

# برآورد پارامترهای چشمه، ضریب جذب و پارامتر افت طیفی، $K$ ، به روش طیفی با استفاده از رکوردهای شتابنگاشتی زلزله بم (۲۰۰۳)

حبیب رحیمی\*، نصرالله کمالیان\* و هادی قاسمی\*\*

\* مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۶۴۶۶  
\*\* پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۳۹۱۳  
(دریافت مقاله: ۱۴۷۷/۱۷، پذیرش مقاله: ۱۴۱۲/۹)

## چکیده

زلزله بم در ۵ دی‌ماه سال ۱۳۸۲ با بزرگی ( $m_b=6, M_s=6.8$ ) در جنوب شرق ایران، در منطقه‌ای پرجمعیت رخ داده و شوک اصلی آن را ۲۳ ایستگاه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات مسکن (BHRC) ثبت کرد. در این مطالعه با استفاده از شتاب‌نگاشت‌های حرکت تنومند زمین پارامترهای چشمه، ضریب جذب امواج بسامد بالا و پارامتر افت طیفی،  $K$ ، برای ۹ ایستگاه از ۲۳ ایستگاهی که رکوردهای ثبت شده، سیگنال به نوبه خوبی داشتند، تعیین شد. پارامترهای چشمه به روش بهینه‌سازی غیرخطی بین طیف جابه‌جایی به‌دست آمده از طیف شتاب برای هر رکورد، با ترکیب مدل آشفتنگی چشمه با مدلی توانی برای ضریب جذب امواج بسامد زیاد به‌دست آمد. ضریب جذب امواج بسامد زیاد، با استفاده از مدل کاهیدگی دامنه از رابطه:

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

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

مقدار میانگین برآورد شده برای ضریب جذب، در رنج بسامدی (۲-۲۵) هرتز ۳۲۸ به‌دست آمد و پارامترهای چشمه به‌صورت

$$M_0 = 5.88 \cdot 10^{25} \text{ dyn-cm}, r = 4.04 \text{ km}, \Delta u = 35 \text{ cm}, \Delta \sigma = 44 \text{ bar}, T_d = 3 \text{ sec}$$

برآورد شدند.

بزرگی ممان از رابطه کاناموری ( $M_w = 6.5$ )، به‌دست آمد که سازگاری خوبی با مقادیر به‌دست آمده دانشگاه هاروارد ( $M_w = 6.6$ ) به روش CMT و سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USG) ( $M_w = 6.5$ ) دارد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای چشمه، فاکتور کیفیت، پارامتر افت طیفی، روش طیفی چشمه، بم

## ۱ مقدمه

۱۰۰ کیلومتر) شمالی- جنوبی با کمی تمایل به سمت غرب و همچنین شمال غربی- جنوب شرقی است که این دو سامانه گسل در ناحیه غربی دشت لوت با هم تلاقی می‌کنند.

گسل‌های با روند شمال غربی- جنوب شرقی (گسل‌های کوهینان و راور) با گسل‌های با راستای شمالی- جنوبی (گسل‌های گلباف، نایبند، چهار فرسخ، گوک، سستان و بم) مرز غربی ناحیه لوت را مشخص می‌کنند در منطقه بم، زلزله تاریخی و دستگاهی گزارش نشده است و به‌نظر می‌رسد بعد از یک نبود لرزه‌ای، زلزله

روز جمعه ۵ دی‌ماه سال ۱۳۸۲ زلزله بزرگ و مخربی در استان کرمان، و در منطقه‌ای پرجمعیت رخ داد. شوک اصلی با بزرگی ( $M_s=6.8, m_b=6$ ) در زمان ۱، ۵۸ : ۵۶ : ۱ (GMT) رخ داد که بیش از ۵۰،۰۰۰ کشته و زخمی در پی داشت. رو مرکز زمین‌لرزه بر طبق گزارش مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGUT) در  $58^\circ 90' E$ ،  $29^\circ 21' N$  قرار داشت و عمق کانونی آن با توجه به مطالعات پس‌لرزه‌ها ۷ km گزارش شد.

منطقه بم در پهنه فعال لرزه‌خیزی واقع شده و روند عمومی گسل‌های اصلی از جمله گسل بم (با طول حدود

path) و  $(C=1/\sqrt{2})$  و  $Q$  فاکتور کیفیت میانگین مسیر (averaged quality factor) برای امواج بسامد زیاد، شامل تضعیف به واسطه پراکنش و جذب ذاتی،  $R$  تابع گسترش هندسی،  $\beta$  سرعت موج برشی،  $\omega_c = 2\pi f_c$  بسامد گوشه و  $\rho$  چگالی مواد پوسته اطراف چشمه زلزله است.

