	10	25	50	75	100	150
MS	4.8	5.2	5.7	6.1	6.4	6.5	6.8

نمودار ۳. فرمول لرزه خیزی منطقه به روش گوتنبرگ-ریشتر





محاسبه فرمول لرزه خیزی و دوره بازگشت زمین لرزه ها به روش کیکو-سلول:

گستره‌ی مورد مطالعه، شاهد زمین لرزه‌های متعدد تاریخی و دستگاهی بوده که این زمین لرزه‌ها در سه بازه زمانی تقسیم می‌شوند که شامل فهرست زمین لرزه‌های تاریخی (قبل از سال ۱۹۰۰، فهرست زمین لرزه‌های دستگاهی دوره اول (۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳) و فهرست زمین لرزه‌های دستگاهی دوره دوم (۱۹۶۴ به بعد، سال نصب شبکه لرزه‌نگاری جهانی) می‌باشد:

- ۱- زمین لرزه‌های تاریخی (زمین لرزه‌های شدید اتفاق افتاده در چند قرن گذشته) دارای ۰,۳ - ۰,۴ واحد، خطا در محاسبه بزرگا.
- ۲- زمین لرزه‌های دستگاهی دوره اول (زمین لرزه‌های دستگاهی از تاریخ ۱۹۰۰ تا ۱۹۶۳ میلادی) دارای ۰,۲ واحد، خطا در محاسبه بزرگا.
- ۳- زمین لرزه‌های دستگاهی دوره دوم (زمین لرزه‌های دستگاهی از تاریخ ۱۹۶۴ میلادی تا کنون) دارای ۰,۱ واحد، خطا در محاسبه بزرگا.

به منظور محاسبه پارامترهای لرزه‌ای به روش توزیع نهایی کیکو-سلول، در این پژوهش از برنامه کامپیوتری (Kijko-Selevoll, 2001) استفاده شده است. این برنامه کامپیوتری شامل تابع توزیع برازش مقادیر نهایی برای زمین لرزه‌های قبل از قرن بیستم که اغلب بزرگ اما کم دقت هستند، تابع توزیع دو کراندار گوتنبرگ-ریشتر برای زمین لرزه‌های ثبت شده دستگاهی و به کار بستن روش آماری تخمین بیشینه محتمل است. در روش کیکو-سلول، برای هر دسته توان استفاده همزمان زمین لرزه‌های تاریخی و دستگاهی با انجام دسته‌بندی‌های مناسب، با در نظر گرفتن خطای بزرگا، بزرگای آستانه و بزرگای حداکثر به صورت متفاوت، وجود دارد. نتایج حاصل از این روش شامل تعیین پارامترهای لرزه خیزی یعنی ضرایب β و λ (میزان فعالیت و آهنگ رویداد سالیانه)، تعیین حداکثر بزرگای پذیرفتنی (M_{max})، تعیین دوره بازگشت و احتمال رویداد و عدم رویداد زمین لرزه‌های بزرگ در دوره‌های زمانی متفاوت است. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه پارامترهای لرزه خیزی در برنامه‌ی کامپیوتری کیکو (۲۰۰۱) و پارامترهای حاصل از این روش در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۴. اطلاعات استفاده شده برای محاسبه پارامترهای لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه در برنامه‌ی کامپیوتری کیکو-سلول

