



زلزله در تهران

احتمال وقوع و بزرگای محتمل

آنچنانکه می‌دانیم زلزله و تهران دو واژه‌ای است که جدیداً بسیار شنیده می‌شود؛ چه بسیار پیش‌بینی‌هایی که به صورت علمی و غیرعلمی در این مورد صورت می‌پذیرد و بحثها و مطالب زیادی در این مورد گفته شده است ولی به راستی پیش‌بینی زلزله چیست، در چه مواردی صادق است و آیا اصولاً چنین امری ممکن است؟

علیرضا فاروقی

کارشناس ارشد مهندسی زلزله

management@istains.com

پاسخ به این سوال دو جنبه دارد (بزرگای و احتمال وقوع) و مستلزم توضیح چند مطلب است:

الف: بررسی بزرگای زلزله

در این مورد باید بدانیم که عوامل مسبب زلزله کدام است ؟

آنچنانکه از مطالعات بسیار و جمع‌آوری‌های بیشمار در این زمینه مشخص شده است، ۹۰٪ زلزله‌های جهان بر اثر گسلش و یا به عبارتی حرکتهای لغزشهای صفحات و پوسته‌های زمین در محل گسلها اتفاق می‌افتد. ۱۰٪ باقی مانده را عواملی مانند انبساط صفحه پوسته، انفجارات هسته‌ای و شیمیایی و زلزله‌های آتشفشانی و... تشکیل می‌دهند. در موارد اخیر پیش‌بینی اولاً به علت درصد وقوع پایین و ثانیاً نبود مدارک کافی و برخی عوامل دیگر معمولاً صورت نمی‌پذیرد و اکثر بحثهای علمی پیرامون علل اغلب زلزله‌های جهان یعنی گسلها صورت می‌پذیرد. حال برای بررسی بهتر زلزله‌ها باید ابتدا مناطق زلزله‌خیز را بشناسیم:

مناطق لرزه‌خیز دنیا عبارتند از:

- ۱- کمربند آلپ هیمالیا و یا آلپاید که ۱۵ درصد زلزله‌های دنیا در این کمربند رخ می‌دهد و متوسط زلزله‌های مهیب آن بزرگایی حدود ۷ ریشتر دارد.
 - ۲- کمربند حاشیه اقیانوس آرام که ۸۰ درصد زلزله‌های دنیا در این کمربند رخ می‌دهد و متوسط زلزله‌های مهیب آن بزرگایی حدود ۸ ریشتر دارد.
- کشور ما ایران در کمربند اول یعنی کمربند آلپ هیمالیا واقع شده است و به طور متوسط هر سال یک زلزله بالای ۶ ریشتر و هر ۵ سال یک زلزله بالای ۷ ریشتر داریم. ۸۰ درصد شهرهای کشور ما دارای خطر نسبی زلزله بالا هستند و در قرن بیستم ۸۰ درصد تلفات انسانی ایران از بلایای طبیعی بر اثر زلزله بوده است. (۲)

با توجه به مکانیزم وقوع زلزله، بزرگای زلزله حاصل از گسلها ارتباط مستقیمی با طول گسل و یا به عبارت دقیق تر طول پارگی گسل دارد.

اصولاً گسلها به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

۱- گسلهای فرعی (با طولی کمتر از ۲ کیلومتر)

۲- گسلهای متوسط (با طولی بین ۲ تا ۱۰ کیلومتر)

۳- گسلهای اصلی (بزرگتر از ۱۰ کیلومتر)

در بررسی های لرزه شناسی، گسلهای اصلی حتماً در نظر گرفته می شوند، گسلهای متوسط در فواصل دور در نظر گرفته نمی شوند و گسلهای فرعی اصلاً در نظر گرفته نمی شوند؛ زیرا گسل فرعی باعث زلزله نمی شود یعنی باعث زلزله قابل احساس (بزرگتر از ۴ ریشتر) نمی شود ولی ممکن است در اثر زلزله گسل اصلی تکان بخورد.

