



بررسی حداکثر حرکات زمین، مدت دوام حرکات شدید و محتوای فرکانسی زلزله چنگوره - آوج

دکتر محسن تهرانی‌زاده - استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دکتر فرزانه حامدی - استادیار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

چکیده

حداکثر حرکات زمین، مدت دوام حرکات شدید و محتوای فرکانسی از مهمترین خصوصیات زمین‌لرزه‌ها است که در مقابل زلزله تأثیر بسزائی دارد. در مطالعه مدت دوام حرکات شدید زلزله با مروری بر تعریف‌های مختلف مدت دوام، تعریفی که در مطالعات اخیر مورد استفاده قرار گرفته و متنی بر میزان انرژی ورودی به سازه است، انتخاب گردید که بر این اساس مدت دوام ۴۶ شتابنگاشت ثبت شده در زلزله چنگوره - آوج بدست آمده است. سپس اثر پارامترهای مختلف زمین‌لرزه یعنی فاصله تا مرکز زلزله، حداکثر شتاب زمین و مدت کل ثبت شتابنگاشت بر مدت دوام با توجه به مطرح شدن آن در بند (۲ - پ) - ۱-۵-۲ - آین نامه، ۲۸۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله سعی شده است رابطه‌ای نیز میان مدت زمان حرکات شدید و مدت کل ثبت شتابنگاشت ارائه گردد که بتواند راهنمایی برای تعیین شتابنگاشتهای بند مذکور در آین نامه ۲۸۰۰ باشد.

برای بررسی محتوای فرکانسی، چگالی طیفی توان ۱۰ زلزله تعیین و به منظور مقایسه چگالی طیفی توان شتابنگاشتهای مختلف، طیف توان کلیه رکوردها نرماییزه شده است. در این تحقیق با بررسیهای انجام شده بر روی چگالی توانی شتابنگاشتهای زلزله چنگوره - آوج مدل چگالی توزیع احتمال مقادیر حدی (extreme value) برای آنها انتخاب گردیده و براین اساس مقادیر طیف توان محاسباتی میانگین، طیف توان میانگین و پریود غالب رکوردهای مختلف محاسبه شده است.

۱ - مقدمه

برخی از خصوصیات حرکات زمین شامل:

- (الف) حداکثر حرکات زمین (حداکثر شتاب، حداکثر سرعت و حداکثر تغییر مکان زمین)
- (ب) مدت دوام حرکات شدید
- (ج) محتوای فرکانسی

تأثیر عمداتی بر پاسخ سازه در زمین‌لرزه دارند، بطوريکه حداکثر حرکات زمین عمدتاً روی دامنه ارتعاشات اثر می‌گذارد. مدت دوام حرکات شدید تأثیر قابل توجه‌ای بر شدت جنبش و تکان سازه دارد، بنحوی که زمین‌لرزه‌ای که دارای حداکثر شتاب متوسط

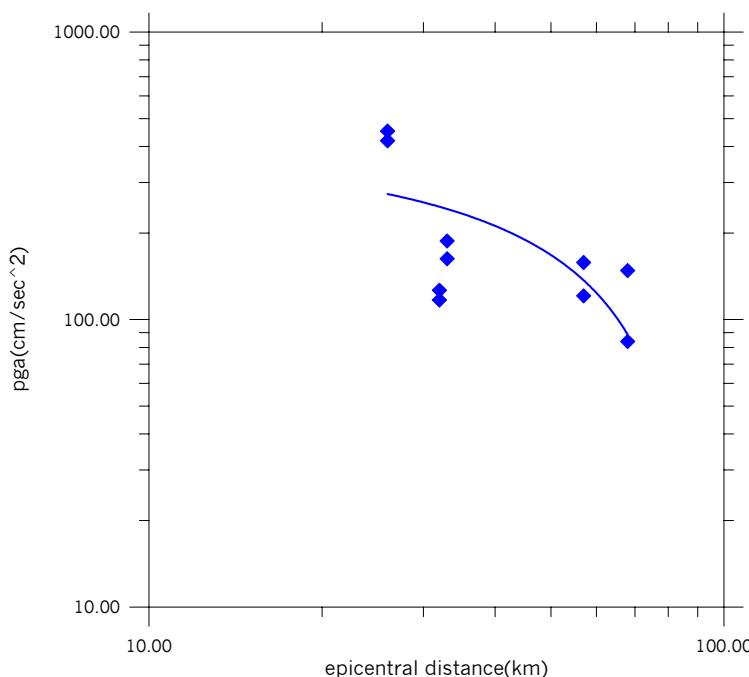
و مدت دوام طولانی باشد خسارات بیشتری از زمین لرزه‌ای با شتاب بزرگتر اما مدت دوام کوتاه‌تر بر جای می‌گذارد. محتوای فرکانسی و شکل طیفی به پریود ارتعاش سازه مربوط می‌شوند. در صورتی که محتوای فرکانسی حرکات و فرکانس‌های ارتعاشی سازه نزدیک به هم باشند، حرکات زمین موجب ایجاد بیشترین تشید در سازه خواهد شد.

۲- بررسی تغییرات حداکثر حرکات زمین

بیشترین مقدار شتاب در شتابنگاشتهای مورد بررسی مربوط به زلزله چنگوره - آوج برابر با $PGA = 452/8 \text{ Cm/sec}^2$ است. این در حالی است که بیشترین مقدار سرعت مربوط به همین شتابنگاشت 25 cm/sec و بیشترین مقدار تغییر مکان نیز مربوط به ایستگاه آب گرم با $4/4 \text{ سانتیمتر}$ می‌باشد.

۲-۱- تاثیر خصوصیات زمین لرزه بر حداکثر حرکات زمین

وابستگی حداکثر شتاب زمین به فاصله تا مرکز زمین لرزه توسط محققین بسیاری بصورت کاهیدگی تعریف شده است. همانطور که از نمودار شکل (۱) مشاهده می‌شود این پارامترها با یکدیگر رابطه لگاریتمی دارند. در این شکل تغییرات حداکثر شتاب زمین با تغییر فاصله تا مرکز مشخص شده است. مشاهده می‌شود با افزایش فاصله تا مرکز زلزله، حداکثر شتاب زمین کاهش می‌یابد.



