

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره هشتم، تابستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۵/۱۰

صفحات: ۱-۱۶

استفاده از روش احتمالاتی در پهنه بندی خطر لرزه ای استان سیستان و بلوچستان

عبدالرضا پرتابیان^۱، صمد فتوحی*^۲، حامد ریگی^۳

چکیده

در این مطالعه به پهنه بندی خطر زلزله در استان سیستان و بلوچستان پرداخته شده است. محدوده مورد مطالعه در عرض جغرافیایی 25° تا $31/5^{\circ}$ و طول جغرافیایی $58/8^{\circ}$ تا $63/3^{\circ}$ قرار گرفته است. با توجه به اینکه در ناحیه مورد مطالعه گسل‌های فعال متعددی از لحاظ ایجاد زمین‌لرزه وجود دارد، ابتدا تمامی این ساختارهای فعال، شناسایی و به همراه کاتالوگ لرزه ای مربوط به بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۰۰ و زلزله‌های تاریخی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با استفاده از این اطلاعات ۳۳ چشمه لرزه ای پهنه‌ای تعیین شد. برای هر چشمه لرزه ای پارامترهای مختلف که نشان دهنده توان لرزه ای آنها محاسبه شد. با استفاده از این اطلاعات و روابط کاهندگی مناسب در نرم افزار EZ-FRISK بر اساس روش احتمالاتی با در نظر گرفتن شبکه ای از نقاط به فواصل 20×20 کیلومتر و در مجموع بر روی ۷۷۶ نقطه بیشینه شتاب زمین برای احتمال ۱۰ درصد برای یک دوره ۵۰ ساله که نشان دهنده دوره بازگشت ۴۷۵ سال می‌باشد بر روی سنگ بستر محاسبه شد. نتایج نشان دهنده تقسیم شدن استان به ۵ محدوده با سطح خطر متفاوت بر حسب شتاب گرانش (g) است که عبارت اند از نواحی با خطر نسبی خیلی زیاد با بیشینه شتاب بیش از $0/35$ و مناطق با بیشینه مقادیر شتاب میان $0/30$ تا $0/35$ با خطر لرزه ای زیاد که عمدتاً مناطق شمال شرقی و شرقی در قسمت شمالی استان و منطقه میانی قسمت جنوبی استان را شامل می‌شوند. نواحی با خطر لرزه ای متوسط شامل مناطق با بیشینه مقادیر شتاب میان $0/25$ تا $0/30$ است. مقادیر شتاب $0/20$ تا $0/25$ معرف نواحی با خطر لرزه ای کم و مناطق با بیشینه مقادیر شتاب کمتر از $0/20$ نواحی با خطر لرزه ای خیلی کم مشخص می‌کنند که عمدتاً در جنوب غرب و شمال شرق استان قرار دارند.

واژگان کلیدی: روش احتمالاتی، پهنه بندی خطر لرزه ای، نرم افزار EZ-FRISK، استان سیستان و بلوچستان

۱- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشیار گروه جغرافیا دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- کارشناس اداره کل راه و شهرسازی استان سیستان و بلوچستان

partabian_reza@science.usb.ac.ir

fotohi@gep.usb.ac.ir

hr.geology@gmail.com

مقدمه

به منظور مقاوم سازی سازه‌های موجود یا طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، شناخت جنبش نیرومند زمین که انتظار می‌رود در طول عمر مفید سازه رخ دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا برآورد زلزله‌های احتمالی منطقه می‌تواند به برنامه ریزی بهتر جهت کاهش خسارات منجر شود. هدف از این مطالعه پهنه بندی خطر زمین لرزه و تهیه نقشه پهنه بندی زمین لرزه برای گستره مورد مطالعه واقع در استان سیستان و بلوچستان می‌باشد. برآورد پارامترهای جنبش زمین بطور معمول براساس دو روش تعیینی (قطعی) و احتمالی بدست می‌آید. روش احتمالی تحلیل خطر زمین‌لرزه در برگزیده تعیین احتمال فزونی میزان جنبش زمین در ساختگاه مورد نظر بر مبنای مدل کردن کلیه چشمه‌های لرزه‌زا و کلیه حالات ممکن از رویداد زمین‌لرزه‌ها می‌باشد. مبنای انجام تحلیل خطر در این پژوهش بر اساس روش احتمالی و با استفاده از نرم افزار EZ-FRISK است که اخیراً به طور گسترده در نقاط مختلف دنیا و از جمله ایران استفاده شده است.

زمین ساخت و لرزه زمین ساخت منطقه مورد مطالعه

کشور ایران که منطقه مورد مطالعه قسمت شرق و جنوب شرق آن را در بر می‌گیرد بخش غربی فلات ایران را شامل می‌شود. فرایندهای دگرشکلی رخ داده در این منطقه ناشی از همگرایی پلیت‌های عربی، اوراسیا و هند می‌باشد (Zamani and Hashemi, 2000). مهمترین بخش این دگرشکلی که ممکن است توسط فرآیندهای ویسکوالاستیک^۱ نمایان شود، بیشتر از لغزش ناگهانی ناشی از زمین لرزه در امتداد گسل‌های فعال می‌باشد (Tchalenko, 1975). نوروزی (Nowroozi, 1976) با انطباق دادن لرزه خیزی نسبت به پهنه‌های ساختاری، مناطق لرزه زمین ساختی ایران را مشخص نمود و ایران را بر اساس عملکرد گسل‌های فعال و لرزه خیزی به ۲۳ منطقه لرزه زمین ساختی تقسیم بندی کرده است که منطقه مورد مطالعه (استان سیستان و بلوچستان) در چهار منطقه لرزه زمین ساختی جازموریان، مکران، شرق ایران و لوت قرار می‌گیرد (شکل ۱).

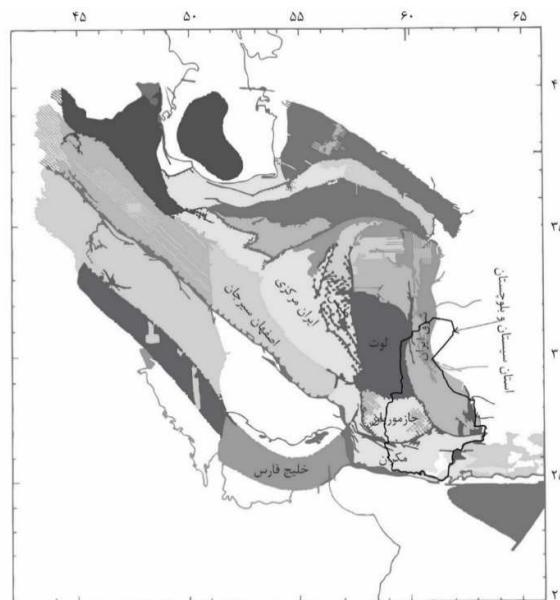
داده‌ها

به منظور پهنه بندی خطر زمین لرزه در محدوده مطالعاتی داده‌های مربوط به تمامی گسل‌های فعال در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی به همراه زلزله‌های تاریخی و زلزله‌های دستگاهی در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۴ میلادی جمع‌آوری شد که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

۱- گسل‌های مهم استان سیستان و بلوچستان

^۱ - Viscoelasticity: ویژگی از مواد است که وقتی تحت دگرشکلی قرار می‌گیرند هر دو خاصیت ویسکوزیته (گرانروی) و الاستیسیته (ارتجاعی) را از خود نشان می‌دهند.

