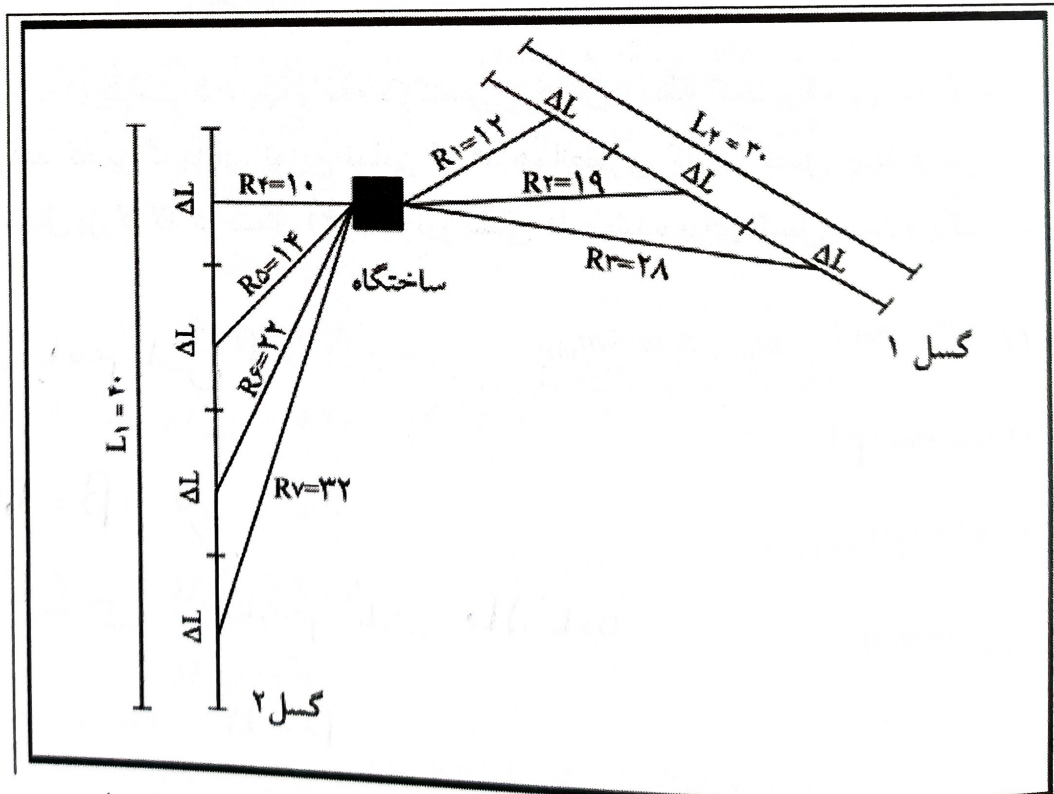


پراکندگی را کاهش دهد. این امر باعث می‌شود این حالت از رویکرد تعینی که اساساً مبتنی بر رابطه کاهندگی است به چالش کشیده شود. زیرا در این رویکرد برای تخمین یک مشخصه از زمین‌لرزه تنها یک مقدار بزرگا و یک فاصله‌ی خاص در رابطه کاهندگی قرار می‌گیرد اما در رویکرد احتمالی تمامی بزرگاها و فواصل ممکن لحاظ می‌شوند.

۶-۵- مثال کاربردی تحلیل خطر احتمالی برای ساختگاه فرضی

هدف از این مثال ارزیابی خطر یک ساختگاه فرضی در برابر زمین‌لرزه به صورت احتمالی می‌باشد. برای رسیدن به این منظور، طبق مراحل اشاره شده در بخش (۶-۲) این موضوع به صورت گام به گام بررسی می‌گردد. در گام اول چشمه‌های لرزه‌ای شناسایی می‌شوند و فرض بر این است که چشمه‌ها مستقل از همدیگر می‌باشند و به این معنی است که رویداد این اتفاقات در یک چشمه اثری بر رویداد حادثه در چشمه‌ی دیگر ندارد. ساختگاه مورد نظر شامل دو چشمه لرزه‌ای خطی است که موقعیت این گسل‌ها در شکل (۶-۱۲) نمایش داده شده است. به دلیل یکسان بودن روند انجام محاسبات برای دو چشمه خطی، در ادامه تنها مراحل ارزیابی خطر گسل شماره یک توضیح داده می‌شود.

فرضی لنم پارامترها
لرزه خنری رد داریم



شکل ۶-۱۲- مشخصات ساختگاه فرضی به منظور انجام تحلیل خطر لرزه‌ای

همانطوری که در شکل (۶-۱۲) مشاهده می‌شود فاصله ساختگاه فرضی تا مرکز هر قطعه برای گسل شماره یک برابر است با:

$$R_1 = 12$$

$$R_2 = 19$$

$$R_3 = 28$$

به دلیل اینکه طول و رابطه بازگشتی برای هر قطعه از گسل یکسان فرض می‌شود، در یک چشمه خطی احتمال اینکه هر قطعه باعث وقوع زمین‌لرزه شود برابر است با:

$$f(R)\Delta R = \frac{1}{n} = \frac{1}{3}$$

گام دوم تعیین رابطه بازگشتی، توزیع بزرگا و میانگین نرخ رویداد برای هر چشمه است که هر یک از این پارامترها برای هر چشمه خطی در جدول (۶-۱) نشان داده شده است.

جدول ۶-۱- پارامترهای لرزه‌ای مورد استفاده برای ساختگاه فرضی

چشمه‌ی لرزه‌ای	توزیع بزرگا	میانگین نرخ رویداد (ν_i)	b	$m_{\min}$	$m_{\max}$
گسل ۱	نمایی	۰/۰۳۲	۰/۹	۴	۶/۵
گسل ۲	نمایی	۰/۰۴۳	۱/۱۲	۴	۷

در جدول (۶-۱) پارامتر b شیب رابطه بازگشتی یا همان رابطه گوتنبرگ-ریشتر است و بر این امر تاکید می‌کند که بزرگا دارای توزیع نمایی است. همانطوری که در فصل چهارم نیز اشاره شد تابع چگالی احتمال بزرگا که در شکل (۶-۱۳) نیز نشان داده شده برای گسل شماره یک برابر است با:

$$f_M(m) = k\beta e^{-\beta(m-m_{\min})}, \quad m_{\min} \leq m \leq m_{\max}$$

$$k = [1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_{\min})}]^{-1}$$

$$k = [1 - e^{-0.9(6.5-4)}]^{-1} = 1.11$$

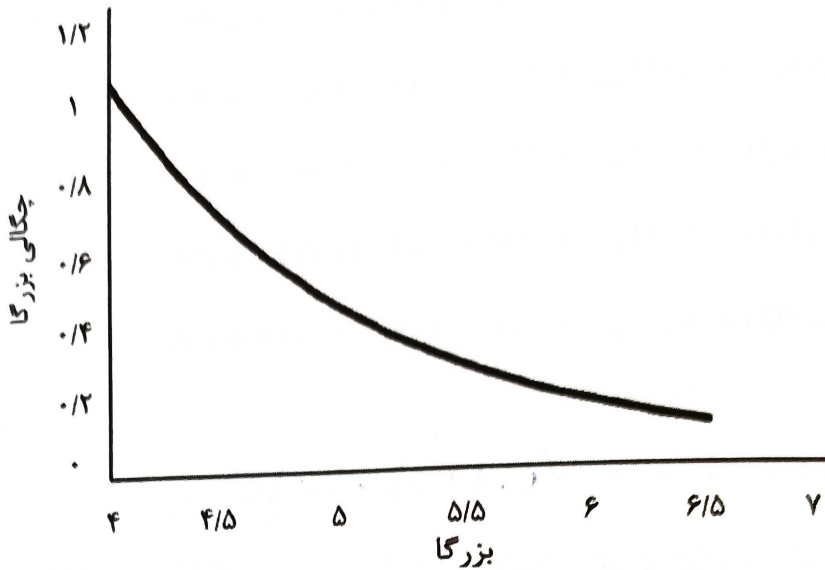
$$f_1(M) = 0.999e^{-0.9(M-4)}$$

β ، b چه رابطه‌ای با هم دارند؟

$$\beta = 2.3b$$

در بیشتر کارهای مهندسی از تعاریف مبنای ۱۰ استفاده می‌شود

$$\beta = b$$



شکل ۶-۱۳- تابع چگالی احتمال بزرگا برای گسل شماره یک

توجه شود که اگر رابطه‌ی گوتنبرگ-ریشتر بر حسب لگاریتم بر مبنای ۱۰ باشد $\beta = b \ln 10 \cong 2.3b$ و زمانی که بر حسب لگاریتم طبیعی باشد آنگاه $\beta = b$ می‌گردد. در روند تحلیل خطر احتمالی لازم است که محاسبات در بازه‌های مختلف بزرگا انجام گیرد. به منظور سادگی محاسبات، تغییرات بازه‌های بزرگا به فواصل ۰/۵ تقسیم می‌شود، یعنی محدوده بزرگای ۴ تا ۶/۵ به پنج بازه تقسیم می‌شود. از این رو بزرگای میانی در هر بازه برای گسل شماره یک به صورت زیر به تعیین می‌گردد:

$$\frac{4 + 4.5}{2} = 4.25$$

$$\Delta M = 0.5$$

$$4 \leq M \leq 4.5 \Rightarrow M_{mid_1} = 4.25$$

$$4.5 \leq M \leq 5 \Rightarrow M_{mid_2} = 4.75$$

$$5 \leq M \leq 5.5 \Rightarrow M_{mid_3} = 5.25$$

$$5.5 \leq M \leq 6 \Rightarrow M_{mid_4} = 5.75$$

$$6 \leq M \leq 6.5 \Rightarrow M_{mid_5} = 6.25$$

در صورت رویداد زمین لرزه، احتمال اینکه بزرگا در بازه‌های بالا قرار گیرد، برابر است با:

$$P\left(M_{mid_1} - \frac{\Delta M}{2} < M < M_{mid_1} + \frac{\Delta M}{2}\right) = f_1(M_{mid_1}) \cdot \Delta M$$

