

روابط کاهیدگی پارامترهای حرکتی زمین در خاور ایران

نوشته: دکتر ناصر حافظی مقدس * و دکتر علی کمک پناه**

The Attenuation Relations of Strong Ground Motion Parameters in East of Iran

By: Dr. N. Hafezi Moghaddas* & Dr. A. Komak Panah**

چکیده

برآورد روابط کاهیدگی پارامترهای حرکتی زمین از جمله مسائل مهم در ارزیابی خطر زمین لرزه و از موضوعات تحقیقاتی جالب در مهندسی زلزله است. در این مطالعه، نحوه کاهیدگی پارامترهای حرکتی زمین شامل شتاب، سرعت، جا به جایی و طیف پاسخ افقی و قائم در شرق ایران مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از مدل کاهیدگی Fukushima & Tanaka (1990) و تحلیل دو مرحله‌ای استفاده شده است. پارامترهای ثابت مدل کاهیدگی با استفاده از 128 رکورد مربوط به 54 زمین لرزه با بزرگی بیش از 4/5 ریشتر و شتاب کمینه 0/015 g برای سه گروه مصالح مختلف تعیین شده است. کلید واژه‌ها: روابط کاهیدگی، خاور ایران، زلزله، شتاب

Abstract

Estimation of strong ground motion attenuation relations is one of the important problems in earthquake risk analysis and more interesting research subjects in earthquake seismology. In this study, the attenuation relations of horizontal and vertical peak acceleration in East of Iran (one of the active seismotectonic province of Iran) are investigated. Fukushima & Tanaka (1990) model and two steps analysis methods are used in this research. The constant parameters of model are determined for three different soil types using 128 records of 54 earthquakes with magnitude and acceleration values larger than 4.5 and 0.015 g respectively.

Key words: Attenuation relations, East of Iran, Earthquake, Acceleration

مقدمه

در این مقاله فرضیات، روش تحلیل و نتایج حاصله از مطالعه روابط کاهیدگی پارامترهای مختلف حرکتی زمین در شرق ایران ارائه شده است.

مدل کاهیدگی و پارامترهای مورد استفاده:

در این مطالعه از مدل Fukushima & Tanaka (1990) استفاده شده است. شکل کلی مدل به صورت زیر است.

$$(1) R-Gr+ci+\epsilon 2M+b1+b0\text{Log}(Y)=b$$

در رابطه 1، Y پارامتر حرکتی زمین، M بزرگی، R فاصله کانونی، b_0 ، b_1 و b_2 ضرایب رابطه و c_i ضرایب اثرات ساختگاهی و ϵ تابع خطاست. تابع خطا به صورت تابع لگاریتم نرمال با میانگین صفر و انحراف استاندارد σ

ارزیابی خطر لرزه‌ای و برنامه‌های کاهش خطر نیاز به پیش بینی پارامترهای حرکتی زمین مانند شتاب، سرعت، جابه‌جایی بیشینه، طیف پاسخ و غیره دارد. برای این منظور، معمولاً از روابط کاهیدگی استفاده می‌شود. روابط کاهیدگی تأثیر متقابل پارامترهای مختلف موثر در حرکت زمین و نحوه تضعیف حرکات لرزه‌ای با فاصله را نشان می‌دهد. این روابط به صورت تجربی، نظری یا ترکیبی از دو روش به دست می‌آید. برای به دست آوردن منحنی‌های تجربی کاهیدگی معمولاً مدل مناسب با شرایط لرزه زمین‌ساختی منطقه مطالعاتی انتخاب می‌شود و ضرایب ثابت مدل بر اساس روش کمترین مربعات و با استفاده از نگاشتهای لرزه‌ای محاسبه می‌شود. نتایج چنین مطالعاتی متأثر از: (1) مدل کاهیدگی انتخابی و پارامترهای مورد استفاده (2) داده‌های لرزه‌ای (3) روش تحلیل، می‌باشد.



فرض می‌شود.

روش تحلیل: در مطالعه حاضر از روش دو مرحله‌ای و رگرسیون غیرخطی استفاده شده است. در این حالت، در مرحله اول معادله زیر حل شده است.

$$\log(Y) = \sum_{j=1}^k a_j A_j + b_2 X_{eq} - \log(X_{eq}) + \sum_{i=1}^n C_i S_i \quad (5)$$

که k تعداد زمین لرزه‌ها و n تعداد ساختگاه است. A_j برای زمین لرزه j برابر 1 و برای بقیه زلزله‌ها برابر صفر است. همچنین S_i برای ایستگاه i برابر 1 و برای بقیه ایستگاه‌ها صفر است. در این مطالعه، بر مبنای کار Molas & Yamazaki (1995) میانگین ضرایب ساختگاهی برای همه ایستگاه‌ها برابر صفر قرار داده شده است.

$$\sum C_i = 0 \quad (6)$$

در مرحله دوم از روش کمترین مربعات وزنی معادله 5 حل شده است. برای این منظور، وزن هر زمین لرزه، متناسب با تعداد رکورد آن در نظر گرفته شده است.

$$M_j 1 + b_0 a_j = b \quad (7)$$

از مرحله اول به دست آمده است. معادله 7 به صورت ماتریسی به شکل زیر نوشته می‌شود.

$$Y = X\beta + \epsilon \quad (8)$$

$$X = \begin{bmatrix} A_{1,1} A_{2,1} \dots A_{k,1} X_{eq1} \log X_{eq1} S_{1,1} S_{2,1} \dots S_{N-1,1} \\ A_{1,2} A_{2,2} \dots A_{k,2} X_{eq2} \log X_{eq2} S_{1,2} S_{2,2} \dots S_{N-1,2} \\ \dots \\ A_{1,n} A_{2,n} \dots A_{k,n} X_{eqn} \log X_{eqn} S_{1,n} S_{2,n} \dots S_{N-1,n} \end{bmatrix}$$

حل ماتریس بالا بر اساس روش کمترین مربعات به صورت رابطه 9 است.

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (9)$$

با توجه به تعداد زیاد متغیرهای موهومی، ماتریس $(X^T X)$ منفرد است و برای حل آن باید از روشهای تجزیه مقادیر منفرد استفاده نمود یا از روش رگرسیون بخشی (Partial regression) استفاده شود. روش کار در مطالعه حاضر به صورت زیر است.

