

تحلیل طیفی موج برشی شتابنگاشتهای زلزله قشم

(خلیج فارس) ۲۰۰۵ برای برآورد پارامترهای چشمه و کاهیدگی محیط

نوشته: حبیب رحیمی* دکتر نصرالله کمالیان* حسین حمزه لو**

Spectral Analysis of Shear Waves Acceleration Recorded in the Qeshm Earthquake (Persian Gulf) 2005 for Estimate Source Parameters and Environment Attenuation

By: H. Rahimi*, N. Kamalian. N* & H. Hamzeloo **

&Dr.M.Vosooghi Abedini

چکیده

زلزله قشم در ۶ آذرماه سال ۱۳۸۴ با بزرگی $M_L=5.6$ و $m_b=6.2$ در ۴۴ کیلومتری جزیره قشم در خلیج فارس و ۵۷ کیلومتری جنوب باختری بندر عباس رخ داد و تکان اصلی آن توسط ۱۱ ایستگاه شتابنگاری مرکز تحقیقات مسکن (BHRC) ثبت شد. در این مطالعه، با استفاده از شتابنگاشتهای حرکت نیرومند زمین پارامترهای چشمه، ضریب جذب امواج بسامد بالا و پارامتر افت طیفی، K ، برای ۶ ایستگاه از ۱۱ ایستگاهی که رکوردهای ثبت شده، سیگنال به نوفه خوبی داشتند، تعیین شد. پارامترهای چشمه به روش بهینه سازی غیر خطی بین طیف جا به جایی به دست آمده از طیف شتاب برای هر رکورد، با ترکیب مدل در رفتگی چشمه با یک مدل توانی برای ضریب جذب امواج بسامد بالا به دست آمد. ضریب جذب امواج بسامد بالا با استفاده از مدل کاهیدگی دامنه از رابطه:

$$A(f, r) = G(r) \cdot e^{-\frac{\pi f}{Q\beta}}$$

که $G(r)$ معرف گسترش هندسی است، به دست آمد.

مقدار میانگین برآورد شده برای ضریب جذب، در گستره بسامد (۲-۲۵) هرتز 116 ± 109 به دست آمد و پارامترهای چشمه به صورت

$$M_o = 1.13 * 10^{25} \pm 5 * 10^{24} \text{ dyn-cm}, r = 6.3 \pm 1.17 \text{ Km}, \Delta u = 26 \pm 1.4 \text{ cm}$$

$$\Delta \sigma = 21 \pm 1.2 \text{ bar}, T_d = 4.3 \text{ sec}$$

برآورد شدند.

بزرگی گشتاور از رابطه Kanamori et al. (1975) ($M_w = 5.95 \pm 0.17$)، به دست آمد که سازگاری خوبی با مقادیر به دست آمده توسط دانشگاه هاروارد ($M_w = 5.9$) به روش CMT و سازمان زمین شناسی ایالات متحده ($M_w = 6$) دارد.

کلیدواژه‌ها: پارامترهای چشمه، عامل کیفیت، پارامتر افت طیفی، روش طیفی چشمه، قشم، خلیج فارس.

Abstract

The Qeshm earthquake in 27 November 2005 with magnitude $M_L=5.6$; $m_b=6.2$ occurred in Qeshm Island in the Persian Gulf and the main shock recorded in 11 strong motion acceleration building house research center (BHRC).

In the study, the strong motion records are used to obtain an estimate of source parameters, high frequency attenuation and spectral decay parameter for 6 stations from 11 stations that is good S/N rate.

The source parameters are obtained by fitting the data by a dislocation source model combined with an exponential model for the attenuation. The source parameter estimated is as follow:

$$M_o = 1.13 * 10^{25} \pm 5 * 10^{24} \text{ dyn-cm}, r = 6.3 \pm 1.17 \text{ Km}, \Delta u = 26 \pm 1.4 \text{ cm}$$

$$\Delta \sigma = 21 \pm 1.2 \text{ bar}, T_d = 4.3 \text{ sec}$$

And estimated moment magnitude ($M_w = 5.95 \pm 0.17$) agree well with values obtained previously from Harvard University by CMT method.

The high frequency attenuation obtained using from amplitude spectral method that can be written as $A(f, r) = G(r) \cdot e^{-\frac{\pi f}{Q\beta}}$

that here $G(r)$ is geometrical spreading.

Estimates of path averaged crustal shear wave quality factors give results in the range between 60 - 367, and mean of spectral decay parameters for two horizontal components in the ranges between 0.08 - 0.12 sec.

Keywords: source parameters, attenuation, spectral decay parameter, source spectral method, Qeshm, Persian Gulf.