یعنی در توزیع احتمال M_{mid} دارای دهم ۱

$$P(4 < M < 4.5 | EQ) = f_1(M_{mid_1}) \cdot \Delta M = f_1(4.25) \cdot 0.5 = 0.401$$

$$P(4.5 < M < 5 | EQ) = f_1(M_{mid_2}) \cdot \Delta M = f_1(4.75) \cdot 0.5 = 0.256$$

$$P(5 < M < 5.5 | EQ) = f_1(M_{mid_3}) \cdot \Delta M = f_1(5.25) \cdot 0.5 = 0.163$$

$$P(5.5 < M < 6 | EQ) = f_1(M_{mid_4}) \cdot \Delta M = f_1(5.75) \cdot 0.5 = 0.104$$

$$P(6 < M < 6.5 | EQ) = f_1(M_{mid_5}) \cdot \Delta M = f_1(6.25) \cdot 0.5 = 0.066$$

که در این روابط:

$$\sum_i f_1(M_{mid_i}) \cdot \Delta M = 1 \rightarrow \text{مساحت زیر تابع توزیع احتمال برابر ۱ است} \checkmark$$

در این مثال، این مقدار برابر ۰/۹۹۰ می‌شود. دلیل این اختلاف اندک انتخاب بازه بزرگ به فواصل

۰/۵ است، در صورتیکه هرچه این بازه کوچکتر انتخاب شود این عدد به سمت یک میل می‌کند.

مقدار انحراف معیار از میانگین لگاریتمی یک معیار زمین‌لرزه با پارمتر ε نشان داده می‌شود که این متغیر از توزیع نرمال پیروی می‌کند. در محاسبات تحلیل خطر احتمالی معمولاً مقدار ε در بازه $+3$ تا -3 در نظر گرفته می‌شود که با توجه بر حاکم بودن توزیع نرمال بر مقدار عدم قطعیت، این محدوده بیشتر از ۹۹ درصد خطا را پوشش می‌دهد. در این مثال به منظور ساده سازی، تغییرات بازه ε به اندازه واحد ($\Delta\varepsilon = 1$) فرض می‌شود و مقدار ε از $+2.5$ تا -2.5 در نظر گرفته می‌شود:

$$\begin{aligned} -2.5 \leq \varepsilon \leq -1.5 &\Rightarrow \varepsilon_{mid_1} = -2 \\ -1.5 \leq \varepsilon \leq -0.5 &\Rightarrow \varepsilon_{mid_2} = -1 \\ -0.5 \leq \varepsilon \leq +0.5 &\Rightarrow \varepsilon_{mid_3} = 0 \\ +0.5 \leq \varepsilon \leq +1.5 &\Rightarrow \varepsilon_{mid_4} = +1 \\ +1.5 \leq \varepsilon \leq +2.5 &\Rightarrow \varepsilon_{mid_5} = +2 \end{aligned}$$

$$\frac{-1.5 - 0.5}{2} = -1$$

از این رو با فرض رویداد زمین‌لرزه، احتمال اینکه این مقدار در بازه‌های اشاره شده در بالا بیافتد برابر است با:

$$P(\varepsilon_{mid_1} - \frac{\Delta\varepsilon}{2} < \varepsilon < \varepsilon_{mid_1} + \frac{\Delta\varepsilon}{2}) = f(\varepsilon_{mid_1}) \cdot \Delta\varepsilon$$

$$P(-2.5 < \varepsilon < -1.5 | EQ) = f(\varepsilon_{mid_1}) \cdot \Delta\varepsilon = f(-2) \cdot 1 = 0.054$$

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

$$P(-1.5 < \varepsilon < -0.5 | EQ) = f(\varepsilon_{mid_2}) \cdot \Delta \varepsilon = f(-1) \cdot 1 = 0.242$$

$$P(-0.5 < \varepsilon < +0.5 | EQ) = f(\varepsilon_{mid_3}) \cdot \Delta \varepsilon = f(0) \cdot 1 = 0.399$$

$$P(+0.5 < \varepsilon < +1.5 | EQ) = f(\varepsilon_{mid_4}) \cdot \Delta \varepsilon = f(+1) \cdot 1 = 0.242$$

$$P(+1.5 < \varepsilon < +2.5 | EQ) = f(\varepsilon_{mid_5}) \cdot \Delta \varepsilon = f(+2) \cdot 1 = 0.054$$

که در این حالت هم مجموع حاصلضرب توابع توزیع عدم قطعیت در بازه‌های مختلف در مقدار تغییرات بازه برابر با واحد می باشد، یعنی:

$$\sum_i f(\varepsilon_{mid_i}) \cdot \Delta \varepsilon = 1$$

در این مثال این مقدار برابر با ۰/۹۹۱ می باشد که دلیل این اختلاف جزئی نیز انتخاب بازه‌ای نسبتاً بزرگ برای ε می باشد.

گام سوم در تحلیل خطر لرزه‌ای انتخاب رابطی کاهندگی مناسب برای ساختگاه مورد نظر است. در حالت کلی بایستی روابط کاهندگی که با استفاده از زمین لرزه‌های روی داده در آن منطقه به دست آمده باشد را به کار گرفت. در مناطقی که کاتالوگ منطقه ناقص باشد یا به عبارتی رابطه کاهندگی برای آن منطقه ارائه نشده باشد باید از روابط کاهندگی جهانی یا روابط دیگر مناطق لرزه خیز استفاده کرد. لازم به ذکر است در صورت استفاده از رابطه کاهندگی که مربوط به منطقه دیگری است بایستی ساختگاه مورد نظر برای انجام تحلیل خطر، بیشترین تطابق را از لحاظ لرزه خیزی، نوع گسل، سازوکار کانونی، شرایط محلی ساختگاه با منطقه‌ای که رابطه برای آن ارائه شده داشته باشد. در این مثال به دلیل فرضی بودن ساختگاه از رابطه ارائه شده توسط امبرسیز و همکاران [۴۳] به منظور به دست آوردن بیشینه شتاب زمین استفاده شده است.

در این مرحله احتمال اینکه بیشینه شتاب زمین از یک شتاب مشخص بیشتر شود تعیین می گردد. در این مثال شتاب مورد نظر یا همان acc در بازه بین $0.05g$ تا $0.60g$ و با افزایش $0.05g$ در هر مرحله مورد استفاده قرار می گیرد. به منظور تعیین احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب مشخص مورد نظر با فرض رویداد زمین لرزه با بزرگای M و فاصله R و یک مقدار مشخص عدم قطعیت و استفاده از تابع توزیع نرمال استاندارد (تابع Φ) که در پیوست ۲ آورده شده است، می توان نوشت:

$$P(PGA < acc | EQ : M, R, \varepsilon) = \Phi \left(\frac{\ln(acc) - \lambda}{\zeta} \right)$$

که در این رابطه λ معرف مقدار میانگین و ζ انحراف معیار لگاریتم طبیعی بیشینه شتاب زمین در رابطه کاهندگی است. در این مثال به دلیل اینکه بیشینه شتاب زمین که از رابطه کاهندگی امبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) تخمین زده می‌شود بر حسب لگاریتم در مبنای ۱۰ است از این رو:

$$\ln(acc) = 2.303 \log(acc)$$

$$\lambda = E[\ln(PGA)] = 2.303 E[\log(PGA)]$$

$$\zeta = \sigma_{\ln PGA} = 2.303 \cdot \sigma_{\log PGA}$$

$$P(PGA < acc | EQ : M, R, \varepsilon) = \Phi \left(\frac{2.303 \log(acc) - 2.303 \log PGA}{2.303 \cdot \sigma_{\log PGA}} \right)$$

$$= \Phi \left(\frac{\log(acc) - \log PGA}{\sigma_{\log PGA}} \right)$$

$$P(PGA > acc | EQ : M, R, \varepsilon) = 1 - \Phi \left(\frac{\log(acc) - \log PGA}{\sigma_{\log PGA}} \right)$$

برای نمونه در گسل شماره یک احتمال اینکه بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.05g$ با ازای بزرگای $4/25$ ، فاصله 12 کیلومتر و انحراف معیار -2 بیشتر شود برابر است با:

$$P(PGA > 0.05g | EQ : M = 4.25, R = 12, \varepsilon = -2) = 1 - \Phi \left(\frac{\log(0.05) - \log(0.054)}{0.1285} \right)$$

$$= 1 - \Phi \left(\frac{-1.3010 + 1.2625}{0.1285} \right) = 1 - \Phi(-0.299) = 0.618$$

به همین صورت نتایج فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.05g$ به ازای ترکیب بزرگای، فواصل و انحراف معیارهای مختلف در گسل شماره یک محاسبه می‌گردد که در جدول (۶-۲) نشان داده شده است. در این مثال به منظور سادگی محاسبات فرض می‌شود که گسل فقط به سه بخش و بزرگا و مقدار انحراف معیار از میانگین در رابطه کاهندگی (ε) به ترتیب برابر با بازه‌های 0.5 و 1.0 انتخاب شده‌اند. قابل ذکر است که در کارهای عملی بایستی بازه‌های کوچکتری انتخاب کرد.