عبارت $R2b$ در رابطه 1 نشان دهنده میرایی غیر الاستیک و عبارت Gr بیانگر میرایی هندسی است. میرایی هندسی در این مطالعه به صورت زیر انتخاب شده است (حافظی مقدس، 1381).

$$Gr = \log R \quad (2)$$

$$\text{برای فواصل کانونی کمتر از 70 کیلومتر}$$

$$\text{برای فواصل کانونی بزرگتر از 70 کیلومتر} \quad (3)$$

$$Gr = .5 * \log(R * 70)$$

داده‌های لرزه‌ای: برای تعیین ضرایب ثابت مدل کاهیدگی از داده‌های زمین لرزه‌های با بزرگی بیش از 4/5 ریشتر و شتاب بیش از 0/015g استفاده شده است. بدین ترتیب، از مجموع 300 رکورد سه مؤلفه‌ای ثبت شده در منطقه مطالعاتی، 128 رکورد مربوط به 54 زلزله انتخاب شده است. برای یکنواختی مقیاس بزرگی زمین لرزه‌ها، از مقیاس بزرگی گشتاوری استفاده شده است. در مورد زمین لرزه‌های قدیمی که بزرگی گشتاوری آنها گزارش نشده است، برای زمین لرزه‌های بزرگتر و کوچکتر از 6/0 به ترتیب بزرگی گشتاوری معادل با M_s و m_b قرار داده شده است.

پارامتر فاصله: عمق کانونی گزارش شده در مورد زلزله‌های ایران، معمولاً بر مبنای پیش فرض بوده و از دقت کافی برخوردار نیست. همچنین استفاده از فاصله رومرکزی یا کمترین فاصله از گسل زمین لرزه‌های برای زلزله‌های بزرگ، همراه با خطای زیاد است. لذا در مطالعه حاضر، از پارامتر فاصله کانونی معادل (EHD) استفاده شده است.

(Ohni et al., 1993; Takemura et al., 1991).

$$x_{eq} = \sqrt{\frac{\ln\{1 + (R/X)^2\}}{R^2}} \quad (4)$$

در رابطه 2، X نزدیکترین فاصله تا سطح گسل و R شعاع گسیختگی گسل است. شعاع گسیختگی گسل با استفاده از رابطه تجربی میان بزرگی زلزله و شعاع گسلش به دست آمده است. برای این منظور، از رابطه Amberasys & Melvil (1985) استفاده شده است.

اثرات ساختگاهی: در مطالعه حاضر، ضرایب ثابت مدل کاهیدگی برای سه گروه مصالح سنگ سست (خاک سخت)، خاک سفت و خاک سست تعیین شده است. در جدول 1، معیار طبقه بندی برای تعیین گروه‌های بالا نشان داده شده است (حافظی مقدس، 1381; komak Panah et al., 2002).





پارامترهای ثابت مدل و ضرایب اثرات ساختگاهی آمده است. در شکل‌های 9 تا 12 نتایج به دست آمده برای طیف شتاب افقی و قائم رسم شده است. لازم به ذکر است که تابع خطا برای شرایط $b1$ برابر صفر و مخالف صفر اختلاف زیادی نشان نمی‌داد، لذا جهت کاهش تعداد متغیرها، تحلیل با فرض $b1$ برابر صفر انجام شده است.

حدود دقت نتایج: روابط ارائه شده در این فصل در محدوده بزرگی و فاصله کانونی داده‌های مورد استفاده معتبر می‌باشد و برای خارج از این محدوده از دقت لازم برخوردار نیست.

- داده‌های مورد استفاده دارای بزرگی گشتاوری بین $7/4-4/7$ است. در این مطالعه، زلزله‌های با mb و ML کمتر از 6 و زمین لرزه‌های با Ms بیش از 6 معادل با بزرگی گشتاوری در نظر گرفته شده است.

- R در روابط مورد استفاده نزدیک‌ترین فاصله تا سطح گسله تعریف شده است که برای زمین لرزه‌های بزرگ که همراه با گسلش سطحی هستند، برابر فاصله بین گسل تا ساختگاه خواهد بود. برای زمین‌لرزه‌های کوچک که با گسلش سطحی همراه نیستند، R برابر فاصله کانونی است و به صورت زیر به دست می‌آید.

$$R=(d^2+h^2)^{.5}$$

که h ژرفای کانونی و d فاصله رومرکزی به کیلومتر است.

نتیجه گیری:

نتایج مطالعات تحلیل خطر، تا حد زیادی متأثر از نوع روابط کاهیدگی مورد استفاده است. از طرفی، روابط کاهیدگی به صورت تجربی به دست می‌آیند و ضرایب مدلهای کاهیدگی ارزش محلی دارند. لذا کاربرد روابط کاهیدگی که بر مبنای نگاهشهای دیگر نقاط دنیا به دست آمده‌اند در مطالعات تحلیل خطر پروژه‌های مهندسی در ایران، خالی از اشکال نیست. مطالعه حاضر با هدف پر کردن این خلأ، دست کم برای خاور کشور صورت پذیرفته است. در این مطالعه، با استفاده از مدل $Fukushima \& Tanaka(1990)$ و با استفاده از داده‌های شتابنگاشتی ثبت شده در خاور ایران روابط کاهیدگی جهت شتاب، سرعت، شتاب RMS و طیف پاسخ شتاب افقی و قائم برای سه گروه خاک سست، سفت و سخت یا سنگ سست جهت منطقه مطالعاتی پیشنهاد شده است. از جمله اختصاصات روابط ارائه شده معتبر بودن آنها برای شرایط نزدیک منشأ (Near Source) و دور از منشأ (Far Source) می‌باشد.

1- با فرض تابع هندسی معادله 1 به صورت یک مرحله‌ای حل شده است. برای این منظور از رگرسیون غیر خطی استفاده شده و مقادیر ویژه ماتریس براساس روش تجزیه مقادیر منفرد به دست آمده است.

2- ضرایب $b2$ و C به دست آمده از مرحله اول، به عنوان پیش فرض برای حل معادله 5 استفاده است.

3- با استفاده از رگرسیون وزنی معادله 8 حل شده است.

4- ضرایب به دست آمده به عنوان مقدار اولیه برای مرحله اول در نظر گرفته شده و مراحل بالا تا رسیدن به نتایج پایدار تکرار شده است.

انحراف استاندارد کل برابر با مجموع انحراف استاندارد مرحله دوم و سوم در نظر گرفته شده است.

$$\sigma^2=(\sigma_{12}+\sigma_{22}) \quad (10)$$

ارزیابی نتایج:

الف- روابط کاهیدگی شتاب، سرعت و شتاب RMS در: جدول 2 ضرایب پارامترهای ثابت مدل کاهیدگی پارامترهای بالا برای سه گروه خاک آورده شده است. در مورد سرعت و شتاب RMS انحراف معیار رابطه برای حالت $b1=0$ کمتر بوده است.