مقدمه

روش طیفی، و بهینه سازی غیر خطی بین مدل در رفتگی چشمه (Brune, 1970, 1971) و طیف جا به جایی به دست آمده از طیف شتاب مؤلفه‌های افقی، برآورد شد.

مدل در رفتگی چشمه برون (Dislocation source Model)

مدلی که برای در رفتگی چشمه لرزه توسط Brune (1971) برای طیف جا به جایی میدان دور با یک جمله توانی برای تضعیف امواج بسامد بالا ارائه شده به صورت زیر بیان می‌شود:

$$|D(w)| = \frac{2M_0 R_{\theta\phi} C}{4\pi\beta^3 R [1 + (\frac{w}{w_c})^2]} e^{-wR/2Q\beta} \quad (1)$$

که M_0 گشتاور لرزه‌ای، $R_{\theta\phi}$ الگوی تشعشع چشمه زلزله، C عامل کاهشی برای افزایش انرژی در دو مؤلفه افقی ($C = 1/\sqrt{2}$) و Q عامل کیفیت میانگین مسیر (Path averaged Quality factor) برای امواج بسامد بالا، شامل میرایی به واسطه پراکنش و جذب ذاتی است، R تابع گسترش هندسی، β سرعت موج برشی، $w_c = 2\pi f_c$ بسامد گوشه و ρ چگالی مواد پوسته اطراف چشمه لرزه است.

پردازش داده‌ها و تعیین پنجره موج برشی

تکان اصلی زمین لرزه قشم توسط ۱۱ ایستگاه شتابنگاری مرکز تحقیقات مسکن (BHRC) ثبت شده (شکل ۱) که دستگاههای شتابنگار ثبت کننده از نوع آنالوگ SSA-1 و دیجیتال SSA-2 با قدرت تفکیک 12 bits و بسامد طبیعی ۵۰ هرتز با پاسخ بسامدی هموار در بازه (۵۰-۰) هرتز هستند. اثرات مربوط به میرایی و بسامد طبیعی سیستم بر روی نگاشته‌ها اعمال و لذا اثرات دستگاهی از رکوردها حذف شده و مؤلفه شعاعی برای هر ایستگاه بر مبنای مؤلفه‌های افقی ثبت شده تعیین شد.

سپس به روش ارائه شده توسط Kinoshita (1994) برای انتخاب پنجره موج SH، سری زمانی حاصل، $b(n)$ ، توسط فیلتر باترورث باند گذر مرتبه چهار در باند بسامدی (۲۵-۲) هرتز فیلتر و از رابطه ۲ پوش شتاب به دست آمد.

$$e(n) = \{b^2(n) + H^2(b(n))\}^{0.5} \quad (2)$$

روز جمعه ۶ آذرماه سال ۱۳۸۴، زمین لرزه‌ای در جزیره قشم در خلیج فارس رخ داد. تکان اصلی با بزرگی $M_L=5.6$ و $m_b=6.2$ در ساعت ۱۰:۲۲:۱۹ (UTC) و ۱۹:۵۲:۱۹ (PM) رخ داد و مرکز زمین لرزه براساس گزارش سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) در $(26.784N, 55.847E)$ قرار داشته و ژرفای کانونی آن ۱۰ km گزارش شده است.

از نظر زمین ساختی، منطقه قشم جزئی از حاشیه جنوب خاوری ایالت لرزه زمین ساختی زاگرس است. چین خوردگیها و شکستگیها و گنبدیهای نمکی از ساختارهای مهم زمین ساختی جزیره قشم هستند. چین خوردگیها حاصل نیروهای زمین ساختی در فاز نهایی آلی بوده که بجز تاقدیس گورزین با روند محوری شمال باختر - جنوب خاور، سایر تاقدیسها روند خاوری - باختری دارند.

با توجه به قرارگیری جزیره قشم در پهنه لرزه زمین ساختی زاگرس، ویژگیهای لرزه زمین ساختی این ناحیه مشابه مناطق مجاور آن در ایالت لرزه زمین ساختی زاگرس است. این ناحیه با رویداد زمین لرزه‌های با ژرفای کم و بزرگی متوسط بر اثر فعالیت گسلهای معکوس یا رانده با شیب بسیار زیاد مشخص می‌شود. لرزه خیزی این ناحیه را به گسلهای لرزه خیز در پی سنگ پرکامبرین نسبت می‌دهند که تقریباً از ژرفای ۱۰ تا ۱۵ کیلومتری تا ۵۰ تا ۶۰ کیلومتری را به خود اختصاص می‌دهد. وجود پوشش رسوبی با رفتار خمیری مانند سازند نمکی هرمز مانع به سطح رسیدن گسلش سطحی ناشی از رویداد زمین لرزه‌ها در این ناحیه می‌شود.