برای بدست آوردن بیشینه بزرگای زلزله هر گسل با جمع آوری اطلاعات زمین شناختی در هر منطقه (ایالت) لرزه خیز رابطه ای بر حسب طول پارگی گسل ارائه می شود:

$$M = a + b \cdot \log L$$

M: بزرگای زلزله

L: طول پارگی (معمولاً به متر)

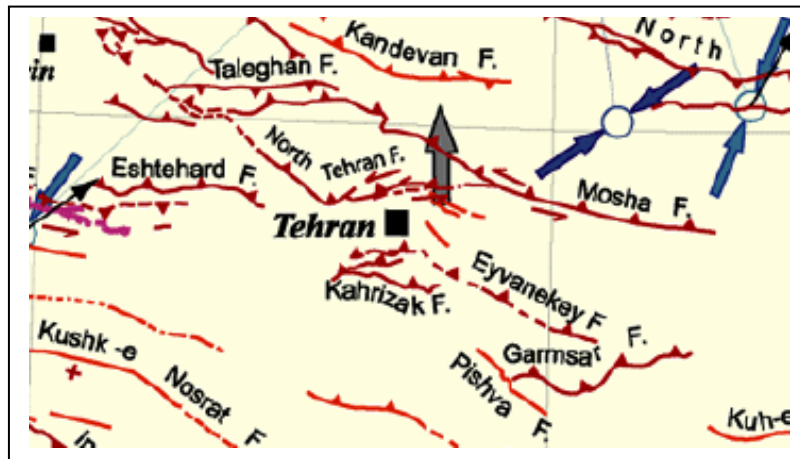
از آنجا که تمام طول گسل در امر ذخیره سازی انرژی مورد نظر و آزاد نمودن آن (وقوع زمین لرزه) دخالت ندارد و نتایج تحقیقات تنها طول گسیختگی را دخیل می داند، لذا در رابطه ذکر شده فقط طول گسیختگی لحاظ شده است. تحقیقات سلمونز (Slemmons, 1992) مبین این مسئله است که برای گسلهای با طول ۳۰۰ تا ۱۳۰۰ کیلومتر، طول گسیخته شده بین ۳۷ تا ۱۷ درصد است. یعنی هرچه طول گسل بیشتر باشد به نظر می رسد میزان گسیختگی گسل نسبت کمتری (معکوس) با طول آن دارد. برای گسلهای کوتاه تر از ۳۰۰ کیلومتر تا ۵۰ در صد طول هم امکان گسیختگی وجود دارد. ضرایب a و b هم با بررسی های آماری و زمین شناسی بدست می آید و برای مناطق مختلف متفاوت است. به طور مثال بر اساس مطالعات لرزه خیزی ایران - مهاجر اشجعی و نوروزی - داریم:

$$a=5.4, b=1.0 \quad (۳)$$

اکنون با توجه به روابط مشابه و با استفاده از رابطه نوروزی (Nowroozi, 1985) بیشینه بزرگای محتمل برای گسل های تهران به قرار زیر خواهد بود: (۵)

شماره	گسل	طول (کیلومتر)	M_{max}
۱	مشا	۲۰۰	۷,۵
۲	شمال تهران	۷۵	۶,۹
۳	نیاوران	۱۳	۶
۴	شمال ری	۱۷	۶,۱
۵	جنوب ری	۱۸,۵	۶,۲
۶	کهریزک	۴۰	۶,۶
۷	گرمسار	۷۰	۶,۹
۸	پیشوا	۳۴	۶,۵

در شکل ذیل محل گسلهای تهران نمایش داده است:



اما آنچه‌آنکه تاریخ زلزله‌های تهران نشان می‌دهد بیشینه بزرگای زلزله اتفاق افتاده در شعاع ۲۰۰ کیلومتری بیش از ۷٫۵ ریشتر بوده است: زلزله سال ۹۵۸ میلادی با بزرگای ۷٫۷ در مقیاس ریشتر (M_s) و زلزله سال ۱۹۵۷ با بزرگای $m_b=7.4$ ($M_s=7.7$). تحقیقات بعدی نیز با بررسی اطلاعات آماری زلزله‌های تهران بر صحت مطلب فوق اشاره می‌کند. در تحقیقات سال ۱۹۹۶ توسط توکلی این مقدار 7.9 ± 0.3 اعلام شد. سپس در تحقیقات کاملتری که در سال ۲۰۰۳ با بررسی تعداد زلزله‌های بیشتری صورت گرفت این مقدار 7.8 ± 0.2 بدست آمد. (۵)