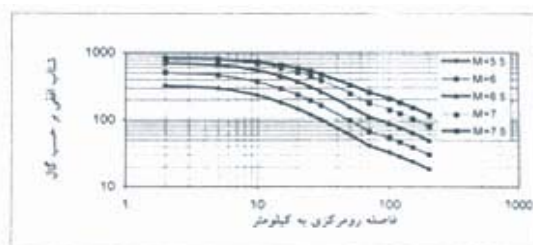
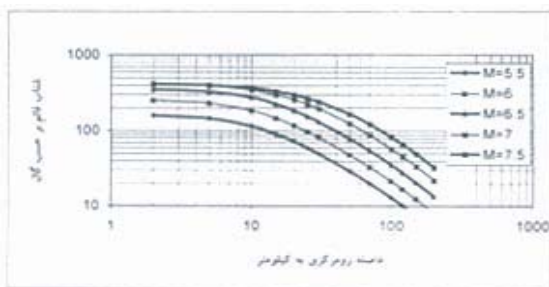
در شکل 1 و 2 تغییرات شتاب افقی و قائم با بزرگی و فاصله رومرکزی نشان داده شده است. تغییر شیب در منحنی‌های مزبور در فاصله کانونی 70 کیلومتر به علت انتخاب مدل میرایی هندسی با شیب کمتر برای فواصل بزرگتر از 70 کیلومتر است. در شکل 3 منحنی نسبت بین شتاب افقی و قائم بیشینه ترسیم شده است. مشاهده می‌گردد که نسبت بین شتاب افقی و قائم از حدود $0/67$ در فواصل نزدیک کانون تا $0/6$ برای فواصل دور از کانون تغییر می‌کند.

در شکل 4 منحنی کاهیدگی شتاب افقی ارائه شده با منحنی کاهیدگی شتاب افقی $Campbell(1981)$ ، $Boore(1993)$ و $Sadigh(1994)$ مقایسه شده است. مشاهده می‌گردد رابطه پیشنهادی در مطالعه حاضر، برای بزرگی‌های بالا مشابه رابطه $Boore$ و برای بزرگی‌های کوچک مشابه رابطه $Sadigh$ خواهد بود. در شکل‌های 5 تا 8 نتایج مربوط به سرعت افقی و قائم نشان داده شده است.

ب- روابط کاهیدگی طیف پاسخ شتاب افقی و قائم: در

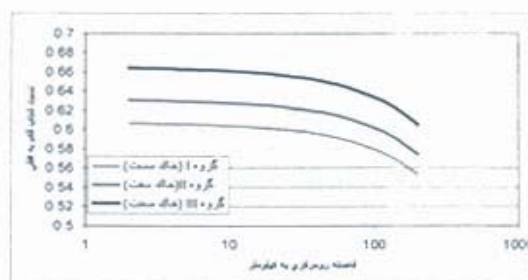
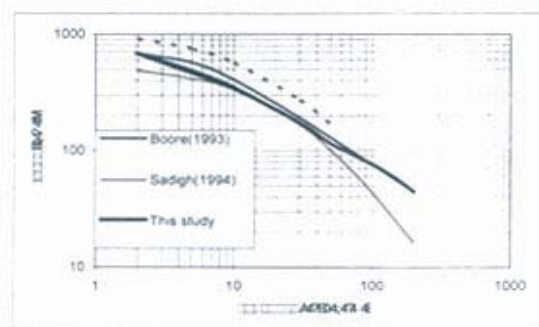
این بخش، از داده‌های شتابنگاشتی و روش تحلیل مشابه برآورد روابط کاهیدگی شتاب و سرعت استفاده شده است. برای این منظور، طیف پاسخ شتاب رکوردهای مورد استفاده با میرایی 5 درصد محاسبه شده و تحلیل‌های آماری برای 20 مقدار پیرو انجام شده است. در جدول 3 و 4 نتایج برآورد





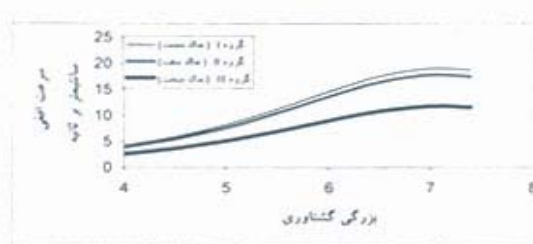
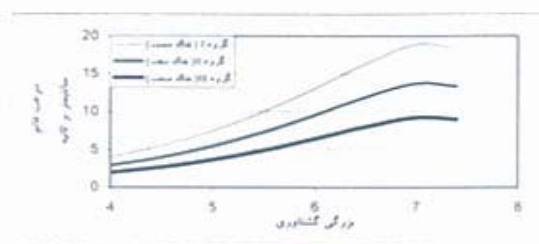
شکل 2- تغییرات شتاب قائم (به علاوه انحراف معیار) با فاصله برای بزرگی های مختلف و خاک سست

شکل 1- تغییرات شتاب افقی (به علاوه انحراف معیار) با فاصله برای بزرگی های مختلف و خاک سست



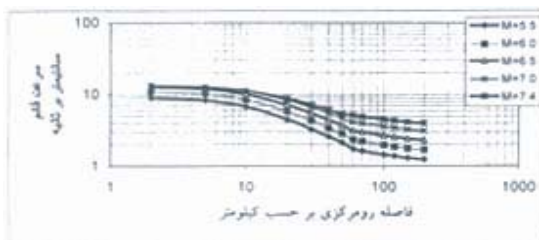
شکل 4- مقایسه نتایج رابطه کاهیدگی پیشنهادی در مطالعه حاضر با برخی از روابط متداول مورد استفاده در ایران برای بزرگی 7/3 و شرایط ساختگاهی خاک سست

شکل 3- تغییرات نسبت شتاب افقی به قائم با فاصله برای شرایط ساختگاهی مختلف

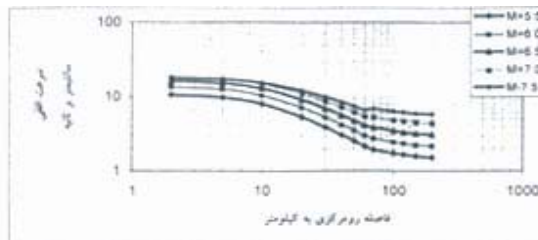


شکل 6- تغییرات سرعت قائم با بزرگی برای فاصله رومرکزی 10 کیلومتر

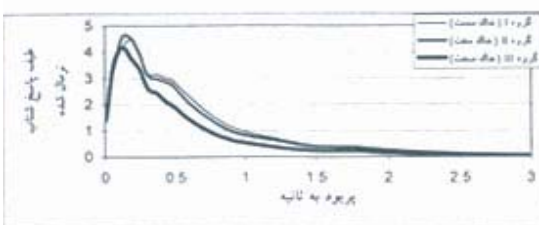
شکل 5- تغییرات سرعت افقی با بزرگی برای فاصله رومرکزی 10 کیلومتر