جدول ۶-۲- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.05g$.

ϵ	M	P (PGA > 0.05 g EQ: R, M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	6.18E-01	2.37E-02	1.56E-05
	4.75	9.26E-01	2.02E-01	1.27E-03
	5.25	9.98E-01	7.10E-01	5.12E-02
	5.75	1.00E+00	9.88E-01	5.28E-01
	6.25	1.00E+00	1.00E+00	9.87E-01
-1	4.25	9.03E-01	1.63E-01	7.75E-04
	4.75	9.93E-01	5.66E-01	2.18E-02
	5.25	1.00E+00	9.40E-01	2.63E-01
	5.75	1.00E+00	9.99E-01	8.58E-01
	6.25	1.00E+00	1.00E+00	9.99E-01
0	4.25	9.89E-01	5.07E-01	1.52E-02
	4.75	1.00E+00	8.78E-01	1.54E-01
	5.25	1.00E+00	9.95E-01	6.43E-01
	5.75	1.00E+00	1.00E+00	9.81E-01
	6.25	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
1	4.25	1.00E+00	8.45E-01	1.22E-01
	4.75	1.00E+00	9.85E-01	4.93E-01
	5.25	1.00E+00	1.00E+00	9.14E-01
	5.75	1.00E+00	1.00E+00	9.99E-01
	6.25	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
2	4.25	1.00E+00	9.78E-01	4.34E-01
	4.75	1.00E+00	9.99E-01	8.37E-01
	5.25	1.00E+00	1.00E+00	9.91E-01
	5.75	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
	6.25	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00

به ازای $R=12$ ، $M=4.25$ ، $\epsilon=-2$ در رابطه محاسباتی وارد دسم بینم
 عده به دست می آید به نوع خاک Soil

بر اساس همین روند نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.10g$ به ازای ترکیب بزرگ‌ها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف محاسبه می‌گردد که در جدول (۳-۶) نشان داده شده است.

جدول ۳-۶ - نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.10g$

ε	M	P (PGA > 0.10 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	2.05E-02	7.61E-06	3.82E-11
	4.75	1.33E-01	3.42E-04	1.20E-08
	5.25	5.05E-01	1.15E-02	4.10E-06
	5.75	9.18E-01	1.86E-01	1.03E-03
	6.25	9.99E-01	8.01E-01	8.92E-02
-1	4.25	1.48E-01	4.41E-04	1.82E-08
	4.75	4.55E-01	8.29E-03	2.33E-06
	5.25	8.44E-01	1.01E-01	2.70E-04
	5.75	9.92E-01	5.42E-01	1.87E-02
	6.25	1.00E+00	9.68E-01	3.65E-01
0	4.25	4.83E-01	1.00E-02	3.28E-06
	4.75	8.13E-01	8.14E-02	1.72E-04
	5.25	9.78E-01	3.92E-01	6.95E-03
	5.75	1.00E+00	8.66E-01	1.40E-01
	6.25	1.00E+00	9.98E-01	7.43E-01
1	4.25	8.31E-01	9.25E-02	2.26E-04
	4.75	9.71E-01	3.46E-01	4.94E-03
	5.25	9.99E-01	7.66E-01	7.22E-02
	5.75	1.00E+00	9.82E-01	4.67E-01
	6.25	1.00E+00	1.00E+00	9.51E-01
2	4.25	9.75E-01	3.72E-01	6.08E-03
	4.75	9.98E-01	7.27E-01	5.71E-02
	5.25	1.00E+00	9.58E-01	3.23E-01
	5.75	1.00E+00	9.99E-01	8.21E-01
	6.25	1.00E+00	1.00E+00	9.96E-01

در جدول (۴-۶) نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.15g$ به ازای ترکیب بزرگها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف نشان داده شده است.

جدول ۴-۶- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.15g$

ϵ	M	P (PGA > 0.15 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	3.20E-04	6.14E-09	1.67E-15
	4.75	4.52E-03	4.93E-07	7.30E-13
	5.25	5.04E-02	4.29E-05	4.88E-10
	5.75	3.27E-01	3.09E-03	4.19E-07
	6.25	8.54E-01	1.08E-01	3.02E-04
-1	4.25	7.90E-03	1.33E-06	3.03E-12
	4.75	5.37E-02	4.92E-05	6.07E-10
	5.25	2.61E-01	1.71E-03	1.58E-07
	5.75	7.09E-01	4.11E-02	4.32E-05
	6.25	9.80E-01	4.06E-01	7.55E-03
0	4.25	7.87E-02	1.10E-04	2.08E-09
	4.75	2.71E-01	1.90E-03	1.90E-07
	5.25	6.40E-01	2.70E-02	1.95E-05
	5.75	9.40E-01	2.30E-01	1.72E-03
	6.25	9.99E-01	7.77E-01	7.64E-02
1	4.25	3.40E-01	3.51E-03	5.36E-07
	4.75	6.52E-01	2.91E-02	2.27E-05
	5.25	9.13E-01	1.77E-01	9.25E-04
	5.75	9.95E-01	6.03E-01	2.70E-02
	6.25	1.00E+00	9.61E-01	3.34E-01
2	4.25	7.21E-01	4.50E-02	5.27E-05
	4.75	9.18E-01	1.86E-01	1.04E-03
	5.25	9.91E-01	5.29E-01	1.73E-02
	5.75	1.00E+00	8.97E-01	1.77E-01
	6.25	1.00E+00	9.97E-01	7.16E-01

به همین صورت نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.20g$ به ازای ترکیب بزرگ‌ها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف محاسبه می‌گردد که در جدول (۵-۶) نشان داده شده است.

جدول ۵-۶- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.20g$

ϵ	M	P (PGA > 0.20 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	5.77E-06	1.29E-11	0.00E+00
	4.75	1.20E-04	1.28E-09	2.22E-16
	5.25	2.44E-03	1.69E-07	1.59E-13
	5.75	3.94E-02	2.61E-05	2.27E-10
	6.25	3.36E-01	3.30E-03	4.59E-07
-1	4.25	3.55E-04	7.22E-09	2.11E-15
	4.75	3.75E-03	3.57E-07	4.61E-13
	5.25	3.48E-02	2.06E-05	1.62E-10
	5.75	2.24E-01	1.16E-03	8.28E-08
	6.25	7.17E-01	4.30E-02	4.65E-05
0	4.25	8.52E-03	1.52E-06	3.68E-12
	4.75	4.71E-02	3.78E-05	4.08E-10
	5.25	2.08E-01	9.66E-04	6.23E-08
	5.75	5.96E-01	2.04E-02	1.15E-05
	6.25	9.42E-01	2.37E-01	1.82E-03
1	4.25	8.29E-02	1.22E-04	2.45E-09
	4.75	2.50E-01	1.55E-03	1.36E-07
	5.25	5.74E-01	1.78E-02	9.08E-06
	5.75	8.93E-01	1.48E-01	6.09E-04
	6.25	9.95E-01	6.12E-01	2.82E-02
2	4.25	3.50E-01	3.81E-03	6.16E-07
	4.75	6.28E-01	2.51E-02	1.72E-05
	5.25	8.82E-01	1.36E-01	5.07E-04
	5.75	9.88E-01	4.82E-01	1.27E-02
	6.25	1.00E+00	9.00E-01	1.82E-01

در جدول (۶-۶) نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.25g$ به ازای ترکیب بزرگها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف نشان داده شده است.