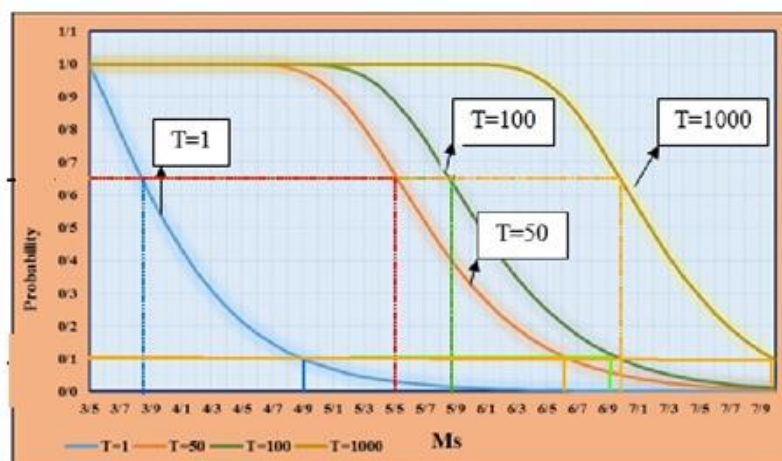
مختصات کاتالوگ‌ها	زلزله‌های تاریخی	زلزله‌های دستگاهی دوره اول	زلزله‌های دستگاهی دوره دوم
اسم فایل کاتالوگ	before 1900	1900-1963	1964-2017
تاریخ شروع کاتالوگ	855/1/1	1900/1/1	1964/1/1
تاریخ پایان کاتالوگ	1899/12/31	1963/12/31	2017/6/31
تعداد زلزله‌های کاتالوگ	12	26	437
کوچکترین زلزله مشاهده شده در کاتالوگ	5.3	3.5	3
بزرگترین زلزله مشاهده شده در کاتالوگ	7.9	6.5	6.6
دومین زلزله بزرگ مشاهده شده در کاتالوگ	7.6	5.4	6.1
انحراف معیار استاندارد	0.3 - 0.4	0.2	0.1

مقادیر آهنگ رویداد سالیانه و احتمال رویداد زلزله برای منطقه مورد مطالعه، در بازه‌های زمانی ۱، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله بر حسب بزرگای سطحی (Ms) در جدول ۵ برای بزرگاهای ۳/۵ به بالا نمایش داده شده است. همچنین

جدول ۵. مقادیر آهنگ رویداد سالیانه و احتمال رویداد زمین لرزه‌ها بر حسب بزرگای سطحی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر میامی با استفاده از برنامه کامپیوتری کیکو

بزرگی سطحی (Ms)	آهنگ رویداد سالیانه (λ)	احتمال رویداد زمین لرزه			
		۱ ساله (T=1)	۵۰ ساله (T=50)	۱۰۰ ساله (T=100)	۱۰۰۰ ساله (T=1000)
3.5	1.26	0.995967	1.000000	1.000000	1.000000
4.0	0.460	0.513032	1.000000	1.000000	1.000000
4.5	0.167	0.213828	0.999761	1.000000	1.000000
5.0	0.0605	0.081699	0.951409	0.997639	1.000000
5.5	0.0219	0.030182	0.665817	0.888322	1.000000
6.0	0.00793	0.010994	0.327319	0.547500	0.999640
6.5	0.00285	0.003966	0.132960	0.248242	0.942352
7.0	0.00101	0.001408	0.049327	0.096220	0.636398

نمودار ۴. احتمال رویداد زلزله بر حسب بزرگای سطحی برای منطقه مورد مطالعه





جدول ۶. دوره بازگشت بزرگسای زلزله با استفاده از روش کیکو-سلوول

بزرگسای زلزله (Ms)	دوره بازگشت زلزله (سال)	بزرگسای زلزله (Ms)	دوره بازگشت زلزله (سال)
3.5	1	6	126
4	2	6.5	351
4.5	6	7	990
5	17	7.5	2907
5.5	46	8	9901

تعیین میزان بیشینه شتاب افقی:

مثال پارامترهایی همچون عمق سائیزموژنیک را لحاظ کرده، این نرم افزار کلیه سطح چشمه لرزه‌ای را به صورت شبکه بندی در نظر می‌گیرد. در این مطالعه از روابط کاهندگی جدول ۷ استفاده شده است. در این مطالعه، گستره مورد نظر به شبکه ای از نقاط با فاصله تقریباً دو کیلومتر تقسیم شده است.