شکل ۱- تغییرات حداکثر شتاب زمین با فاصله تا مرکز زمین لرزه

۲-۲- رابطه بین حداکثر حرکات زمین

یکی از نکاتی که در تعیین طیف طراحی حائز اهمیت است مشخص ساختن حرکات اوج زمین یعنی شتاب، سرعت و تغییر مکان زمین می‌باشد. معمولاً در هر منطقه با توجه به شرایط زمین‌شناسی و لرزه‌خیزی مقداری به عنوان شتاب مینا تعریف می‌شود. حداکثر سرعت و حداکثر تغییر مکان زمین معمولاً بر اساس حداکثر شتاب زمین تخمین زده می‌شوند. به این منظور در مطالعه حداکثر حرکات زمین سعی می‌شود روابطی بین حداکثر سرعت و حداکثر تغییر مکان با حداکثر شتاب زمین بدست آید.

در این تحقیق مقادیری برای نسبت‌های $\frac{PGV}{PGA}$, $\frac{PGD}{PGV}$, T_1 , T_2 برای شتابنگاشتهای مختلف بدست آمده است.

بعضی از خصوصیات حرکت زمین و طیف پاسخ را مشخص می‌سازد یعنی هرچه مقدار پارامتر یا نسبت $\frac{(PGD)(PGA)}{(PGV)^2}$

این پارامتر بیشتر باشد، طیف پاسخ تیزتر و هر چه کوچکتر باشد طیف پاسخ دارای قسمت تخت وسیعتری است. خواص یاد شده از اعداد بدست آمده در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

جدول ١- مقادیر حداکثر حرکات زمین

	PGA	PGV	PGD	PGV/ PGA	PGD/ PGV	PGD*PGA/ (PGV) ²	T1	T2
L2748-1	116.9	13.3	4.4	0.114	0.331	2.904	0.71	2.07
T2748-1	126.4	9.9	2.4	0.078	0.242	3.103	0.49	1.52
L2749-1	452.8	25	2.5	0.055	0.1	1.818	0.35	0.63
T2749-1	419.2	15.9	4	0.038	0.252	6.632	0.24	1.58
L2754-1	83.9	4.8	1.2	0.057	0.25	4.386	0.36	1.57
T2754-1	148	5.2	0.9	0.035	0.173	4.943	0.22	1.09
L2756-1	162.8	10.9	1.7	0.067	0.156	2.328	0.42	0.98
T2756-1	187.5	9.6	1.2	0.051	0.125	2.451	0.32	0.79
L2781	157.9	9	1.7	0.057	0.189	3.316	0.36	1.19
T2781	120.9	6	0.8	0.050	0.133	2.660	0.31	0.84

پارامترهای $\frac{PGV}{PGA}$, $\frac{PGD}{PGV}$ در تعیین زمان تناوبهای مربوط به نواحی کنترل شتاب، سرعت و تعییر مکان نقش دارند. در صورتی که طیف سه جانبی در نظر گرفته شود، قسمت شبیدار سمت چپ نشان دهنده شتاب ثابت زمین است و خطی با رابطه زیر بدست می‌آید.

$$LogS_V = LogT + Log \frac{S_a}{2\pi}$$

نقطه تقاطع این خط شیبدار با خط افقی S_V دارای زمان تناوب

$$T_1 = 2\pi \frac{PGV}{PGA}$$

می باشد و همین ترتیب نقطه تقاطع خط شیب دار سمت راست با خط افقی دارای زمان تناب

$$T_1 = 2\pi \frac{PGD}{PGV}$$

است. با دقت در مقادیر $\frac{PGV}{PGA}$, $\frac{PGD}{PGV}$ مشاهده می‌شود که پارامتر $\frac{PGV}{PGA}$ به منظور سرعت اوج حرکات زمین از روی شتاب حداکثر کاربرد دارد. محرز این مقدار را حدود 0.062 ثانیه برای سنگ و 0.124 ثانیه برای خاک نرم محاسبه کرده است. سید و ایدریس تقریباً مشابه همین ارقام را بدست آورده‌اند. در این مقایسه متوسط این مقدار 0.076 ثانیه بدست آمده است که نسبت به زلزله‌های آمریکا کوچکتر می‌باشد. کوچکتر بودن این مقدار نشان دهنده آن است که شکل طیف پاسخ این زلزله به سمت محور قائم نزدیکتر است.

۳- تغییرات مدت دوام شتابنگاشت‌ها

۳-۱- تعریف زمان دوام حرکات شدید

روشهای متفاوتی در رابطه با تعیین مدت زمان دوام حرکات شدید با استفاده از خصوصیات و پارامترهای مؤثر شتابنگاشت زمین لرزه وجود دارد. روشهایی که تعریف زمان دوام حرکات شدید را با استفاده از خصوصیات شتابنگاشتهای ثبت شده زمین لرزه‌ها مطرح می‌کنند می‌توان به سه دسته تقسیم نمود.

ساده‌ترین تعریف زمان دوام، زمان دوام برابر (bracketed duration) است که در این تعریف فاصله زمانی بین اولین و آخرین مرتبه‌ای که شتاب حرکات زمین از یک مقدار معین بیشتر می‌شود بعنوان مدت زمان زلزله تلقی می‌گردد. در این رابطه «پیج» و همکاران، ۱۹۷۲ مدت زمان زلزله را بر اساس شتاب آستانه 5% در نظر می‌گیرند. در این تعریف شکل رکورد در قسمت حرکات شدید به هیچ وجه لحاظ نشده و ممکن است دو زلزله کاملاً متفاوت با یک شتاب آستانه یکسان یک زمان دوام برابر را نتیجه دهند.

گروه دوم تعاریف که خصوصیات کلی رکورد را در نظر می‌گیرد، مدت زمان یکنواخت نامیده می‌شود. این مدت زمان جمع فواصل زمانی است که شتاب از یک مقدار معین بیشتر می‌شود. بولت (۱۹۷۳) این تعریف را با دو مقدار آستانه 5% و 10% مطرح نموده است.

