

*

$$\left(\frac{1}{1} \quad \frac{1}{1} \right)$$

در این تحقیق به بررسی تاثیر عدم قطعيتها در برآورد پتانسیل خطر لرزه ای پرداخته می شود. این عدم قطعيتها هم ناشی از پیچیدگی مسئله و محدودیت شناسایی عوامل دخیل و هم ناشی از عدم توانایی در تعیین دقیق عوامل مؤثر می باشد. یکی از روشهای برآورد پتانسیل خطر لرزه ای روش احتمالی می باشد. در این روش لازم است تا با فرض توزیع احتمالی مناسب برای محل و فاصله رخداد زلزله از محل مورد نظر و با در نظر گرفتن یک توزیع احتمالی زمانی اقدام به تعیین احتمال رخداد سطوح مختلف شتاب (یا پارامترهای لرزه ای دیگر) نمود. در حال حاضر مناسبترین روش برای تعیین پارامترهای لرزه ای روش حداکثر تمایل است. اما این روش به نوبه خود دارای نکات مبهم و سطح عدم قطعیت بسیار بالایی می باشد. در این مقاله سعی می شود تا به بررسی مشکلات و عدم قطعیتها این روش پرداخته شود.

: عدم قطعیت - پتانسیل خطر لرزه ای - روش احتمالی - حداکثر تمایل

الف) عدم قطعیت ناشی از پیچیدگی مسئله و محدودیت شناسایی عوامل دخیل

زلزله پدیده است که عوامل بسیار زیادی در وقوع آن دخالت دارند. به طور کلی وقوع پدیده زلزله ناشی از فرآیند انتشار جابجایی نسبی (گسلش) پوسته زمین در اثر وجود نیروهای تکتونیکی می باشد. منشاء این نیروها نیز ناشناخته می باشد و لذا تحلیل فرآیند تولید امواج زلزله در چهارچوب مکانیکی به طور دقیق، به دلیل ناشناخته بودن عامل حرکت (نیروهای تکتونیکی) امکان پذیر نمی باشد و شاید یکی از دلایل عدم پیش بینی زلزله نبود چهارچوب مشخص مکانیکی این حرکت باشد.

ب) عدم قطعیت ناشی از عدم توانایی در تعیین دقیق عوامل مؤثر

یکی دیگر از منابع عدم قطعیت، عدم توانایی در تعیین دقیق پارامترهای مورد استفاده در مدل ساده مورد استفاده می باشد. منشاء این عدم قطعیت در حقیقت وجود خطا در بحث اندازه گیری است. به بیان دیگر امکان تعیین مطلق و دقیق هیچ پارامتری در طبیعت وجود ندارد.

در طراحی سازه های واحدهای مختلف زیربنایی، یکی از نیروهای بسیار مهم، نیروی ناشی از زلزله بوده و در بسیاری از موارد به دلیل ویژگیهای خاص اینگونه سازه ها، نیروی زلزله نیروی حاکم بر طراحی می باشد. از طرف دیگر، با مروری بر علل بوجود آمدن زمینلرزه و حرکت لرزه ای، این نکته بسیار مهم مکشوف می گردد که به دلیل پیچیدگیهای بسیار زیاد منبع لرزه زاو عدم شناخت کامل عوامل لرزه زا ، عملاً دستیابی به برآوردی دقیق از میزان نیروی زلزله و سطح خطر لرزه ای در یک منطقه غیرممکن است. تمام عواملی که به نوعی مانع از برآورد دقیق میزان نیروی زلزله میشوند به عنوان "عدم قطعیت" در مسئله آنالیز پتانسیل خطر لرزه ای شناخته می شود. هدف اصلی این مقاله بررسی روش احتمالی در برآورد پتانسیل خطر لرزه ای یک محل و تاثیر عدم قطعیتها در این روش می باشد.

به طور کلی می توان عدم قطعیتها موجود در بحث آنالیز پتانسیل خطر لرزه ای یک منطقه را به صورت زیر دسته بندی نمود:

بودن برای پدیده زلزله است. با دیدگاه فیزیکی این فرض معادل آن است که فرض کنیم ماهیت تاثیر نیروهای بوجود آورنده زلزله در طول زمان دستخوش تغییر نمی شوند. وجود شواهد نسبتاً زیادی مبنی بر عدم صحت این فرض به خصوص در مورد چشمه های مجزا می باشد. مشهورترین رابطه مورد استفاده برای بیان رخداد حادثه های مختلف، رابطه معروف گوتنبرگ- ریشتر می باشد. این رابطه به صورت زیر بیان می شود [۱]:

$$\log N = a - bM$$

(۱)

$$\begin{matrix} N & M \\ a, b & M \end{matrix}$$

$$\left(\begin{matrix} a, b \end{matrix} \right)$$

پس از تعیین فرم تابعی رابطه بازگشتی مورد استفاده، لازم است تا پارامترهای مختلف این مدل بر اساس اطلاعات و آمار موجود تعیین گردد. در مورد تعیین پارامترهای مدل های بازگشتی مشکلات زیر وجود دارد [۲]:
(۱) عدم یکسان بودن فاصله زمانی مابین مشاهدات مختلف