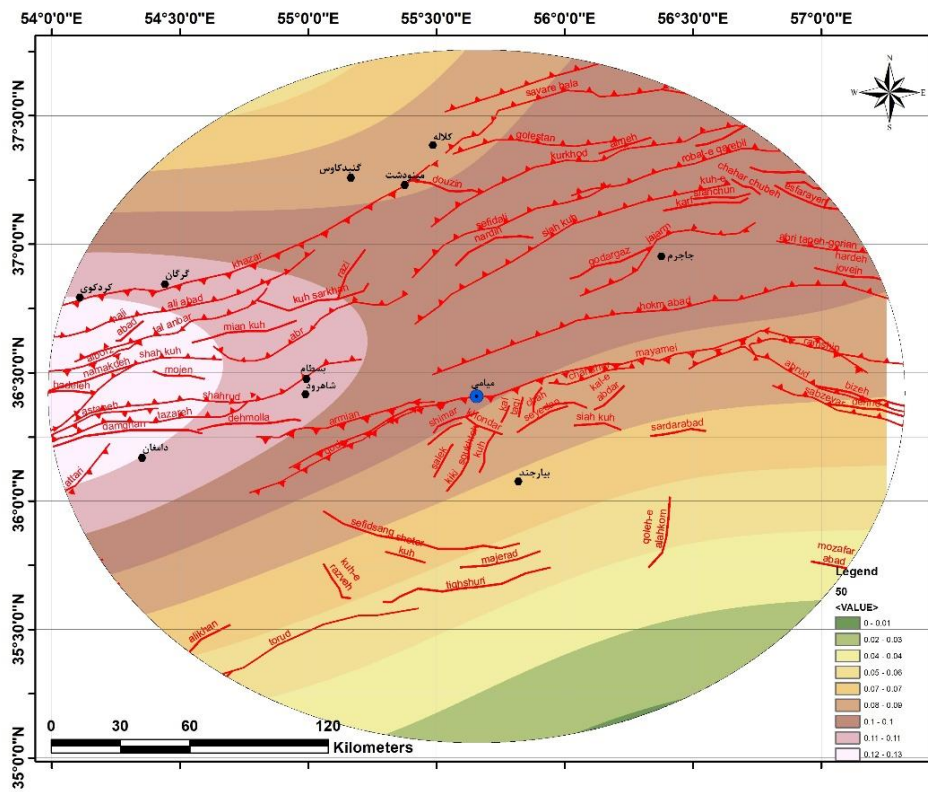
در این پژوهش به منظور ارزیابی لرزه خیزی منطقه مورد مطالعه و تعیین میزان شتاب زمین حاصل از زمین لرزه های احتمالی از نرم افزار EZ-Frisk استفاده شده است. این نرم افزار که در سال ۲۰۰۲ کد نویسی شده است، نقاط ضعف نرم افزار های قبلی را پوشش می دهد. به عنوان

جدول ۷. روابط کاهندگی مورد استفاده در منطقه

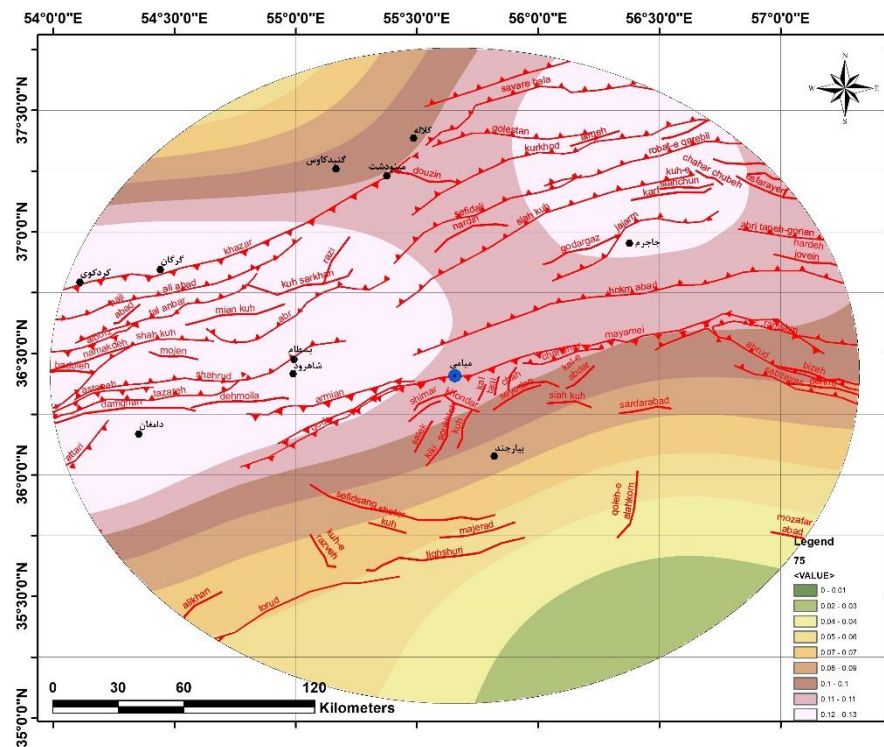
روابط کاهندگی استفاده شده	Abrahamson-Silva (2008)	Ambraseys et al (2005)	Boore-Atkinson (2008)	Chiou-Youngs (2008)	Campbell-Bozorgnia (2008)	Idriss (2008)
درصد بهره گیری	۱۵	۵	۳۵	۱۵	۲۵	۵