جدول ۶-۶- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.25g$

ϵ	M	P (PGA > 0.25 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	1.37E-07	5.75E-14	0.00E+00
	4.75	3.42E-06	5.90E-12	0.00E+00
	5.25	9.79E-05	9.25E-10	1.11E-16
	5.75	2.79E-03	2.09E-07	2.10E-13
	6.25	5.80E-02	5.59E-05	7.01E-10
-1	4.25	1.74E-05	6.71E-11	0.00E+00
	4.75	2.34E-04	3.68E-09	7.77E-16
	5.25	3.22E-03	2.71E-07	3.09E-13
	5.75	3.82E-02	2.45E-05	2.06E-10
	6.25	2.84E-01	2.09E-03	2.15E-07
0	4.25	8.44E-04	2.94E-08	1.43E-14
	4.75	6.24E-03	8.66E-07	1.63E-12
	5.25	4.23E-02	3.03E-05	2.89E-10
	5.75	2.20E-01	1.10E-03	7.64E-08
	6.25	6.66E-01	3.12E-02	2.50E-05
1	4.25	1.62E-02	4.88E-06	1.99E-11
	4.75	6.70E-02	7.76E-05	1.21E-09
	5.25	2.34E-01	1.30E-03	1.02E-07
	5.75	5.90E-01	1.97E-02	1.07E-05
	6.25	9.23E-01	1.94E-01	1.12E-03
2	4.25	1.27E-01	3.10E-04	1.04E-08
	4.75	3.09E-01	2.70E-03	3.41E-07
	5.25	6.09E-01	2.22E-02	1.36E-05
	5.75	8.90E-01	1.44E-01	5.79E-04
	6.25	9.92E-01	5.54E-01	1.99E-02

نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.30g$ به ازای ترکیب بزرگ‌ها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف که در جدول (۶-۷) نشان داده شده است.

جدول ۶-۷- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.30g$

ε	M	P (PGA > 0.30 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	4.30E-09	4.44E-16	0.00E+00
	4.75	1.16E-07	4.44E-14	0.00E+00
	5.25	3.95E-06	7.19E-12	0.00E+00
	5.75	1.58E-04	1.93E-09	3.33E-16
	6.25	6.06E-03	7.91E-07	1.35E-12
-1	4.25	9.86E-07	9.71E-13	0.00E+00
	4.75	1.51E-05	5.36E-11	0.00E+00
	5.25	2.62E-04	4.36E-09	9.99E-16
	5.75	4.65E-03	5.05E-07	7.30E-13
	6.25	6.57E-02	7.22E-05	1.03E-09
0	4.25	8.62E-05	7.78E-10	1.11E-16
	4.75	7.56E-04	2.43E-08	1.09E-14
	5.25	6.80E-03	9.97E-07	1.96E-12
	5.75	5.47E-02	5.02E-05	6.07E-10
	6.25	3.06E-01	2.55E-03	2.98E-07
1	4.25	2.92E-03	2.35E-07	2.59E-13
	4.75	1.49E-02	4.17E-06	1.57E-11
	5.25	7.11E-02	8.70E-05	1.43E-09
	5.75	2.74E-01	1.93E-03	1.90E-07
	6.25	6.88E-01	3.59E-02	3.27E-05
2	4.25	3.95E-02	2.69E-05	2.47E-10
	4.75	1.21E-01	2.74E-04	8.49E-09
	5.25	3.20E-01	2.94E-03	3.91E-07
	5.75	6.55E-01	2.94E-02	2.27E-05
	6.25	9.32E-01	2.12E-01	1.38E-03

احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.35g$ به ازای ترکیب بزرگها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف مانند حالات قبل محاسبه می گردد که در جدول (۸-۶) نشان داده شده است.

جدول ۸-۶ - نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.35g$

ϵ	M	P (PGA > 0.35 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	1.72E-10	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	4.67E-09	5.55E-16	0.00E+00
	5.25	1.73E-07	7.76E-14	0.00E+00
	5.75	8.46E-06	2.19E-11	0.00E+00
	6.25	4.82E-04	1.12E-08	3.55E-15
-1	4.25	6.55E-08	2.02E-14	0.00E+00
	4.75	1.06E-06	1.06E-12	0.00E+00
	5.25	2.10E-05	8.70E-11	0.00E+00
	5.75	4.80E-04	1.13E-08	3.66E-15
	6.25	1.07E-02	2.19E-06	5.82E-12
0	4.25	9.46E-06	2.70E-11	0.00E+00
	4.75	9.12E-05	8.39E-10	1.11E-16
	5.25	9.79E-04	3.67E-08	1.89E-14
	5.75	1.07E-02	2.21E-06	6.04E-12
	6.25	9.67E-02	1.63E-04	3.64E-09
1	4.25	5.24E-04	1.35E-08	4.89E-15
	4.75	3.05E-03	2.50E-07	2.80E-13
	5.25	1.80E-02	5.86E-06	2.54E-11
	5.75	9.65E-02	1.65E-04	3.75E-09
	6.25	3.82E-01	4.76E-03	8.57E-07
2	4.25	1.14E-02	2.56E-06	7.83E-12
	4.75	4.07E-02	2.83E-05	2.65E-10
	5.25	1.36E-01	3.59E-04	1.28E-08
	5.75	3.81E-01	4.79E-03	8.80E-07
	6.25	7.58E-01	5.56E-02	7.70E-05

به همین صورت نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.40g$ به ازای ترکیب بزرگاها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف محاسبه می‌گردد که در جدول (۹-۶) نشان داده شده است.

جدول ۹-۶- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.40g$

ϵ	M	P (PGA > 0.40 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	8.57E-12	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	2.25E-10	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	8.45E-09	1.11E-15	0.00E+00
	5.75	4.57E-07	3.05E-13	0.00E+00
	6.25	3.34E-05	1.70E-10	0.00E+00
-1	4.25	5.06E-09	5.55E-16	0.00E+00
	4.75	8.22E-08	2.74E-14	0.00E+00
	5.25	1.73E-06	2.15E-12	0.00E+00
	5.75	4.63E-05	2.86E-10	0.00E+00
	6.25	1.41E-03	6.49E-08	3.99E-14
0	4.25	5.06E-09	5.55E-16	0.00E+00
	4.75	8.22E-08	2.74E-14	0.00E+00
	5.25	1.73E-06	2.15E-12	0.00E+00
	5.75	4.63E-05	2.86E-10	0.00E+00
	6.25	1.41E-03	6.49E-08	3.99E-14
1	4.25	9.63E-05	9.23E-10	1.11E-16
	4.75	6.07E-04	1.70E-08	6.66E-15
	5.25	4.13E-03	4.17E-07	5.67E-13
	5.75	2.81E-02	1.35E-05	8.48E-11
	6.25	1.62E-01	5.20E-04	2.24E-08
2	4.25	3.18E-03	2.71E-07	3.17E-13
	4.75	1.27E-02	3.10E-06	1.02E-11
	5.25	5.04E-02	4.30E-05	4.89E-10
	5.75	1.82E-01	6.92E-04	3.59E-08
	6.25	5.05E-01	1.13E-02	3.90E-06

به همین صورت نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.45g$ به ازای ترکیب بزرگها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف محاسبه می‌گردد که در جدول (۶-۱۰) نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۰- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.45g$

ϵ	M	P (PGA > 0.45 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	5.14E-13	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	1.27E-11	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	4.64E-10	0.00E+00	0.00E+00
	5.75	2.59E-08	5.22E-15	0.00E+00
	6.25	2.19E-06	2.90E-12	0.00E+00
-1	4.25	4.49E-10	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	7.10E-09	8.88E-16	0.00E+00
	5.25	1.52E-07	6.44E-14	0.00E+00
	5.75	4.40E-06	8.27E-12	0.00E+00
	6.25	1.64E-04	2.00E-09	3.33E-16
0	4.25	1.47E-07	6.37E-14	0.00E+00
	4.75	1.50E-06	1.76E-12	0.00E+00
	5.25	1.88E-05	7.40E-11	0.00E+00
	5.75	2.86E-04	4.91E-09	1.22E-15
	6.25	4.77E-03	5.18E-07	7.41E-13
1	4.25	1.84E-05	7.33E-11	0.00E+00
	4.75	1.21E-04	1.30E-09	2.22E-16
	5.25	9.00E-04	3.20E-08	1.55E-14
	5.75	7.24E-03	1.10E-06	2.22E-12
	6.25	5.56E-02	5.13E-05	6.15E-10
2	4.25	8.84E-04	3.17E-08	1.59E-14
	4.75	3.78E-03	3.62E-07	4.70E-13
	5.25	1.69E-02	5.23E-06	2.15E-11
	5.75	7.42E-02	9.43E-05	1.59E-09
	6.25	2.77E-01	1.96E-03	1.93E-07

در جدول (۱۱-۶) نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.50g$ به ازای ترکیب بزرگاها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف نشان داده شده است.

جدول ۱۱-۶- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.50g$

ϵ	M	P (PGA > 0.50 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	3.64E-14	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	8.30E-13	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	2.86E-11	0.00E+00	0.00E+00
	5.75	1.57E-09	1.11E-16	0.00E+00
	6.25	1.42E-07	5.60E-14	0.00E+00
-1	4.25	4.50E-11	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	6.79E-10	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	1.42E-08	2.33E-15	0.00E+00
	5.75	4.24E-07	2.74E-13	0.00E+00
	6.25	1.78E-05	6.55E-11	0.00E+00
0	4.25	2.09E-08	4.11E-15	0.00E+00
	4.75	2.09E-07	1.03E-13	0.00E+00
	5.25	2.67E-06	4.04E-12	0.00E+00
	5.75	4.35E-05	2.60E-10	0.00E+00
	6.25	8.62E-04	2.88E-08	1.29E-14
1	4.25	3.68E-06	6.67E-12	0.00E+00
	4.75	2.45E-05	1.12E-10	0.00E+00
	5.25	1.92E-04	2.66E-09	5.55E-16
	5.75	1.73E-03	9.30E-08	6.74E-14
	6.25	1.64E-02	4.80E-06	1.82E-11
2	4.25	2.48E-04	4.08E-09	9.99E-16
	4.75	1.10E-03	4.53E-08	2.56E-14
	5.25	5.37E-03	6.59E-07	1.09E-12
	5.75	2.72E-02	1.26E-05	7.70E-11
	6.25	1.28E-01	3.06E-04	9.67E-09

جدول (۶-۱۲) نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.55g$ به ازای ترکیب بزرگها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۱۲- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.55g$.