اساس دسته سوم از تعریفها، توزیع تجمعی انرژی زلزله که با استفاده از شتابنگاشت تعیین می‌گردد، است. این تعریف مدت زمان معنی دار (significant) خوانده می‌شود. مدت زمان معنی دار بر اساس انتگرال مربع شتاب زمین محاسبه می‌شود. در اکثر این تعریفها از شدت آریاس (Arias) استفاده شده که شدت آریاس بصورت :

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^T a^2(t) dt$$

می‌باشد. در این رابطه $a(t)$ شتاب در زمان t بوده که توسط رکورد شتابنگاشت مشخص می‌شود و I_A نشان دهنده میزان انرژی وارد بر سازه می‌باشد. نمودار تغییرات شدت آریاس بر حسب زمان را نمودار «هیوسید» (Husid) می‌نامند.

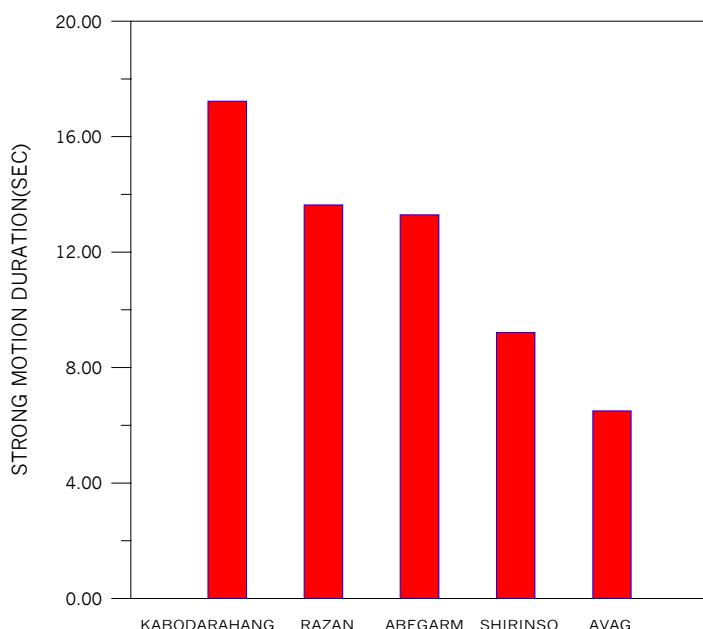
زمان دوام معنی دار بصورت فاصله زمانی که درصد معینی از شدت آریاس را شامل می‌شود تعریف می‌گردد. این درصد توسط محققین مختلف بصورتهای متفاوتی در نظر گرفته شده است. متداولترین آنها تعریفی است که «تریفناک» و «برادی» بر اساس فاصله زمانی بین 5% تا 95% شتاب آریاس ارائه نموده‌اند.

۳-۲- زمان دوام حرکات شدید شتابنگاهای زلزله چنگوره - آوج

در این تحقیق تعداد ۱۰ مورد از رکوردهای ثبت شده زلزله چنگوره - آوج مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات این رکوردهای پردازش شده بوده، و از مؤلفه‌های طولی (L) و عرضی (t) رکوردهای دارای بیشینه شتاب بیشتر از 50 گال استفاده شده است.

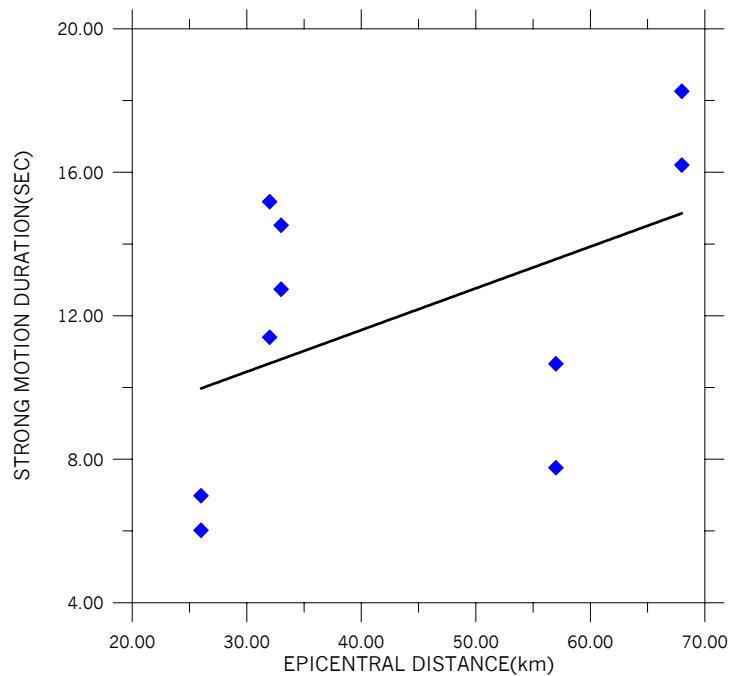
محدوه بیشینه شتابنگاهای بین $83/9$ تا $83/8$ گال، فاصله تا مرکز زلزله از 26 تا 68 کیلومتر، بزرگای $M_w=6.5$ و مدت ثبت رکورد شتابنگاشت از $44/78$ تا $66/71$ ثانیه را در بر می‌گیرند.

به منظور تعیین زمان دوام شتابنگاشتهای انتخاب شده یک برنامه کامپیوتری تهیه گردیده است و مدت حرکات شدید با توجه به زمان دوام معنی‌دار و بر اساس تعریف تریفناک و برادی تعیین گردیده است. در این برنامه ابتدا شدت کل شتابنگاشت محاسبه شده و زمانهای مربوط به ۹۵٪ کل شدت تعیین گردیده و بعنوان زمان شروع و پایان حرکات شدید ثبت می‌شود. سپس مدت دوام حرکات شدید از اختلاف این دو مقدار محاسبه می‌گردد. نمودار شکل (۲) مدت دوام حرکات شدید زلزله چنگوره - آوج را در ۵ ایستگاه، از مقدار حداقل آن که مربوط به ایستگاه کبوتر آهنگ است تا کمترین ایستگاه که مربوط به آوج است نشان می‌دهد.