نواحی با خطر نسبی خیلی زیاد با بیشینه شتاب بیش از ۰/۳۵، مناطق با بیشینه شتاب بین ۰/۳۰ تا ۰/۳۵، با خطر لرزه های زیاد، نواحی با خطر لرزه های متوسط شامل مناطق با بیشینه مقادیر شتاب بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۰، مناطق با مقادیر شتاب ۰/۲۰ تا ۰/۲۵، معرفی نواحی با خطر لرزه های کم شامل مناطق با بیشینه شتاب بین مقادیر کمتر از ۰/۲۰ که نواحی با خطر لرزه های خیلی کم را نشان می دهد.

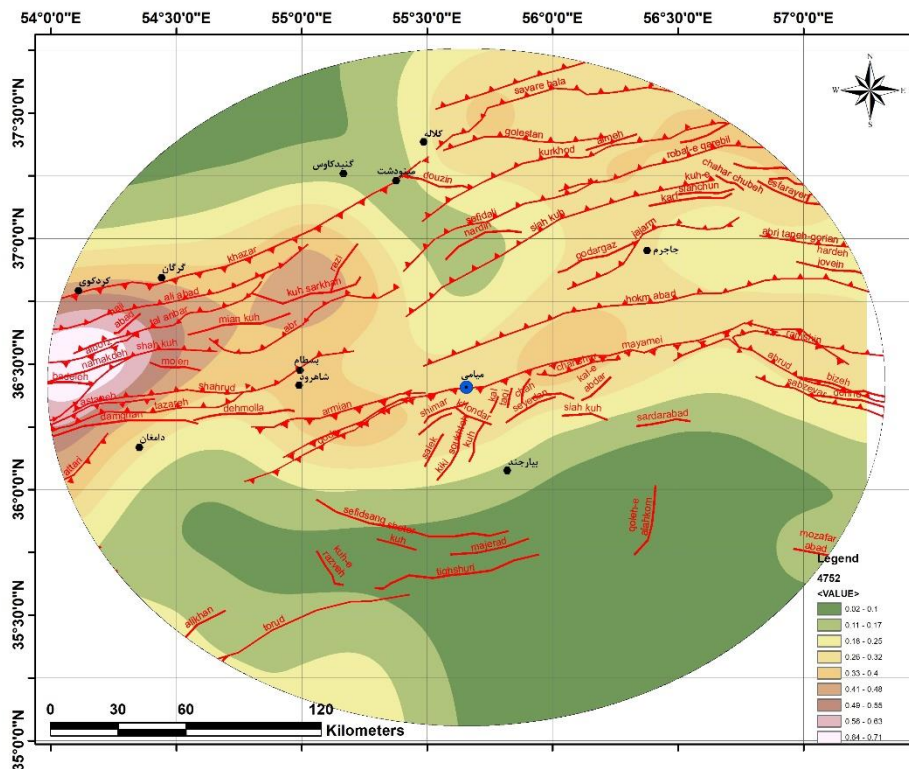
محاسبه بیشینه شتاب افقی برای دوره های بازگشت ۵۰، ۷۵ و ۴۷۵ سال برای این پژوهش صورت گرفته که این نتایج به صورت نقشه خطوط هم شتاب و نقشه سه بعدی شتاب ترسیم شده نتایج نشان دهنده تقسیم شدن محدوده مورد مطالعه به ۵ محدوده با سطح خطر متفاوت بر حسب شتاب گرانشی (g) است که عبارتند از:



شکل ۴. نقشه خطوط هم شتاب لرزه‌ای برای محدوده‌ی مورد مطالعه در دوره بازگشت برای ۵۰ سال