ب: بررسی احتمال وقوع زلزله

پس از اینکه بیشینه بزرگای قابل اتفاق بر اساس روابط زمین‌شناختی حاصل شد، این روابط با نتایج حاصل از اطلاعات آماری جمع‌آوری شده ادغام می‌گردد و نتیجه نهایی رابطه‌ای برحسب احتمال و بیشینه بزرگای «محتمل» خواهد بود. به بیان دیگر یک گسل ممکن است بتواند زلزله‌ای با بزرگای ۷ ریشتر را تولید کند ولی بر اساس آمارهای جمع‌آوری شده احتمال وقوع این زلزله در سال حدود ۰٫۲ درصد است یعنی ۱۰ درصد احتمال وقوع در طول ۵۰ سال. این معنای علمی و واقعی پیش‌بینی زلزله است.

نهایتاً تمامی این پیش‌بینی‌ها دلیلی برای اتفاق افتادن حتمی زلزله‌ها نخواهد بود زیرا زلزله‌ها هرگز از روابط ما پیروی نمی‌کنند بلکه این ما هستیم که برای درک بهتر اتفاقات به وقوع پیوسته، به دنبال رابطه و شمایل خاصی هستیم تا در گنگی به سر نبرده و بتوانیم با استفاده از علم احتمالات حاشیه امنی برای خود بسازیم. برای بدست آوردن احتمال وقوع زلزله با بررسی اطلاعات آماری برای هر زلزله یک دوره بازگشت قابل محاسبه است و با استفاده از این دوره بازگشت احتمال وقوع آن در طول مدتی خاص بررسی می‌شود. این احتمال دارای توزیع احتمالی پواسون است:

$$P(\geq 1, t) = 1 - e^{-t/T}$$

T: دوره بازگشت زلزله

t: طول مدت زمان (سال)

$P(\geq 1, t)$ یعنی احتمال وقوع یک زلزله یا بیشتر در طول مدت زمان t برای زلزله‌ای با دوره بازگشت T سال

به طور مثال آخرین زلزله مخرب تهران سال ۱۲۰۹ بوده است و این زلزله مخرب (حدود ۶ ریشتر) دارای دوره بازگشت ۱۵۸ سال است. بر این اساس احتمال وقوع آن تا سال ۱۳۸۳ (۱۷۴ سال بعد) عبارت است از:

$$P(\geq 1,174) = 1 - e^{(-174/158)} = 67\%$$

احتمال وقوع این زلزله تا سال ۱۴۰۰ (۱۹۱ سال بعد) نیز به قرار زیر است:

$$P(\geq 1,191) = 1 - e^{(-191/158)} = 70\%$$

اولین برداشت از این بررسی این است که احتمال وقوع یک زلزله در طول زمانهایی بیشتر از دوره بازگشت خود هم ۱۰۰ درصد نیست و دیگر اینکه این احتمال تنها در بینهایت به ۱۰۰ درصد می‌رسد، یعنی هرگز نمی‌توان گفت که زلزله‌ای صد درصد اتفاق می‌افتد!

حال با فرض یک احتمال مورد نظر در یک دوره زمانی مشخص می‌توان به دوره بازگشت زلزله مورد نظر رسید.

اکنون با بررسی زلزله‌های هر منطقه برای ساخت یک سازه ایمن و اقتصادی باید به دنبال قبول احتمالی معقول و قابل اجرا باشیم. آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران این معیار را احتمال وقوع ۱۰ درصد در طول عمر مفید ساختمان که به طور متوسط ۵۰ سال می‌باشد قرار داده است. با این احتساب داریم:

$$10\% = 1 - e^{(-50/T)} \rightarrow T = 475$$

محاسبه دوره بازگشت تأثیری در محاسبه شتاب طراحی ندارد بلکه احتمال وقوع سالانه و یا احتمال تجاوز سالانه (APE) است که در محاسبات منظور می‌گردد و این مقدار برای احتمال وقوع ۱۰ درصد در ۵۰ سال تقریباً برابر ۰٫۰۰۲ است (۰٫۱۰ / ۵۰ = ۰٫۰۰۲).