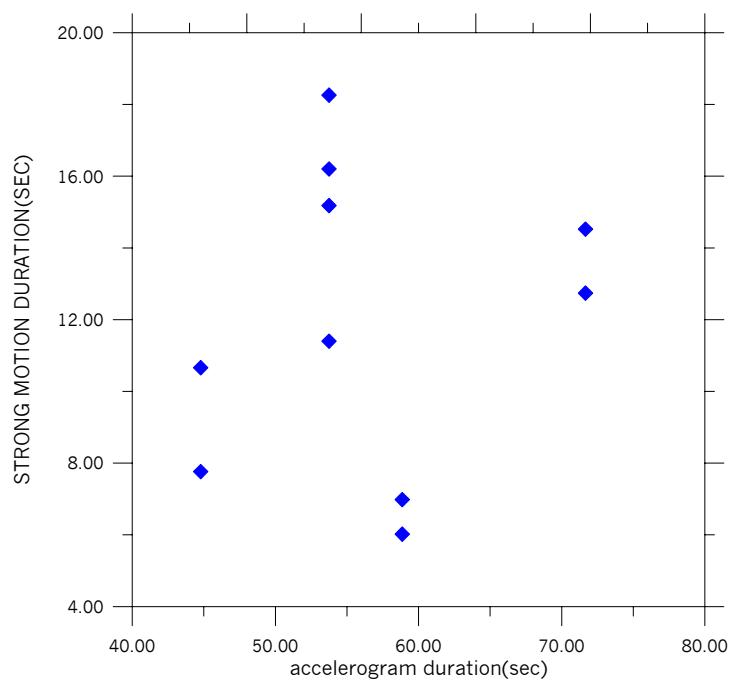
شکل ۲- زمان دوام حرکات شدید در ایستگاههای مورد بررسی

در شکل (۳) نمودار تغییرات زمان دوام مؤثر بر حسب فاصله تا مرکز زلزله نشان داده شده است. نقاط مشخص شده در شکل مربوط به ۱۰ رکورد مورد بررسی و بدون توجه به نوع خاک می‌باشد. مشاهده می‌شود با افزایش فاصله از مرکز زلزله زمان دوام حرکات شدید افزایش می‌یابد.

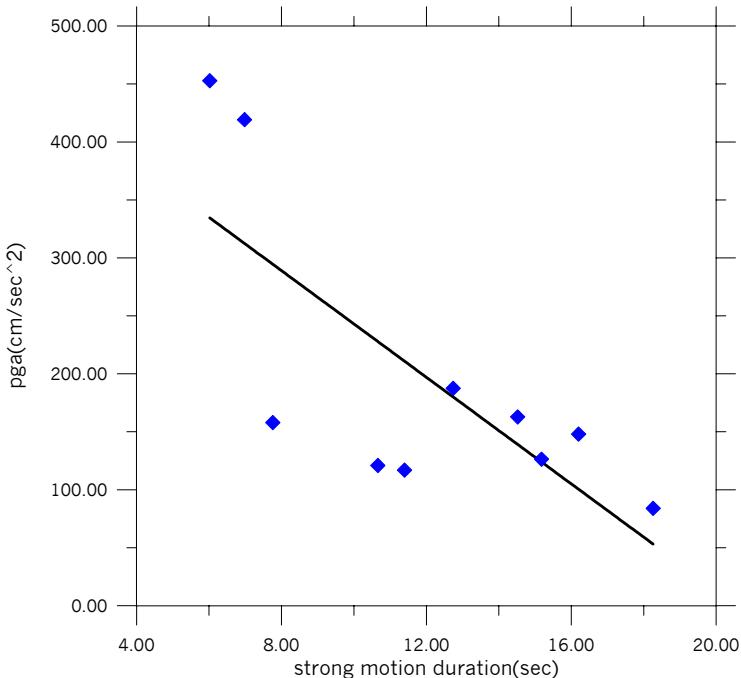


شکل ۳- تغییرات زمان دوام زلزله بر حسب فاصله تا مرکز زلزله

اشکال (۴ و ۵) تغییرات مدت دوام زلزله را با توجه به مدت ثبت حرکات و نیز PGA هر رکورد مشخص می‌سازد.



شکل ۴- تغییرات مدت دوام زلزله بر حسب مدت ثبت حرکات



شکل ۵- تغییرات مدت دوام زلزله بر حسب حداقل شتاب زمین

۴- محتواهای فرکانسی شتابنگاشت‌های زلزله چنگوره - آوج

در تئوری ارتعاشات تصادفی می‌توان فرآیند تصادفی زلزله را بصورت مجموعه‌های از اجزایی با مدت زمان محدود از یک تابع تصادفی مانا با چگالی طیفی توان ($G(\omega)$) در نظر گرفت؛ این تعبیر در عین سادگی بسیار مفید است. در این حالت می‌توان نتایج با اهمیتی که از تحلیل دینامیکی احتمالاتی مانا بدست آمده است را برای حرکات زمین‌لرزه نیز بکار برد. البته باید خصوصیات گذراي زلزله از جمله محدود بودن زمان تداوم زلزله و داشتن زمان شروع ناگهانی در نظر گرفته شود. انتگرال $G(\omega)$ در محدوده فرکانس برابر با متوسط کل توان می‌باشد که در حقیقت واریانس شتاب زمین و یا پاسخ یک سیستم خطی است. برای یک فرآیند مقدار واریانس برابر است با :

$$\sigma^2 = \int_0^\infty G(\omega) d\omega$$

برای $G(\omega)$ مدل‌های متفاوتی ارائه شده است. از جمله مدل «طیف سفید باند محدود» که برای تمام فرکانسها در محدوده بین ω_0 تا ω_0 مقدار ثابتی را در نظر می‌گیرد.

$$G(\omega) = \begin{cases} G_0 & 0 \leq \omega \leq \omega_0 \\ 0 & \omega > \omega_0 \end{cases}$$

در این صورت واریانس برابر خواهد بود با :

$$\sigma^2 = G_0 \omega_0$$

مدل دیگری که برای $G(\omega)$ معمولاً استفاده می‌شود مدل کانای تاجیمی (Kanai- Tajimi) می‌باشد. در این مدل صورت زیر تعریف می‌شود:

$$G(\omega) = \frac{\left[1 + 4\xi_g^2 (\omega / \omega_g)^2\right] G_0}{\left[1 - (\omega / \omega_g)^2\right]^2 + 4\xi_g^2 (\omega / \omega_g)^2}$$