با استفاده از تصاویر ماهواره ای مختلف مانند ماهواره بینگ (Bing) با قدرت تفکیک مکانی ۱ متر و در ادامه با بررسی مطالعات گذشته و بررسی های میدانی سعی شد گسل‌های فعال استان شناسایی گردند. در این قسمت به تعدادی از گسل‌های مهم استان اشاره می شود (شکل ۲). گسل نهبندان: این مجموعه گسلی شامل دو گسل عمده، به نام گسل نه شرقی به طول ۲۰۰ کیلومتر و گسل نه غربی می باشد. کانون زمین لرزه ۱۹۲۸ نهبندان بر روی این گسل قرار دارد (Berberian, 1976). ویرانی سال ۱۳۷۰ شهرستان نهبندان و روستاهای شورک، سهل آباد و چند روستای دیگر مربوط به آخرین حرکت گسل نهبندان است. گسل بشاگرد: گسل بشاگرد از کهنوج (شمال خاوری بندرعباس) شروع و تا مرز پاکستان ادامه یابد. به نقل از آقا نباتی (۱۳۸۳) این گسل طولی در زمان شکل گیری پهنه ساختمانی - رسوبی مکران (مزوزویک) شکل گرفته و ابتدا از نوع گسل نرمال بوده ولی پس از آغاز فرورانش پوسته اقیانوسی عمان و تشکیل منشورهای برافزایشی به راندگی رو به شمال تبدیل شده است. گسل هریرود: گسل هریرود باعث تفاوت در ویژگی های زمین شناسی دو سوی رودخانه هریرود (مرز ایران - افغانستان) و رودخانه تجن (مرز ایران و ترکمنستان) شده و ناپیوستگی زمین شناسی موجود بین بلوک لوت در ایران و بلوک هیلمند در افغانستان را شکل داده است. گسترش جغرافیایی سنگ های ژوراسیک و کرتاسه ایران و افغانستان در دو سوی این گسل، نشانگر حرکت چپگرد است (نبوی، ۱۳۵۵).



شکل ۱: مناطق لرزه زمین ساختی ایران و موقعیت استان سیستان و بلوچستان (Nowroozi, 1976) با تغییرات.

از زمین لرزه های دستگاهی کانون دو زمین لرزه با بزرگی $4/5$ الی 5 ریشتر بر روی این گسل منطبق می شوند. گسل کهورک: سازوکار این گسل معکوس با مؤلفه امتداد لغز راستگرد می باشد. گسل کهورک که فعال ترین گسل

منطقه محسوب می‌شود (نصیری، ۱۳۸۵) گسل سراوان: یکی از بزرگترین گسل‌های این منطقه می‌باشد که از پاکستان شروع شده و تا شرق تفتان ادامه دارد که دارای ساز و کار امتداد لغز راست بر با مولفه‌ی معکوس می‌باشد (Berberian, 1976) (دهقانی، ۱۳۸۸). زمین‌لرزه‌های ۱۹۸۳ و ۲۰۰۳ به این گسل نسبت داده شده‌اند (Mostafazade, 2006). گسل زاهدان: گسل زاهدان با طول بیش از ۱۵۰ کیلومتر یک گسل راست‌الغز راستگرد با مؤلفه معکوس است که از فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتری جنوب شرق شهر زاهدان آغاز می‌شود و در جهت شمال - شمال غرب تداوم یافته است. گسل سفیدابه: گسل سفیدابه که در حاشیه روستایی به همین نام قرار گرفته است باعث زمین‌لرزه ۷۲/۱۲/۴ سفیدابه شده که خسارات نسبتاً زیادی را در سفیدابه و روستاهای اطراف به جای گذاشته است. گسل سفیدابه از گسل‌های بسیار فعال منطقه محسوب می‌شود (کلانتری، ۱۳۸۹). گسل جنوب زابلی: سازوکار این گسل معکوس و دارای شیبی به سمت شمال است طول گسل در ایران بیش از ۱۸۵ کیلومتر بوده و در شرق به داخل پاکستان کشیده می‌شود (Berberian, 1976). گسل قصر قند: گسل قصر قند با سازوکار معکوس با شیب نسبتاً زیاد یکی از گسل‌های مهم نواحی مرکزی زون مکران (نبوی، ۱۳۵۵) می‌باشد که باعث بالا آمدگی تکتونیکی مشخصی در امتداد خودش شده است (Partabian et al., 2016). گسل نصرت آباد با روند شمالی-جنوبی یک گسل امتداد لغز با مولفه فشاری و شیب به سمت خاور از قسمت شمال بخش نصرت آباد تا شمال ایرانشهر به طول ۲۵۰ کیلومتر ادامه یافته است. مطالعات مورفوتکتونیکی اخیر در امتداد آن نشان از فعال بودن این گسل دارد (نگهبان و خطیب، ۱۳۸۴).

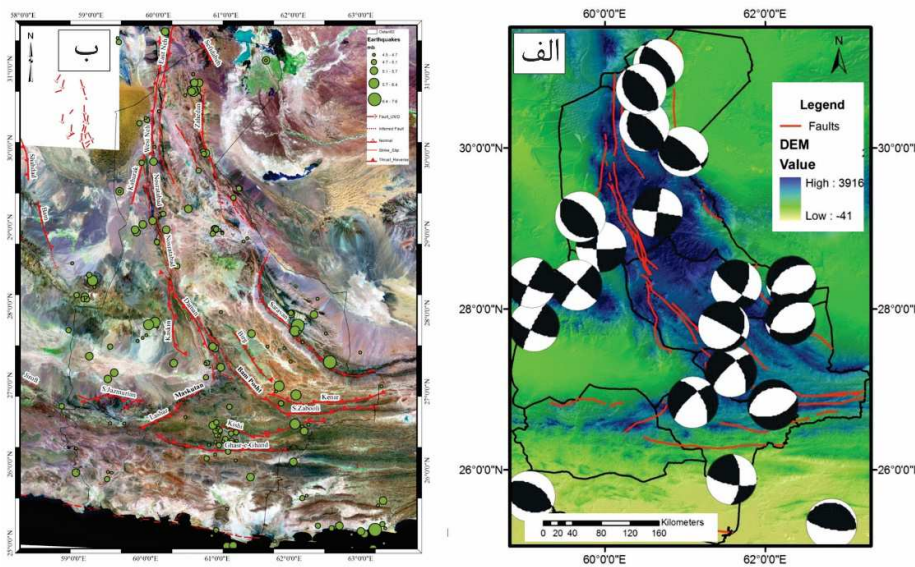
۲- لرزه خیزی استان سیستان و بلوچستان

در ابتدا زمین لرزه‌های به وقوع پیوسته در محدوده جغرافیایی استان در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۰۰ جمع آوری شد. پایگاه‌هایی که بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته است عبارتند از کاتالوگ انگدال (Engdahl)، کاتالوگ ISC (مرکز لرزه شناسی بین المللی) و کاتالوگ میرزایی. در نهایت کاتالوگ تهیه شده پس از حذف پس لرزه‌ها و پیش لرزه‌ها و همچنین بعد از کامل شدن آن به همراه زلزله‌های تاریخی در محاسبات بعدی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این اطلاعات به این نکته اشاره می‌کنند که فعالیت لرزه‌ای در این گستره غالباً از نوع کم عمق تا عمق متوسط می‌باشند. برخی از رویدادهای بزرگ در منطقه مورد مطالعه به طور معمول با گسلش سطحی همراه است، ولی رخداد‌های لرزه‌ای با عمق کانونی عمیقتر گسلش سطحی ایجاد نمی‌کنند. سازوکار چیره زمین لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه از نوع فشاری و راست‌الغز می‌باشد و بر روی گسل‌هایی از نوع رانده و راست‌الغز که به موازات دو روند شمال غرب - جنوب شرق و شرقی - غربی هستند، روی می‌دهند (شکل ۲ و شکل ۳).