محاسبه دوره بازگشت تنها برای پیدا کردن هرچه بهتر زلزله‌ای است که دارای چنین دوره بازگشتی خواهد بود.

آنچه که در محاسبات دقیق برای بدست آوردن شتاب طراحی اتفاق می‌افتد این است که ابتدا در یک شعاع معین یا یک بازه مکانی (مثلاً ۲۰۰ کیلومتری برای تهران) بررسی آماری کاتالوگهای زلزله صورت می‌پذیرد. پس از بررسی‌های دقیق ضرایب آماری منطقه مورد نظر تعیین می‌گردد (ضریب لرزه‌خیزی و ...). سپس با ترسیم دقیق گسلها و پیدا کردن بیشینه زلزله قابل رویداد بر اساس طول گسل و یا دیگر مدارک موجود، شتاب زمین برای فواصل مختلف و یا یک نقطه خاص، از روابط کاهندگی محاسبه شده، سطوح ایمنی و یا خطر برای شتابهای مختلف با مقایسه با شتابهای گوناگون تا بیشینه بزرگای (یا شتاب) هر گسل محاسبه می‌گردد. در ادامه این سطوح ایمنی با احتمال وقوع زلزله از گسلهای مختلف ادغام شده، احتمال ایمنی یا خطر (به شرط وقوع زلزله) برای هر فاصله و بزرگای بدست می‌آید. در پایان با ورود احتمال وقوع زلزله یا همان حذف شرط وقوع زلزله - که آهنگ لرزه‌خیزی منطقه بر اساس زلزله‌های رخ داده است - شتاب مورد نظر برای خطر فرض شده (APE) بدست می‌آید.

حال برای بدست آوردن شتاب طراحی برای کل منطقه مانند تهران، این کار باید برای تمامی نقاط انجام پذیرد که کار بسیار زمان‌بر و دشواری است؛ لذا شتاب مبنای طراحی با متوسط‌گیری برای یک منطقه محاسبه می‌شود که این مقدار در آیین نامه ۲۸۰۰ برای تهران با متوسط‌گیری ۰٫۳۵g بدست آمده است. هدف این مقاله پرداختن به این موضوع نیست بلکه با یک بررسی اجمالی و آماری می‌خواهیم بدانیم که برای احتمال وقوع ۱۰ درصد در طول عمر مفید ساختمان و یا با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله در منطقه یاد شده چه زلزله‌ای محتمل است. یعنی می‌خواهیم بدانیم برای منطقه تهران با وسعت دایره‌ای

به شعاع ۲۰۰ کیلومتر این احتمال وقوع و فرض طراحی بر مبنای آیین نامه ۲۸۰۰ بیانگر زلزله‌ای با حدود چه بزرگایی خواهد بود. برای این کار ابتدا باید اطلاعات و آمار زلزله‌های تاریخی و دستگاهی تهران مورد مطالعه قرار گیرد. در انتهای این نوشتار جدول اطلاعات پالایش شده زلزله‌های تهران ارائه شده است. {توضیح: بررسی آمار زلزله‌های تهران با استفاده از مقیاس بزرگای Ms بوده و برای اینکار mb و ML به Ms تبدیل شده اند. (۴)}

برای مطالعه آماری کاتالوگ زلزله‌های یک منطقه چندین روش تا کنون پیشنهاد شده است که به ۵ روش از متداولترین و کاملترین آنها در ذیل اشاره می‌گردد، با استفاده از این روشها ابتدا ضرایب و آهنگ لرزه‌خیزی منطقه مورد بررسی بدست آمده و سپس با استفاده از آن دوره بازگشت تمامی زلزله‌های رخ داده تا کنون حاصل می‌شود. در انتها برای مقایسه، تمامی نتایج بر روی یک نمودار ترسیم شده‌اند.