(۲) عدم کامل بودن کاتالوگ بازای بزرگهای مختلف
(۳) عدم قطعیت و دقت مشاهده و ثبت رویدادهای مختلف
در حال حاضر مناسبترین روش برای تعیین پارامترهای مختلف که امکان رفع مشکلات فوق را دارا باشد، استفاده از روش حداکثر تمایل است. البته در روش حداکثر تمایل نیز لازم است تا از ابتدا مدل احتمالی مورد نظر فرض گردد و سپس با استفاده از این روش، پارامترهای مدل احتمالی منتخب تعیین می گردد.
به منظور تخمین پارامترهای مختلف، فرض می گردد که از رابطه نمایی گوتنبرگ- ریشتر کراندار استفاده می شود. ، بر این اساس خواهیم داشت [۳]:

به طور کلی می توان مراحل انجام مطالعات پتانسیل خطر لرزه ای به روش احتمالی را به صورت زیر ذکر نمود:

- شناسایی منابع لرزه زا
- تعیین میزان لرزه خیزی هر منبع- تعیین رابطه رخداد برای هر منبع
- تعیین رابطه کاهندگی مورد استفاده و تعیین پارامترهای مربوطه بازای هر منبع
- تعیین منحنیهای خطر برای منطقه مورد نظر

()

پیش از شروع به بحث در مورد مدل های مختلف مورد استفاده برای بیان رابطه بازگشتی رخداد زلزله لازم است ذکر گردد که در اصل اتخاذ چنین روشی برای معرفی رخداد زلزله خود حاکی از یک فرض بسیار بزرگ و اساسی می باشد. توضیح مطلب آنکه در واقع با ارائه یک رابطه بازگشتی فرض می گردد که زلزله یک پدیده تکرار شونده است و لذا می توان فرآیند تکرار پذیری آنرا با استفاده از یک رابطه بازگشتی ریاضی توصیف نمود. چنانکه خواهیم این فرض را با دیدگاهی دیگر مطرح کنیم باید بگوییم که این فرض معادل اتخاذ فرض ایستا

برای برآورد پارامترهای مختلف، لازم است تا تابع تمایل نسبت به پارامترهای θ حداکثر گردد (روش Maximum likelihood). با مشتقگیری از رابطه تمایل کلی کاتالوگ نسبت به θ این پارامترها بدست می آیند. به منظور تخمین m_{max} لازم است تا معادله اضافی دیگری به صورت زیر حل گردد [۵].

$$X_{max} = EXPECT(x_{max} | T)$$

$$EXPECT(x_{max} | T) = m_{max} - \frac{E_1(TZ_2) - E_1(TZ_1)}{\beta \exp(-TZ_2)}$$

$$- m_{min} \exp(-\lambda T)$$

$$Z_i = -\lambda A_i / (A_2 - A_1), \quad i = 1, 2$$

()

که در آن T طول مدت زمان کاتالوگ می باشد. این رابطه بیان می دارد که میزان حداکثر بزرگای مشاهده شده برابر امید ریاضی بزرگترین مقدار بزرگ در طول زمان T می باشد. با استفاده از این رابطه اخیر و روابط قبل می توان کلیه پارامترهای مورد نیاز در رابطه بازگشت بزرگای زمینلرزه را تخمین زد. برای در نظر گرفتن نامعینی بزرگای در تعیین پارامترهای خطر لرزه ای دو مدل پیشنهاد شده است.

در مدل اول که مدل Hard Bounds Model

می باشد، نا معینی بزرگای زلزله بوسیله دو مقدار حد بالای \bar{x} و حد پایین \underline{x} تعریف می شود [۴]. بطوریکه:

$$\underline{x} = x - \delta, \quad \bar{x} = x + \delta, \quad x = 0.5(\bar{x} + \underline{x})$$

$$\delta = 0.5(\bar{x} - \underline{x})$$

(۶)

در مدل دوم که مدل Soft Bounds Model

می باشد فرض میشود بزرگای ظاهری نسبت به بزرگای حقیقی دارای خطای ε می باشد. بطوریکه ε دارای توزیع گوسی با فراوانی انباشتی صفر و انحراف استاندارد σ میباشد [۴].