ϵ	M	P (PGA > 0.55 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	3.00E-15	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	6.18E-14	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	1.97E-12	0.00E+00	0.00E+00
	5.75	1.03E-10	0.00E+00	0.00E+00
	6.25	9.34E-09	1.22E-15	0.00E+00
-1	4.25	5.06E-12	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	7.15E-11	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	1.43E-09	1.11E-16	0.00E+00
	5.75	4.22E-08	1.03E-14	0.00E+00
	6.25	1.88E-06	2.32E-12	0.00E+00
0	4.25	3.22E-09	3.33E-16	0.00E+00
	4.75	3.10E-08	6.99E-15	0.00E+00
	5.25	3.91E-07	2.49E-13	0.00E+00
	5.75	6.58E-06	1.50E-11	0.00E+00
	6.25	1.45E-04	1.65E-09	2.22E-16
1	4.25	7.74E-07	6.85E-13	0.00E+00
	4.75	5.10E-06	1.07E-11	0.00E+00
	5.25	4.08E-05	2.40E-10	0.00E+00
	5.75	3.93E-04	8.20E-09	2.33E-15
	6.25	4.35E-03	4.42E-07	5.91E-13
2	4.25	7.09E-05	5.75E-10	1.11E-16
	4.75	3.22E-04	6.11E-09	1.67E-15
	5.25	1.64E-03	8.67E-08	6.24E-14
	5.75	9.20E-03	1.69E-06	4.11E-12
	6.25	5.22E-02	4.50E-05	5.06E-10

به همین صورت نتایج احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.60g$ به ازای ترکیب بزرگ‌ها، فواصل و انحراف معیارهای مختلف محاسبه می‌گردد که در جدول (۶-۱۳) نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۳- نتایج محاسبات فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.60g$

ε	M	P (PGA > 0.60 g EQ: R,M)		
		R=12 km	R=19 km	R=28 km
-2	4.25	2.22E-16	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	5.22E-15	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	1.50E-13	0.00E+00	0.00E+00
	5.75	7.23E-12	0.00E+00	0.00E+00
	6.25	6.36E-10	0.00E+00	0.00E+00
-1	4.25	6.28E-13	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	8.23E-12	0.00E+00	0.00E+00
	5.25	1.54E-10	0.00E+00	0.00E+00
	5.75	4.38E-09	4.44E-16	0.00E+00
	6.25	1.98E-07	8.98E-14	0.00E+00
0	4.25	5.34E-10	0.00E+00	0.00E+00
	4.75	4.89E-09	5.55E-16	0.00E+00
	5.25	5.97E-08	1.72E-14	0.00E+00
	5.75	1.00E-06	9.48E-13	0.00E+00
	6.25	2.34E-05	9.88E-11	0.00E+00
1	4.25	1.71E-07	7.85E-14	0.00E+00
	4.75	1.10E-06	1.12E-12	0.00E+00
	5.25	8.76E-06	2.34E-11	0.00E+00
	5.75	8.73E-05	7.61E-10	1.11E-16
	6.25	1.07E-03	4.09E-08	2.10E-14
2	4.25	2.08E-05	8.79E-11	0.00E+00
	4.75	9.41E-05	8.81E-10	1.11E-16
	5.25	4.93E-04	1.20E-08	4.00E-15
	5.75	2.95E-03	2.30E-07	2.41E-13
	6.25	1.92E-02	6.41E-06	2.79E-11

در مرحله‌ی چهارم یا مرحله‌ی آخر، منحنی خطر ساختگاه محاسبه می‌گردد. در این مرحله احتمال سالیانه اینکه بیشینه شتاب زمین از شتاب مورد نظر به شرط وقوع یک رویداد زمین لرزه بیشتر شود، بررسی می‌گردد که مقدار این احتمال از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$P(PGA > acc | EQ) = \int_{R_{min}}^{R_{max}} \int_{m_0}^{m_{max}} P(PGA > acc | EQ: M, R, \epsilon) f(M) f(R) f(\epsilon) dM dR d\epsilon$$

در صورتیکه متغیرها به صورت گسسته باشند، می‌توان نوشت:

$$P(PGA > acc | EQ) = \sum_{\epsilon} \sum_R \sum_M P(PGA > acc | EQ: M, R, \epsilon) f(M) f(R) f(\epsilon) \Delta M \Delta R \Delta \epsilon$$

با فرض اینکه رویداد زمین لرزه‌ها از توزیع پواسون پیروی کند احتمال رویداد یک زمین لرزه برابر است با:

$$P(PGA > acc) = 1 - \exp(-v_1 \cdot t \cdot p(a))$$

$$p(a) = P(PGA > acc | EQ)$$

به طوری که اگر مقدار $v_1 \cdot t \cdot p(a)$ خیلی از یک کوچکتر باشد $P(PGA > acc)$ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$p(PGA > acc) = v_1 \cdot p(a)$$

از این رو با توجه به مباحث مطرح شده احتمال فراگذشت سالیانه بیشینه شتاب زمین از مقادیر مختلف شتاب برای دو چشمه خطی محاسبه می‌گردد که به ترتیب برای گسل‌های شماره یک و دو در جداول (۶-۱۴) و (۶-۱۵) نشان داده شده است. قابل ذکر است که جزئیات محاسبات نظیر گسل شماره دو در پیوست ۵ آورده شده است.

ستون دوم از ردیف اول در جدول (۶-۱۴) بیان‌گر احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.05g$ برای چشمه خطی شماره یک است که با توجه به نتایج جداول (۶-۲) تا (۶-۱۳) و مقادیر محاسبه شده $f_m(m)$ ، $f_r(r)$ و $f_\epsilon(\epsilon)$ به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

از رابطه‌ی ماحولی بدست آورده می‌شود:

$$\begin{aligned}
 P(PGA > 0.05g | EQ) &= \sum_{\varepsilon} \sum_R \sum_M P(PGA > 0.05g | EQ; M, R, \varepsilon) f(M) f(R) f(\varepsilon) \Delta M \Delta R \Delta \varepsilon \\
 &= [0.618 + 0.0237 + 0.000015] * 0.401 * \frac{1}{3} * 0.054 + [0.926 + 0.202 + 0.00127] * 0.256 * \frac{1}{3} * 0.054 + \\
 &[0.998 + 0.710 + 0.0512] * 0.163 * \frac{1}{3} * 0.054 + [1 + 0.988 + 0.528] * 0.104 * \frac{1}{3} * 0.054 + [1 + 1 + 0.987] * \\
 &0.066 * \frac{1}{3} * 0.054 + [0.903 + 0.163 + 0.000775] * 0.401 * \frac{1}{3} * 0.242 + [0.993 + 0.566 + 0.0218] * 0.256 * \\
 &\frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 0.94 + 0.263] * 0.163 * \frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 0.999 + 0.858] * 0.104 * \frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 1 + 0.999] \\
 &* 0.066 * \frac{1}{3} * 0.242 + [0.989 + 0.507 + 0.0152] * 0.401 * \frac{1}{3} * 0.399 + [1 + 0.878 + 0.154] * 0.256 * \frac{1}{3} \\
 &* 0.399 + [1 + 0.995 + 0.643] * 0.163 * \frac{1}{3} * 0.399 + [1 + 1 + 0.98] * 0.104 * \frac{1}{3} * 0.399 + [1 + 1 + 1] * 0.066 * \\
 &\frac{1}{3} * 0.399 + [1 + 0.845 + 0.122] * 0.401 * \frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 0.985 + 0.493] * 0.256 * \frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 1 + 0.914] \\
 &* 0.163 * \frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 1 + 0.999] * 0.104 * \frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 1 + 1] * 0.066 * \frac{1}{3} * 0.242 + [1 + 0.978 + 0.434] \\
 &* 0.401 * \frac{1}{3} * 0.054 + [1 + 0.999 + 0.837] * 0.256 * \frac{1}{3} * 0.054 + [1 + 1 + 0.99] * 0.163 * \frac{1}{3} * 0.054 + [1 + 1 + 1] \\
 &* 0.104 * \frac{1}{3} * 0.066 + [1 + 1 + 1] * 0.066 * \frac{1}{3} * 0.054 = 0.678
 \end{aligned}$$

همچنین در جدول (۶-۱۴) ستون سوم از ردیف اول، بیان‌گر احتمال فراگذشت سالیانه بیشینه شتاب زمین از شتاب $0.05g$ برای چشمه خطی شماره یک است که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$P(PGA > acc) = 1 - \exp(-0.032 * 1 * 0.678) = 0.0215$$