در این رابطه ω_g و G_0 پارامترهای کانای - تاجیمی هستند که در قسمت بعد توضیح داده می‌شود.
برای این مدل مقدار واریانس برابر خواهد بود با :

$$\sigma^2 = \frac{\pi G_0 \omega_g}{4\xi_g} (1 + 4\xi_g^2)^{\frac{1}{2}}$$

معمولًا برای بررسی محتوای فرکانسی حرکات زمین ازتابع چگالی طیفی نرمالیزه استفاده می‌شود که بصورت

$$G^*(\omega) = \frac{1}{\sigma^2} G(\omega)$$

تعريف می‌شود و توزیع تجمعی این تابع بصورت زیر است:

$$F^*(\omega) = \int_0^\omega G^*(\omega) d\omega$$

هنگامی که (۱) بین 0 تا ∞ تغییر می‌کند این تابع بین 0 تا 1 خواهد بود. نکته قابل توجه در اینجا شباهت میان تابع چگالی طیفی نرمالیزه شده و تابع توزیع احتمال یک متغیر راندم است. هر دوی این توابع غیرمنفی و دارای مساحت واحد هستند. گشتاورهای تابع چگالی طیفی ($G(\omega)$) بصورت زیر تعریف می‌شوند :

$$\lambda_i = \int_0^\infty \omega^i G(\omega) d\omega = \sigma^2 \int_0^\infty \omega^i G^*(\omega) d\omega = \sigma^2 \lambda_i^*$$

که در آن λ_i^* امین گشتاور چگالی طیفی با سطح واحد است. واضح است که $\lambda_0^* = 1, \sigma^2 = \lambda_0^*$ می‌باشد. برای مشخص کردن تمرکز طیف در طول محور فرکانس از پارامتری بصورت (۲) استفاده می‌گردد که فرکانس مرکزی نامیده می‌شود و بصورت زیر تعریف شده است

$$\ddot{u}_r = \sqrt{\left(\ddot{e}_2 / \ddot{e}_0\right)} = \sqrt{\ddot{e}_2^0}$$

این پارامتر مشابه جذب میانگین مربع یک متغیر راندم است. کمیت ساده دیگری که برای اندازه‌گیری گستردگی و توزیع تابع چگالی طیفی حول فرکانس مرکزی تعریف می‌گردد، ضریب شکل نام دارد که برابر است با

$$\sigma = \sqrt{(1 - \lambda_1^2 / \lambda_0 \lambda_2)} = \sqrt{(1 - \lambda_1^* / \lambda_2^*)}$$

این پارامتر بدون بعد است و همیشه بین 0 و 1 خواهد بود و با افزایش عرض باند این کمیت نیز افزایش می‌یابد. در بررسی شباهت بین ($G(\omega)$) و تابع چگالی یک متغیر راندم، δ معادل نسبت انحراف معیار به جذب میانگین مربع است. در صورتیکه ($G(\omega)$) دارای دو یا چند مقدار اوج باشد که با فاصله از هم قرار دارند مقدار δ بزرگ خواهد بود. دو پارامتر α و δ توصیف خوبی از ($G^*(\omega)$) در حوزه فرکانس است.

۳-۴- چگالی و تعیین پارامترهای مدل کانای - تاجیمی و مدل مقادیر حدی

کانای و تاجیمی یک مدل ریاضی سه پارامتری برای چگالی طیفی توان صاف شده زلزله‌ها پیشنهاد کرده‌اند که پارامترهای آن G_0 , ω_g , α , β بترتیب شدت، میرایی و فرکانس زمین خوانده می‌شوند و مقادیر G_0 , ω_g , α , β مشخص کننده طیف توان در فرکانس صفر و فرکانس متناظر حداکثر طیف توان می‌باشند. این مدل بطور گستردگی در مهندسی زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق با تهیه یک برنامه کامپیوتری مقادیر پارامترهای کانای - تاجیمی محاسبه شده است.

تابع توزیع مقادیر حدی مدل مناسبی برای چگالی طیفی توان صاف شده و زلزله‌های ایران است، این مدل بصورت دو پارامتری بوده و رابطه تابع بصورت زیر است .

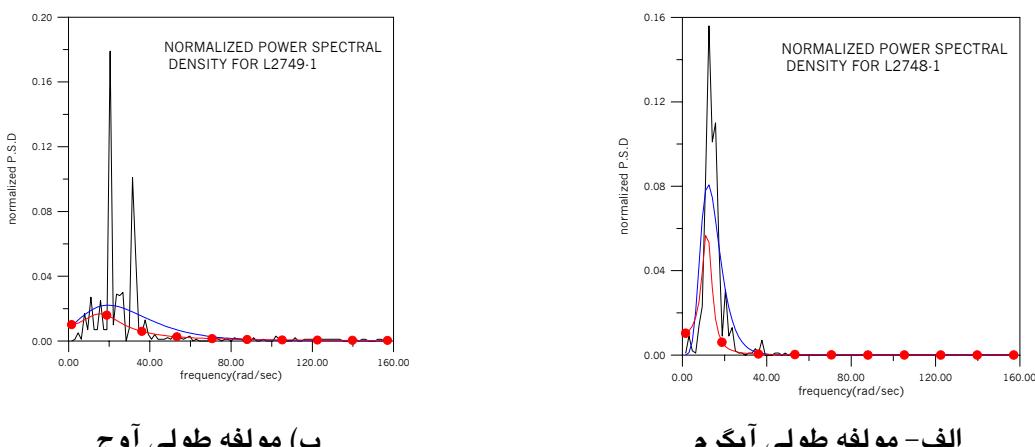
$$G(\omega) = \alpha e^{-\alpha(\omega-\beta)} - e^{-\alpha(\omega-\beta)}$$

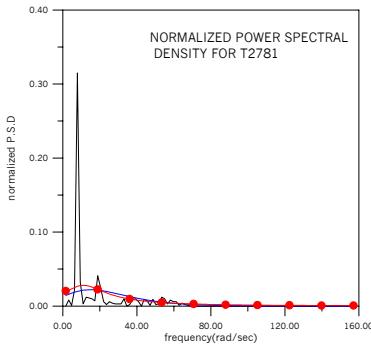
در شکل ۶ نمودارهای چگالی طیفی توان نرماییزه شده چهار شتابنگاشت زلزله چنگوره- آوج با نمودار تابع کانای- تاجیمی و مدل مقادیر حدی مقایسه شده است.