در حال حاضر مناسبترین روش برای تعیین

پارامترهای لرزه ای، روش حداکثر توزیع درست نمایی می باشد. در این روش فرض می گردد که قانون احتمالی حاکم بر وقوع حوادث، قانون احتمالی پواسون باشد. یعنی وقوع زلزله را یک متغیر تصادفی با توزیع پواسون و با آهنگ وقوع λ در نظر بگیریم و با در نظر گرفتن قانون بازگشتی

$$F(x) = \Pr(X \leq x) = \frac{A_1 - A(x)}{A_1 - A_2}, \quad m_{min} \leq x \leq m_{max}$$

(۲)

که در آن داریم:

$$A_1 = \exp(-\beta \cdot m_{min}), \quad A_2 = \exp(-\beta \cdot m_{max}),$$

$$A(x) = \exp(-\beta \cdot x)$$

هر کاتالوگ زلزله را می توان به دو بخش مجزا

تقسیم نمود [۳]. قسمت اول مربوط به زمینلرزه های تاریخی و اطلاعات بدست آمده از مطالعات زمین شناسی می باشد که قسمت Extreme کاتالوگ میباشد. این ناحیه تنها شامل زلزله های با بزرگای بالا با دقت بسیار کم می باشد. ناحیه دوم که قسمت Complete کاتالوگ میباشد شامل زمانی از کاتالوگ می باشد که اطلاعات ثبت دستگاهی موجود است. در قسمت ابتدایی کاتالوگ که تنها شامل حوادث با بزرگای بالا می باشد، فرض می گردد که قانون احتمالی حاکم بر وقوع حوادث، قانون احتمالی پواسون باشد. چنانکه وقوع زلزله را یک متغیر تصادفی با توزیع پواسون و با آهنگ وقوع λ در نظر بگیریم در آن صورت با در نظر گرفتن قانون بازگشتی گوتنبرگ-ریشر کراندار، توزیع زلزله های با بزرگای بیشتر از x را نیز می توان به صورت توزیع پواسون با آهنگ وقوع $\lambda[1 - F(x)]$ در نظر گرفت [۳]. در این صورت احتمال اینکه در یک مدت زمان t ، حداکثر بزرگای زلزله اتفاق افتاده از یک میزان مشخص X کمتر باشد برابر است با [۳]:

$$G(x | t) = \exp \left[-v_0 t \frac{A_2 - A(x)}{A_2 - A_{10}} \right]$$

$$v_0 = \lambda [1 - F(m_0)], \quad A_{10} = \exp(-\beta m_0)$$

(۳)

که در آن m_0 بزرگای مبنای قسمت اول کاتالوگ می باشد. بر اساس اصل ترکیب توابع تمایل پدیده های مستقل، تابع تمایل کلی کاتالوگ از حاصلضرب تابع تمایل قسمت های مختلف آن بدست می آید [۳]. در این صورت خواهیم داشت:

$$L(\theta | x) = \prod_{i=0}^s L_i(\theta | x_i)$$

(۴)

که $i=0$ مربوط به قسمت اول کاتالوگ می باشد. در مورد قسمت کامل کاتالوگ فرض می گردد که بتوان این قسمت را به چند زیر ناحیه با حد بزرگای کامل بودن برابر وقوع λ و بازه زمانی T_i تقسیم نمود.

گوتنبرگ- ریشتر کراندار، توزیع زلزله برای یک ناحیه مشخص بدست می آید. سپس تابع توزیع درست نمایی را تشکیل داده و با ماکزیمم کردن آن نسبت به پارامترهای لرزه ای، این پارامترها بدست می آیند.

در این بخش، سعی بر یافتن پارامترهای لرزه ای نواحی مختلف ایران شده است. تاکنون در کشور ایران چهار مدل برای نواحی لرزه زمین ساخت ارائه شده است که این مدلها عبارتند از:

(۱) مدل لرزه زمین ساخت نوروژی

(۲) مدل لرزه زمین ساخت بربریان

(۳) مدل لرزه زمین ساخت نوگل

(۴) مدل لرزه زمین ساخت کمیته سدهای بزرگ ایران

در مدل بربریان همانطور که در شکل (۱) مشاهده میشود ایران به ده ناحیه لرزه زمین ساخت تقسیم شده است. از میان نواحی مختلف ایران ناحیه البرز مدل بربریان که از نواحی با لرزه خیزی بسیار بالا میباشد برای محاسبه پارامترهای لرزه ای انتخاب شده است. کاتالوگ زلزله های مربوط به ناحیه البرز مدل بربریان در جدول (۱) نشان داده شده است. به علت فراوانی زلزله های اتفاق افتاده در این ناحیه فقط زلزله های بزرگتر از ۵٫۵ ریشتر در این کاتالوگ نمایش داده شده اند. زلزله های اتفاق افتاده تا پیش از سال ۱۹۷۰ مربوط به قسمت Extreme کاتالوگ و زلزله های اتفاق افتاده از سال ۱۹۷۰ تا کنون مربوط به قسمت Complete کاتالوگ در نظر گرفته شده است.