### ۳ پردازش داده‌ها و تعیین پنجره موج برشی

شوک اصلی زلزله بم را ۲۳ ایستگاه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات مسکن (BHRC) ثبت شده (شکل ۱) که دستگاه‌های شتاب‌نگار ثبت‌کننده 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 (۰-۵۰) هرتز هستند. اثرات مربوط به میرایی و بسامد طبیعی سامانه روی نگاشت‌ها اعمال شد و لذا اثرات دستگاهی از رکوردها حذف شد و مؤلفه شعاعی برای هر ایستگاه بر مبنای مؤلفه‌های افقی ثبت شده تعیین شد. سپس طبق روش ارائه شده کینوشیتا (۱۹۹۴) برای انتخاب پنجره موج SH، سری زمانی حاصل،  $b(n)$ ، با فیلتر باترورت باندگذر مرتبه چهار در باند بسامدی (۲-۲۵) هرتز فیلتر و از رابطه ۲ پوش شتاب به دست آمد.

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

که  $H(b(n))$  تبدیل هیلبرت سری زمانی  $b(n)$  است. سری زمانی  $e(n)$  با شروع رسید فاز موج  $S$  رفتار صعودی دارد 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 افزایشی (cumulative root mean square function) از سری زمانی  $e(n)$  به صورت زیر به دست آمد.

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

دی ماه ۱۳۸۳ رخ داده است ولی سامانه گسل گوک در همین ناحیه در رخداد زمین‌لرزه‌های ۱۳۶۰ گلباف و سیرج فعال شد این سامانه گسله، زلزله‌های دیگری را در سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۷ موجب شد. سامانه گسل‌های غرب دشت لوت موجب اختلاف ارتفاع ساختاری قائم در حدود ۴۰۰۰ متر شده است سازوکار ژرفی این زلزله‌ها به صورت راستالغز و فشارشی گزارش شده است.

ماکزیم شتاب ثبت شده  $980 \text{ cms}^{-2}$  در فاصله کانونی ۱۲ km در مولفه قائم ایستگاه بم است. طبق گزارش دانشگاه هاروارد زلزله بم بر اثر فعال شدن گسل ارگ بم، با سازوکار امتداد لغز با یک مؤلفه کوچک معکوس بوده، که با توجه به مشاهدات زمینی، راستگرد است.

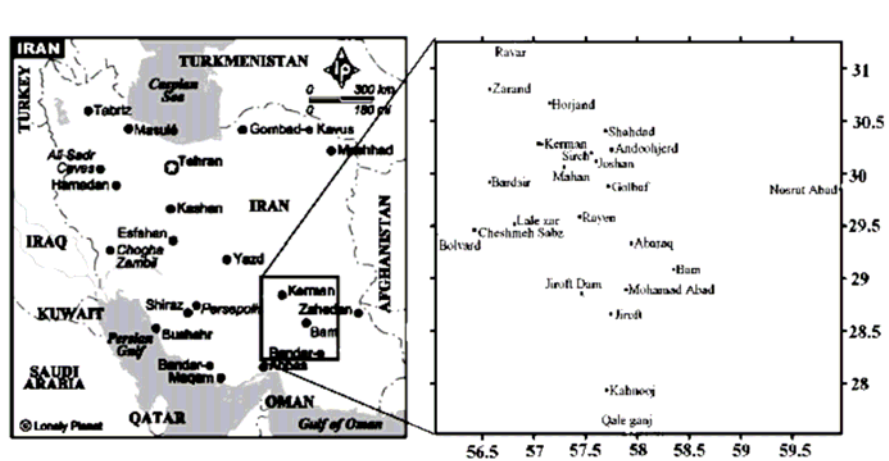
در این مطالعه ضریب جذب امواج لرزه‌ای برشی بسامد زیاد از دامنه طیفی مؤلفه‌های افقی شتاب‌نگاشت‌ها به روش رگرسیون خطی (کمترین مربعات) به دست آمده و پارامتر افت طیفی،  $K$ ، برای دو مؤلفه افقی از دامنه طیفی شتاب به روش کمترین مربعات تعیین شد و پارامترهای چشمه زلزله به روش طیفی، و بهینه‌سازی غیرخطی بین مدل آشفستگی چشمه براون (۱۹۷۰ و ۱۹۷۱) و طیف جابه‌جایی به دست آمده از طیف شتاب مؤلفه‌های افقی، برآورد شد.