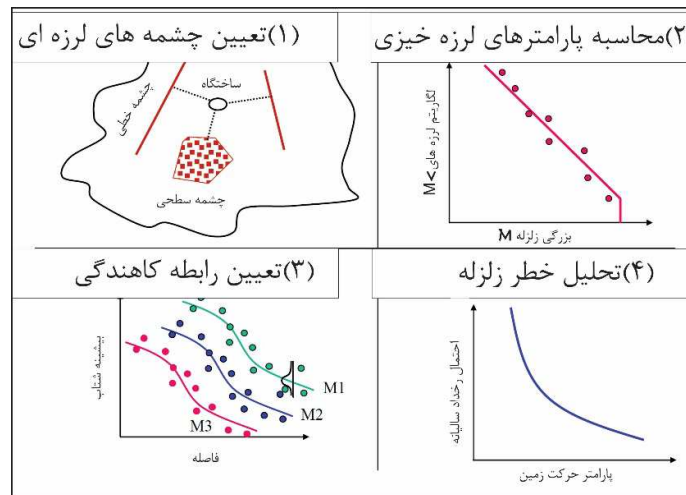
روش کار

برآورد احتمالی خطر زمین لرزه را می‌توان به صورت یک عملیات چهار مرحله‌ای در نظر گرفت. این مراحل در شکل ۳ نشان داده شده است. نخستین مرحله تشخیص و تعیین چشمه‌های لرزه‌زا می‌باشد. مرحله دوم شامل تعیین پارامترهای لرزه خیزی می‌باشد. انتخاب رابطه کاهندگی مناسب با شرایط لرزه زمین ساختی منطقه مورد مطالعه،

مرحله سوم در روش احتمالی می باشد. نهایتاً عدم یقین مکان زمین لرزه ها، بزرگی زمین لرزه ها و پیش بینی پارامتر حرکات زمین با هم ترکیب شده و پارامتر حرکات زمین برای احتمال رویداد موردنظر تخمین زده می شود (Reiter, 1990).



شکل ۲: (الف) - سازوکار کانونی برخی از زمین لرزه های استان سیستان و بلوچستان. (ب) نقشه گسل های فعال و زمین لرزه های استان سیستان و بلوچستان بر روی تصویر ماهواره ای MrSID.



شکل ۳: برآوردهای خطر زمین لرزه به روش احتمالی (Reiter, 1990).

۱- پس‌زمینه تئوری

در اغلب تجزیه تحلیل های خطر لرزه ای فرض بر این است که بازگشت زلزله ها از یک تابع پواسونی-احتمال اینکه یک حادثه به تعداد مشخصی در فاصله زمانی یا مکانی ثابتی رخ دهد- پیروی می کند. مزیت معادلاتی پواسونی در این است که به پارامترهای کمتری جهت انجام محاسبات نیاز دارد و قادر خواهد بود به راحتی خطر چشمه‌های متعدد را با یکدیگر ترکیب کند.

با فرض بر اینکه رخداد لرزه ای از یک روند پواسونی با متوسط نرخ رخداد مستقل از بزرگا پیروی می کند می توان احتمال توزیع تعدادی از رخدادها را برای یک دوره و زمان معین، برای یک چشمه مشخص بدست آورد. نرخ رخداد سالیانه وقایع لرزه ای عبارت است از $\lambda = N'(M) = \frac{N(M)}{T}$ وقتی که $N(M) = e^{\alpha - \beta M}$ در فرایند پواسون فرض بر این است که زلزله مستقل از زمان و به طور یکنواخت در مکان رخ می دهد و نرخ و وقایع لرزه‌ای نسبت به زمان ثابت می ماند. اگر $X(t)$ تعداد وقایع در زمان t باشد آنگاه $[X(t); t > 0]$ یک روند پواسونی را شکل می دهد که $P[X(t) = n, t] = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!}$ for $t > 0, n = 0, 1, 2, \dots$ بنابراین احتمال حداقل یک واقعه از $M \geq m$ در زمان آینده به وسیله فرمول (۱) مشخص می شود.

$$P(X(t) \geq 0) = 1 - P[X(t) = 0] = 1 - e^{-\lambda t} \quad (1)$$

هسته یک تحلیل خطر لرزه ای را پیروی حداکثر جنبشهای زمین مربوط به یک ساختگاه، ناشی از زلزله ای که مربوط به چشمه لرزه‌ای واحدی است تشکیل می دهد. خطر لرزه ای مربوط به یک ساختگاه (دوره بازگشت سالیانه) برای یک چشمه لرزه ای منفرد به وسیله فرمول (۲) محاسبه می شود.

$$v(A > a^*)_i = v_i \int_{m_0}^{m_{max}} (P(A > a^* | m, r) f_m(m)_i f_R(r)_i) dm dr \quad (2)$$

a^* یک سطح مشخص از حرکت زمین را نشان می دهد، m بزرگی زلزله و r فاصله منبع تا ساختگاه است. $f_M(m)$ تابع تراکم احتمالی بزرگای زلزله است. m_0 ، کران پایین بزرگا و عبارت است از کوچکترین بزرگایی که برای تحلیل در نظر گرفته شده است. m_{max} یا کران بالا عبارت است از بیشترین بزرگایی که انتظار می رود چشمه لرزه‌ای تولید کند. وقوع زلزله در چشمه لرزه ای i بیشتر از کران پایین بزرگی m_0 به وسیله v_i یا همان نرخ فعالیت لرزه ای معرفی می شود. ترم $P(A > a^* | m, r)$ عبارت از یک مدل کاهیدگی است که احتمال فزونی را برای سطح حرکت زمین a^* با بزرگی m که در فاصله r از ساختگاه رخ داده است را مشخص میکند. بر اساس هندسه چشمه لرزه‌ای که در رابطه با مکان ساختگاه می‌باشد، احتمال رخداد زلزله در فاصله از r از ساختگاه به وسیله تابع تراکم احتمالی $f_R(r)_i$ مشخص می‌شود. انتگرال بالا تمامی محدوده‌ای که زلزله در چشمه لرزه‌ای رخ می‌دهد و تمامی بزرگیها تا بزرگای حداکثر را در بر می‌گیرد. حداکثر خطر لرزه‌ای در یک ساختگاه از جمع سهم تمامی چشمه های لرزه‌ای فعال بدست می‌آید $(v(A > a^*) = \sum_i v(A > a^*)_i)$ شاخص چشمه‌های لرزه‌ای فعال در نزدیکی ساختگاه است. برای تحلیل خطر لرزه‌ای در این پروژه از نرم‌افزار EZ_FRISK-7.52 استفاده شده است. این برنامه کامپیوتری تحلیل خطر لرزه‌ای را مطابق با مطالب گفته شده در قسمت بالا با استفاده از روشهای استاندارد انجام می‌دهد.