با توجه به مفاهیم ارائه شده، برنامه هایی برای ترسیم سطوح likelihood تنظیم شدند. هدف ترسیم سطوح likelihood برای اطلاعات مربوط به ناحیه البرز در دو قسمت Extreme و Complete کاتالوگ میباشد. در ترسیم این سطوح دو حالت در نظر گرفته شده است در حالت اول فرض شده است بزرگا بدون خطا و نامعینی میباشد. در حالت دوم نامعینی بزرگا نیز لحاظ شده است.

برای تعیین Mmin هیچ ضابطه ای وجود ندارد بلکه با توجه به داده های موجود Mmin را عددی کوچکتر از حد پایین داده ها باید انتخاب شود. بدین ترتیب مقدار Mmin برای قسمت Extreme ناحیه البرز عدد ۳ و مقدار Mmin برای قسمت Complete ناحیه البرز عدد ۲٫۶ انتخاب شده است. همچنین مقدار Mmax با استفاده از رابطه (۵) و با سعی و خطا محاسبه میشود. بر اساس

محاسبات انجام شده مقدار Mmax برای قسمت Extreme ناحیه البرز عدد ۷٫۹۱ و مقدار Mmax برای قسمت Complete ناحیه البرز عدد ۸٫۰۶ بدست آمده است.

شکل (۲) سطح likelihood قسمت Complete کاتالوگ زلزله ناحیه البرز در حالتی میباشد که بزرگا بدون خطا باشد.

شکل (۳) سطح likelihood قسمت Extreme کاتالوگ زلزله ناحیه البرز در حالتی میباشد که بزرگا بدون خطا باشد.

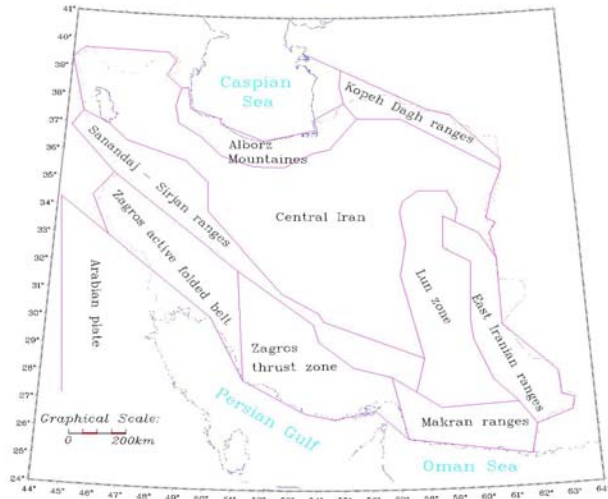
شکل (۴) سطح likelihood قسمت Complete کاتالوگ زلزله ناحیه البرز در حالتی میباشد که بزرگا با خطای $\sigma=0.1$ (از نوع Soft Bounds Model) باشد.

شکل (۵) سطح likelihood قسمت Extreme کاتالوگ زلزله ناحیه البرز در حالتی میباشد که بزرگا با خطای $\sigma=0.5$ (از نوع Soft Bounds Model) باشد.

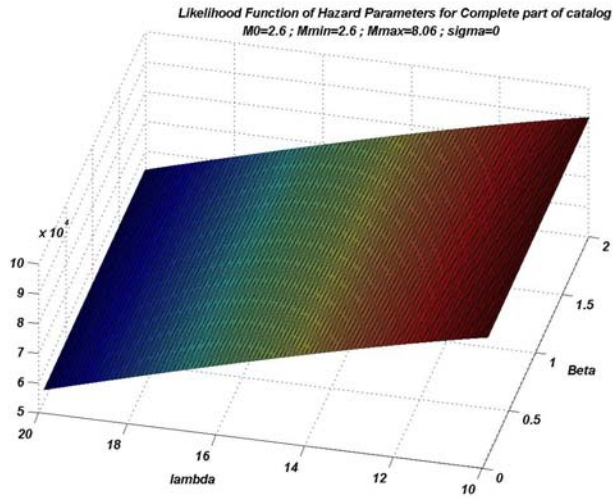
برای برآورد پارامترهای لرزه ای (λ, β) داده های زلزله ناحیه البرز باید نقاط پیک این سطوح را نسبت به این دو پارامتر بدست آورد ولی همانطور که از این شکلها مشاهده می شود هیچ نقطه پیکی در این سطوح دیده نمیشود و یا بعبارتی تابع توزیع درست نمایی هیچ حساسیتی نسبت به پارامترهای لرزه ای (λ, β) داده های زلزله ناحیه البرز ندارد.