۲-۴- فرکانس مرکزی

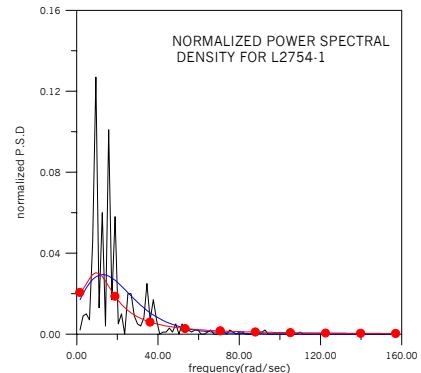
مقدار فرکانس مرکزی برای شتابنگاشتهای زلزله چنگوره- آوج بین ۱۵/۹۳ تا ۵۶/۹۳ رادیان بر ثانیه می‌باشد در نتیجه زمان تناوب غالب شتابنگاشتهای یاد شده بین ۰/۱۷ تا ۰/۳۹۴ ثانیه است. فرکانس مرکزی، ضریب شکل و زمان تناوب غالب برای ده شتابنگاشت مورد بررسی در جدول (۲) آمده است.

میانگین پریود غالب شتابنگاشتهای این زلزله ۰/۲۳۶ ثانیه است که در مقایسه با مقدار زمان تناوب غالب بدست آمده برای ۱۰۶ رکورد زلزله ایران که ۰/۱۴ ثانیه بوده بیشتر و نسبت به رکوردهای دیگر مناطق جهان از جمله ۱۶۱ مورد مربوط به ایالات متحده آمریکا که مقدار ۰/۲۱ ثانیه می‌باشد تفاوت چشمگیری ندارد.





د) مولفه عرضی شیرین سو



ج) مولفه طولی کبود آهنگ

شکل ۶- چگالی طیفی توان نرمالیزه شده برای چهار شتابنگاشت

جدول ۲ فرکانس مرکزی، ضریب شکل و زمان تناوب غالب

شتتابنگاشتهای مورد بررسی

	فرکانس مرکزی	ضریب شکل	زمان تناوب غالب
L2748-1	15.93	0.37	0.394
T2748-1	17	0.40	0.370
L2749-1	36.93	0.60	0.170
T2749-1	35.52	0.53	0.176
L2754-1	26.5	0.64	0.237
T2754-1	30.61	0.56	0.205
L2756-1	26.5	0.64	0.237
T2756-1	30.88	0.55	0.203
L2781	34.14	0.59	0.184
T2781	34.52	0.67	0.182

۳-۴- ضریب شکل و پهنهای باند فرکانسی شتابنگاشتها

کمیت دیگری که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است ضریب شکل بوده که برای هر یک از رکوردها براساس تعییفی که برای ضریب شکل می‌شود مقادیر آنها بدست آمده و در ستون سوم از جدول (۲) آورده شده است. ضریب شکل نشان دهنده پراکندگی فرکانسی‌های تحریک نسبت به فرکانس مرکزی است. ضرایب شکل بدست آمده برای ۱۰ رکورد مورد بررسی بین ۰/۳۷ تا ۰/۶۷ می‌باشد.

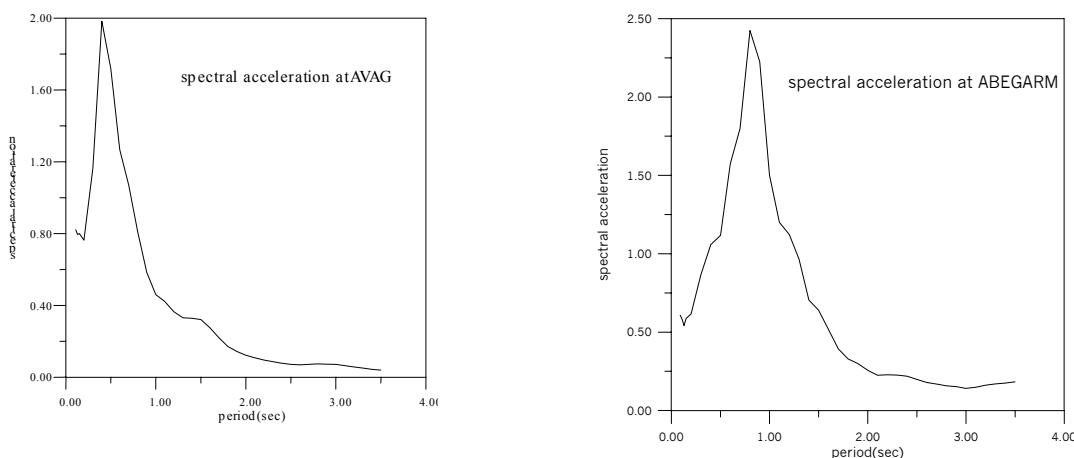
تحقیقات نشان می‌دهد که مقادیر ضریب شکل با سختتر شدن خاک کاهش می‌یابد [۱۵] برای سنگ و خاک سخت، ارتعاش زمین مقادیر فرکانسی‌های محدودی را شامل می‌شود، به همین دلیل محتوا فرکانسی باند بار یک بوده و در حول فرکانس مرکزی تمرکز دارد. اما برای خاک سخت مقداری بزرگ بوده و ارتعاش زمین فرکانسی‌های زیادی را شامل می‌شود و فرآیند تقریباً به صورت باند پهن است. از بین شتابنگاشتهای در نظر گرفته شده زلزله‌های ثبت شده در ایستگاه شیرین سو دارای

بیشترین مقدار متوسط ضریب شکل ($0/67$) است که نشان دهنده نرم بودن خاک این ایستگاه می‌باشد. در مرجع [11] فرآیندهایی که ضریب شکل آنها کوچکتر از $0/315$ می‌باشد باند باریک، فرآیندهایی با ضریب شکل بزرگتر از $0/561$ باند پهن و فرآیندهایی بین این دو حد باند متوسط تعریف شده‌اند. با توجه به این دسته‌بندی پنج مورد از شتابنگاشتهای ثبت شده باند متوسط و پنج مورد باند پهن بوده‌اند که البته رکوردهای باند متوسط نیز خیلی نزدیک به حالت باند پهن یعنی با ضریب شکل نزدیک $0/561$ هستند.