بیشینه شتاب ثبت شده از تکان اصلی زمین لرزه قشم 326 cm/s^2 در فاصله کانونی ۱۷ km در مؤلفه قائم ایستگاه سوزا می‌باشد. سازوکار زلزله قشم رانندگی با یک مؤلفه ناچیز امتداد لغز، براساس گزارش دانشگاه هاروارد بوده است.

در این مطالعه ضریب جذب امواج لرزه‌ای برشی بسامد بالا از دامنه طیفی مؤلفه‌های افقی شتابنگاشتها به روش رگرسیون خطی (کمترین مربعا) به دست آمده و پارامتر افت طیفی، K ، برای دو مؤلفه افقی از دامنه طیفی شتاب به روش کمترین مربعا تعیین شد و پارامترهای چشمه زلزله به

نمودار لگاریتم دامنه طیفی هر دو مؤلفه افقی رکوردها برحسب بسامد در شکل ۳ آورده شده است. با توجه به روابط زیر:

$$A(f, r) = G(r) \cdot e^{\frac{-\pi f}{Q\beta}} \quad (5)$$

$$G(r) = \begin{cases} 10/r & r < r_0 \\ 10/\sqrt{r \cdot r_0} & r \geq r_0 \end{cases}$$

$$\ln(A(f, r)) = \ln(G(r)) - \frac{\pi f}{Q\beta} \quad (6)$$

برای هر ایستگاه، می‌توان Q را بر مبنای شیب خط برازش داده شده مابین لگاریتم طیف دامنه و بسامد با استفاده از روش کمترین مربعات به دست آورد که نتایج در شکل ۴ و جدول ۱ آورده شده است که مقدار میانگین Q برای ۶ ایستگاه $Q = 166 \pm 109$ به دست آمد.

برای برآورد پارامتر افت طیفی، K ، برای مؤلفه‌های افقی ۶ شتاب نگاشت حاصل از تکان اصلی زمین لرزه قشم که نسبت سیگنال به نوفه خوبی داشتند، از روش پیشنهادی (Anderson & Quaaas (1998) استفاده شد.

برای این منظور، لگاریتم دامنه طیفی هر دو مؤلفه برحسب بسامد در گستره بسامدی ۲۰-۱ هرترز رسم شده و پارامتر افت طیفی بر مبنای

$$\ln(A(f)) = \ln(A_0) - \pi k f \quad f > f_E \quad (7)$$

شیب خط برازش داده شده بین لگاریتم طیف دامنه و بسامد، k براساس رابطه ۷ برای مؤلفه‌های افقی ایستگاه‌ها تعیین شد که در جدول ۱ نتایج مربوطه آورده شده است.

پردازش داده‌ها و برآورد M_0, f_c

برای تعیین پارامترهای چشمه تکان اصلی زمین لرزه قشم، روش بهینه سازی غیر خطی بین مدل در رفتگی چشمه (Brune (1970) و طیف دامنه جا به جایی حاصل از شتابنگاشت‌های زمین لرزه قشم استفاده شد به طوری که ابتدا از بین ۱۱ شتابنگاشت ثبت شده از تکان اصلی زلزله قشم، ۶ ایستگاه ذکر شده در جدول ۱ که نسبت سیگنال به نوفه خوبی داشتند برای برآورد پارامترهای چشمه مورد استفاده قرار گرفت و هر دو مؤلفه افقی اشان با یک فیلتر پایین گذر باترورث مرتبه ۴ با بسامد قطع ۲۵ هرترز، فیلتر شدند.

از رابطه بین طیف شتاب و طیف جا به جایی $|D(\omega)| = \frac{|A(\omega)|}{\omega^2}$ ، طیف جا به جایی دامنه موج برشی برای همه مؤلفه‌های افقی به دست آمد و با استفاده

که $H(b(n))$ تبدیل هیلبرت سری زمانی $b(n)$ است.

سری زمانی $e(n)$ با شروع رسید فاز موج s رفتار صعودی داشته و در انتهای موج s شروع به نزول می‌کند. برای مشخص شدن دقیق انتهای موج s و برآورد آن به صورت خودکار، سری زمانی ریشه میانگین مجموع مربعات یا فزایشی (cumulative root mean square function) از سری زمانی $e(n)$ به صورت زیر به دست آمد.

$$C(l) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^l e^2(k)} \quad (3)$$

زمان رسید موج s ، (T_0) ، برای رکوردها از مؤلفه‌های افقی به صورت تجربی مشخص و زمان انتهای موج s ، (T_e) براساس الگوریتم (Kinoshita, 1994)، زمانی است که سری زمانی $c(n)$ شروع به نزول می‌کند که در شکل ۲ برای مؤلفه افقی ایستگاه سوزا نشان داده شده است.