### ۲ مدل آشفستگی چشمه برون (۱۹۷۰ و ۱۹۷۱)

مدلی که برای آشفستگی چشمه زلزله توسط برون (۱۹۷۱) برای طیف جابه‌جایی میدان دور با یک جمله توانی برای تضعیف امواج بسامد زیاد ارائه شده به صورت زیر بیان می‌شود:

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

که  $M_0$  ممان لرزه ای،  $R_{\theta\phi}$  الگوی تابش چشمه زلزله،  $C$  فاکتور کاهش برای افزایش انرژی در دو مؤلفه افقی



شکل ۱. توزیع ایستگاه‌های گیرنده زلزله بم (۲۰۰۳).

۴ پردازش داده‌ها و برآورد Q و K

برای برآورد Q هر دو مؤلفه افقی شتاب‌نگاشت‌ها، تصحیح خط مبنای مرتبه صفر شده و سپس با فیلتر باترورت باندگذر مرتبه ۴ با باند بسامدی ۲-۲۵ هرتز فیلتر شدند. (اولافسن و همکاران، ۱۹۹۸).

پنجره موج برشی برای رکوردها با استفاده از الگوریتم کنیوشیتا (۱۹۹۴) انتخاب شد و کساین تیپر ۱۰٪ روی آنها اعمال شد. سپس محتوای بسامدی موج برشی از طیف فوریه پنجره موج برشی به دست آمد.

نمودار لگاریتم دامنه طیفی هر دو مؤلفه افقی رکوردها برحسب بسامد در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به روابط زیر:

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

$$G(r) = \begin{cases} 10 / r & r < r_0 \\ 10 / \sqrt{r \cdot r_0} & r \geq r_0 \end{cases} \tag{6}$$

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

برای هر ایستگاه، می‌توان Q را بر مبنای شیب خط برازش داده شده مابین لگاریتم طیف دامنه و بسامد با

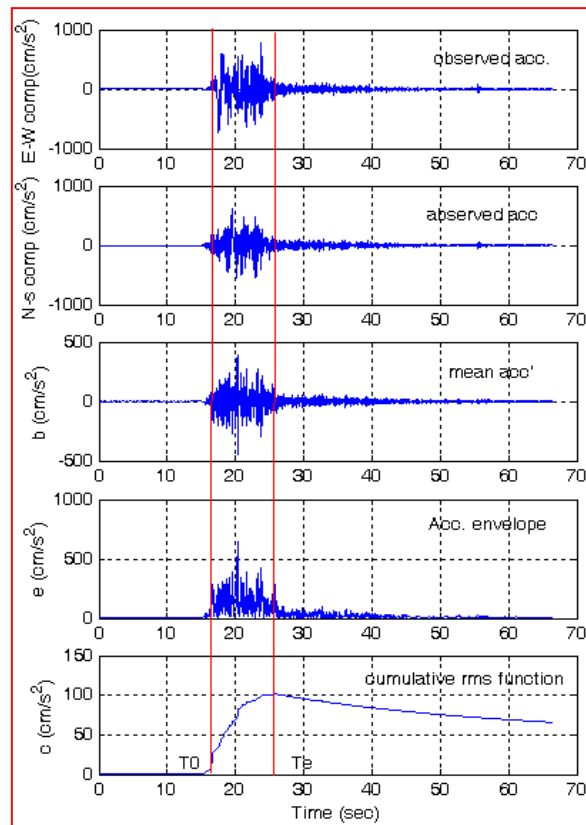
زمان رسید موج S،  $(T_0)$ ، برای رکوردها از مؤلفه‌های افقی به صورت تجربی مشخص و زمان انتهای موج S،  $(T_0)$  طبق الگوریتم کنیوشیتا (۱۹۹۴)، زمانی است که سری زمانی  $c(n)$  شروع به نزول می‌کند که در شکل ۲ برای مؤلفه افقی ایستگاه بم نشان داده شده است.