۵- تعیین طیف پاسخ شتابنگاشتهای زلزله چنگوره-آوج

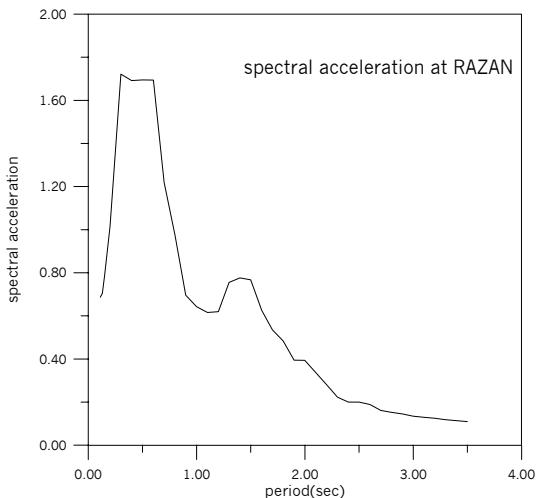
طیف پاسخ وسیله‌ای مناسب برای بیان پاسخ یک سازه به تحریک زمین‌لرزه می‌باشد که در مهندسی زلزله و طراحی لرزه‌ای سازه‌ها کاربرد دارد. طیف پاسخ رکوردهای ثبت شده از یک زلزله معین تفاوت‌هایی چه از نظر شکل طیف و چه مقادیر طیفی با هم خواهند داشت. این تفاوت‌ها به عوامل متعددی از جمله فاصله تا مرکز زلزله، عمق کانونی، شرایط زمین ساختی و تغییرات آن در مسیر انتقال انرژی زلزله، بزرگای زلزله و شرایط خاک در محل ایستگاه دارد. طیف پاسخ به صورت طیفهای سه جانبه یا طیف شتاب مطرح می‌شوند.

در این مقاله برای ده شتابنگاشت مورد بررسی طیف پاسخ شبه شتاب محاسبه شده و میانگین طیف پاسخ مولفه‌های طولی و عرضی مربوط به هر ایستگاه محاسبه گشته و نمودار آن رسم گردیده است. در شکل (۷) طیفهای پاسخ میانگین محاسبه شده برای هر ایستگاه آورده شده است. شکل (۸) نیز این مقادیر در یک نمودار مقایسه شده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد که با سست شدن نوع خاک نمودار طیف پاسخ پهن با توجه به طیفهای بدست آمده مشخص می‌شود که ایستگاه‌های شیرن‌سو و زرن دارای خاک سست بوده، و سه ایستگاه دیگر دارای خاک متوسط تا سخت می‌باشند.

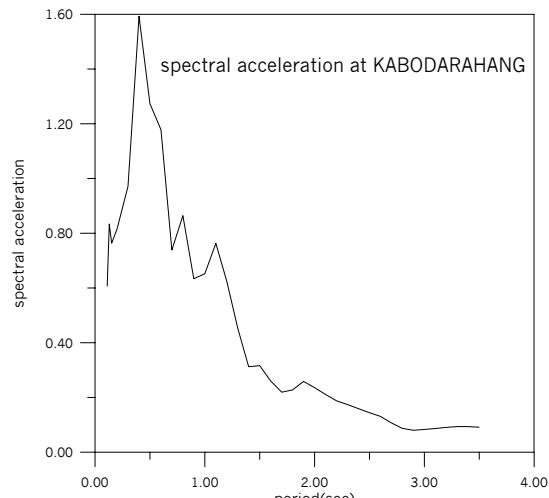


ب) آوج

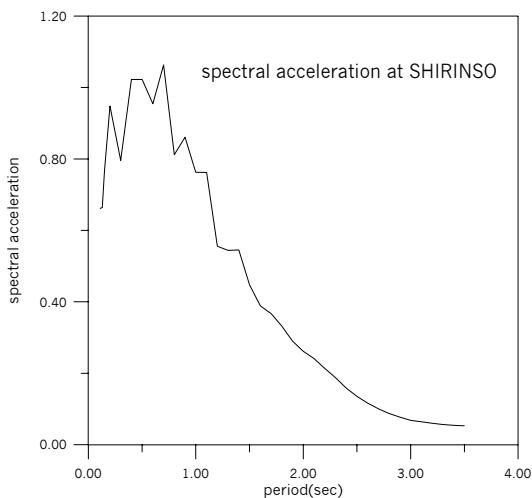
الف) آبگرم



د) رزن



ج) کبودر آهنگ



ه) شیرین سو

شکل ۷- طیف پاسخ شبه شتاب برای ایستگاههای مورد بررسی

۶- نتیجه‌گیری

- ۱- میانگین نسبت حداکثر سرعت زمین به حداکثر شتاب زمین در شتابنگاشتهای مورد بررسی 0.60 ± 0 ثانیه می‌باشد. که در مقایسه با مقدار متوسط بدست آمده برای زلزله‌های ایران کمی بزرگتر می‌باشد و نشان می‌دهد که نوع خاک در ایستگاههای ثبت شده در این زلزله به خاک نرم نزدیک می‌باشد.
- ۲- نمودار تغییرات حداکثر شتاب زمین با فاصله تا مرکز زلزله نشان می‌دهد که با افزایش فاصله حداکثر شتاب زمین بطور لگاریتمی کاهش می‌یابد.
- ۳- مدت دوام حرکت شدید برای ده شتابنگاشت مورد بررسی دارای مقدار $11/97$ ثانیه است. با مقایسه این مقدار با مقادیر بدست آمده برای دیگر شتابنگاشتهای ایران مشاهده می‌شود که مدت دوام حرکات شدید این زلزله بزرگ بوده و بزرگ بودن مقدار دوام حرکات شدید نیز مشخص می‌سازد که ایستگاههای ثبت این زلزله دارای خاک نرم می‌باشند.