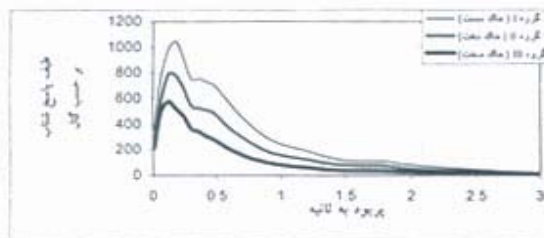
شکل 8- تغییرات سرعت قائم (به علاوه انحراف معیار) با فاصله برای بزرگی های مختلف و خاک سست



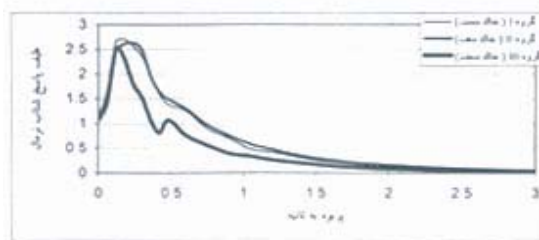
شکل 7- تغییرات سرعت افقی (به علاوه انحراف معیار) با فاصله برای بزرگی های مختلف و خاک سست



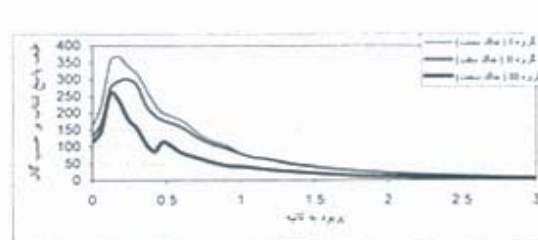
شکل 10- طیف پاسخ شمال شتاب افقی برای بزرگی 7 و فاصله رومگزی 10 کیلومتر



شکل 9- طیف پاسخ شتاب افقی برای بزرگی 6/5 و فاصله رومگزی 10 کیلومتر



شکل 12- تغییرات طیف پاسخ شتاب قائم برای بزرگی 7 و فاصله رومگزی 10 کیلومتر



شکل 11- تغییرات طیف پاسخ شتاب قائم با پریود برای بزرگی 6/5 و فاصله رومگزی 10 کیلومتر

جدول 1- رده بندی ساختگاهها بر اساس اثرات ساختگاهی

شماره رده	توصیف خاک	بسامد مینا، هرتز	Vs30 (m/s)	شرایط زمین شناسی
I	خاک سخت ، سنگ سست	>7/5	>750	نهشته های دامنه ای با ضخامت کم و مقاوم ، کنگلومرای پلیستوسن
IIa	خاک سفت	7/5-5/0	750-550	پادگانه آبرفتی یا نهشته های قدیمی خوب سیمانی شده و مقاوم
IIb	خاک نسبتاً سفت	5/0-2/5	550-350	تناوب نهشته های ریز دانه و درشت دانه، پادگانه آبرفتی با سیمان شدگی متوسط
III	خاک سست	<2/5	<350	نهشته های رسی سست و ضخیم یا تناوب رس سیلت و ماسه ریز دانه عمدتاً دشت آبرفتی

جدول 2- برآورد پارامتر های ثابت مدل کاهش دگی شتاب ، سرعت و شتاب RMS افقی و قائم

پارامتر حرکتی	b1	b2	b3	c1	c2	c3	σ
شتاب افقی بیشینه (cm/s ²)	0/694	0/431	-0/001	0/154	0/005	-0/076	0/32
شتاب افقی میانگین (cm/s ²)	0/552	0/446	-0/001	0/148	0/0042	-0/086	0/28
شتاب قائم (cm/s ²)	0/404	0/438	-0/0012	0/24	0/0047	-0/053	0/28
سرعت افقی میانگین cm/s	0	0/307	0/0009	0/076	0/046	-0/132	0/31
سرعت قائم Cm/s	0	0/217	0/0008	0/165	0/026	-0/146	0/35
شتاب افقی RMS cm/s ²	0	0/41	0/0006	0/155	0/033	-0/107	0/26
شتاب قائم RMS cm/s ²	0	0/384	/00025	0/268	0/05	-0/122	0/27

جدول 3 - برآورد پارامترهای ثابت مدل کاهش دگی طیف پاسخ شتاب افقی

σ	c2b	C2a	c3	c2	c1	b3	b2	پریود (ثانیه)
0/26	-0/059	0/039	-0/058	0/0123	0/153	-0/0024	0/556	0/0103
0/29	-0/054	0/051	-0/045	0/024	0/14	-0/004	0/612	0/06
0/29	-0/055	0/07	-0/102	0/034	0/132	-0/0047	0/633	0/12
0/28	-0/054	0/064	-0/147	0/029	0/156	-0/0043	0/632	0/18
0/285	-0/069	0/067	-0/144	0/021	0/146	-0/0036	0/622	0/24
0/285	-0/046	0/062	-0/145	0/027	0/17	-0/0029	0/605	0/3
0/284	-0/023	0/062	-0/145	0/039	0/196	-0/0033	0/602	0/36
0/284	-0/024	0/056	-0/196	0/027	0/182	-0/004	0/603	0/42
0/306	-0/031	0/059	-0/219	0/233	0/184	-0/0044	0/601	0/48
0/35	-0/04	0/06	-0/226	0/025	0/21	-0/0038	0/58	0/6
0/37	-0/036	0/067	-0/243	0/03	0/218	-0/0032	0/556	0/75
0/363	-0/027	0/06	-0/245	0/0228	0/22	-0/0029	0/533	0/9
0/38	-0/033	0/065	-0/268	0/022	0/214	-0/003	0/519	1/05
0/406	-0/039	0/077	-0/293	0/0227	0/208	-0/0032	0/508	1/2
0/42	-0/049	0/083	-0/298	0/0242	0/206	-0/0029	0/491	1/35
0/44	-0/044	0/084	-0/304	0/025	0/188	-0/0029	0/477	1/5
0/46	-0/025	0/074	-0/286	0/0258	0/182	-0/0035	0/474	1/65
0/47	-0/014	0/066	-0/283	0/244	0/194	-0/004	0/474	1/8
0/49	-0/01	0/057	-0/28	0/022	0/216	-0/004	0/455	1/95
0/50	-0/006	0/051	-0/283	0/021	0/226	-0/0035	0/418	2/4
0/51	-0/001	0/052	-0/281	0/228	0/224	-0/0029	0/369	3