مساله دیگر حساسیت بسیار اندک این روش نسبت به نامعینی بزرگا میباشد. با توجه به روابط درج شده، برنامه برای بررسی حساسیت این روش نسبت به نامعینی بزرگا تنظیم شده اند. شکل (۶) نمودارهای تابع های توزیع چگالی و توزیع انباشتی بزرگای زلزله برای مدل Hard Bounds Model در چهار حالت $\delta=0$ و $\delta=0.2$ و $\delta=0.4$ و $\delta=0.6$ و $\beta=0.2$ میباشد. چنانکه از نمودارها مشاهده میشود نمودار تابع توزیع انباشتی در هر چهار حالت بر روی هم منطبق میباشد. در نمودار مربوط به تابع توزیع چگالی این چهار نمودار در ناحیه $[m, m_{max} - \delta]$ بر هم منطبقند، سپس به صورت ناگهانی شیب منحنی ها تغییر میکند.

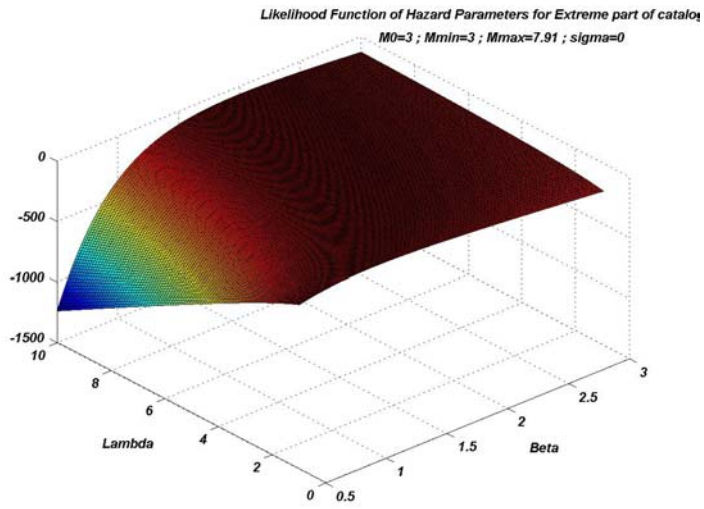
با افزایش δ این تغییر شیب سریعتر آغاز میشود. به هر حال در بازه بزرگی از بزرگا این خطاها تقریباً بی تاثیر هستند.



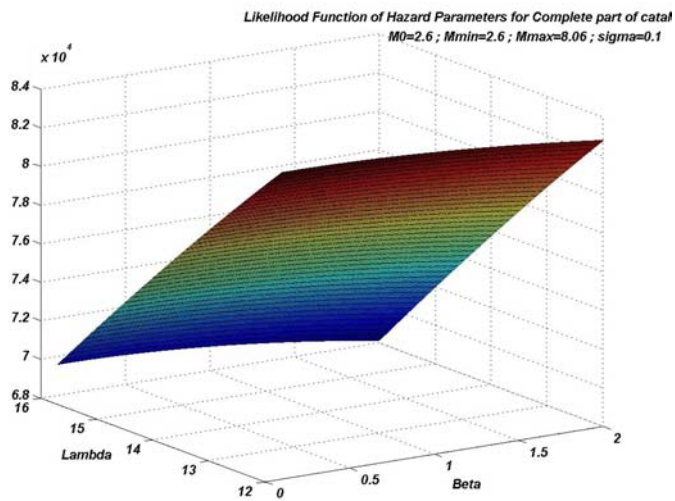
ate			Coordinates		Ms	Ref
Y	M	D	S Lat.	Lon.		
855			35.60	51.50	7.10	Amb
874			37.20	55.20	6.00	Amb
958	2	23	36.00	51.10	7.70	Amb
1127			36.30	53.60	6.80	Amb
1177	5		35.70	50.70	7.20	Amb
1301			36.10	53.20	6.70	Amb
1470			37.10	54.60	5.50	Amb
1485	8	15	36.70	50.50	7.20	Amb
1498			37.20	55.20	6.50	Amb
1608	4	20	36.40	50.50	7.60	Amb
1665			35.70	52.10	6.50	Amb
1678			36.30	52.60	6.50	Amb
1808	12	16	36.40	50.30	5.90	Amb
1809			36.30	52.50	6.50	Amb
1825			36.10	52.60	6.70	Amb
1830	3	27	35.70	52.50	7.10	Amb
1890	7	11	36.60	54.60	7.20	Amb
1896	1	4	37.80	48.40	6.70	Amb
1935	3	5	35.91	53.21	5.80	Amb
1935	4	11	36.59	53.61	6.80	Amb
1948	6	17	36.59	49.44	5.50	NOW
1957	7	2	36.14	52.70	7.00	Amb
1983	7	22	36.95	49.18	5.60	NEIC
1990	1	20	35.83	52.95	5.90	NEIC
1990	6	20	36.96	49.41	7.70	NEIC
1990	6	21	36.64	49.8	5.80	NEIC
1991	11	28	36.92	49.6	5.60	NEIC
2004	5	28	36.25	51.62	6.40	NEIC
2004	10	7	37.12	54.48	5.60	NEIC