۳ برآورد سیگنال به نوفه رکوردها

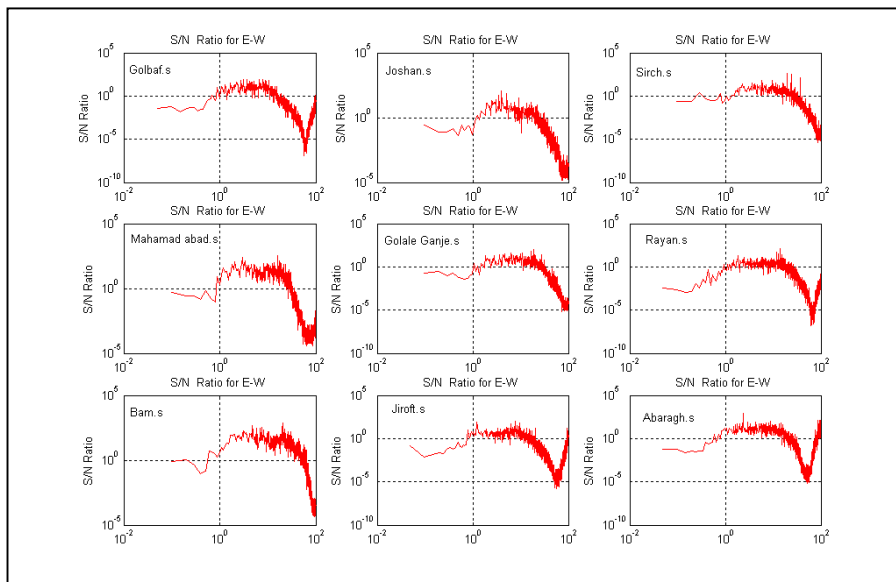
برای برآورد سیگنال به نوفه، ابتدا همه مؤلفه‌های افقی نسبت سیگنال به نوفه‌شان از رابطه

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

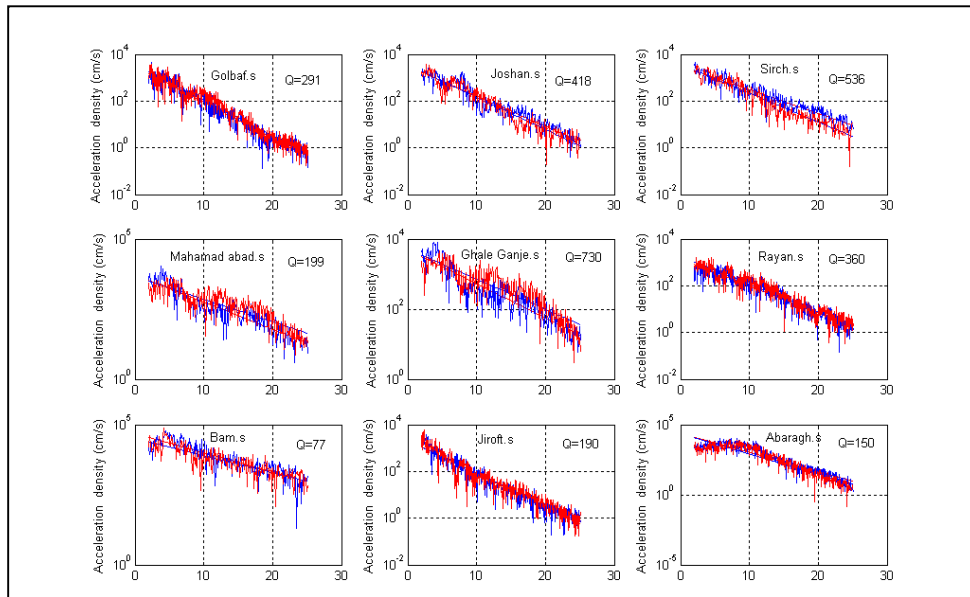
تعیین شده است که  $s(f)$  دامنه طیفی پنجره موج S (سیگنال)،  $n(f)$  دامنه طیفی پنجره نوفه،  $t_s$  طول پنجره زمانی سیگنال برحسب ثانیه و  $t_n$  طول پنجره زمانی نوفه برحسب ثانیه است. به دلیل مشخص نبودن رسید موج  $p$  پنجره نوفه از ۵ ثانیه انتهای رکوردها گرفته شده و رکوردهایی که در بازه بسامدی (۰-۲۵) هرتز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



شکل ۲. تعیین پنجره موج S به روش کنیوشینا (۱۹۹۴).



شکل ۳. برآورد نسبت سیگنال به نوفه برای مؤلفه افقی رکوردهای زلزله بم (۲۰۰۳).