برآورد سیگنال به نوفه رکوردها

برای برآورد سیگنال به نوفه، ابتدا همه مؤلفه‌های افقی نسبت سیگنال به نوفه‌شان از رابطه:

$$R_{sn} = \frac{s(f)/t_s}{n(f)/t_n} \quad (4)$$

تعیین شده است که $s(f)$ دامنه طیفی پنجره موج s (سیگنال)، $n(f)$ دامنه طیفی پنجره نوفه، t_s طول پنجره زمانی سیگنال برحسب ثانیه و t_n طول پنجره زمانی نوفه برحسب ثانیه است. به دلیل مشخص نبودن رسید موج p ، پنجره نوفه از ۵ ثانیه انتهای رکوردها گرفته شده و رکوردهایی که در بازه بسامدی (۰-۲۵) هرترز نسبت سیگنال به نوفه بالایی داشتند، انتخاب شدند که در شکل ۳ نسبت سیگنال به نوفه این رکوردها برحسب بسامد آورده شده است.

پردازش داده‌ها و تخمین Q و K

برای تعیین پارامترهای چشمه به روش طیفی مقادیر Q یا K برای تصحیح طیف شتاب لازم است که در اینجا هر دو پارامتر مذکور از طیف شتابنگاشت‌های حاصل از تکان اصلی زمین لرزه قشم تعیین می‌شود.

برای برآورد Q هر دو مؤلفه افقی شتاب نگاشت‌ها، تصحیح خط مبنای مرتبه صفر شده و سپس توسط فیلتر باترورث باندگذر مرتبه ۴ با باند بسامدی ۲۵-۲ هرترز فیلتر شدند (Olafsson et al., 1998).

پنجره موج برشی برای رکوردها با استفاده از الگوریتم (Kinoshita (1994) انتخاب و کساین تیپر ۱۰٪ روی آنها اعمال گردیده و سپس محتوای بسامدی موج برشی از طیف فوریه پنجره موج برشی به دست آمد.

روی گسل، $\Delta U = \frac{Mo}{\pi^2 \mu}$ ، $\Delta u = 26 \pm 1.4 \text{ cm}$ حاصل شد. $(\mu = 3.5 * 10^{11} \text{ dyn/cm}^2 \mu = \rho\beta^2)$

با فرض گسل دایره‌ای مدل (Brune (1970)، طول زمانی چشمه $T_d = 4.3 \text{ sec}$ از رابطه $T_d = \frac{2r}{v_r}$ که $v_r = 0.85\beta$ (رعت شکستگی) به دست آمد که با نتیجه به دست آمده از رابطه $T_d = \frac{1}{f_c}$ ($T_d = 4.5 \text{ sec}$) سازگار است (Hanks & McGire, 1981).

نتایج

با توجه به اهمیت برآورد پارامترهای چشمه و محیط در مباحث مهندسی زلزله، در این مطالعه با استفاده از روش بهینه سازی غیر خطی بین دامنه طیفی در رفتگی چشمه و رابطه (Brune (1970) پارامترهای چشمه زمین لرزه قشم به دست آمد که سازگاری خوبی با نتایج به دست آمده از مطالعات قبلی دارد و روش قابل قبولی برای برآورد پارامترهای چشمه است.

مقدار میانگین لگاریتمی بزرگی گشتاور به دست آمده از ۶ ایستگاه ($M_w = 5.95$)، سازگاری خوبی با مقادیر گزارش شده از مراکز USGS ($M_w = 6$) و Harvard ($M_w = 5.9$) دارد.

با توجه به مقدار میانگین ضریب جذب به دست آمده برای ۶ ایستگاه ($Q = 166 \pm 109$)، منطقه قشم در زمره مناطق فعال لرزه خیز جهان قرار دارد و احتمالاً وجود ناهمگنی‌های پخش شده در منطقه علت تغییرات مشاهده شده در مقدار عامل کیفیت است و پارامتر افت طیفی، K ، با توجه به این که برای تک زمین لرزه می‌باشد بیشتر بازتاب کننده اثرات جنس ساختگاه ثبت کننده است که برای ۶ ایستگاه مذکور مقدار K به دست آمده در گسترده $\kappa = 0.08 \text{ sec}$ تا $\kappa = 0.12 \text{ sec}$ می‌باشد.

تغییرات مشاهده شده در مقادیر پارامترهای افت تنش ($\Delta\sigma = 21 \pm 1.2 \text{ bar}$)، شعاع گسلش و ... بیشتر از تغییرات بسامد گوشه شتابنگاشتها حاصل می‌شوند که در این روش به تعیین دقیق رسید موج برشی مستقیم وابسته است و علت فیزیکی تغییرات مشاهده شده در افت تنش در ایستگاههای مختلف احتمالاً به ناهمواریهای (Asperity) چشمه زلزله و گسلش مربوطه وابسته است.