جدول 4- برآورد پارامترهای ثابت مدل کاهش‌دهی طیف پاسخ شتاب قائم

σ	c2b	c2a	c3	c2	c1	b3	b2	پریود (ثانیه)
0/3	-0/019	0/031	-0/049	0/008	0/115	-0/0022	0/539	0/0103
0/305	-0/089	0/017	-0/091	-0/021	0/101	-0/0036	0/597	0/06
0/317	-0/028	0/069	-0/011	0/011	0/146	-0/422	0/626	0/12
0/339	0/029	0/09	-0/042	0/032	0/159	-0/0039	0/624	0/18
0/31	0/064	0/095	-0/138	0/048	0/15	-0/0031	0/603	0/24
0/32	0/073	0/084	-0/185	0/046	0/136	-0/0026	0/585	0/3
0/326	0/07	0/079	-0/242	0/043	0/157	-0/003	0/576	0/36
0/345	0/087	0/067	-0/282	0/044	0/14	-0/0036	0/573	0/42
0/385	0/093	0/083	-0/115	0/048	0/129	-0/0039	0/573	0/48
0/391	0/117	0/109	-0/192	0/057	0/159	-0/0034	0/575	0/6
0/41	0/108	0/088	-0/212	0/049	0/129	0/0029	0/524	0/75
0/418	0/133	0/1	-0/249	0/055	0/136	0/0026	0/496	0/9
0/448	0/131	0/068	-0/202	0/043	0/082	-0/0027	0/483	1/05
0/458	0/136	0/066	-0/227	0/045	0/102	-0/0028	0/462	1/2
0/473	0/122	0/047	-0/216	0/036	0/1	-0/0026	0/438	1/5 3
0/497	0/123	0/044	-0/218	0/04	0/082	-0/0026	0/414	1/5
0/51	0/13	0/049	-0/233	0/044	0/083	-0/0031	0/397	1/65
0/515	0/129	0/047	-0/245	0/04	0/083	-0/004	0/379	1/8
0/547	-0/042	0/077	-0/26	0/04	0/072	-0/0036	0/356	1/95
0/564	0/148	0/056	-0/273	0/045	0/055	0/0032	0/327	2/4
0/559	0/14	0/053	-0/293	0/04	0/047	0/0026	0/294	3

جدول پیوست: لیست داده‌های مورد استفاده

بزرگی زلزله		فاصله کانونی Km	عمق کانونی Km	کانون سطحی		تاریخ وقوع			شماره رکورد	نام ایستگاه
mb	Ms			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال	ماه	روز		
4.5		85.6	10	32.93	60.31	1997	5	18	1749-1	افین
5	5.4	54.7	10	33.14	60.1	1997	6	23	1816-3	افین
4.3		46.7	10	33.19	60.04	1997	5	25	1816-1	افین
5	5.4	44	10	33.87	59.96	1997	6	6	1816-2	افین
5.5	5.8	52	10	33.93	59.47	1997	6	25	1816-4	افین
6.7	7.3	161	33	33.4	57.12	1978	9	16	1086	بجستان
5.9	6.7	144	33	33.897	59.472	1979	1	16	1102	بجستان
6	6.7	171	33	33.918	59.791	1979	11	14	1134-1	بجستان
6.1	7.1	163	33	33.962	59.724	1979	11	27	1134-2	بجستان
6.1	6.7	109	33	29.913	57.715	1981	6	11	1179	بم
5.3		135	33	28.74	56.94	1999	3	4	2146	بردسیر
4.6		51	33	32.502	58.89	1987	11	24	1300-2	بیرجند
4.7	5.4	26.3	41	32.65	59.105	1987	11	24	1300-1	بیرجند
4.7	4.8	22.4	33	32.691	59.1	1987	11	27	1300-3	بیرجند
6.4	7.3	90.5	10	33.35	59.96	1997	5	10	1737	بیرجند
6	6.8	106	33	33.8	59.5	1979	1	16	1105	بیرجند
6.1	7.1	130	33	33.962	59.724	1979	11	27	1137	بیرجند
4.2		30	33	34.012	59.585	1979	12	2	1193-1	بهن آباد
4.8		32	46	34.37	59.907	1979	12	7	1193-9	بهن آباد
6.3	6.7	163.7	33	28.34	57.19	1999	3	4	2148-2	بولورد
5.1		42.5	33	29.15	56.35	1999	1	14	2148-1	بولورد
4.9	4.8	113	33	33	56.79	1978	9	18	1083-3	بشرویه
4.7	4.2	79.4	33	33.33	57.97	1978	9	18	1083-2	بشرویه
6.7	7.3	58.5	33	33.4	57.12	1978	9	16	1083-1	بشرویه
5.4	5.9	34.6	33	33.58	57.26	1980	1	12	1133	بشرویه
4.7		25	33	33.7	57.6	1978	9	19	1083-4	بشرویه
6.4	7.3	132	10	33.55	59.96	1997	5	10	1739	بسک آباد
5.5	5.8	74	10	33.93	59.47	1997	6	25	1781	بسک آباد
5.3	4.9	92	33	33.2	47.23	1198	10	5	2150-1	چنار
5.3	4.9	87	88	33.24	47.25	1998	10	4	2150-2	چنار
4.9	4.8	76.5	33	33	56.79	1978	9	18	1082-7	دیهوک
4.6	4	29	33	33.08	57.32	1978	2	24	1104-2	دیهوک
4.6		27.3	44	33.1	57.32	1991	10	23	1412	دیهوک
4.6	4.5	46	33	33.26	57.03	1978	9	17	1082-3	دیهوک
6.7	7.3	39	33	33.4	57.12	1978	9	16	1082-1	دیهوک
4.7	4.2	30.9	33	33.57	57.47	1978	8	18	1082-6	دیهوک
4.9	4.8	61.5	33	33.65	57.02	1978	9	16	1082-5	دیهوک
4.7		46	33	33.7	57.6	1978	9	19	1082-8	دیهوک
5.1	4.9	65	33	33.759	57.096	1979	1	17	1104-1	دیهوک
6.4	7.3	130.3	10	33.55	59.96	1997	5	10	1741	فیض آباد
5.5	5.8	121.3	10	33.93	59.47	1997	6	25	1786	فیض آباد
6.7	7.3	122	33	33.4	57.12	1978	9	16	1126	فردوس
5.4	5.9	100	33	33.58	57.26	1980	1	12	1132-2	فردوس
6.1	7.1	153.4	33	33.962	59.724	1979	11	27	1132-1	فردوس
		20	33	34.17	58.26	1974	12	29	1004	فردوس
5.3	5.7	158.1	33	32.46	59.98	1998	4	10	2055	قاین
5.6		9.7	13	33.8	59.16	1976	11	7	1043	قاین
6	6.7	59.7	33	33.918	59.791	1979	11	14	1118	قاین
5.5	5.8	32.9	10	33.93	59.47	1997	6	25	1799	قاین
6.1	7.1	55.6	33	33.962	59.724	1979	11	27	1139	قاین