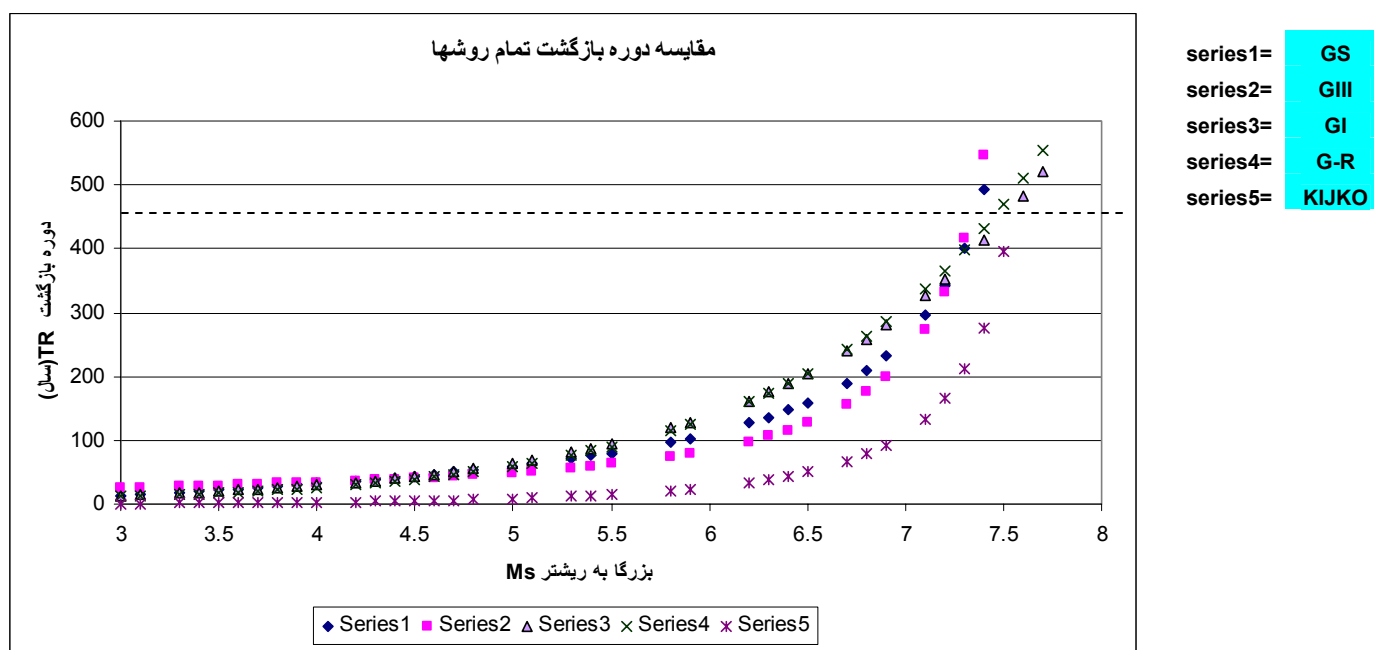
پنج روش اشاره شده عبارتند از:

- 1) Gumbel type I
- 2) Gumbel type III
- 3) Gumbel type S
- 4) Gutenberg – Richter
- 5) Kijko – Sellevoll

در اینجا ذکر یک نکته مهم است: روش‌های اول تا چهارم تماماً برای کاتالوگهای زلزله همگن یعنی با یک اندازه دقت کاربرد بهتری دارند ولی روش پنجم یا Kijko-Sellevoll به علت تمیز گذاشتن بین دقت زلزله‌های تاریخی که از کتب تاریخی بدست آمده با زلزله‌های دستگاهی، از دقت بیشتری نسبت به دیگر روشها برخوردار است و برای یک کاتالوگ ناهمگن مانند اطلاعات زلزله‌های تهران، بهترین روش است. لازم به ذکر است که زلزله‌های ثبت شده تا قبل از سال ۱۹۰۰ زلزله‌های تاریخی بوده و زلزله‌های ۱۹۰۱ تا ۱۹۶۳ زلزله‌های دستگاهی با دقت نه چندان بالا و زلزله‌های از ۱۹۶۴ به بعد، زلزله‌های ثبت شده به وسیله دستگاه‌های حساس است که دقت نسبتاً خوبی دارد.