از مقادیر عوامل کیفیت به دست آمده برای ۶ ایستگاه و نیز مدل در رفتگی چشمه (Brune (1970) به کار گرفته شده توسط Olafsson et al. (19980) معادله دامنه طیفی جابه جایی موج برشی با استفاده از رابطه زیر:

$$|D(\omega)| = \frac{2M_0 R_{\theta\phi} c}{4\pi\beta^3 \rho R. (+(\omega/\omega_c)^2)} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \frac{\omega R}{2Q\beta}\right) \quad (8)$$

بر حسب دو مجهول M_0 و f_c به دست آمد که برای مقادیر مطلوب M_0 و f_c برای مؤلفه‌های افقی رکوردها، ضریب همبستگی بین دو منحنی درجه دوم برداش داده شده (به روش کمترین مربعات) به دامنه‌های طیفی داده‌ها و مدل در رفتگی چشمه (Brune (1970) پیشنهاد است.

و لذا میانگین مقادیر M_0 و f_c برای هر دو مؤلفه افقی رکوردها، به دست آمد که نتایج حاصله در جدول ۱ آورده شده است و ضمناً در شکل ۵ برای ۶ ایستگاه مطلوب، منحنی برداش داده شده به مدل، همراه دامنه طیفی جا به جایی به دست آمده از طیف شتاب آورده شده است.

گشتاور لرزه‌ای ($M_0 = 5.88 * 10^{25} \text{ dyn-cm}$) از میانگین لگاریتمی ۶ ایستگاه مربوطه با توجه به رابطه ۹، Archuleta (1982)، حاصل شد

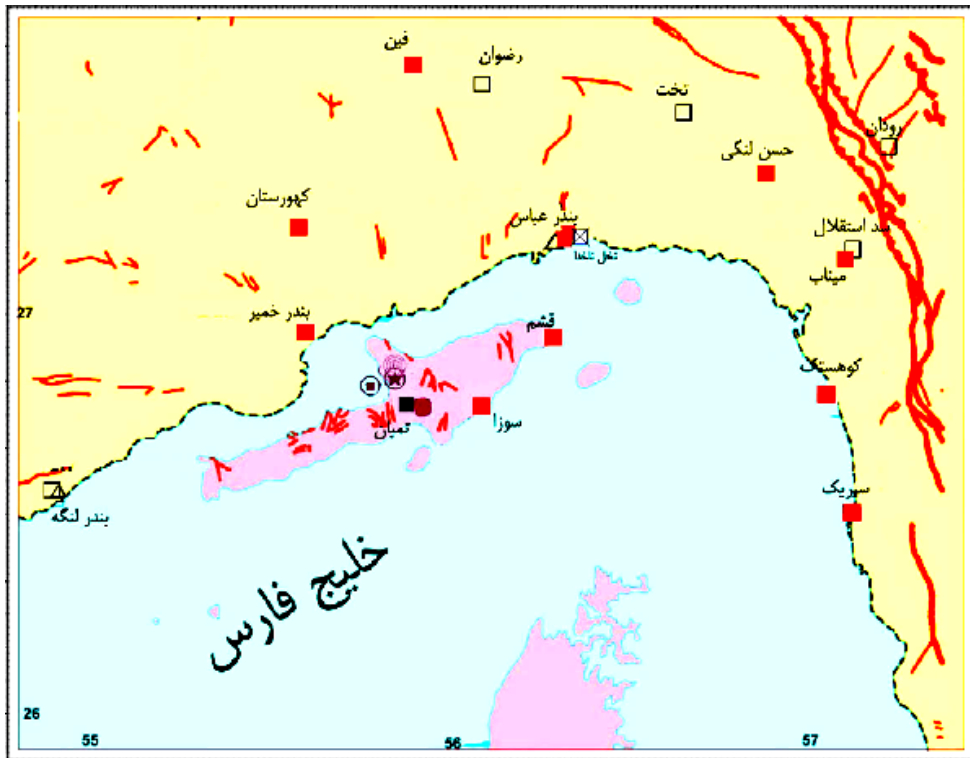
$$M_0 = \text{anti log} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log(M_{0i}) \right\} \quad (9)$$

که $N = (\text{number of record}) * 2$ است و با استفاده از رابطه Kanamori et al., (1975)