ستون چهارم در این جدول مقدار احتمال فراگذشت سالیانه بیشینه شتاب زمین را با استفاده از رابطه تقریبی $(v_1 \cdot p(a))$ نشان می‌دهد که اختلافی جزئی با ستون سوم دارد $(0.032 * 0.678 = 0.0217)$. تحلیل خطر احتمالی زمین لرزه در یک منطقه به طور همزمان اثر تمام چشمه‌های زمین لرزه در خطرپذیری ساختگاه مورد مطالعه اعمال می‌کند. بر این اساس با استفاده از روابط زیر نتایج احتمالات محاسبه شده برای دو چشمه خطی با یکدیگر ترکیب می‌شود که این نتایج در جدول (۶-۱۶) و شکل (۶-۱۴) نشان داده شده است. به عنوان نمونه به ازای شتاب $0.05g$ مقدار احتمال فراگذشت سالیانه برابر می‌شود با:

$$P(PGA > acc) = 1 - \prod_k (PGA < acc)_k$$

$$P(PGA > acc) = 1 - P(PGA < acc)_1 * P(PGA < acc)_2$$

$$P(PGA > acc) = 1 - \{1 - P(PGA > acc)_1\} * \{1 - P(PGA > acc)_2\}$$

$$P(PGA > 0.05g) = 1 - (1 - 0.0215) * (1 - 0.0283) = 0.0491$$

جدول ۶-۱۴- احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب مورد نظر برای گسل شماره یک

acc	$P(PGA > acc EQ)$	$P(PGA > acc)$	$P(PGA > acc)_{approx}$
	6.78E-01	2.15E-02	2.17E-02
0.05 g	3.49E-01	1.11E-02	1.12E-02
0.10 g	1.69E-01	5.39E-03	5.41E-03
0.15 g	7.96E-02	2.54E-03	2.55E-03
0.20 g	3.65E-02	1.17E-03	1.17E-03
0.25 g	1.60E-02	5.13E-04	5.12E-04
0.30 g	6.66E-03	2.13E-04	2.13E-04
0.35 g	2.61E-03	8.34E-05	8.35E-05
0.40 g	9.68E-04	3.10E-05	3.10E-05
0.45 g	3.41E-04	1.09E-05	1.09E-05
0.50 g	1.15E-04	3.69E-06	3.68E-06
0.55 g	3.73E-05	1.19E-06	1.19E-06
0.60 g			

جدول ۶-۱۵- احتمال فراگذشت بیشینه شتاب زمین از شتاب مورد نظر برای گسل شماره دو

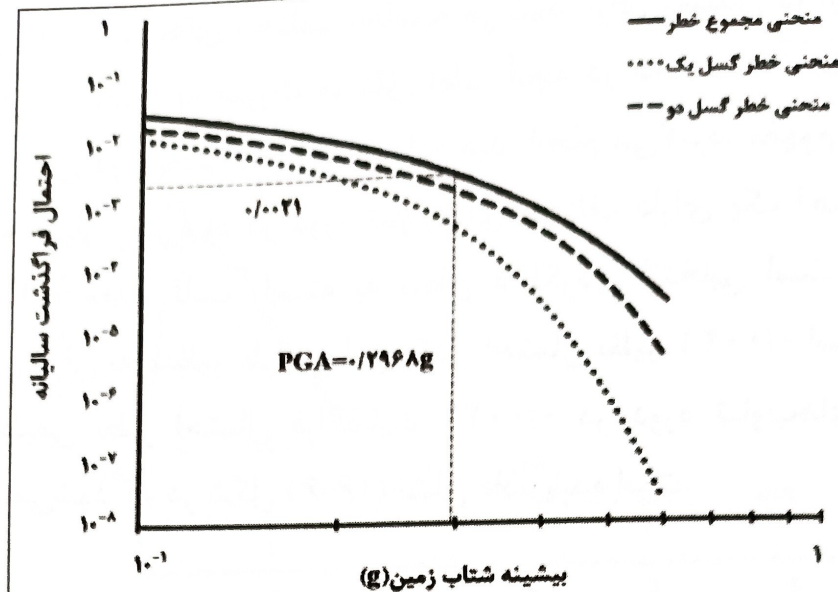
acc	$P(PGA > acc EQ)$	$P(PGA > acc)$	$P(PGA > acc)_{approx}$
0.05 g	6.67E-01	2.83E-02	2.87E-02
0.10 g	3.92E-01	1.67E-02	1.69E-02
0.15 g	2.17E-01	9.29E-03	9.33E-03
0.20 g	1.17E-01	5.03E-03	5.03E-03
0.25 g	6.33E-02	2.72E-03	2.72E-03
0.30 g	3.41E-02	1.46E-03	1.47E-03
0.35 g	1.81E-02	7.77E-04	7.78E-04
0.40 g	9.30E-03	4.00E-04	4.00E-04
0.45 g	4.61E-03	1.98E-04	1.98E-04
0.50 g	2.19E-03	9.42E-05	9.42E-05
0.55 g	9.98E-04	4.29E-05	4.29E-05
0.60 g	4.36E-04	1.88E-05	1.87E-05

خط پیرنگ در شکل (۶-۱۴) منحنی خطر در ساختگاه فرضی شکل (۶-۱۲) را در اثر دو گسل فرضی نشان می‌دهد، که محور افقی بیشینه شتاب زمین (PGA) و محور قائم احتمال فراگذشت سالیانه است. بر اساس تعریف زلزله طرح، به عنوان نمونه و همانطوریکه در فصل سوم اشاره شد، **آیین‌نامه لرزه‌ای ایران احتمال فراگذشت سالیانه را برابر ۰/۰۰۲۱ بیان می‌کند.** به کمک منحنی خطر محاسبه شده می‌توان شتاب زمین طراحی را بدست آورد. در این ساختگاه فرضی مقدار بیشینه شتاب زمین نظیر سطح طراحی برابر با $۰/۲۹۶۸g$ می‌شود.

جدول ۶-۱۶- نتایج احتمال‌های محاسبه شده برای شتاب‌های مورد نظر

acc	$P(PGA > acc)_{\text{Fault}_1 \& 2}$
0.05 g	4.91E-02
0.10 g	2.76E-02
0.15 g	1.46E-02
0.20 g	7.56E-03
0.25 g	3.88E-03
0.30 g	1.98E-03
0.35 g	9.90E-04
0.40 g	4.83E-04
0.45 g	2.29E-04
0.50 g	1.05E-04
0.55 g	4.66E-05
0.60 g	2.00E-05

زمین‌لرزه‌ی طرح به احتمال ۵ درصد در ۵۰ سال دارای زمین‌لرزه‌ای هست که مقدار شتاب
بزرگتر از $۰/۳۹$ هست.



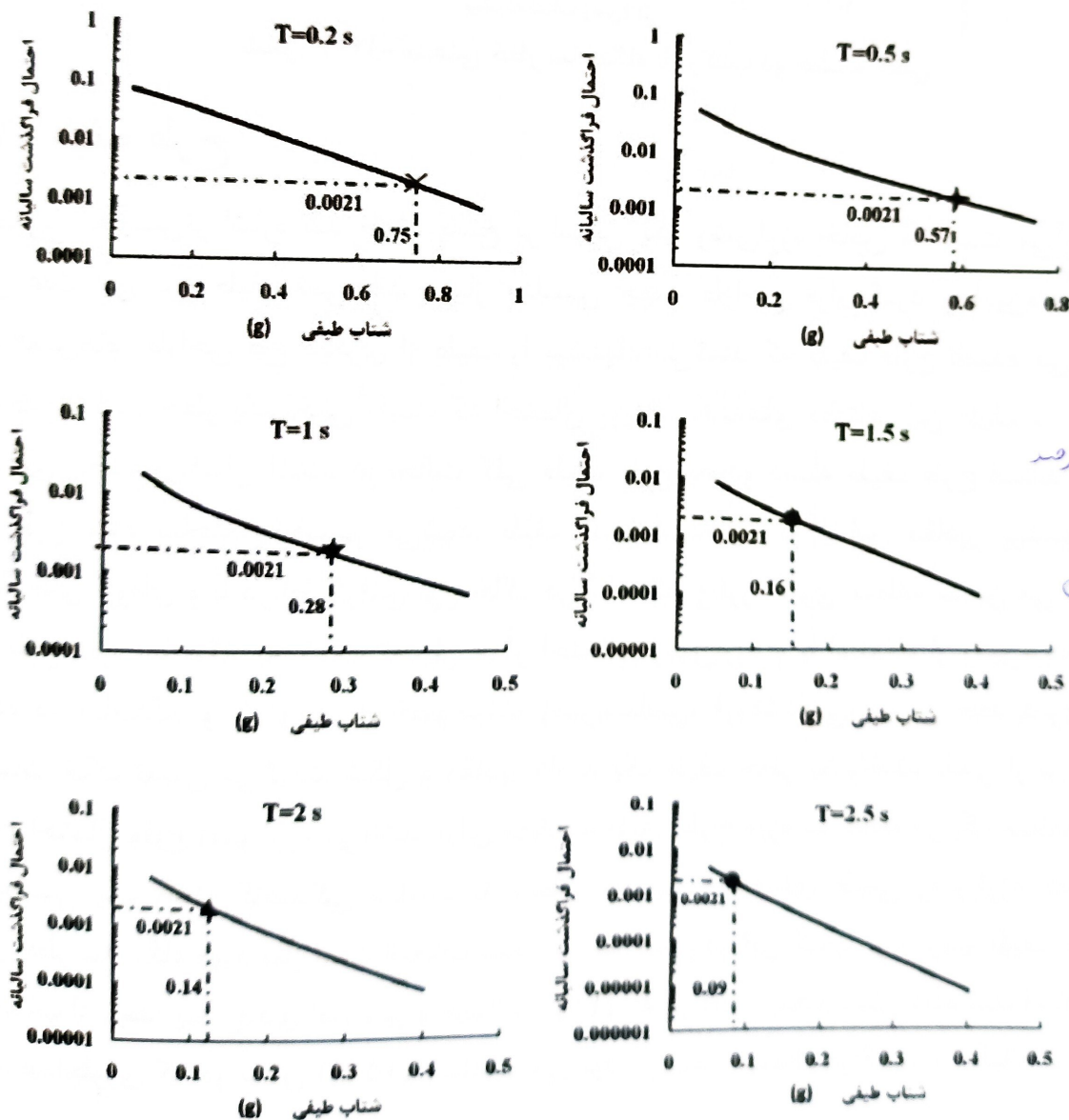
شکل ۶-۱۴- منحنی خطر ساختگاه با ترکیب دو چشمه خطی