در ذیل نمودار حاصل از مقایسه پنج روش برای رابطه بزرگا - دوره بازگشت ترسیم شده است:

نمودار ۱- مقایسه رابطه بزرگا- دوره بازگشت در هر ۵ روش



نتیجه گیری:

با مقایسه تمامی روشها و با توجه به روش Kijko-Sellevoll مشاهده میگردد که زلزله مورد بحث بزرگایی حدود ۷٫۵ ریشتر خواهد داشت؛ یعنی زلزله ۴۷۵ ساله تهران که احتمال وقوع آن در طول عمر مفید ۵۰ سال ساختمان ۱۰ درصد است بزرگایی حدود ۷٫۵ ریشتر دارد و نتیجه نهایی اینکه سازه‌های طراحی شده بر مبنای آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ در تهران (به طور متوسط) باید برای مقابله با این زلزله مقاوم شده باشند. قبل از پایان یادآور می‌شود که اختلاف عددی بزرگای زلزله‌های نزدیک به هم نباید ما را دچار اشتباه کند زیرا به طور مثال یک زلزله با بزرگای ۷٫۶ ریشتر که با زلزله دیگری با بزرگای ۷٫۵ ریشتر تنها ۰٫۱ اختلاف دارد، تقریباً ۱٫۴۱ انرژی بیشتری آزاد می‌کند و یک واحد اختلاف یعنی حدود ۳۱٫۶ برابر انرژی بیشتر! (گوتنبرگ ریشتر $1.5M - 1.965 = \log E$).

در انتها امیدوار است که با طرح این مقاله به بهتر شدن دید مهندسین محاسب سازه به آنچه که برای محاسبه نیروی زلزله سازه انجام می‌دهند کمکی هر چند اندک شده باشد.

مراجع:

- ۱- آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ - ویرایش دوم ۱۳۷۸
- ۲- تحلیل خطر پذیری سازه‌ها در برابر زلزله - دکتر غلامرضا قدرتی امیر آبادی - دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران - دانشکده عمران
- ۳- مبانی مهندسی زلزله و آنالیز ریسک - تالیف دکتر فرهاد دانشجو - دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
- 4-1 IRCOLD, Iranian Committee of Large Dams, (1994). "Relationship between Ms and mb" Internal Report, Tehran, Iran. (In Persian)
- 4-2 Green A. R. and Hall, W. J. (1994) "An overview of selected seismic hazard analysis methodologies" A Report on a Research Project, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- 5- Journal of Earthquake Engineering, Vol 7, No. 3 (2003) 347-372 Imperial College Press; "Seismic Hazard Assessment of Metropolitan Tehran, Iran"
- G. Ghodrati Amiri, R. Motamed and H. Rabet Es-Haghi

year	month	day	Ms	Mb	ML
-400			7.6		
743			7.2		
855			7.1		
864	1		5.3		
958	2	23	7.7		
1119	12	10	6.5		
1127			6.8		
1177	5		7.2		
1485	8	15	7.2		
1495			5.9		
1608	4	20	7.6		
1665			6.5		
1678	2	3	6.5		
1687			6.5		
1755	6	7	5.9		
1778	12	15	6.2		
1808	12	16	5.9		
1809			6.5		
1825			6.7		
1830	4	6	7.1		
1868	8	1	6.4		
1901	5	20	5.4		
1927	7	22	6.3	6.3	
1930	10	2	5.4	5.5	
1932	5	20	5.5	5.6	
1935	4	15	3		4.2
1940	9	25	4		5
1945	5	11	4.4	4.7	
1948	6	30	4		5
1951	11	13	3.3		4.5
1952	7	18	3.5		4.7
1954	9	2	3.3		4.5
1955	11	14	3.6	4	
1956	4	12	5		5.5
1957	5	6	4.8	5	
1957	7	2	7.7	7.4	
1958	1	16	3.4		4.6
1958	6	25	4		5
1958	10	6	4.4		5.2
1959	5	1	4.6		5.3
1960	6	23	6.9		6.5
1960	7	10	3.6	4	
1961	2	15	3.3		4.5
1962	10	13	5		5.5
1963	5	28	3.9	4.3	
1968	5	19	4.3	4.6	
1968	8	2	4.4	4.7	
1968	12	12	4.6	4.9	
1970	6	7	3.4		4.6
1970	6	27	3.6		4.8
1970	10	3	3.7	4.1	
1971	8	9	5	5.2	