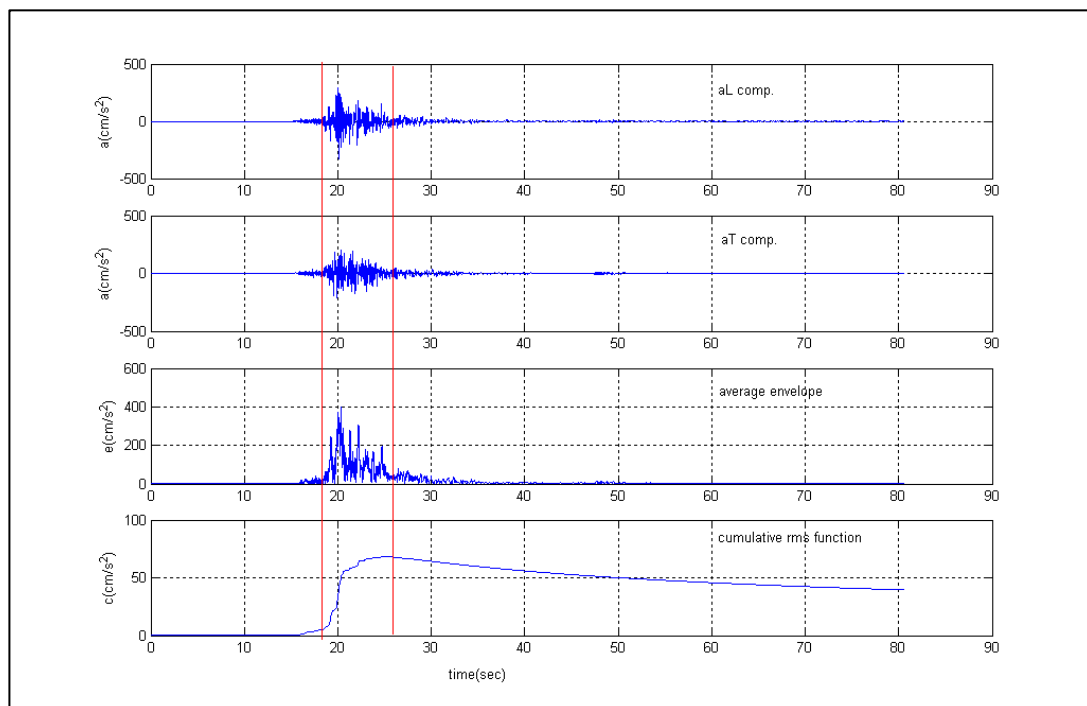
$$M_w = \frac{2}{3} \log(M_0) - 10/7 \quad (10)$$

بزرگی گشتاور $M_w = 5.95 \pm 0.17$ حاصل شد و با توجه به مدل چشمه (Brune (1970) و رابطه مدل شعاع گسل دایره‌ای با f_c ، از رابطه $r = \frac{0.37\beta}{f_c}$ شعاع گسل مسبب زلزله قشم $r = 6.3 \pm 1.17 \text{ km}$

تعیین شد. ($\beta = 3.5 \text{ km/s}$) افت تنش با استفاده از رابطه (Brune (1970) $\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3}$ برای زمین لرزه قشم، $\Delta\sigma = 21 \pm 1.2 \text{ bar}$ به دست آمد و میانگین لغزش روی گسل در حین زمین لرزه قشم از رابطه (Brune (1970) برای میزان لغزش