شکل ۴. برآورد فاکتور کیفیت برای مؤلفه‌های افقی ۹ ایستگاه زلزله بم (۲۰۰۳).

(۱۹۷۰) و طیف دامنه جابه‌جایی حاصل از شتاب‌نگاشت‌های زلزله بم استفاده شد. به طوری که ابتدا از بین ۲۳ شتاب‌نگاشت ثبت شده از شوک اصلی زلزله بم ۹ 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 افقی‌شان با فیلتر پایین گذر باترورت مرتبه ۴ با بسامد قطع ۲۵ هرتز، فیلتر شدند.

از رابطه بین طیف شتاب و طیف جابه‌جایی برای همه مؤلفه‌های افقی به دست آمد و با استفاده از مقادیر فاکتورهای کیفیت به دست آمده برای ۹ ایستگاه و نیز مدل آشفتگی چشمه براون (۱۹۷۰)؛ به کار گرفته شده اولافسن و همکاران (۱۹۹۸)؛ معادله دامنه طیفی جابه‌جایی موج برشی با استفاده از رابطه زیر:

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

استفاده از روش کمترین مربعات به دست آورد که نتایج در شکل ۴ و جدول ۱ آورده شده است.

برای برآورد پارامتر افت طیفی،  $K$ ، برای مؤلفه‌های افقی ۹ شتاب‌نگاشت حاصله از تکان اصلی زلزله بم که نسبت سیگنال به نوفه خوبی داشتند از روش پیشنهادی اندرسن و کواس (۱۹۸۴) استفاده شد.

برای این منظور لگاریتم دامنه طیفی هر دو مؤلفه بر حسب بسامد در رنج بسامدی ۱-۲۰ هرتز رسم شده و پارامتر افت طیفی بر مبنای

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

لگاریتم طیف دامنه و بسامد،  $K$ ، بر اساس رابطه ۷ برای مولفه‌های افقی ایستگاه‌ها تعیین شد. در شکل ۵، نمودارها و در جدول ۱ نتایج مربوطه آورده شده است.

##### ۵ پردازش داده‌ها و برآورد $M_0, f_c$

برای تعیین پارامترهای چشمه تکان اصلی زلزله بم، روش بهینه‌سازی غیرخطی بین مدل آشفتگی چشمه براون

بزرگی ممان  $M_w = 6.5$  حاصل شد و میانگین  $f_c$  برای ۹ ایستگاه ۰/۳۲ هرتز برآورد شد که از آن با توجه به مدل چشمه برون (۱۹۷۰) و رابطه مدل شعاع گسل دایروی با  $f_c$ ، از رابطه  $r = \frac{0.37\beta}{f_c}$  شعاع گسل مسبب زلزله بم  $r = 4.04 \text{ km}$  تعیین شد.

افت استرس با استفاده از رابطه برون (۱۹۷۰)،  $\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3}$  برای زلزله بم،  $\Delta\sigma = 43.8 \text{ bar}$  به دست آمد و میانگین لغزش روی گسل در حین زلزله بم از رابطه براون (۱۹۷۰)،  $\Delta U = \frac{M_0}{\pi r^2 \mu}$ ،  $\Delta u = 35 \text{ cm}$  حاصل شد  $(\mu = 3.5 * 10^{11} \text{ dyn cm}^{-2} \quad \mu = \rho\beta^2)$ .

با فرض گسل دایروی مدل برون (۱۹۷۰)، طول زمانی چشمه  $T_d = 2.57 \text{ sec}$  از رابطه  $T_d = \frac{2r}{v_r}$  که  $v_r = 0.85\beta$  (سرعت شکستگی) به دست آمد که با نتیجه به دست آمده از رابطه  $T_d = \frac{1}{f_c}$  ( $T_d = 3 \text{ sec}$ ) سازگار است (هنکس و مک گیر، ۱۹۸۸).

برحسب 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 (correlation) بین دو منحنی درجه دوم فیت شده (به روش کمترین مربعات) به دامنه‌های طیفی داده‌ها و مدل آشفستگی چشمه برون (۱۹۷۰)، ماکزیمم است.

لذا میانگین مقادیر  $M_0$  و  $f_c$  برای هر دو مؤلفه افقی رکوردها، به دست آورده شد که نتایج حاصل در جدول ۱ آورده شده است و ضمناً در شکل ۶ برای ۹ ایستگاه مطلوب، منحنی فیت شده به مدل، همراه دامنه طیفی جابه‌جایی به دست آمده از طیف شتاب آورده شده است. ممان لرزه‌ای ( $M_0 = 5.88 * 10^{25} \text{ dyn - cm}$ ) از میانگین لگاریتمی ۹ ایستگاه مربوطه با توجه به رابطه ۹، آرچیولتا (۱۹۸۲)، حاصل شد.