چشمه های لرزه‌ای به صورتهای مختلف نقطه‌ای خطی و پهنه‌ای هستند. در این مطالعه از چشمه‌های پهنه‌ای جهت تحلیل خطر استفاده شده است. هندسه چشمه لرزه‌زا و محاسبه تابع احتمالی بزرگا بر اساس نوع چشمه‌ها متفاوت می‌باشد. برای چشمه‌های پهنه‌ای شکل معمول محاسبه $P(A > a^*|m, r)$ به صورت فرمول ۳ می‌باشد.

$$\ln A = C_1 + C_2 M + C_3 \ln(R + RZEROA) + C_4 R + \varepsilon; \quad \varepsilon \approx N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (3)$$

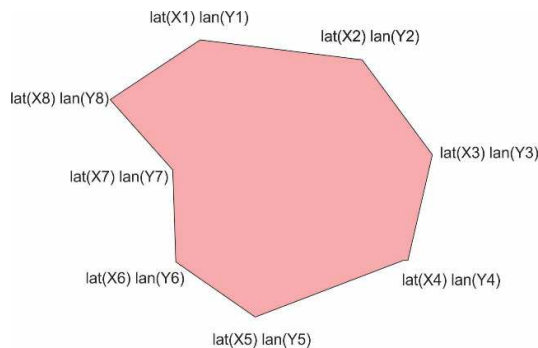
که در آن R فاصله کانونی (با فرض بر اینکه چشمه نقطه‌ای است) که از فاصله افقی محاسبه می‌شود و h نیز عمق چشمه می‌باشد. در معادله بالا مقادیر C_1, C_2, C_3 و $RZEROA$ و ε ثابتی هایی هستند که مستقل از R و M هستند. فرمول ۳ را می‌توان تبدیل به فرمول ۴ کرد.

$$P(A > a|m, r) = \Phi^* \left(\frac{\ln a - \ln A(m, r)}{\sigma_\varepsilon} \right) \quad (4)$$

که در آن Φ یک تابع توزیع تجمعی است و $\ln A(m, r)$ مقداری از A است که با قرار دادن $\varepsilon = 0$ به دست می‌آید. معادلات معمول کاهیدگی که اخیرا محاسبه شده و در نشریات علمی به چاپ رسیده‌اند در این نرم‌افزار وارد شده‌اند بنابراین کاربر به راحتی قادر خواهد بود از معادله مناسب جهت ساختگاه مشخص استفاده کند. توزیع بزرگا به صورت یک تابع نمایی مفروض است. (فرمول ۵)

$$f_{M_i}(m) = k_i \beta_i \exp[\beta_i (m - M_{oi})] \quad M_{oi} \leq m \leq M_{maxi} \quad (5)$$

که در آن $k_i = (1 - \exp[\beta_i (m - m_{oi})])$ یک ثابت است که در آن m_{oi} آستانه یا حد بزرگی است که قبلا مشخص شده است و M_{max} بیشترین بزرگایی است که ممکن است در چشمه رخ دهد. توزیع فاصله به وسیله ابعادی از چشمه، فاصله آن و جهت گیری آن نسبت به ساختگاه اندازه‌گیری می‌شود. اگر اندازه گسیختگی در محاسبه فاصله لحاظ شود آنگاه توزیع فاصله وابسته به بزرگا است. یک چشمه پهنه‌ای (یا یک محدوده لرزه‌ای) به وسیله یک چندضلعی در صفحه افقی با یک عمق مشخص می‌شوند. ابعاد چندضلعی به وسیله مختصات آن توسط کاربر مطابق با مشخصات $[X(1), Y(1)], [X(2), Y(2)], [X(3), Y(3)], \dots$ وارد می‌شود که X و Y نشان دهنده مختصات جغرافیایی نقاط است (شکل ۴). در این قسمت فرض شده است که مکان زلزله‌ها به صورت یکنواخت در فضای چندضلعی توزیع شده است. معیارهای متفاوت فاصله زلزله از ساختگاه به وسیله این فرض که نیم رخ گسیختگی به صورت عمودی است و اینکه قسمت فوقانی گسیختگی به صورت یکنواخت با عمق توزیع شده است و اینکه گسیختگی ممکن است به صورت یک چشمه نقطه‌ای یا با یک طول محدود وابسته به مقادیر پارامترها محاسبه شده است. جهت گیری گسیختگی نسبت به ساختگاه به وسیله یک مجموعه‌ای از آزمونتها مدل می‌شود. اگر از یک آزمون، جهت گسیختگی استفاده شود آنگاه آن به سمت ساختگاه جهت گیری خواهد شد. اگر از چندین آزمون استفاده شده باشد آنگاه به صورت یکنواخت توزیع خواهند شد.



شکل ۴: نمونه ای از مختصات و شکل یک چشمه لرزه ای (برگرفته از راهنمای نرم افزار)

محاسبه خطر برای چشمه ز را نیز می توان به وسیله شکل اصلاح شده معادله خطر استاندارد به صورت فرمول ۶ انجام داد.

$$H_j(a) = V_j \int_p \frac{arc_j(p)}{Area_j} \left[\int_m P[(A > a | m, r(p))] f_{M_j}(m) dm \right] dp \quad (۶)$$

که در آن P فاصله افقی از ساختگاه و $arc_j(p)$ عبارت است طول محل تقاطع چشمه چندضلعی و دایره ای با مرکزیت ساختگاه و شعاع p و $Area_j = \int_p arc_j(p) dp$ مساحت چشمه لرزه ای را بیان می کند.

۲- شناسایی چشمه های لرزه ای موثر با استفاده از بانک اطلاعاتی زمین لرزه ها و مناطق لرزه زمین ساختی.