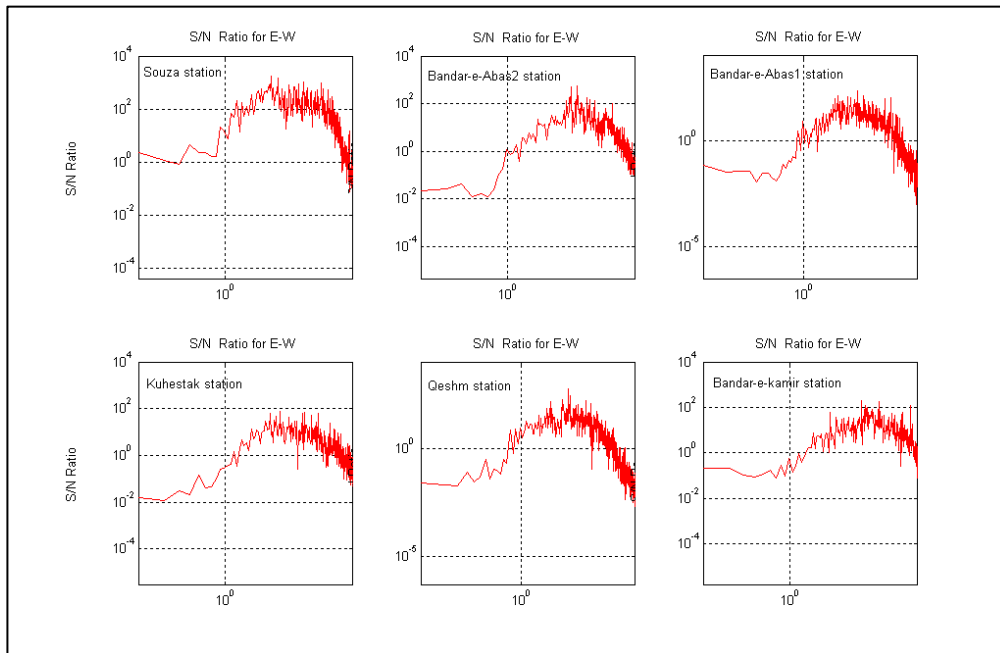


شکل ۱- توزیع ایستگاههای گیرنده زلزله قشم (۲۰۰۵)، (برگرفته از سایت BHRC(www,bhrc.ir))

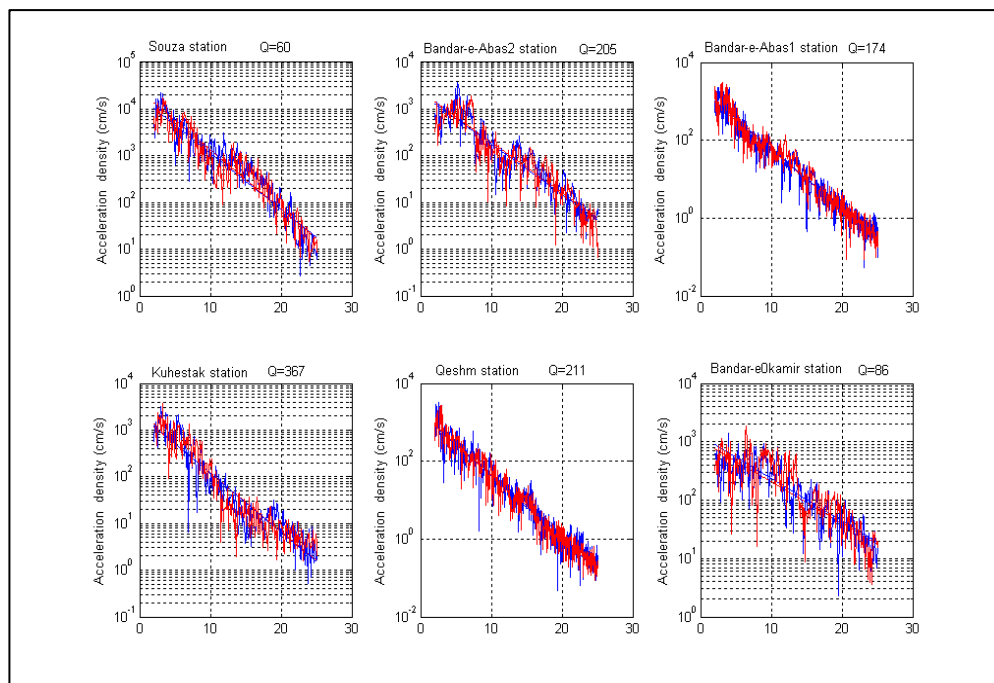


شکل ۲- تعیین پنجره موج برشی به روش (Kinoshita, 1994)