Complete Likelihood :



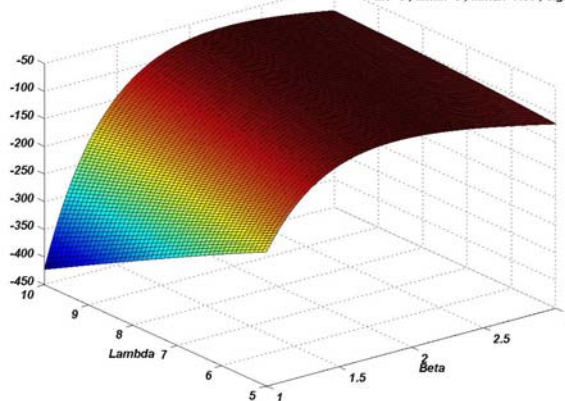
Extreme Likelihood :



$\sigma = 0.1$

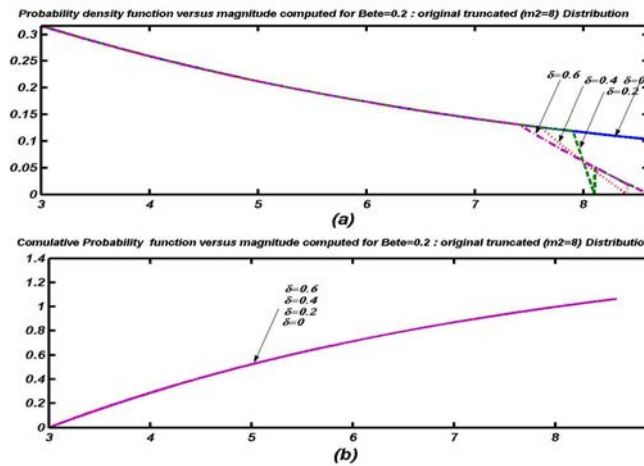
Complete Likelihood :
 (Soft Bounds Model)

Likelihood Function of Hazard Parameters for Extreme part of catalo
 $M_0=3$; $M_{min}=3$; $M_{max}=7.91$; $\sigma=0.5$



$\sigma = 0.5$

Extreme Likelihood :
 (Soft Bounds Model)



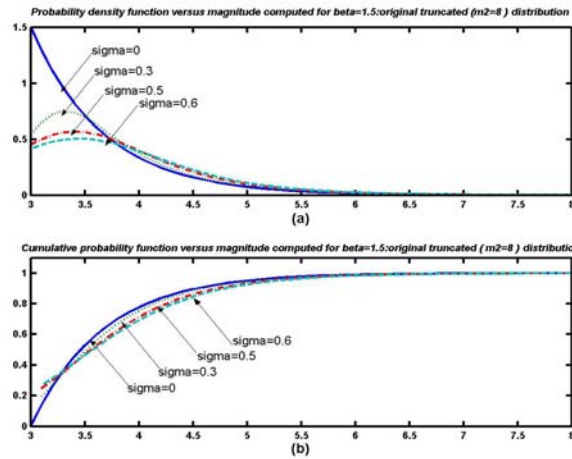
Hard Bounds Model

$\delta = 0.6$, $\delta = 0.4$, $\delta = 0.2$, $\delta = 0$

خطاست. با توجه به نتایج بدست آمده روش Maximum likelihood برای یافتن پارامترهای لرزه ای (λ, β)

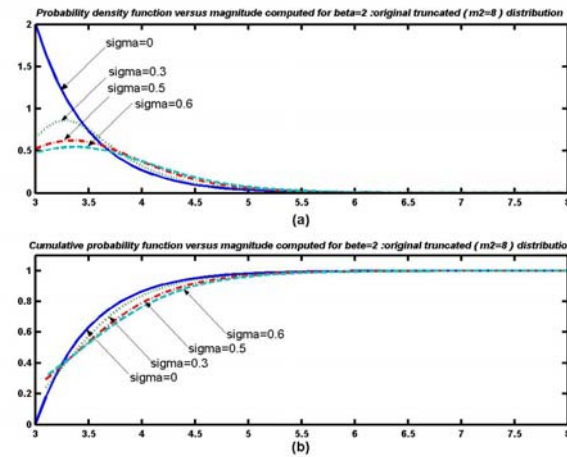
در انتها لازم است تا یک نکته بسیار مهم در مورد روش موجود آنالیز پتانسیل خطر لرزه‌ای به روش احتمال بیان گردد. همانطور که در بخش مربوط به تعیین رابطه بازگشت رخداد زمینلرزه بیان گردید، استفاده از چنین مدلی در واقع به معنای پذیرش اصل ایستا بودن فرآیند تصادفی وقوع زلزله می‌باشد اما به منظور برازش به زمان آینده لازم است تا از یک مدل احتمالی مانند مدل فرآیند پواسون برای پیش‌بینی آینده استفاده نمود. در حالیکه این بیان با فرض ایستا بودن فرآیند تصادفی رخداد زمینلرزه در تناقض می‌باشد.

شکلهای (۷) و (۸) نمودارهای تابع های توزیع چگالی و توزیع انباشتی بزرگای زلزله برای مدل Soft Bounds Model در چهار حالت $\sigma=0$ و $\sigma=0.3$ و $\sigma=0.5$ و $\sigma=0.6$ و $\beta=1.5$ و $\beta=2$ میباشد. نمودار مربوط به تابع توزیع چگالی به جز در ناحیه $m < 4$ منحنی‌ها اختلاف بسیار ناچیزی با هم دارند. همانطور که مشاهده میشود با افزایش σ مقدار تابع توزیع چگالی به سمت بالا شیفیت پیدا میکند. به هر حال باز هم در بازه بزرگی از بزرگا این خطاها تقریبا بی تاثیر هستند. رفتار منحنی های مربوط به تابع توزیع انباشتی نیز تقریبا مانند تابع توزیع چگالی میباشد با این تفاوت که با افزایش σ مقدار تابع توزیع انباشتی به سمت پایین شیفیت پیدا میکند و تقریبا با هم موازی هستند. و این بیانگر این است که مقدار β (شیب این منحنی ها) مستقل از وجود



Soft Bounds Model

$$\beta = 1.5, \quad \sigma = 0.5, \quad \sigma = 0.3, \quad \sigma = 0$$



Soft Bounds Model

$$\beta = 2, \quad \sigma = 0.6, \quad \sigma = 0.5, \quad \sigma = 0.3, \quad \sigma = 0$$

علت این امر چنین است که در یک سیستم دینامیکی، مقادیر بیشینه در واقع تابعی بسیار حساس از رفتار و خصوصیات فیزیکی سیستم است. در مورد سیستمهای پیچیده از جمله سیستم بوجود آورنده زمینلرزهها که شناسایی رفتار و خصوصیات فیزیکی آنها بسیار مشکل و در بسیاری از موارد غیرممکن می باشد، چنانکه همانند گذشته بخواهیم به ساده سازیهای ریاضی متوسل شویم و از توزیعیهای احتمالی مقادیر بیشینه استفاده کنیم، به دلیل آنکه در این توزیعیهای احتمالی عملا نقش خصوصیات فیزیکی سیستم حذف گردیده است، بنابراین نتایج حاصله همواره دارای عدم قطعیت بسیاری می باشد. آنالیز پتانسیل خطر لرزه ای نیز از این قاعده مستثنی نیست. و همانطور که مشاهده شد این سیستم برای ناحیه البرز ایران جواب مناسبی ارائه نداد

در عمل این نقیصه چنین توجیه می گردد که در مورد حوادث بزرگ، به دلیل آنکه دوره بازگشت چنین حوادثی معمولا بسیار زیاد می باشد و اطلاعات کاتالوگها در مورد این حوادث بسیار ناچیز می باشد، لذا برای پیش بینی این حوادث از مسئله مقادیر بیشینه استفاده می گردد که توزیع پواسون در حقیقت ساده ترین مدل احتمالی برای مدل کردن توزیع مقادیر بیشینه می باشد. در واقع هیچ یک از فرضیات اساسی توزیع پواسون در مورد مسئله تعیین پتانسیل خطر لرزه ای در یک منطقه مورد تایید نمی باشد. اما سادگی استفاده از این روش و کمبود اطلاعات بزرگترین مزایای استفاده از این روش می باشد. گرچه این توضیح در نگاه نخست جامع و مانع به نظر می رسد اما ذکر این نکته لازم است که مسئله مقادیر بیشینه در تئوری احتمال خود دارای نکات مبهم و سطح عدم قطعیت بسیار بالایی است.

(β, λ) ندارد. لذا توزیع احتمالی فرض شده برای این سری اطلاعات مناسب نمیباشد.

- با توجه به نمودارهای رسم شده خطا و نامعینی بزرگا تاثیر چندانی بر تابع های توزیع چگالی و توزیع انباشتی بزرگای ندارند.
- در نمودار تابع توزیع چگالی در (Hard Bounds Model) نمودارها در ناحیه $[m, m_{\max} - \delta]$ بر هم منطبقند، سپس به صورت ناگهانی شیب منحنی ها تغییر میکنند. با افزایش خطای δ این تغییر شیب سریعتر آغاز میشود. به هر حال در بازه بزرگی از بزرگا این خطاها تقریباً بی تاثیر هستند.
- در نمودار تابع توزیع چگالی در (Soft Bounds Model) به جز در ناحیه $m < 4$ منحنی ها اختلاف بسیار ناچیزی با هم دارند.
- در (Soft Bounds Model) با افزایش σ مقدار تابع توزیع چگالی به سمت بالا شیفیت پیدا میکند.
- (Soft Bounds Model) σ

(β)

- با توجه به نتایج بدست آمده، روش Maximum likelihood برای یافتن پارامترهای لرزه ای (β, λ)

. با توجه به مطالب ارائه شده در برآورد

پارامترهای لرزه ای (α, β, λ) عدم قطعیت‌هایی وجود دارد که ناشی از عدم دقت در برآورد بزرگا، عدم وجود اطلاعات کافی و عدم قطعیت در روابط ریاضی به کار رفته میباشد. این نکات در چهارچوب منطق فازی در مقاله A.NOORZAD and A.ANSARI, "Fuzzy Analysis of Seismic Hazard Analysis" / 10th Iranian Geophysics Conference / NOV.1998 مورد بررسی قرار گرفته است.

در برآورد پتانسیل خطر لرزه ای مسئله مقادیر بیشینه در تئوری احتمال خود دارای نکات مبهم و سطح عدم قطعیت بسیار بالایی است. علت این امر چنین است که در یک سیستم دینامیکی، مقادیر بیشینه در واقع تابعی بسیار حساس از رفتار و خصوصیات فیزیکی سیستم است. در مورد سیستم‌های پیچیده از جمله سیستم بوجود آورنده زمینلرزه‌ها چنانکه همانند گذشته خواهیم به ساده‌سازیهای ریاضی متوسل شویم و از توزیعهای احتمالی مقادیر بیشینه استفاده کنیم، به دلیل آنکه در این توزیعهای احتمالی عملاً نقش خصوصیات فیزیکی سیستم حذف گردیده است، بنابراین نتایج حاصله همواره دارای عدم قطعیت بسیاری می‌باشد و همانطور که مشاهده شد این سیستم برای ناحیه البرز ایران جواب مناسبی ارائه نداد. چنانکه مشاهده شد:

- هیچ نقطه پیکی در سطوح likelihood رسم شده برای هر دو قسمت Extreme و Complete وجود نداشت. یا بعبارتی تابع توزیع درست نمایی تشکیل شده هیچ حساسیتی نسبت به این پارامترهای لرزه ای

- 1 - Aki, K. (1965). "Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = A - Bm$ and its confidence limits, bull." *Earthquake Res. Inst.*, Tokyo Univ., Vol. 43, PP. 237-239.
- 2 - Weichert, D. (1980). *Estimation of Earthquake Recurrence Parameters for Unequal Observation Period for Different Magnitudes*, BSSA, Vol. 70, No.4, PP. 1337-1346.
- 3 - Kijko, A. and Sellevoll, M. A. (1989). "Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part I, utilization of extreme and complete catalogues with different threshold magnitudes." *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 79, PP. 645-654.
- 4 - Kijko, A. and Sellevoll, M. A. (1992). "Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files, Part II, incorporation of magnitude heterogeneity." *Bull. Seismol. Soc. Am.*, Vol. 82, PP. 120-134.
- 5 - Kijko, A. (2004). "Estimation of maximum earthquake magnitude m_{\max} ." *Pure appl. geophys.*, Vol. 161, PP. 1655-1681.