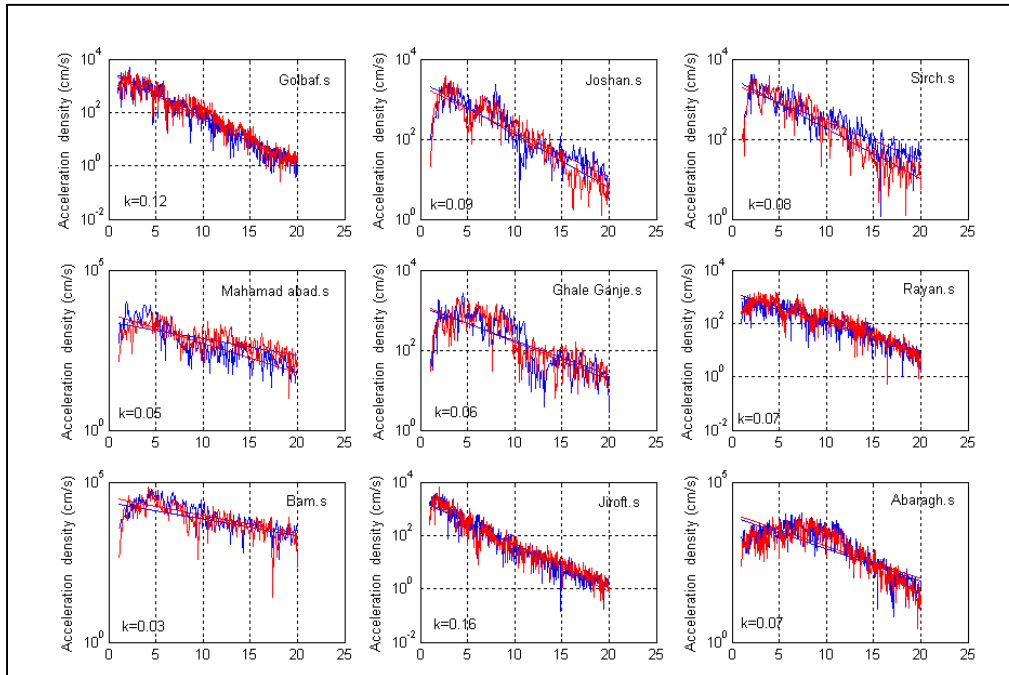
$$M_0 = \text{anti log} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log(M_{0i}) \right\} \quad (9)$$

که  $N = (\text{number of record}) * 2$  است و با استفاده از رابطه کاناموری (۱۹۷۹).

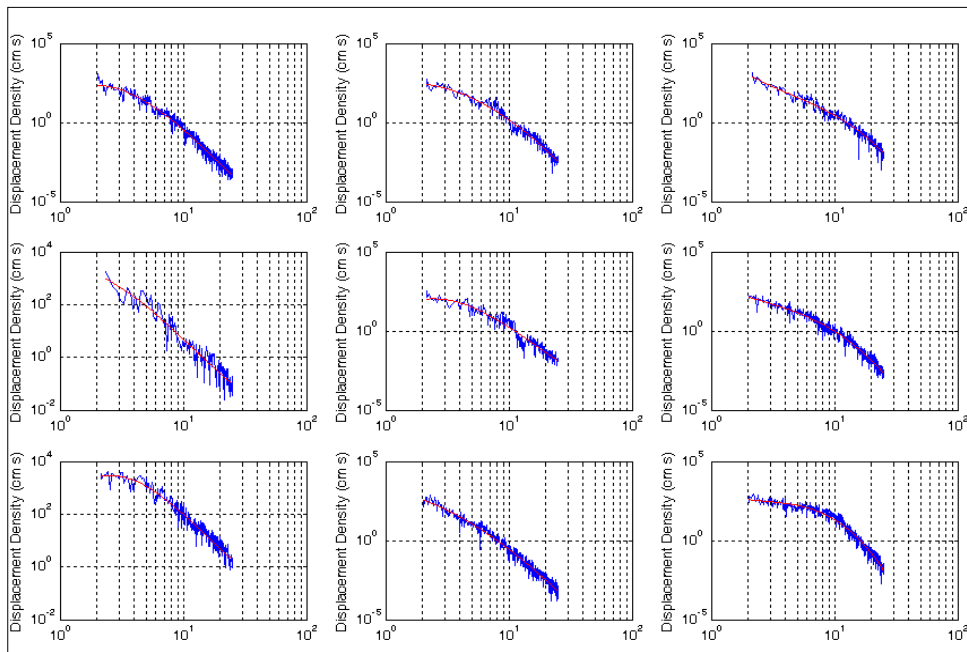
$$M_w = \frac{2}{3} \log(M_0) - 10.7 \quad (10)$$