بزرگی زلزله		فاصله کانونی Km	عمق کانونی Km	کانون سطحی		تاریخ وقوع			شماره رکوردر	نام ایستگاه
mb	Ms			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال	ماه	روز		
4		47.2	33	27.48	57.42	1995	5	12	1625-1	قلعه گنج
3.1		19.7	33	27.5	57.7	1997	2	9	1766-1	قلعه گنج
5.1		43	33	27.6	57.47	1995	11	6	1625-2	قلعه گنج
3.8		38.5	33	27.71	57.57	1996	7	28	1625-3	قلعه گنج
5.2		140.6	33	28.47	56.94	1999	3	4	2157	قلعه گنج
5		112.6	33	28.92	57.32	1983	1	31	1196-2	گلباف
4.7		71.2	33	29.241	57.597	1981	7	30	1176-21	گلباف
4.7		25.7	33	29.79	57.962	1981	6	11	1172-3	گلباف
4.9	4	51.5	21	29.835	57.735	1981	6	21	1172-6	گلباف
4.8		73	33	29.858	56.975	1981	9	12	1176-29	گلباف
5.6	5.7	1.3	18	29.892	57.718	1989	11	20	1346-1	گلباف
5.1	4.6	3	33	29.899	57.696	1981	10	14	1183-10	گلباف
4.6		13	33	29.99	57.67	1986	3	27	1306-2	گلباف
4.7		13	33	29.99	57.672	1987	8	1	1306-3	گلباف
4.9		21	33	30	57.55	1981	7	31	1176-22	گلباف
4.8		19	33	30.03	57.816	1983	2	28	1200	گلباف
4.5		30	33	30.1	57.9	1983	2	28	1274	گلباف
4.6		33.6	33	30.128	57.519	1981	7	29	1176-25	گلباف
5.9	7	28.4	33	30.13	57.794	1981	7	28	1176-5	گلباف
4.9		41.9	33	30.175	57.45	1981	7	28	1176-10	گلباف
4.7		34.7	33	30.188	57.643	1981	7	30	1176-20	گلباف
4.1	3.8	44	33	30.2	57.45	1998	5	13	2156-2	گلباف
4.7		36.4	33	30.21	57.7	1981	8	2	1176-28	گلباف
4.7		45.4	33	30.235	57.484	1981	7	28	1176-12	گلباف
4.8	4	41.5	33	30.237	57.583	1981	9	26	1183-1	گلباف
4.9		46.4	33	30.27	57.54	1988	12	3	1336	گلباف
4.4		53.8	33	30.369	57.735	1982	1	30	1191-5	گلباف
4.6		59.5	16	30.42	57.68	1981	9	26	1183-8	گلباف
4.6		67	33	30.475	57.571	1981	7	30	1176-17	گلباف
6.4	7.3	153	10	33.55	59.96	1997	5	10	1742	گناباد
4.5		107.8	33	33.8	59.59	1979	11	27	1142-2	گناباد
5.9	6.7	92	33	33.897	59.472	1979	1	16	1109	گناباد
6	6.7	118.8	33	33.918	59.791	1979	11	14	1120	گناباد
5.5	5.8	90	10	33.93	59.47	1997	6	25	1787	گناباد
6.1	7.1	110.9	33	33.962	59.724	1979	11	27	1142-1	گناباد
3.9		78.7	10	32.95	60.29	1997	5	10	1756-22	حاجی آباد
4.5		61.2	10	33.08	60.17	1997	5	10	1756-36	حاجی آباد
4.7		26.5	10	33.38	60.06	1997	5	10	1756-0	حاجی آباد
4.5		17.7	10	33.47	59.89	1997	5	13	1755-1	حاجی آباد
4.7		17.9	10	33.48	59.87	1997	5	10	1756-15	حاجی آباد
5.9	6.7	84	33	33.897	59.472	1979	1	16	1108	کاخک
6.1	7.1	106	33	33.962	59.724	1979	11	27	1135	کاخک
6.7	7.3	239.8	33	33.4	57.12	1978	9	16	1090-2	کاشمر
5.9	6.7	177.6	33	33.897	59.472	1979	1	16	1101-2	کاشمر
6	6.7	195.2	33	33.918	59.791	1979	11	14	1130-2	کاشمر
6.1	7.1	187.2	33	33.962	59.724	1979	11	27	1130-3	کاشمر
4.6		114.4	33	34.19	58.43	1984	4	20	1223	کاشمر
4.2		41.8	33	35.46	58.79	1997	10	13	1820	کاشمر
5.2		76.5	28	29.892	57.718	1989	11	4	1344	کرمان





بزرگی زلزله		فاصله کانونی Km	عمق کانونی Km	کانون سطحی		تاریخ وقوع			شماره رکورد	نام ایستگاه
mb	Ms			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال	ماه	روز		
6.1	6.7	75	33	29.913	57.715	1981	6	11	1168	کرمان
5.9	7	72.8	33	30.13	57.794	1981	7	28	1174	کرمان
4.9	5.1	48	33	30.3	57.56	1998	11	18	2162	کرمان
6.4	7.3	440.7	10	33.35	59.96	1997	5	10	1757	کرمان
6.4	7.3	123.4	10	33.35	59.96	1997	5	10	1759	خواف
5.6		116.7	13	33.82	59.19	1976	11	7	1045	خواف
5.9	6.7	90.1	33	33.897	59.472	1979	1	16	1113	خواف
6	6.7	68.7	33	33.918	59.791	1979	11	14	1121	خواف
6.1	7.1	68.3	33	33.962	59.724	1979	11	27	1143-2	خواف
4.7	4.3	56.7	33	34	59.88	1993	5	29	1465	خواف
5	4.8	43.7	33	34.12	59.91	1979	11	23	1143-1	خواف
4.7		19.3	10	34.3	60.06	1979	11	28	1143-4	خواف
6.4	7.3	139	10	33.35	59.96	1997	5	10	1740	خزري
6.7	7.3	177.7	33	33.4	57.12	1978	9	16	1087	خزري
5.6		47.5	13	33.82	59.19	1976	11	7	1044	خزري
5.9	6.7	69.9	33	33.897	59.472	1979	1	16	1107	خزري
5.5	5.8	68.9	10	33.93	59.47	1997	6	25	1811	خزري
6.1	7.1	93	10	33.962	59.724	1979	11	27	1140	خزري
5	4.5	28.7	24	31.56	56.03	1987	4	11	1305	کوهبنان
4.4	3.9	21	33	29.99	57.48	1995	4	4	1569	ماهان
4.4		28.9	33	30.28	57.44	1999	1	2	2169	ماهان
6.4	7.3	324	10	33.35	59.96	1997	5	10	1746	مشهد
6.4	7.3	324	10	33.35	59.96	1997	5	10	1745	مشهد
4.9	3.8	77	33	35.63	59.87	1995	11	9	1539	مشهد
5.4	5	95	33	37.11	59.31	1985	8	16	1263-3	مشهد
5.9	6.8	271	10	37.66	57.29	1997	2	4	1719	مشهد
6.4	7.3	147.3	10	33.35	59.96	1997	5	10	1751	مود
6.4	7.3	105	10	33.35	59.96	1997	5	10	1770	موسویه
3.5		26.4	10	36.71	58.76	1997	2	23	1831	رادکان
5.9	7	180.2	33	30.13	57.794	1981	7	28	1173	رفسنجان
6.1	6.7	45.2	33	29.913	57.715	1981	6	11	1169	راین
5.9	7	69.3	33	30.13	57.794	1981	7	28	1169	راین
4.9		180	33	29.879	57.784	1981	7	28	1178-1	راور
5.9	7	158	33	30.13	57.794	1981	7	28	1178-2	راور
5.3	5.5	44	10	37.56	57.29	1997	2	4	1676-1	راز
5.2	5	57.3	10	37.62	57.59	1997	2	5	1676-5	راز
6.1	6.7	46.9	10	37.63	57.46	1997	2	4	1676-3	راز
5.9	6.8	34	10	37.66	57.29	1997	2	4	1676-2	راز
4.2		88.2	33	38.24	57.95	1997	2	10	1676-4	راز
5.1		63	88	28.27	58.54	1998	6	10	2174-1	ریگان
6.4	7.3	276.2	10	33.35	59.96	1997	5	10	1752-2	ریوش
4.7	3.7	17.9	33	35.62	58.38	1996	2	5	1654	ریوش
6.4	7.3	181.2	10	33.35	59.96	1997	5	10	1763	رشتخوار
5.9	6.7	119	33	33.897	59.472	1979	1	16	1110	رشتخوار
6	6.7	117	33	33.918	59.791	1979	11	14	1124	رشتخوار
6.1	7.1	111.3	33	33.962	59.724	1979	11	27	1144-2	رشتخوار
4.8	4.7	48.7	33	33.39	59.72	1994	1	1	1512	سده
6.7	7.3	207	33	33.4	57.12	1978	9	16	1085-1	سده
5.6		55.2	13	33.82	59.19	1976	11	7	1042	سده
5.9	6.7	67.8	33	33.897	59.472	1979	1	16	1106	سده