۶-۶- طیف طرح

همانطوری که پیش‌تر اشاره شد طیف پاسخ بر اساس یک زمین‌لرزه خاص به دست می‌آید به همین علت این نوع طیف نمی‌تواند معیار مناسبی جهت طراحی قرار گیرد و آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی نوع دیگری از طیف را پیشنهاد می‌کنند که طیف طرح نامیده می‌شود. **طیف طرح، طیف خطر یکنواختی^۱ است که احتمال رویداد دامنه‌های مختلف این طیف در زمان تناوب‌های مختلف یکسان است.** در حالت کلی طیف طرح به دو دسته طیف طرح استاندارد و طیف طرح ویژه ساختگاه تقسیم می‌شود. طیف طرح استاندارد بر اساس مقادیر پیشنهادی آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و با در نظر گرفتن نوع خاک در ساختگاه و لرزه‌خیزی منطقه تعیین می‌گردد. طیف طرح ویژه ساختگاه به کمک تحلیل خطر احتمالی زمین‌لرزه و با استفاده از زمین‌لرزه‌های رویداده در ساختگاه و با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی، لرزه‌شناسی، میزان خطرپذیری و مشخصات خاک تعیین می‌گردد. شکل و مقادیر دامنه یک طیف خطر یکنواخت، تابعی از بزرگا، فاصله و احتمال وقوع زمین‌لرزه می‌باشد. برای محاسبه طیف طرح ویژه ساختگاه در یک منطقه در ابتدا بایستی یک رابطه کاهندگی مناسب به منظور تخمین دامنه‌های طیفی زمین‌لرزه که در تحلیل خطر ساختگاه مورد نیاز است انتخاب شود. به طور مثال در این کتاب برای رسم طیف طرح نظیر شتاب از رابطه پیشنهادی امبرسیز و همکاران [۴۳] که در فصل پنجم نشان داده شد، استفاده گردید. همانطوری که در شکل (۶-۱۵) مشاهده می‌شود در ابتدا احتمال فراگذشت سالیانه شتاب

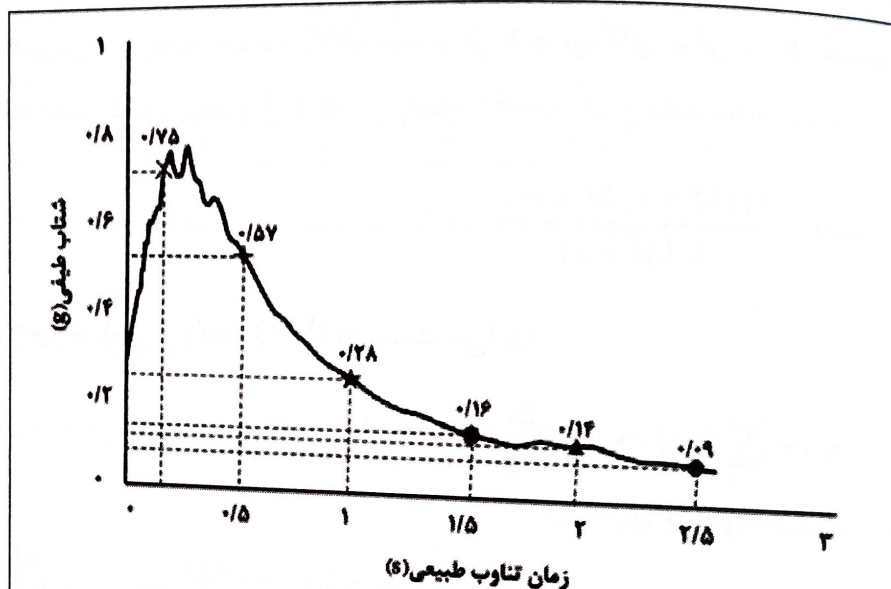
^۱ Uniform Hazard Spectra

طیفی به ازای دوره تناوب‌های مختلف محاسبه می‌شود. برای رسیدن به این منظور محاسبات در دوره تناوب‌های مختلف و به صورت مستقل نظیر آنچه در محاسبات تحلیل خطر احتمالی برای بیشینه شتاب زمین در مبحث قبلی نشان داده شد، انجام می‌گیرد. مفهوم یکنواخت بودن به این معنی است که معیار زمین‌لرزه در دوره تناوب‌های مختلف دارای یک احتمال فراگذشت سالیانه ثابت می‌باشد. این مقدار ثابت وابسته به سطح عملکردی انتخابی است به عنوان نمونه طبق آیین‌نامه لرزه‌ای ایران به منظور طراحی این مقدار احتمال نظیر 0.0021 است. در نهایت با انتخاب دامنه شتاب طیفی نظیر احتمال فراگذشت 0.0021 در دوره تناوب‌های مختلف طیف خطر یکنواخت رسم می‌شود که در شکل (۶-۱۶) نشان داده شده است.



همین احتمال
فراگذشت
بیشینه شتاب
احتمال خطر
در ۵۰ سال است
همین حد یکنواخت
است
یعنی دلیل می‌گیریم
طیف خطر یکنواخت

شکل ۶-۱۵- احتمال فراگذشت سالیانه شتاب طیفی در دوره تناوب‌های مختلف



شکل ۶-۱۶- طیف خطر یکنواخت برای ساختگاه فرضی

۶-۷- تفکیک خطر لرزه‌ای

در رویکرد احتمالی تحلیل خطر که در بخش (۶-۲) به آن اشاره شد، مقدار احتمال فراگذشت معیار شدتی زمین لرزه، با در نظر گرفتن سهم تمامی چشمه‌های لرزه‌ای و بزرگای ممکن که بر یک ساختگاه تاثیر می‌گذارند، تعریف می‌شود. این جمع خطر لرزه‌ای ناشی از چشمه‌های مختلف با توجه به مفهوم انتگرال بدست می‌آید. به عنوان یکی از معایب مهم تحلیل خطر احتمالی می‌توان به این نکته اشاره کرد که مفهوم زمین لرزه طراحی به خوبی نشان داده نمی‌شود یعنی نمی‌توان به طور خاص یک رویداد زمین لرزه با بزرگای M و فاصله‌ی R و مقدار انحراف معیار از میانگین ϵ را به عنوان زمین لرزه طرح در نظر گرفت. تفکیک خطر لرزه‌ای^۱ را به نوعی می‌توان عکس روند تحلیل خطر احتمالی در نظر گرفت زیرا در این روش جداسازی خطر لرزه‌ای بدست آمده از تحلیل خطر مطرح می‌شود و میزان مشارکت بزرگا، فاصله و انحراف معیارهای مختلف در زمین لرزه طرح تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه در محاسبات تحلیل خطر احتمالی تمامی سناریوهای موجود با یکدیگر ترکیب می‌شوند تعیین مشارکت بزرگا، فاصله و انحراف معیارهای مختلف کاری دشوار است.