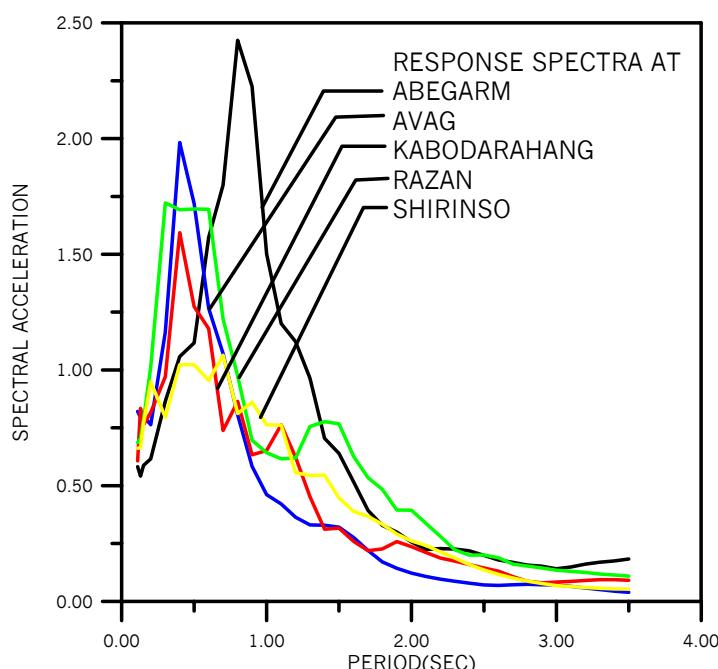
۴- میانگین مدت ثبت شتابنگاشت برای ده شتابنگاشت مورد بررسی ۵۶/۵۶ ثانیه است که مدت دوام حدود ۲۱٪ این مقدار می‌باشد که در مقایسه با مقدار بدست آمده برای دیگر زلزله‌های ایران که در مراجع دیگر ۳۸۸٪ بدست آمده است کمتر بوده یعنی در این زلزله کسر کوچکتری از کل زمان ثبت مربوط به حرکات شدید بوده است.

۵- نسبت مشخصی میان حداکثر شتاب زمین و مدت دوام حرکات شدید برای شتابنگاشتهای مورد بررسی مشاهده نمی‌شود.

۶- میانگین زمان تناوب غالب در شتابنگاشتهای مورد بررسی ۲۳٪ ثانیه است که نسبت به متوسط این مقدار برای زلزله‌های ایران مقدار بزرگتری می‌باشد و نشان دهنده سست‌تر بودن خاک در ایستگاه‌های ثبت این شتابنگاشتهای بوده و اثر شدید این زلزله با ساختمانهای ۲ تا ۳ طبقه می‌باشد.

۷- شتابنگاشتهای ثبت شده از این زلزله دارای باند فرکانسی پهن بوده که البته با توجه به سست بودن خاک محل ایستگاهها مورد انتظار می‌باشد.

۸- مقادیر طیف شتاب برای رکوردهای مورد بررسی نشان می‌دهد که مقدار ضریب بازتاب ۲/۵ برای این زلزله مقدار مناسبی بوده است.



شکل ۸- مقایسه طیفهای پاسخ شبیه شتاب برای ایستگاههای مورد بررسی

۷- مراجع

- 1- Bolt, B.A. (1969) "Duration of Strong Motion", Proc. 4th World Conf. Earthq Eng., 1304- 1315, Santiago, Chile.
- 2- Bommer, J.J., Martinez Pereira, A. (1999) "The Effective Duration of Earthquake Strong Motin", Journal of earthquake Engineering, 3, 127- 172.

- 3- Hernandez B., Cotton, F., (2000), "Empirical Determination of the Ground Shaking Duration Due to an Earthquake Using Strong Motion Accelerograms for Engineering Applications", preceeding 12 WCEE, paper No 2254.
- 4- Lai, S.P. (1982). "Statistical Characterization of Strong Motions Using Power Spectral Density Function", Bull. Seism. Soc. Am. 72, 259- 274.
- 5- Page, R.A., Boore, D.M., Joyner, W.B., Caulter, H.W. (1972), "Ground Motion Values for use in the Seismic Design of the Trans- Alaska Pipeline System, USGS Circular 672.
- 6- Reinose, E., Ordaz, M., Guerroro, R. (2000), "Influence of Strong Motion Duration in Seismic Design of Structures", Proceeding 12 WCEE, paper No 1151.
- 7- Tehranizadeh, M., Hamedi, F. (1999), "Effect of Earthquake Source Parameters in Iran's Earthquakes Duration", Proceeding of 9th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 9- 12 Aug, Bergen, Norway.
- 8- Tehranizadeh, M., Hamedi, F. (2000), "Influence of Effective Duration of Strong Motion on Elastic Response Spectra", Proceeding of 12 WCEE No 1234.
- 9- Tehranizadeh, M., Hamedi, F. (2001), "Influence of Earthquake Source Parameters and Damping on Elastic Response Spectra", Proceeding 4th International Conference on Recent Avances in Geotechnical Earthquake Engineering and soil Dynamics, san Diego, CA, March 26- 31.
- 10- Trifunac, M.D, Novikova, E.I., (1995), "Duration of Earthquake fault motion in california", Earthquake Eng an structural Dynamics, 24 (6) 781- 799.
- 11- Vanmarcke, E.H. (1986), "Structural Response to Earthquakes", Seismic Risk and Engineering Decision Eds. C.Lomnitz and E.Rosenblueth, Elsevier Amsterdam.
- ۱۲- تهرانیزاده، محسن- حامدی، فرزانه (۱۳۷۸)، "تعیین مدت دوام زلزله‌های ایران و ارتباط آن با پارامترهای مختلف، سومین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله"، تهران، اردیبهشت ۱۳۷۸
- ۱۳- تهرانیزاده، محسن و حامدی، فرزانه (۱۳۷۸)، "بررسی اثر نوع خاک، مدت دوام و بزرگای زمین لرزه بر طیف پاسخ"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس علمی- تخصصی مهندسی راه و ساختمان ایران، تهران، مهر ماه ۱۳۷۸
- ۱۴- تهرانیزاده، محسن و حامدی، فرزانه (۱۳۷۹)، "چگالی طیفی توان و محتوای فرکانسی زلزله‌های ایران"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران" اردیبهشت ۱۳۷۹، مشهد.
- ۱۵- حامدی، فرزانه (۱۳۷۸)، "بررسی شتابنگاشتهای زلزله‌های ایران جهت تعیین طیف طراحی"، پایان نامه دوره دکتری عمران، استاد راهنمای دکتر محسن تهرانیزاده، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- ۱۶- حامدی، فرزانه، تهرانیزاده، محسن (۱۳۸۱)، "بررسی حداقل حرکات زمین، مدت دوام حرکات شدید و محتوای فرکانسی زلزله‌های ایران"، نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر، بهار ۱۳۸۱.