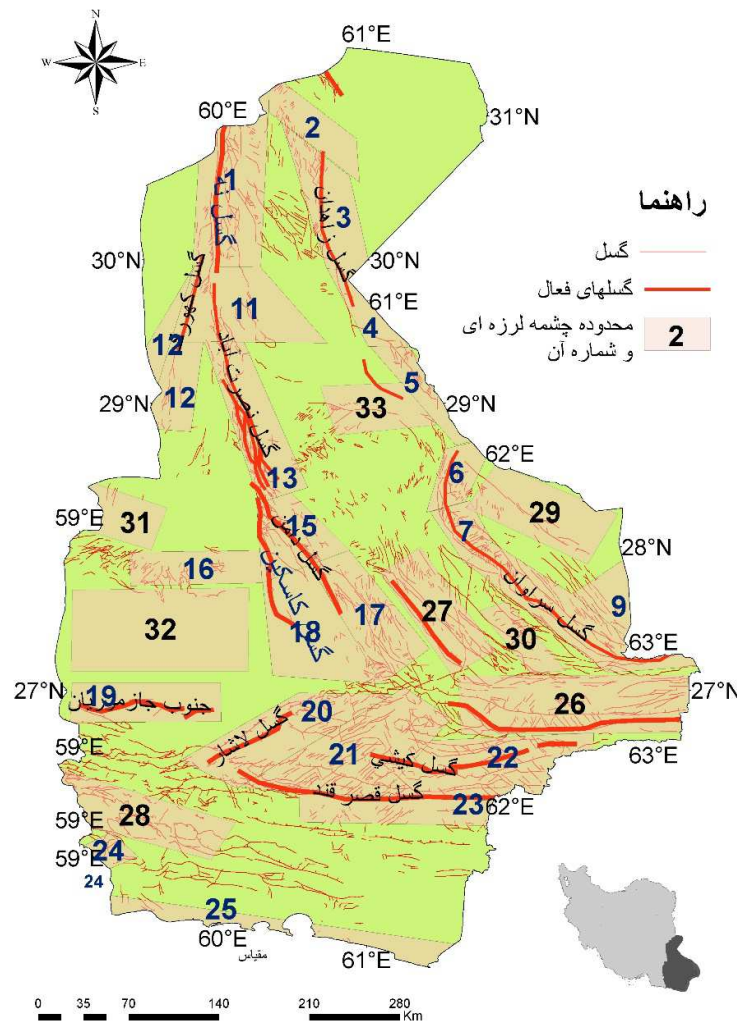
بر اساس مطالعات لرزه خیزی و لرزه زمین ساخت این پژوهش و مطالعات گذشته مهم ترین چشمه های لرزه ای پهنه-ای در منطقه، معرفی شدند. به طور کلی ۲۵ چشمه لرزه ای پهنه ای برای استان سیستان و بلوچستان شناسایی شده بود (میرزایی و همکاران (Mirzaei et al., 19)). اما در این مطالعه بر اساس داده هایی نظیر پراکندگی گسیختگی های سطحی، خطواره های مغناطیسی و زمین لرزه های رخ داده در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۴، ۸ چشمه لرزه ای دیگر نیز به جمع ۲۵ مورد قبلی اضافه شده است که تمامی این چشمه های لرزه ای در شکل ۵ و جدول ۱ به نمایش در آمده است.

۳- محاسبه پارامترهای لرزه ای و ویژگی های هر یک از چشمه های معرفی شده.

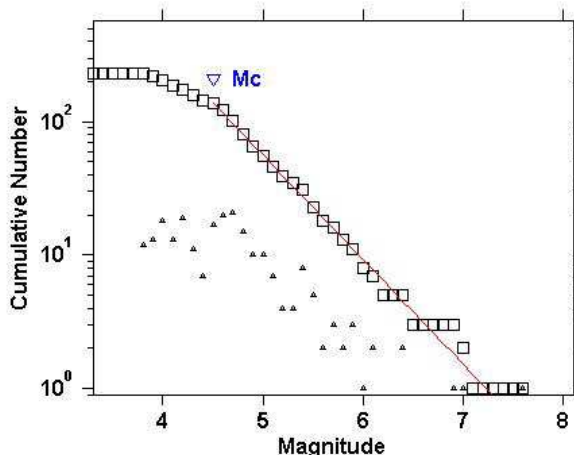
الف: بر اساس رکوردهای لرزه ای رخ داده در هر پهنه لرزه ای بیشینه عمق ثبت ($Depth_{max}$) و کمینه عمق ثبت شده ($Depth_{min}$) محاسبه و برآیند مکانیسم کانونی زمین لرزه (Focal mechanism) ثبت شده برای هر چشمه لرزه ای محاسبه شد. (جدول ۱)

ب: بیشینه و کمینه پتانسیل لرزه ای احتمالی برای هر چشمه بر مبنای بزرگی M_w محاسبه شده است که کمینه کران پایین بزرگا و عبارت است از کوچکترین بزرگایی که برای تحلیل در نظر گرفته شده است که در این تحقیق از زمین لرزه مبنا استفاده شده است. برای اینکه بتوان از داده های مطمئن لرزه ای برای تفسیر و تحلیل اثرات ناشی از

زمین لرزه ها استفاده نمود، می بایست زمین لرزه های بزرگتر از یک مقدار مشخص که به عنوان زمین لرزه مبنا در نظر گرفته می شود را به کار برد که به اصطلاح به این فرآیند کامل شدن کاتالوگ گفته شده و با M_c نشان داده می شود. برای محاسبه مقدار M_c از نرم افزار ZMAP (Wiemer,2001) استفاده می گردد (شکل ۶). کران بالا (M_{max}) عبارت است از بیشترین بزرگایی که انتظار می رود در چشمه لرزه ای رخ دهد که بر اساس پتانسیل لرزه زایی گسل های فعال استان سیستان و بلوچستان بر اساس رابطه (Nowroozi,2010) محاسبه شده است (جدول ۱).



شکل ۵: موقعیت گسل های فعال منطقه و چشمه های لرزه ای که به صورت چندضلعی مشخص شده اند. اعداد نشان دهنده شماره چشمه می باشند که پارامترهای لرزه ای آنها در جدول ۱ آورده شده است.



Maximum Likelihood Estimate, Uncertainties by bootstrapping
 b-value = 0.78 +/- 0.13, a value = 5.68, a value (annual) = 3.75
 Magnitude of Completeness = 4.5 +/- 0.25

شکل ۶: برآورد مقدار M_c و نمایش گرافیکی رابطه گوتنبرگ-ریشتر برای بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۰۰.

ج: نرخ فعالیت لرزه ای:

نرخ فعالیت لرزه ای λ با تقسیم کردن تعداد زمین لرزه های رخ داده در هر چشمه با بزرگی بزرگتر از حداقل بزرگی تعیین شده ($M = 4.5$) بر بازه زمانی مورد نظر بدست آمده است. وقوع زلزله در چشمه لرزه ای i بیشتر از کران پایین بزرگی به وسیله نرخ فعالیت لرزه ای معرفی می شود (جدول ۱).

د: پارامتر β (میزان فعالیت لرزه ای):

رابطه گوتنبرگ ریشتر $\log N(m) = a - bm$ را می توان به صورت تجمعی نیز نوشت (Youngs and Coppersmith, 1985).

$$N(m) = N(m_0) \exp(-\beta(m - m_0))$$

که m_0 بیانگر بزرگی مبنا یا همان M_c بوده و β برابر است با:

$$\beta = b \cdot \ln 10$$

در این روابط a , b به ترتیب بیانگر a-value و b-value می باشند. m نشان دهنده بزرگی می باشد که می تواند هر عددی باشد. $N(m)$ بیانگر تعداد زمین لرزه های با بزرگی بیشتر از m و $N(m_0)$ بیانگر تعداد زمین لرزه های با بزرگی بیشتر از m_0 است (شکل ۶). یکی از روش های برآورد پارامتر β استفاده از روش تخمین احتمال بیشینه و روش تکرار می باشد. در این روش روند رویداد زمین لرزه ها برای گستره مورد مطالعه به صورت کلی ذیل تعریف می شود:

$$N_{(M_2)} = N_0 \exp(-\beta M_2)$$

به طوریکه در این رابطه، $N(M_0)$ روند رویداد سالیانه زمین لرزه های با بزرگی بیش از M ، $N(m_0)N_0 = \beta$ بوده و β بزرگتر از صفر می باشد و برای هر گستره مقدار ثابتی دارد که گویای پارامتر لرزه خیزی آن گستره می باشد (پورکرمانی و آراین ۱۳۷۶:۲۴۹).