جدول ۱. مقادیر فاکتور کیفیت، پارامتر افت طیفی K و پارامترهای چشمه به دست آمده برای ۹ ایستگاه زلزله بم.

ایستگاه	R (km)	$M_0 (\text{dyn - cm}) * 10^{25}$	$M_w$	$f_c$ (Hz)	r (km)	$\Delta\sigma$ (bar)	$\Delta u$ (cm)	Q	$\kappa$ (sec)
Golbaf	۱۱۴/۲۹	۶/۳	۶/۵	۰/۳	۲/۳	۳۴/۳	۳۰/۷	۲۹۱	۰/۱۲
Joshan	۱۴۳/۱۶	۶/۳	۶/۵	۰/۳۵	۲/۵	۵۴/۴	۴۱/۹	۴۱۸	۰/۰۹
Sirch	۱۵۳/۲	۸/۹	۶/۶	۰/۳۷	۵/۶	۹۰/۹	۶۶/۱	۵۳۶	۰/۰۸
Mahammad abad-e-maskan	۴۴/۲	۳/۱	۶/۳	۰/۳۲	۳/۷	۲۰/۸۷	۱۷/۵	۱۹۹	۰/۰۵
Ghale Ganje	۱۷۰/۶	۶/۳	۶/۵	۰/۳۸	۵/۲	۶۹/۷	۴۹/۴	۷۳۰	۰/۰۶
Rayen	۱۰۸/۴	۶/۳	۶/۵	۰/۳۲	۳	۴۱/۶	۳۵	۳۶۰	۰/۰۷
Bam	۸	۲/۲	۶/۲	۰/۲۹	۳/۶	۱۰/۹	۱۰/۲	۷۷	۰/۰۳
Jiroft	۶۸/۱۸	۴/۴	۶/۴	۰/۲۷	۴/۱	۱۷/۱	۱۷/۶	۱۹۰	۰/۱۲
Abaragh	۵۳/۵	۸/۹	۶/۶	۰/۳۱	۳	۵۳/۴	۴۷/۴	۱۵۰	۰/۰۷



شکل ۵. برآورد K برای مؤلفه‌های افقی ۹ ایستگاه زلزله بم (۲۰۰۳).



شکل ۶. فیت مدل آشفته‌گی چشمه به طیف جابه‌جایی داده‌ها.

- Seism. Soc. Am., **94**, 1, 16-28.
- Eleni, L., and Anastasia, K., 2001, Source parameters of 7 September 1999, Athens (Greece) earthquake based on teleseismic data/(2001). J. the Balkan Geophys. Soc., **4**, 50-60.
- Carcia Garcia, J. M., and Romacho, M. D., Jimenez, A., 2004, Determination of near surface attenuation, with  $K$  parameter, to obtain the seismic moment, stress drop, source dimension and seismic energy for micro earthquakes in the Granada Basin (southern Spain) J. phys. Earth and planet. Int., **141**, 9-25.
- Gokia Gokia., Romacho, M. D., and Jimenez, A., 2003, Determination of near surface attenuation, with  $K$  parameter to obtain the seismic Moment, stress drop, source dimension, and seismic energy for micro earthquakes in the Granada Basian. J. phys. Earth and planet int., **141**, 9-26.
- Hanks, T. C., and McGuire, R. K., 1981, The character of high-frequency strong ground motion: Bull. Seism. Soc. Am., **71**, 2071-2095.
- Hanks, T. C., and Wyss, M., 1981, The use of body wave spectra in the determination of seismic -source parameter: Bull. Seism. Soc. Am., **62**, 561-589.
- Igor, A. B., 2002, Source parameters observable from the corner frequency of Earthquake spectia, Bull. Seism. Soc. Am., **92**, 5, 2047-2048.
- Jafargandomi, A., Mahamoud, F., Suzuki, S., and Nakamura, T., 2004, Strong ground motion of the 2003 Bam Earthquake spectra, Bull. Earthquake. Res. Inst., **79**, 47-57.
- Kumar, D., Sarkar, I., Sriram, V., and Khattri, K. N., 2005, Estimation of the source parameters of the Himalaya earthquake of October 19, 1991, average effective shear wave attenuation parameter and local site effects from accelerograms. J. Tectonophysics. elsevier. com. 2005 accepted.
- Kinoshita, S., 1994, Frequency-dependent attenuation of shear wave in the crust of the southern kanto area: Bull. Seism. Soc. Am., **59**, 1387-1396.
- Louvan, E., and Kiratzi, A., 2001, Source parameters of the 7 September 1999 Athens (Greece) earthquake based on telesismic data. J. Balkan Geophys. Soc., **4**, 51-60.
- Olafsson, S., Sigbjornsson, R., and Einarsson, p., 1998, Estimation of source parameters and  $Q$  from Acceleration recorded in the Vanafjoll