1972	1	30	4.4	4.7	
1972	2	23	3.4		4.6
1973	2	15	3.3		4.5
1973	10	27	3.9	4.3	
1973	10	30	3.7	4.1	
1973	9	17	4.4	4.7	
1974	1	10	3.9	4.3	
1974	11	5	4.3	4.6	
1975	2	20	3.1		4.4
1975	4	11	4.4	4.7	
1975	8	2	3.6		4.8
1975	11	6	4.4	4.7	
1976	1	31	3.8	4.2	
1977	4	6	6.4		6.2
1977	5	25	5.1	5.3	
1978	5	26	6.3	6.3	
1978	11	3	4.8	5	
1978	11	4	6.7	6.6	
1979	3	25	3.9	4.6	
1980	12	3	4.7	5.1	
1980	12	25	4	4.4	
1981	3	29	4	4.4	
1981	8	4	4.4	4.7	
1982	2	5	4.2	4.5	
1982	10	25	4.2	4.5	
1983	5	29	4	4.4	
1983	7	23	4	4.4	
1983	12	20	4.5	4.8	
1985	2	16	3.9	4.3	
1985	7	8	4.4	4.7	
1985	10	14	4.3	4.7	
1986	3	20	4.3	4.6	
1987	11	25	4	4.4	
1988	3	1	4.2	4.5	
1988	8	22	5	5	
1989	2	15	4.4	4.7	
1990	1	20	5.8	5.5	
1990	6	20	7.4	6.2	
1991	8	23	4.4	4.7	
1992	9	22	4.5	5	
1993	3	8	4	4.4	
1993	5	12	3.9	4.3	
1993	6	9	4.8	5	
1993	8	19	4.3	4.6	
1994	11	21	4.2	4.5	
1994	6	3	3.6	4	
1995	11	23	3.8	4.2	
1995	6	26	4.2		
1996	1	14	3.6	4	
1996	8	25	4	4.4	
1997	6	7	4	4.4	
1997	6	23	3.6	4	
1997	8	26	4.2	4.5	
1997	11	5	4.2	4.5	
1998	1	9	4.5	4.8	
1998	1	24	3.8	4.2	

1998	12	3	4.2	4.5	
1998	12	19	3.9	4.3	
1999	3	13	4.2	4.5	
1999	3	26	3.7	4.1	
1999	12	9	4.5	4.8	
2000	4	28	3.7	4.1	
2001	3	4	2.6	3.2	
2001	5	16	3.6	4	
2001	11	23	2.9	3.5	
2002	2	14	4.2	4.5	
2002	4	8	4.5	4.8	
2002	4	19	5	5.2	
2002	5	13	3.6	4	
2002	6	22	5.8	5.9	
2003	6	21	4.2	4.5	
2003	12	24	4.4	4.7	
2004	5	28	5.8	5.9	
2004	8	21	4.2	4.5	
2004	9	24	3.4	3.9	

Table Ref:

ABS: Ambraseys, N.N., Melville, C.P.

#BCIS: Bureau Central International de Seismologie, Strasbourg, France

#BER, M: Berberian, Geological and Mining Survey of Iran

#CCP (BAN): Atlas USSR Earthquake

CGS: U.S. Coast and Geodetic Survey, USA

FS (BAN): Fisher

HFS1: Hagfors, Sweden

ISC: International Seismological Center, UK

MOS: Moscow, USSR

#NOW: Nowroozi

NEIC: National Earth quake Information Center, USA

NEIS: National Earth quake Information Service, USA

PT: Publication of Institute of Geophysics – Tehran University

#USGS: United States Geological Survey