^۱ Deaggregation of Seismic Hazard

احتمال اینکه بزرگای زمین‌لرزه m و معیار شدت زمین‌لرزه از مقدار مفروض x بیشتر شود، برابر است با نرخ زمین‌لرزه با معیار شدت (IM) بیشتر از x و بزرگای برابر با m تقسیم بر نرخ تمامی زمین‌لرزه‌های با معیار شدت بیشتر از x که در رابطه (۸-۶) نشان داده شده است:

$$P(M=m | IM > x) = \frac{\lambda(IM > x, M=m)}{\lambda(IM > x)} \quad (۸-۶)$$

در این رابطه، صورت کسر از رابطه (۹-۶) به دست می‌آید:

$$\lambda(IM > x, M=m) = \sum_{i=1}^{n_{sources}} \lambda(M_i > m_{min}) \sum_{k=1}^{n_{R_i}} P(IM > x | m, r_k, \varepsilon) \quad (۹-۶)$$

$$\times P(M_i = m) \times P(R_i = r_k) \times P(\varepsilon_i = \varepsilon)$$

که در این رابطه:

$$P(IM > x | m, r_k, \varepsilon) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln x - \overline{\ln PGA}}{\sigma_{\ln PGA}}\right)$$

عبارت مخرج کسر در رابطه (۸-۶) مربوط به نرخ تمامی زمین‌لرزه‌ها با شدت بیشتر از x در تمامی فواصل ممکن می‌باشد. به منظور نشان دادن تفکیک در بزرگا ساختگاه فرضی شکل (۶-۱۲) در نظر گرفته می‌شود. این ساختگاه دارای دو چشمه خطی است که در اینجا تعیین سهم مشارکت بزرگای بخش‌های این دو چشمه خطی بررسی می‌شود. بیشینه شتاب نظیر سطح طراحی که در مثال بند (۶-۵) محاسبه شد را در نظر بگیرید ($PGA=0.2968g=0.3g$). همانطوری که در رابطه (۸-۶) نمایش داده شده است در ابتدا بایستی احتمال فراگذشت بزرگاهای نظیر $4/25$ تا $6/75$ از مقدار شتاب $0.3g$ را محاسبه نمود. با توجه به این که روند انجام این محاسبات پیش‌تر در بند (۶-۵) توضیح داده شد در اینجا تنها به ذکر یک نمونه از آنها پرداخته می‌شود.

احتمال فراگذشت از مقدار بیشینه شتاب نظیر $0.3g$ به ازای بزرگای $4/25$ در فاصله 10 کیلومتری برای گسل شماره دو برابر است با:

$$\lambda(PGA > 0.3g, M = 4.25) = 0.043 \cdot \sum_{\varepsilon=-2.5}^{2.5} P(PGA > 0.3 | 4.25, 10, \varepsilon) \times P(M_i = m) \times P(R_i = r_k) \times P(\varepsilon_i = \varepsilon) = 7.06E-05$$

توجه شود که توزیع احتمال فاصله برای گسل شماره یک برابر با $1/3$ و برای گسل شماره دو برابر با $1/4$ است. همچنین مقدار انحراف معیار از میانگین که از توزیع نرمال پیروی می‌کند در جدول (۶-۱۷) نشان داده شده است.

جدول ۶-۱۷- مقدار انحراف معیار از میانگین

$P(\varepsilon = \varepsilon_j)$				
$\varepsilon = -2$	$\varepsilon = -1$	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = 1$	$\varepsilon = 2$
0.054	0.242	0.399	0.242	0.054

همانطوریکه در جدول (۶-۱۶) محاسبه گردیده است، احتمال فراگذشت سالیانه با در نظر گرفتن دو چشمه خطی برابر است با:

$$\lambda(PGA > 0.3g) = 0.001979$$

حال با استفاده از رابطه (۶-۸) احتمال اینکه بزرگای زمین لرزه m و معیار شدت زمین لرزه از یک مقدار مشخص بیشتر شود، برابر است با:

$$P(M = 4.25 | PGA > 0.3g) = \frac{\lambda(PGA > 0.3g, M = 4.25)}{\lambda(PGA > 0.3g)} = 0.0357$$

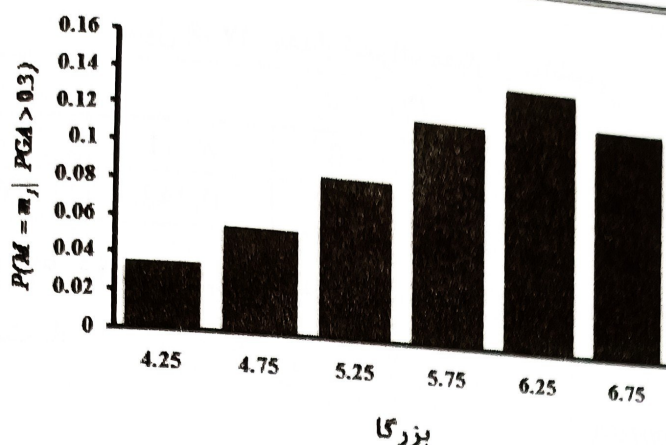
روند انجام محاسبات برای سایر بزرگاها هم به همین صورت خواهد بود که نتایج نهایی در جداول (۶-۱۸) و (۶-۱۹) و شکل (۶-۱۷) نمایش داده شده است.

جدول ۶-۱۸- احتمال های فراگذشت بیشینه شتاب زمین به ازای انحراف معیارهای مختلف

m_j	$P(M = m_j)$	$P(PGA > 0.3g m, 10)$				
		$\varepsilon = -2$	$\varepsilon = -1$	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = 1$	$\varepsilon = 2$
4.25	0.438	3.06E-07	3.34E-05	1.41E-03	2.34E-02	1.62E-01
4.75	0.250	5.34E-06	3.33E-04	8.13E-03	8.03E-02	3.43E-01
5.25	0.143	1.09E-04	3.49E-03	4.48E-02	2.43E-01	6.19E-01
5.75	0.082	2.33E-03	3.36E-02	2.03E-01	5.68E-01	8.79E-01
6.25	0.047	4.13E-02	2.31E-01	6.04E-01	8.97E-01	9.88E-01
6.75	0.027	3.76E-01	7.53E-01	9.54E-01	9.96E-01	1.00E+00

جدول ۶-۱۹- نتایج محاسبات تفکیک خطر لرزه ای

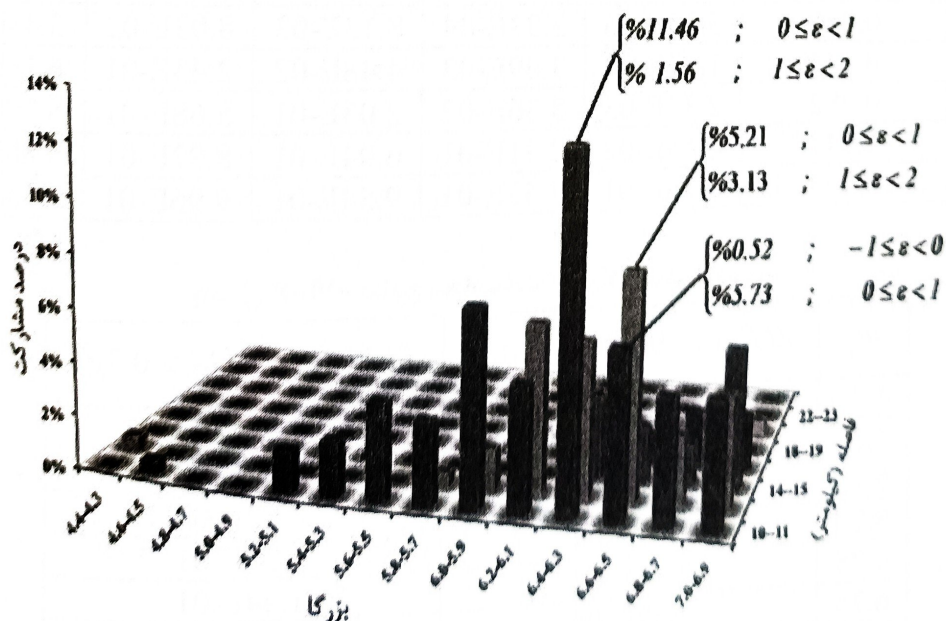
m_j	$\lambda(PGA > 0.3g, M = m_j)$	$P(M = m_j PGA > 0.3g)$
4.25	7.06E-05	3.57E-02
4.75	1.11E-04	5.62E-02
5.25	1.70E-04	8.62E-02
5.75	2.41E-04	1.22E-01
6.25	2.86E-04	1.44E-01
6.75	2.52E-04	1.27E-01



محاسبه شده است
بسیار دقت دارد

شکل ۶-۱۷- نتایج محاسبات تفکیک خطر لرزه ای

نتایج حاصل از تفکیک خطر لرزه‌ای معمولاً به صورت منحنی‌های چهار بعدی که ابعاد آن بزرگا، فاصله، انحراف معیار و میزان مشارکت می‌باشد، نشان داده شده است. انجام این محاسبات به کمک روابط اشاره شده کاری پیچیده و طولانی است و معمولاً در این محاسبات از روش‌های شبیه‌سازی ریاضی که سازگاری خوبی با محاسبات تحلیل خطر دارند استفاده می‌گردد [۴۷]. در شکل (۶-۱۸) منحنی حاصل از تفکیک خطر لرزه‌ای نظیر بیشینه شتاب زمین برای ساختگاه فرضی شکل (۶-۱۲)، به صورت منحنی چهار بعدی نشان داده شده است. همانطوریکه مشاهده می‌شود بیشترین میزان مشارکت در مقدار بیشینه شتاب زمین ($0.2968g$) مربوط به زمین‌لرزه‌های متوسط با بزرگای ۶ تا 6.5 و در فواصل ۱۰ تا ۱۲ کیلومتر و $0 \leq \epsilon \leq 1$ می‌باشد.



شکل ۶-۱۸- نمودار تفکیک خطر لرزه‌ای برای ساختگاه فرضی