بزرگی زلزله		فاصله کانونی Km	عمق کانونی Km	کانون سطحی		تاریخ وقوع			شماره رکورد	نام ایستگاه
mb	Ms			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال	ماه	روز		
6	6.7	85.7	33	33.918	59.791	1979	11	14	1117	سده
6.1	7.1	85.6	33	33.962	59.724	1979	11	27	1138-1	سده
4.5		88	33	34	59.7	1979	11	27	1138-2	سده
6.4	7.3	117	10	33.35	59.96	1997	5	10	1753	سنگان
5.5	5.8	91	10	33.93	59.47	1997	6	25	1851	سنگان
5.5	5.7	57	18	29.892	57.718	1989	11	20	1345	شهداد
4.6		20	33	30.28	57.57	1998	11	18	2176-2	شهداد
4.9	5.1	19	33	30.3	57.56	1998	11	18	2176-1	شهداد
4.6		12.5	33	30.49	57.62	1983	5	1	1212	شهداد
5.5	5.7	36.3	18	29.892	57.718	1989	11	20	1347-4	سیرج
5.2		36	28	29.892	57.718	1989	11	4	1347-3	سیرج
4.6		22	33	29.99	57.56	1987	4	22	1307-1	سیرج
4.6		25	33	29.99	57.68	1987	8	1	1307-2	سیرج
4.5		34.8	33	30.1	57.9	1986	3	28	1275	سیرج
4.6		7.84	33	30.19	57.48	1992	2	10	1425	سیرج
4.8	4.4	12.5	33	30.27	57.47	1990	10	19	1399-1	سیرج
4.8	4.4	12.5	33	30.27	57.47	1990	10	19	1399-2	سیرج
4.9	4.8	65	33	33	56.79	1978	9	18	1084-46	طیس
4.6	4.5	36.8	33	33.26	57.03	1978	9	17	1084-34	طیس
6.7	7.3	28	33	33.4	57.12	1978	9	16	1084-1	طیس
4.3		27.5	33	33.56	57.2	1978	9	16	1084-22	طیس
4.5		24	33	33.562	57.165	1978	9	24	1103-1	طیس
4.7	4.2	54	33	33.57	57.47	1978	9	18	1084-39	طیس
5.4	5.9	33.3	33	33.58	57.26	1980	1	12	1136-3	طیس
4.4		16	33	33.61	57.08	1978	9	16	1084-25	طیس
4.8		15	33	33.643	57.055	1979	12	2	1136-2	طیس
4.9	4.8	12.5	33	33.65	57.02	1978	9	16	1084-4	طیس
4.5		33	33	33.672	57.242	1978	12	26	1103-9	طیس
4.9		22	33	33.7	57.1	1978	9	16	1084-21	طیس
4.7		68	33	33.7	57.6	1978	9	19	1084-48	طیس
4.7		68	33	33.7	57.6	1978	9	19	1084-47	طیس
4.8	4.7	20.5	33	33.71	57.07	1980	3	25	1392	طیس
4.8		26.5	33	33.72	57.14	1978	9	16	1084-19	طیس
4.9		24.2	33	33.74	57.09	1978	10	12	1103-3	طیس
5.1	4.9	26	33	33.759	57.096	1979	1	17	1103-11	طیس
4.7		27.4	33	33.79	57.07	1978	9	16	1084-18	طیس
4.1		30	33	33.8	57.1	1978	9	16	1084-15	طیس
4.6		80	33	33.8	57.7	1978	9	16	1084-23	طیس
4.5		27.3	33	33.8	57.05	1978	9	16	1084-20	طیس
4.6		30	33	33.8	57.1	1978	9	17	1084-37	طیس
5.5		48.5	33	33.96	57.17	1979	2	13	1103-12	طیس
4.9	4.4	45.5	33	33.98	57.04	1979	9	5	1103-14	طیس
4.5		95.4	33	34.2	57.6	1978	9	16	1084-12	طیس
6	6.7	132	33	33.918	59.791	1979	11	14	1123	تایباد
6.1	7.1	133.5	10	33.962	59.724	1979	11	27	1141-1	تایباد
4.6		152.7	10	33.968	59.474	1979	11	27	1141-3	تایباد
4.6		90	10	34.261	60.025	1979	11	27	1141-2	تایباد
4		7.7	33	30.69	50.69	1996	6	18	1638-5	تلگرد
3.9		3.4	33	30.73	50.76	1996	6	7	1638-4	تلگرد