اطلاعات و آمار فعالیت لرزه ای هر چشمه لرزه ای برای تعیین پارامترهای لرزه خیزی مربوط به آن کافی نیست و اگر فقط از آن اطلاعات برای هر چشمه استفاده شود منجر به خطای زیاد در محاسبات میشود (تهرانی زاده و صیرفیان پور ۱۳۸۹:۴۹) پس فعالیت لرزه ای برای مجموعه ای از چشمه های لرزه ، با استفاده از مجموعه داده های مربوط به این چشمه ها محاسبه میشود. مقدار پارامتر β بر اساس داده های موجود برای کل استان برابر است با ۱/۷۹۶.

۴- رابطه کاهیدگی

با توجه به وقوع پی در پی زمینلرزه ها و اطلاعات و تجارب کسب شده از آنها لازم است تا حد امکان از روابط کاهیدگی جدیدتر و البته همخوان با گستره مورد مطالعه استفاده گردد. با مطالعه و بررسی روابط کاهیدگی که تا به حال برای تمامی جهان اعلام شده و با توجه به ویژگی ها و شرایط زمین شناسی، زمین ساختی و لرزه زمین ساختی ایران در این پژوهش از آخرین روابط کاهیدگی تجربی ارائه شده است که عبارتاند از روابط کمپل و بزرگنیا (Campbell, and Bozorgnia, 2008) (NGA) و آبرهام و سیلوا (Abrahamson and Silva, 2008) (NGA) و کمپل و بزرگنیا (Campbell and Bozorgnia, 2003).

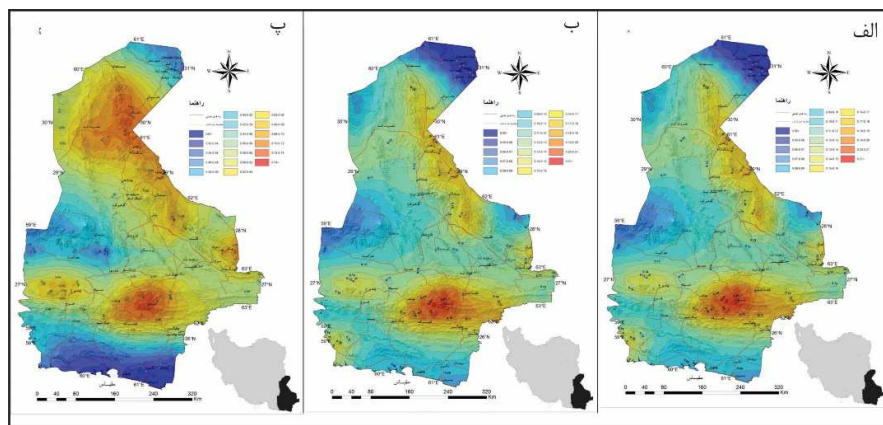
جدول ۱: پارامترهای لرزه ای و ویژگیهای چشمه های لرزه ای منطقه مورد مطالعه.

| چشمه | حداکثر بزرگا M(max) | حداقل بزرگا M(min) | عمق حداقل Depth (min) | عمق حداکثر Depth (max) | میزان فعالیت لرزه ای β | پارامتر b- b-value | نرخ فعالیت لرزه ای λ | مکانیسم کانونی Focal Mechanism | طول گسیختگی Rupture. L (km) |
|------|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| ۱ | ۷ | ۴/۵ | ۷ | ۳۳ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۲۲ | معکوس | ۱۷۰ |
| ۲ | ۷ | ۴/۵ | ۶ | ۵۸ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۳ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۳ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۶ | ۲۰ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۴/۵ | نرمال | ۹۰ |
| ۴ | ۵/۵ | ۴/۵ | ۱۱ | ۱۵ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۱ | معکوس | ۹۰ |
| ۵ | ۶ | ۴/۵ | ۱۰ | ۳۰ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۰ | نامعلوم | ۵۰ |
| ۶ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۱۰ | ۳۰ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۰ | نرمال | ۴۳ |
| ۷ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۱۳ | ۱۷ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۱ | نرمال | ۴۰ |
| ۸ | ۷ | ۴/۵ | ۳۳ | ۶۵ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۵ | نرمال | ۱۲۰/۱ |
| ۹ | ۷ | ۴/۵ | ۹ | ۱۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۱ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۱۰ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۸ | ۴۳ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۰ | نرمال | ۴۵ |
| ۱۱ | ۷/۵ | ۴/۵ | ۵ | ۹ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۲ | امتداد-لغز | ۶۰ |
| ۱۲ | ۶ | ۴/۵ | ۱۸ | ۲۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۰ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۱۳ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۱۷ | ۲۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۲ | نرمال | ۱۰ |
| ۱۴ | ۷/۱ | ۴/۵ | ۹ | ۳۶ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۱۳ | امتداد-لغز | ۱۱۵ |
| ۱۵ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۳۲ | ۶۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۰ | معکوس | ۶۰ |
| ۱۶ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۳۵ | ۸۰ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۱ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۱۷ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۶۰ | ۶۷ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۸ | معکوس | ۴۵ |
| ۱۸ | ۶ | ۴/۵ | ۲۵ | ۶۵ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۱۴ | معکوس | ۴۵ |
| ۱۸ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۸ | ۱۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۱ | معکوس | ۹۵ |
| ۲۰ | ۶ | ۴/۵ | ۴۸ | ۵۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۱ | معکوس | ۷۰ |
| ۲۱ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۵ | ۳۹ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۲۵ | معکوس | ۳۰ |
| ۲۲ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۱۰ | ۴۵ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۹ | معکوس | ۱۱۵ |
| ۲۳ | ۸ | ۴/۵ | ۳۵ | ۴۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۱۳ | معکوس | ۷۵ |
| ۲۴ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۱۵ | ۲۷ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | ۰ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۲۵ | ۸ | ۴/۵ | ۲۷ | ۴۱ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۴ | معکوس | ۳۰۰ |
| ۲۶ | ۶ | ۴/۵ | ۱۰ | ۵۴ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۶۵ | معکوس | ۱۷۰ |
| ۲۷ | ۶/۵ | ۴/۵ | ۵۷ | ۷۳ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۵۵ | معکوس | ۸۰ |
| ۲۸ | ۵ | ۴/۵ | ۸ | ۱۲ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۷ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۲۹ | ۵/۵ | ۴/۵ | ۵۴ | ۶۱ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۲ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۳۰ | ۵ | ۴/۵ | ۳۱ | ۳۵ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۲۲ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۳۱ | ۶ | ۴/۵ | ۱۰ | ۲۶ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۲۵ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۳۲ | ۶ | ۴/۵ | ۱۰ | ۷۹ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۸ | نامعلوم | نامعلوم |
| ۳۳ | ۵/۵ | ۴/۵ | ۸ | ۴۶ | ۱/۷۹۶ | -۰/۷۸ | -۰/۰۹ | امتداد-لغز | ۲۰ |

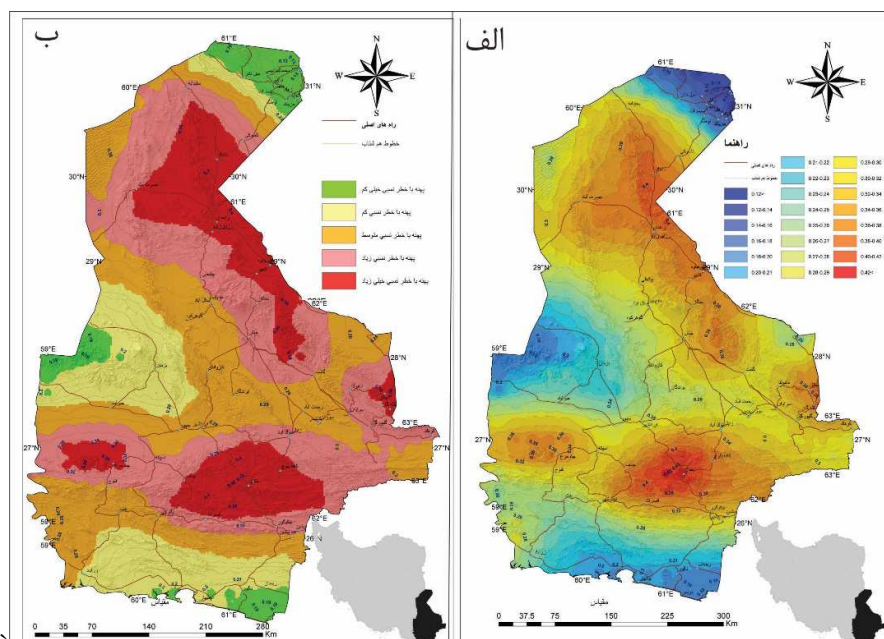
دو رابطه کاهیدگی اول از مدل‌های به روز شده پروژه NGA (The Next Generation Attenuation) (http://peer.Berkeley.edu/products/nga_project.html) هستند. و مدل سوم از مدل‌های قدیمی‌تر است که به وفور در کارهایی که در ایران انجام شده است مورد استفاده قرار گرفته است.

مدله کردن تحلیل خطر استان سیستان و بلوچستان

یک فرایند تحلیل خطر لرزه‌ای، خطر را در ساختگاه مشخص بر اساس فرضیهایی که توسط کاربر برای آن مشخص شده است محاسبه می‌کند. این فرضیه عبارت‌اند از، در کجا زلزله رخ خواهد داد، ویژگیهای آن چه خواهد بود و اینکه جنبش‌های زمین ناشی از آن چگونه خواهد بود. رسم احتمال وقوع برای چندین مقدار خطر تحت عنوان منحنی خطر معرفی می‌شود. از این منحنی می‌توان برای اندازه‌گیری خطر برای احتمال یک رخداد مشخص به کار برد. برنامه‌های کامپیوتری که جهت تحلیل خطر لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند از روشهای عددی جهت مشخص کردن توزیع‌های احتمالی پیوسته و انتگرالها استفاده می‌کنند که در درجه اول محاسبات پیچیده تئوری را به گامهایی تبدیل می‌کند که الگوریتمهای کامپیوتری به راحتی از عهده آنها بر می‌آید. روشهایی مورد استفاده در این مطالعه (EZ_FRISK -7.52) توضیح داده شده بر اساس آنالیز خطر در یک ساختگاه مشخص می‌باشد. فرایندها که جهت تولید نقشه‌های خطر مورد استفاده قرار می‌گیرند شبیه به یک ساختگاه تکی است با توجه به اینکه این مراحل برای شبکه‌ای از نقاط (هر نقطه به عنوان یک ساختگاه) که دارای فاصله مشخصی از هم هستند انجام می‌گیرد. سپس مقادیر بدست آمده از این نقاط جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی استفاده می‌شود. انجام محاسبات مربوط به این مطالعه با در نظر گرفتن شبکه ای از نقاط به فواصل 20×20 کیلومتر و در مجموع بر روی ۷۷۶ نقطه به وسیله نرم‌افزار EZ-FRISK (2010) صورت پذیرفته است. اطلاعات کسب شده از هندسه چشمه های لرزه ای و پارامترهای لرزه ای مربوط به آنها (جدول ۱ و شکل ۵) وارد نرم افزار شد و بر اساس شرایط یکسان ساختگاه (سنگ پی) با $V_{z30} = 760 \frac{m}{s}$ (سرعت موج برشی در ۳۰ متر بالایی سطح زمین) برای هر نقطه منحنی خطر لرزه ای استخراج شد سپس نتایج حاصل بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین بعد از پهنه بندی برای احتمال های ۶۳، ۱۰، ۵ و ۲ درصد برای عمر مفید ۵۰ ساله ساختمان که به ترتیب نشان دهنده دوره بازگشت ۵۰، ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال می‌باشد بر روی سنگ بستر محاسبه شده است (شکل ۷ و شکل ۸). با توجه به اینکه احتمال ۴۷۵ سال شتاب مبنای طرح می‌باشد، نقشه ی خطر بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ برای دوره بازگشت ۴۵۵ سال به دست آمد (شکل ۸).



شکل ۷: نقشه های بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین برای احتمال های ۶۳(الف)، ۵(ب) و ۲ (ب) درصد برای عمر مفید ۵۰ ساله ساختمان که به ترتیب نشان دهنده دوره بازگشت ۵۰، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ سال می باشد.



شکل ۸: (الف) بیشینه شتاب زمین برای احتمال های ۱۰٪ برای عمر مفید ۵۰ ساله ساختمان (دوره بازگشت ۴۷۵ سال). (ب) پهنه بندی خطر لرزه ای بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰

نتیجه گیری

نقشه های بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین حکایت گر پیشبینی شتاب حد اکثر برای دوره های بازگشت متفاوت می باشند که به ترتیب برای دوره های بازگشت ۵۰، ۴۷۵، ۹۷۵ و ۲۴۷۵ و بر حسب شتاب گرانش (g) عبارت اند از

۰/۶۵ تا ۰/۲۱، از ۰/۱۲ تا ۰/۴۲، از ۰/۳۰ تا ۰/۵۸ و ۰/۴۰ تا ۰/۷۴. نتایج به دست آمده از نقشه پهنه بندی خطر نشان دهنده تغییرات بیشینه شتاب جنبش نیرومند زمین (PGA) بین ۰/۱۲ تا ۰/۴۲ است که با توجه به این اطلاعات با فرض عدم وجود آبرفت یا به عبارتی پی سنگ لخت، استان سیستان و بلوچستان به ۵ پهنه خطر نسبی تقسیم می‌شود که برحسب شتاب گرانش (g) عبارت اند از نواحی با خطر نسبی خیلی زیاد با بیشینه شتاب بیش از ۰/۳۵ و مناطق با بیشینه مقادیر شتاب میان ۰/۳۰ تا ۰/۳۵ با خطر لرزه ای زیاد که عمدتاً مناطق شمال شرقی و شرقی در قسمت شمالی استان و منطقه میانی قسمت جنوبی استان که عمدتاً گسل‌های اصلی و زلزله های مهم استان در این نواحی قرار دارد را شامل می شوند. نواحی با خطر لرزه ای متوسط شامل مناطق با بیشینه مقادیر شتاب میان ۰/۲۵ تا ۰/۳۰. مقادیر شتاب ۰/۲۰ تا ۰/۲۵ معرف نواحی با خطر لرزه ای کم و مناطق با بیشینه مقادیر شتاب کمتر از ۰/۲۰ نواحی با خطر لرزه ای خیلی کم مشخص می کنند که عمدتاً در جنوب غرب و شمال شرق استان قرار دارند. بر اساس این نتایج ۱۷ درصد از مساحت استان در نواحی با خطر خیلی بالای لرزه، ۳۰٪ در بازه خطر بالا و ۵۳٪ باقی مانده در مراتب پایین تر خطر قرار دارند. متأسفانه محدوده شهر زاهدان بعنوان مرکز و پرجمعیت ترین شهر استان در محدوده خطر بسیار زیاد قرار دارد.