شکل ۵. نقشه خطوط هم شتاب لرزه‌ای برای محدوده‌ی مورد مطالعه در دوره بازگشت برای ۷۵ سال



شکل ۶. نقشه خطوط هم شتاب لرزه‌ای برای محدوده‌ی مورد مطالعه در دوره بازگشت برای ۴۷۵ سال

نتیجه گیری:

حاصل از روش گوتنبرگ- ریشتر نشان دهنده‌ی رخدادهای لرزه‌ای با بزرگای ۳/۹، ۵/۲، ۶/۱، ۶/۵ و ۷/۹ در بازه‌های زمانی ۱، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال است. این در حالی است که بزرگای لرزه‌ای حاصل از روش کیکو- سلول برای بازه‌های زمانی بیان شده به ترتیب برابر با ۳/۵، ۴/۸، ۵/۶، ۵/۹ و ۷ می‌باشد.

همانگونه که در این پژوهش بیان شد در گستره ۱۵۰ کیلومتری اطراف شهر میامی بزرگترین زمین‌لرزه‌های روی داده در منطقه، رویداد زمین‌لرزه‌ای ۱۲ فوریه سال ۱۹۵۳ میلادی با بزرگای $M_b = 6.9$ و زمین‌لرزه‌ی ۲۹ اکتبر ۱۹۸۵ با بزرگای $M_w = 6.2$ و زلزله ۱۷ اکتبر سال ۲۰۰۴ میلادی با بزرگای $M_L = 6.2$ می‌باشد. مهمترین چشمه‌های لرزه‌زا میتوان به گسل میامی، حکم‌آباد و ارمیان اشاره کرد.

نتایج حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی در محدوده مورد مطالعه به مرکزیت میامی به شعاع ۱۵۰ کیلومتری، دارای قابلیت بیشینه شتاب افقی $0.7g$ در یک دوره بازگشت ۴۷۵ ساله می‌باشد. که شهر میامی در محدوده بیشینه شتاب افقی $0.4g$ قرار دارد که می‌توان آن را به عنوان یک شهر با خطر لرزه‌ای زیاد در منطقه قلمداد کرد.

با بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی منطقه مورد مطالعه و استفاده از دو رابطه مقدماتی گوتنبرگ- ریشتر و توزیع نهایی کیکو-سلول، دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها برای منطقه تخمین زده شده است. نتایج

منابع:

- آقائباتی، س. ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. تهران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امیدی، پ.، ۱۳۸۰. تحلیل ساختاری و دینامیکی تفصیلی زونهای گسلی در حاشیه جنوبی البرز خاوری، رساله دکتری، گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- بربریان، م.، قریشی، م.، طالبیان، م.، شجاع طاهری، ج.، ۱۳۷۵. پژوهش و بررسی نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره سمنان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسامی، خ.، جمالی، ف و طبسی، ف.، ۱۳۸۲. نقشه گسلهای فعال ایران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران.
- Abrahamson, N. and Silva, W., 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations. Earthquake spectra, 24(1), pp.67-97.
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Sarma, S.K. and Smit, P.M., 2005. Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration. Bulletin of earthquake engineering, 3(1), 1-53.
- Ambraseys, N., Melville, A, 1991, History of Persian Earthquake. Cambridge University.
- Boore, D.M. and Atkinson, G.M., 2008. Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s. Earthquake Spectra, 24(1), 99-138.
- Chiou, B.J. and Youngs, R.R., 2008. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake spectra, 24(1), 173-215.
- 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 ground spectra. Bull. Seism. Soc. Am., 93,314-331
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1956. Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration: (Second paper). Bulletin of the seismological society of America, 46(2), pp.105-145.
- Gardner, J.K. and Knopoff, L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?. *Bulletin of the seismological society of America*, 64(5), 1363-1367.
- Idriss, I.M., 2008. An NGA empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes. Earthquake spectra, 24(1), 217-242.
- ijko, A. and Sellevoll, M. A. 1989. "Estimation of Earthquake Hazard Parameters from incomplete data files, Part I, Utilization of extreme and complete catalogs with different threshold magnitudes." Bull. Seism. Soc. Am 79, 645-654.
- 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, Vol. 82, pp.120-134.