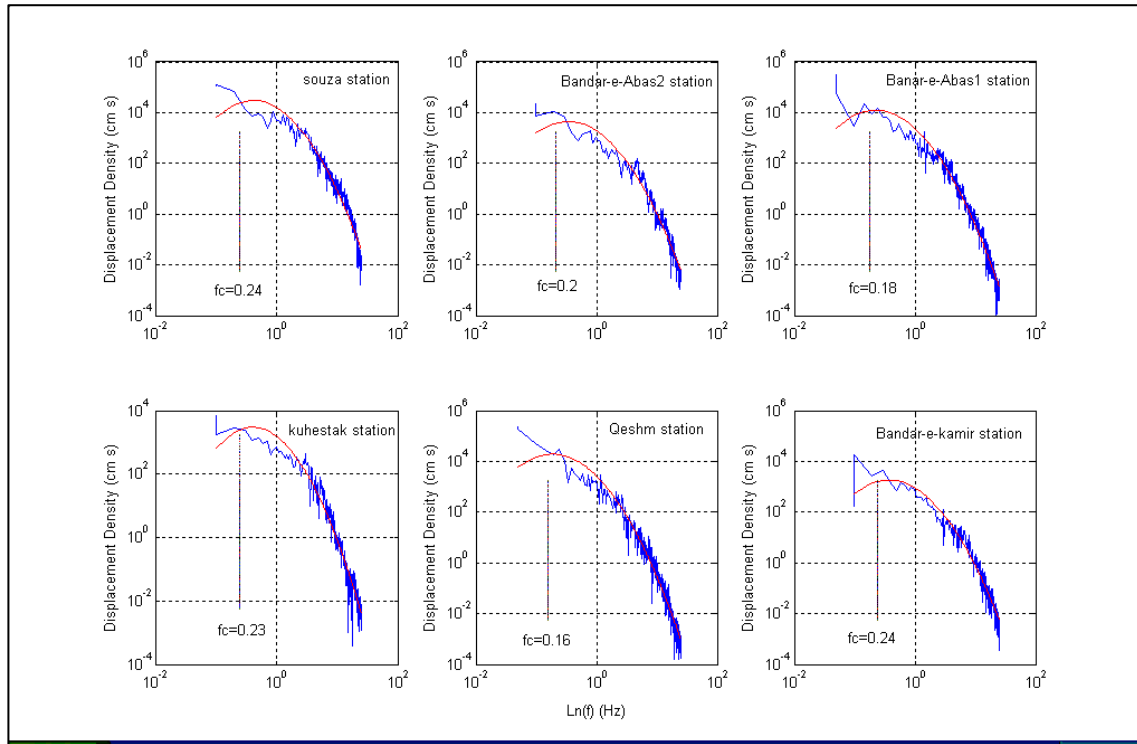
برای شتابنگاشت ایستگاه سوزا



شکل ۳- برآورد نسبت سیگنال به نویز برای مؤلفه افقی رکوردهای زمین لرزه قشم (۲۰۰۵)



شکل ۴- برآورد عامل کیفیت برای مؤلفه‌های افقی ۶ ایستگاه زمین لرزه قشم (۲۰۰۵).



شکل ۵- برازش مدل در رفتگی چشمه برون (منحنی سرخ) به طیف جا به جایی حاصل از شتابنگاشت‌ها (منحنی آبی) برای برآورد f_c و M_0

جدول ۱- مقادیر عامل کیفیت، پارامتر افت طیفی K و پارامترهای چشمه به دست آمده برای ۶ ایستگاه زلزله قشم

ایستگاه	R(km)	$M_0(dyn-cm)*10^{25}$	M_w	$f_c(Hz)$	$r(km)$	$\Delta\sigma(bar)$	$\Delta u(cm)$	Q	$\kappa(sec)$
سوزا	۱۷	۰/۵۶	۵/۸	۰/۲۴	۵/۴	۱۵	۱۷	۶۰	۰/۰۹
بندر عباس ۲	۶۷	۱/۵۸	۶/۱	۰/۲	۶/۳	۲۸	۳۶	۲۰۵	۰/۰۹
بندر عباس ۱	۶۷	۱/۵۸	۶/۱	۰/۱۸	۷/۴	۱۷	۲۶	۱۷۴	۰/۱۱
کوهستک	۱۲۰	۱/۵۸	۶/۱	۰/۲۳	۵/۴	۴۳	۴۸	۳۶۷	۰/۰۹
قشم	۴۵	۱/۱۲	۶	۰/۱۶	۸/۱	۹	۱۵	۲۱۱	۰/۱۱
بندر خمیر	۲۵	۰/۴	۵/۷	۰/۲۴	۵/۴	۱۰	۱۲	۸۶	۰/۱۲

References

- Anderson, J., Quaas, R. 1988 - The Mexico earthquake of September 19, 1985, effect of magnitude on the character of strong motion: an example from the Guerrero Mexico strong motion network. *Earthq. Spectra*, 4, 635-646.
- Archuleta, R. J., Granswick, E., Mueller, C. and Spudich, P., 1982 - Source parameters of the 1980 Mammoth lakes, California, earthquake sequence, *J. Geophys. Res.* 87, 4595 – 4607.
- Brune, J. N. 1970 - Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake. *J. Geophysics. Res.* 75, 4997-5009.
- Brune, J. N. 1971- correction. *J. Geophys. Res.* 76, 5002.
- Buliding and Housing Research Center (BHRC) web site: <http://www.bhrc.gov.ir>
- Hanks, T. C. and McGire, R. K. 1981- The character of high-frequency strong ground motion. *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 2071-2095.
- Kinoshita, S. 1994 - Frequency-dependent attenuation of shear wave in the crust of the southern Kanto area. *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 1387-1396.
- Kanamori, H. and Anderson, D. L. 1975 - Theoretical basis of some empirical relation in Seismology, *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 65. pp. 1073 - 1095.
- Olafsson, S., Sigbjornsson, R. and Einarsson, P., 1998 - Estimation of source parameters and Q from Acceleration recorded in the Vanafjoll Earthquake in south Iceland, *Bull. seism. soc. Am.* 88, No, 2, pp. 556 -563.

* مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

** پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

* Institute of Geophysics of Tehran University

** International Institute of Earthquake Engineering and Seismology