## ۶ نتیجه گیری

با توجه به اهمیت برآورد پارامترهای چشمه و محیط در مباحث مهندسی زلزله، در این مطالعه با استفاده از روش بهینه‌سازی غیرخطی بین دامنه طیفی آشفستگی چشمه و رابطه برون (۱۹۷۰) پارامترهای چشمه زلزله بم 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 ممان به دست آمده از ۹ ایستگاه ( $M_w = 6.5$ )، سازگاری خوبی با مقادیر گزارش شده از مراکز (USGS) ( $M_w = 6.5$ ) و Harvard ( $M_w = 6.6$ ) دارد و شعاع گسل به دست آمده از رابطه برون (۱۹۷۰) سازگاری نسبتاً خوبی با نتایج به دست آمده سوزوکی و همکاران (۲۰۰۴) از مطالعه پس‌لرزه‌های زلزله بم دارد.

با توجه به مقدار میانگین ضریب جذب به دست آمده برای ۹ ایستگاه ( $Q = 328$ )، منطقه بم در زمره مناطق فعال لرزه‌خیز جهان قرار دارد و پارامتر افت طیفی،  $K$ ، با توجه به اینکه برای تک زلزله است، بیشتر منعکس کننده اثرات جنس بیشتر ثبت کننده است که برای ۹ ایستگاه یادشده مقدار  $K$  به دست آمده در رنج  $\kappa = 0.3 \text{sec}$  تا  $\kappa = 0.12 \text{sec}$  است.

## منابع

- Anderson, J., and Qvaas, R., 1988, The Mexico earthquake of September 19, 1985, effect of magnitude on the character of strong ground motion, an example from the Guerrero Mexico strong motion network. Earthquake. Spectra, **4**, 635-646.
- Brune, J. N., 1970, Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquake: J. Geophys. Res., **75**, 4997-5009.
- Brune, J. N., 1971, Correction. J. Geophys. Res., **76**, 5002.
- Dutta, U., Biswas, N. N., Adams, D. A., and Papageorgiou, A., 2004, Analysis of s-wave attenuation in south-central Alaska, Bull.



- Suzuki, S., T. Matsushima, Y., Ito, S. K., Hosseini, T., Nakamura, A., Jafar Gandomi, H., Sadeghi, M. Maleki, and Fatemi Aghada, S. M., Source fault of the 2003/12/26 Bam earthquake Mw6.5 in southeastern Iran inferred from aftershock observation data by temporal high-sensitive-seismograph network, Eos Trans. AGU, 85, Jt. Assem. Suppl., Abstract S23A-07, 2004.
- Zare, M., and Hamzeloo, H., 2003, A study of the strong Ground Motions of 26 December 2003 Bam Earthquake: Mw 6. 5. (SPECIAL ISSUE ON Bam Earthquake) J. ISEE. 33.
- Earthquake in south Iceland: Bull. Seism. Soc. Am., **88**, 556-563.
- Ozal, N. M., Sasatani, T., and Ozel, O., 2004, Strong ground motion duration the largest aftershock (Mw=5.8) of the 1999 Izmit Earthquake. Turkey. J. Tectonophysics. **391**, 347-355.
- Roumelioti, Z., kiratzi, A., Theodoulidis, N., and papaioannou, C., 2002, S-wave spectral analysis of the 1995 kozani-Grevena (NW Greece) aftershock sequence. J. Seismol. **6**, 219-236.11.