منابع

- آقاباتی، سید علی (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۵۷۹.
- پورکرمانی محسن، آرین مهران (۱۳۷۶)، سائزموکتونیک، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ص. ۲۷۰.
- تهرانی زاده محسن، صیرفیان پور مینو (۱۳۸۹)، تعیین طیف طرح خطر یکنواخت با توجه به اثرات حوزه نزدیک برای گستره شهر تهران. مهندسی عمران و محیط زیست. تابستان ۱۳۸۹، دوره ۴۲، شماره ۱، صص ۴۷ تا ۵۴.
- سعید دهقانی (۱۳۸۸)، تحلیل ساختاری و مورفوتکتونیک گسل سراوان پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک دانشگاه سیستان و بلوچستان. ص ۱۳۲
- صفیه جعفری (۱۳۹۱)، مطالعه جنبش گسل نه غربی در منطقه شمال غرب نهبندان، شرق ایران پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- عیسی نصیری (۱۳۸۵)، مورفوتکتونیک و نفوتکتونیک گسل کهورک پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک دانشگاه سیستان و بلوچستان. ص ۱۲۷.
- مجتبی کلانتری (۱۳۸۹)، ارتباط حرکتی بین گسل سفیدآبه و گسل زاهدان به کمک شاخص‌های ریخت زمین ساختی و داده‌های لرزه زمین ساختی پایان نامه کارشناسی ارشد تکتونیک دانشگاه سیستان و بلوچستان. ص ۱۱۹
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۷۸)، آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، وزارت مسکن و شهرسازی، ص ۲۵۳.
- مریدی فریمانی، علی اصغر (۱۳۷۳)، تحقیقی پیرامون گسل زاهدان. طرح پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان. ص ۶۷.
- مهدی نگهبان محمد مهدی خطیب (۱۳۸۴)، بررسی تکتونیک فعال به روش تراکم سنجی آبراهه ها در اطراف گسل نصرت آباد (خاور ایران) بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین.

نبوی، محمد حسن (۱۳۵۵)، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران؛ انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۱۰۹.
وزارت مسکن و شهرسازی (۱۳۷۶) پهنه بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران.

- Abrahamson, N. A., Silva, W. J. (2008), Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations, *Earthquake Spectra*, 24(1), 67-97.
- Ambraseys., N. N., Melville, C. P. (1982), *A History of Persian Earthquakes*. Cambridge University Press, 219pp.
- Berberian, M. (1976), Contribution to the seismotectonics of Iran (part II). *Geol. Surv. Iran*, 39, 518p.
- Campbell, K. W., Bozorgnia, Y. (2008), NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra*, 24(1), 139-171.
- Campbell, K. W., Bozorgnia Y. (2003), Updated Near-Source Ground Motion (Attenuation) Relation for the Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration and Acceleration Response Spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93 (1) , 314-331.
- EZ-FRISK 7.52. Risk Engineering. (2010), Software for Earthquake Ground Motion Estimation, Boulder, Colorado.
- Mirzaei, N., Mengtan, G., Yuntai, C. (1998), Delineation of potential seismic sources for seismic zoning of Iran, *Journal of Seismology* 3, 17-30.
- Mostafazade, M. 2006, Analysis of the March 13, (2005), earthquake in southeastern Iran based on teleseismic and regional distances. *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, 8, 153-161.
- Nowroozi, A.A. (1976), Seismotectonic Provinces of Iran. *Seismological Society of American Bulletin*, 66, (4), 1249-1276.
- Nowroozi, A.A. (2010), Probability of Peak Ground Horizontal and Peak Ground Vertical Accelerations at Tehran and Surrounding Areas. *Pure and Applied Geophysics*, 167, 1459-1474.
- Partabian, A., Nourbakhsh, A. & Ameri, S. (2016), GIS-based evaluation of geomorphic response to tectonic activity in Makran Mountain Range, SE of Iran, *Geosciences Journal*, doi:10.1007/s12303-016-0106-x
- Reiter, L. (1990), *Earthquake Hazard Analysis*, Columbia University Press, New York, 254p.
- Tchalenko, J. S. (1974), Recent destructive earthquakes in the Central Alborz: *Geol. Surv. Iran*. 29, 97-116.
- Wiemer, S. (2001), A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters*, 72 (3), 373-382.
- Youngs, R., Coppersmith, K. (1985), Implication of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75, 939-964.
- Zamani, A, Hashemi, N. (2000), A comparison between seismicity, topography relief, and gravity anomalies of the Iranian Plateau, *Tectonophysics* 327, 25-36.

Using probabilistic method to seismic hazard zoning in Sistan and Baluchestan Province

Abdoreza Partabian¹, Samad Fotoohi^{2*}, Hamed Rigi³

1- Assistant Professor of geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2- Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Email: fotohi@gep.usb.ac.ir

3- Specialist at Office of Road and Urban Development of Sistan and Baluchestan Province

Received: 2016.05.15

Accepted: 2016.07.31

Abstract

In this study, Seismic hazard assessment is carried out for 25 – 31.5 °E and 58.8 – 63.3 N ° including Sistan and Baluchestan province. There are several active faults in this area that many destructive earthquakes occurred along them. At the first, we identified these active structures and then the seismic catalogue of the period of the 1900-2014 and historical earthquake have been investigated. 33 potential seismic sources have been identified. For each seismic source, seismic parameter estimated. Using these data and choosing convenient attenuation relationship in EZ-FRISK software in a network of dots with the distance of 20 *20 km we obtained peak ground acceleration on bedrock in sites for exceedance probability 10% and lifetime 50 years for a return period of 475 years. The results show Sistan and Baluchestan province is divided into 5 different seismic zones as follow: The area with PGA more than 0.35g that named Very High Seismic Zone and the area with PGA between 0.3 g to 0.35g that named High Seismic Zone includes parts northeast and east of northern part of province and in the middle of Sothern part of province. The area with PGA between 0.25g to 0.3g that named Moderate Seismic Zone, the area with PGA between 0.2g to 0.25g that named Low Seismic Zone and the area with PGA less than 0.2g that named very Low Seismic Zone mainly includes north east and south west parts of the province.

Keywords: Probabilistic method, Seismic hazard zoning map, EZ-FRISK software, Sistan and Baluchestan province