بزرگی زلزله		فاصله کانونی Km	عمق کانونی Km	کانون سطحی		تاریخ وقوع			شماره رکورد	نام ایستگاه
mb	Ms			عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال	ماه	روز		
4.7		2.2	33	30.76	50.71	1996	6	7	1638-3	تلگرد
4.8	3.9	11	33	30.81	50.82	1996	6	2	1638-1	تلگرد
6.4	7.3	223	10	33.35	59.96	1997	5	10	1758	ترت حیدریه
5.9	6.7	153	33	33.897	59.472	1979	1	16	1114	ترت حیدریه
5.9	6.7	153	33	33.897	59.472	1979	1	16	1111	ترت حیدریه
6	6.7	159	33	33.918	59.791	1979	11	14	1119	ترت حیدریه
5.5	5.8	149	10	33.93	59.47	1997	6	25	1853	ترت حیدریه
6.1	7.1	152	33	33.962	59.724	1979	11	27	1131	ترت حیدریه
		11	10	35.19	59.15	1993	5	9	1464	ترت حیدریه
5.9	6.7	186.5	33	33.897	59.472	1979	1	16	1112	ترت جام
6	6.7	167.5	33	33.918	59.791	1979	11	14	1122-1	ترت جام
6.1	7.1	166.6	33	33.962	59.724	1979	11	27	1145	ترت جام
4.8		164	33	34.083	59.576	1979	11	14	1122-2	ترت جام
5.1		3.3	29	33.79	59.23	1976	11	9	1047-9	وندیک
5.6		7.2	13	33.8	59.16	1976	11	7	1047-8	وندیک
4.7		12.7	33	33.82	59.36	1977	3	19	1065-3	وندیک
4		147	33	29.99	57.77	1981	7	28	1177	زرند
5.2		112	28	30.248	57.542	1988	12	3	1335-1	زرند
4.4		140	33	30.474	57.955	1989	10	17	1335-2	زرند
4		28.8	33	30.53	56.6	1993	5	2	1468	زرند
4.5	3.9	14	33	30.7	56.67	1997	8	5	1805	زرند

کتابنگاری

حافظی مقدس، ن.، 1380- مطالعه اثرات ساختگاهی و حرکات شدید زمین لرزه ها در شرق ایران، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، گرایش زمین شناسی مهندسی

حافظی مقدس، ن.، کمک پناه، ع.، جعفری، م.، و قائم مقامیان، م. ر.، 1382- روابط کاهیدگی شتاب افقی زمین لرزه ها در شرق ایران، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

حافظی مقدس، ن.، (1380)، کمک پناه، ع.، (1381)- ارزیابی اثر ناپیوستگی موهو در تقویت امواج لرزه ای در شرق ایران. مجموعه مقالات بیست و یکمین کنفرانس زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی کشور

رمضی، ح. ر.، 1376- داده های پایه شتابنگارهای شبکه شتابنگاری کشور، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره 256.

References

- Boore, D. M., Joyner, W. B., Oliver, A. A. & Page R. A., 1980-Peak acceleration, velocity and displacement from strong motion records, Bull. Seism. Soc. Am. 70, 305-321.
- Campbell, K. W., 1981- Near-source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 2039-2070.
- Campbell, K. W., 1990- Empirical prediction of Near-source Soil and Soft Rock Ground Motion for the Diablo Canyon power plant site, San Luis Obispo, California, prepared for Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, c.A.



- Campbell, K.W. ,1997- Empirical Near-Source Attenuation Relationships for Horizontal to Vertical Components of Peak Ground Acceleration, peak Ground Velocity, and Pseudo-Absolute Acceleration Response Spectra. *Seismological Research Letters*, vol. 68(1),pp. 154-179.
- Campbell, K.W. & Bozorgnia, Y., 1994- Near-source attenuation of peak horizontal acceleration from worldwide accelerograms recorded from 1957 to 1993, *Proceedings, Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California, vol 1, pp. 283-292.
- Fokushima, Y. & Tanaka, T., 1990- A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong earthquake Ground Motion in Japan." *Bull. Seis. Soc. Am.*, vol. 80, No. 4, pp. 757-777.
- Fukushima, Y. & Midorikawa, S. , 1993- Prediction of velocity response spectra for seismic motions in and on rock site considering nonlinear scaling of Mw² term, *Journal of Struct. Constr. Eng., AIJ*, 447, 39-49.
- Feuze, F. et al, 2004- Estimating site-specific strong earthquake motions. *Soil dynamics and earthquake Engineering*. Vol 24. 199-223.
- Joyner, W.B. & Boore, D. M. , 1981- Peak horizontal acceleration and velocity from strong motion records from the 1979 Imperial Valley, California, *Earthquake, Bull. Seismo. Soc. Am.*, Vol. 71, No. 6, pp. 2011-2038.
- Joyner, W.B. & Boore, D. M. , 1988- Measurement, Characterization, and Prediction of Strong Ground Motion, *proceedings, Earthquake Engineering and soil Dynamics II- Recent advances in ground motion evaluation*, ASCE, Geotechnical special publication No. 20, pp. 43-102.
- Joyner, W.B. & Boore, D. M. , 1993- Methods for Regression Analysis of Strong-Motion data. *Bull. Seis. Soc. Am.*, vol. 83, No. 2, pp. 469-487.
- Lawson, C.L., & Hanson, R. J. , 1974- *Solving Least Square Problems*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Molas, G.L. & Yamazaki, F. , 1995- Attenuation of earthquake ground motions in Japan including deep focus events, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, PP.1343-1358.
- Ohno, S., Ohta, T., Irekura, T. & Takemura, M. , 1993- Revision of attenuation formula considering the effect of fault size to evaluate strong motion spectra in near field, *tectonics*, 218, 69-81.
- Ramazi, H.R. , 1997- Basic accelerograms data of the Iranian Accelerograph Network. *Building & Housing Research Center*, Rep. 256.
- Sadigh, K., 1987- Written communication referred in Joyner and Boore (1988).
- Sadigh, K., Chang, C. Y. , Egan, J. A. , Makdisi, F., Youngs, R. R. , 1997- Attenuation Relationships for Shallow Crustal earthquakes Based on California strong Motion Data. *Seismological research Letters*, Vol 68, N. 1,
- Somerville, P.G. & Helemberger, D. V. , 1990- The effect of crustal structure on the attenuation of strong ground motion in eastern north American", *Proc. of fourth U. S. national Conference on earthquake Engineering*, vol. 82, pp. 385-394.
- Zare, M., Ghafory-Ashtiany, M. & Bard, P. Y. , 1999- Attenuation law for the strong motions in Iran, *Third International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, SEE-3, Tehran, Iran*, pp.345-355.

* دانشکده علوم زمین ، دانشگاه صنعتی شاهرود
** گروه عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

*Earth Sciences Faculty, Industrial University of Shahrood

**Civil Engineering Department, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran