

## برآورد فاکتور کیفیت امواج برشی با استفاده از لرزه‌نگاشت‌های زمین لرزه فیروزآباد-کجور

وحید ریاحی کجور<sup>۱</sup>، نرگس افسری<sup>۲</sup>، فتانه تقی‌زاده فرهمند<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکتونیک، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران، [riahi.va@gmail.com](mailto:riahi.va@gmail.com)

<sup>۲</sup> استادیار، گروه عمران، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران، [ng\\_afsari@yahoo.com](mailto:ng_afsari@yahoo.com)

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه فیزیک، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران، [f\\_farahmand@Qom-iau.ac.ir](mailto:f_farahmand@Qom-iau.ac.ir)

### چکیده

برآورد کاهیدگی امواج لرزه‌ای با توجه به فاصله یکی از مهم‌ترین بررسی‌های مورد نیاز هر منطقه است. هدف از این پژوهش، برآورد ضریب کیفیت امواج برشی ( $Q_s$ ) حاصل از زمین لرزه در البرز مرکزی، محصور به عرض جغرافیایی ۳۴ تا ۳۸ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۶ درجه طول شرقی، با استفاده از روش کاهندگی طیفی است. به همین منظور از داده‌های ثبت شده از زمین لرزه ۲۸ می سال ۲۰۰۴ میلادی فیروزآباد-کجور و پس‌لرزه‌های آن، توسط شبکه‌های لرزه-نگاری ساری و سمنان، وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استفاده شده است. در این مطالعه مقدار  $Q_s$  برای مولفه‌های N-S و E-W برای هفت باند فرکانسی برآورد شده، و نهایتاً میانگین‌گیری از دو مولفه مذکور، رابطه وابستگی فرکانسی فاکتور کیفیت امواج برشی برای منطقه مورد مطالعه به صورت  $Q_s = 73.54f^{0.83}$  تعیین شد که نشان‌دهنده افزایش  $Q_s$  با فرکانس است. مقدار  $Q_0$  (کمتر از ۲۰۰) با زمین ساخت و لرزه‌خیزی منطقه مطابقت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** کاهیدگی، البرز، فاکتور کیفیت  $Q_s$ ، موج برشی، روش طیفی، وابستگی فرکانسی،

### Estimation of shear wave quality factor using seismic data from Firoozabad-Kojour Earthquake

VahidRiyahi-Kojour<sup>1</sup>, Narges Afsari<sup>2</sup>, Fataneh Taghizadeh-Farahmand<sup>3</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. student of Geotechnic, Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran, [riahi.va@gmail.com](mailto:riahi.va@gmail.com)

<sup>2</sup> Corresponding author, Department of Civil Engineering, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran, [ng\\_afsari@yahoo.com](mailto:ng_afsari@yahoo.com)

<sup>3</sup> Department of Physics, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran. [f\\_farahmand@Qom-iau.ac.ir](mailto:f_farahmand@Qom-iau.ac.ir)

### Abstract

The attenuation of seismic waves with respect to distance is one of the most important parameters in seismological studies and earthquake engineering in each region. The purpose of this study is to estimate quality factor of Shear waves ( $Q_s$ ) how to absorb waves from the earthquake in the Central Alborz enclosed at 34° to 37° north latitude and 50° to 56° east longitude, using the spectral drop. For this purpose, the data from earthquake of May 28, 2004 Firoozabad-Kojour and its aftershocks, which recorded by seismic networks of Sari and Semnan, affiliated with the Tehran University's Geophysics Institute used; In this study,  $Q_s$  for N-S and E-W components at the seven band frequency was estimated. The mean values of  $Q_s$  for two components obtained a relation of  $Q_s = 73.54f^{0.83}$  which show an increase in  $Q_s$  with increasing frequency.  $Q_0$  value for this area has adjustment with seismotectonic of the region

**Keywords:** Alborz, quality factor  $Q_s$ , attenuation, shear wave, frequency-dependent

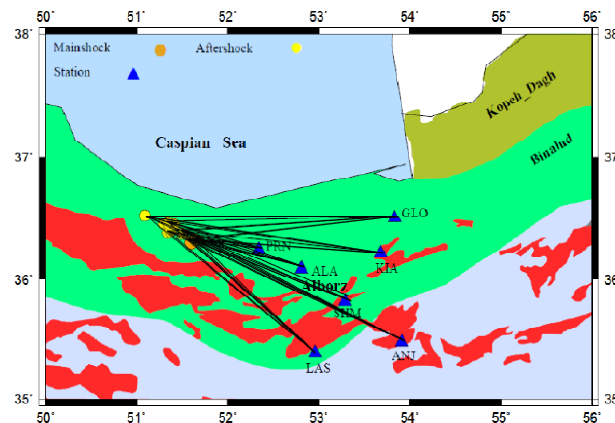
### ۱ مقدمه

امواج لرزه‌ای در هنگام عبور از زمین با محیط‌های ناهمگن، ناهمسانگرد و غیرکشسان برهمکنش دارند. بدیهی است با شناخت تاثیر این عوامل بر روی لرزه‌نگاشت‌های لرزه‌ای می‌توان اطلاعات فراوانی از درون زمین به دست آورد. برآورد کاهندگی امواج زمین لرزه بیانگر ویژگی‌های محیط انتشار امواج می‌باشد که در مطالعات زلزله‌شناسی مهندسی مانند

شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین، برآورد خطرزمین‌لرزه، تعیین روابط کاهندگی و ... مورد توجه است. انرژی امواج حاصل از یک چشمه لرزه‌ای، با افزایش فاصله از چشمه، کاهش می‌یابد و به دنبال آن، دامنه امواج لرزه‌ای نیز کاهش خواهد یافت. افت انرژی امواج لرزه‌ای بر اثر عوامل غیر الاستیکی را جذب ذاتی (تضعیف) می‌نامند که با تبدیل انرژی امواج لرزه‌ای با انرژی گرمایی، سبب کاهش دامنه امواج می‌شود. جذب ذاتی را معمولاً با کاهندگی نشان می‌دهند. عکس این کمیت را ضریب کیفیت (Q) می‌نامند. تحقیقات صورت گرفته بیانگر آن است که تضعیف امواج لرزه‌ای با لرزه‌خیزی و پیچیدگی‌های زمین‌ساختی هر منطقه در ارتباط است. با داشتن مقدار ضریب کیفیت در هر منطقه و مشاهده تغییر آن در اثر وقوع زمین‌لرزه می‌توان به کیفیت جنس زمین و وضعیت لرزه‌خیزی آن منطقه پی برد. وابستگی ضریب کیفیت امواج برشی  $Q_s(f)$  به فرکانس  $f$  در بسیاری از مطالعات گزارش شده است. مشخص شده است که در مناطق فعال تکتونیکی، در فرکانس‌های بالاتر از  $1\text{ Hz}$ ،  $Q_s(f)$  تقریباً متناسب با فرکانس است (Fedotovand Boldyrev, 1969; Aki, 1980; Sato and Matsumura, 1980; Console and Rovelli, 1981; Rovelli, 1983, 1984; Castro et al., 1990; Anderson and Quass, 1988). گستره مورد بررسی محصور به عرض جغرافیایی  $56^\circ - 50^\circ$  درجه شمالی و طول جغرافیایی  $38^\circ - 35^\circ$  درجه شرقی است و از نظر لرزه‌زمین‌ساختی ایران (Mirzaei et al. 1998)، جزء البرز مرکزی است. از نظر سابقه لرزه‌خیزی در طول سالیان گذشته، زون البرز مرکزی شاهد زمین‌لرزه‌های متعددی بوده است.

## ۲ داده و روش تحقیق

برای برآورد ضریب کیفیت امواج مستقیم S به روش کاهیدگی طیفی، از لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده از زمین‌لرزه ۲۸ مه سال ۲۰۰۴ میلادی فیروزآباد-کجور و پس‌لرزه‌های آن با گستره بزرگای  $2/9$  تا  $6/3$  در مقیاس امواج حجمی، که توسط شبکه‌های ساری و سمنان وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، استفاده شده است. شکل (۱) پوشش مسیری بین رومرکز زمین‌لرزه‌ها و ایستگاه‌های لرزه‌نگاری شبکه ساری و سمنان را نشان می‌دهد.



شکل (۱) نشان‌دهنده پوشش مسیری ما بین رومرکز زمین‌لرزه‌ها و ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در منطقه مورد مطالعه. دایره نارنجی رنگ، رومرکز زلزله اصلی و دایره های زرد رنگ رومرکز پس‌لرزه‌ها، مثلث‌های آبی رنگ نیز ایستگاه‌های لرزه‌نگاری شبکه‌های ساری و سمنان را نشان می‌دهد.

به منظور برآورد ضریب کیفیت امواج برشی، مولفه‌های افقی لرزه‌نگاشت‌ها (E-W و N-S) مورد استفاده قرار گرفت (Yoshimoto et al. 1993; Chung et al. 2001; Kim et al. 2004; Rahimi et al. 2010). در این روش دامنه‌های طیفی از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$U_i(f, r) = S_i(f) A(f, r) \quad (1)$$

$U_i(f, r)$  دامنه طیفی مشاهده برای یک فرکانس ثابت در فاصله کانونی  $r$  از رویداد  $t$ ،  $A(f, r)$  تابع کاهیدگی بیان کننده روند کاهش دامنه با طی مسافت و  $S_i(f)$  یک اسکالر که به بزرگی زمین لرزه  $i$   $t$   $r$   $f$   $A(f, r)$  وابسته است. با در نظر گرفتن یک مدل کاهیدگی همگن خواهیم داشت:

$$A(f, r) = r^{-\gamma} \exp\left(\frac{-\pi f}{Q_s(f)} t\right) \quad (2)$$

$\gamma$  ضریب گسترش هندسی (در اینجا  $\gamma = 1$ )، معادل گسترش هندسی کروی برای امواج حجمی در نظر می-گیریم،  $t$  زمان سیر موج و  $\beta$  سرعت موج  $S$  است. با جایگذاری  $t = \frac{r}{\beta}$  در رابطه فوق خواهیم داشت:

$$A(f, r) = r^{-\gamma} \exp\left(\frac{-\pi f}{\beta Q_s(f)} r\right) \quad \text{Ln}(U_i(f, r) r^\gamma) = -\frac{\pi f}{\beta Q_s(f)} + \text{Ln}(S_i(f)) \quad (3)$$

با برازش منحنی درجه اول (با شیب  $b$ ) به روش کمترین مربعات،  $Q_s$  به ازای هر باند فرکانسی طبق رابطه ۴ برای هر دو مولفه افقی E-W و N-S محاسبه می شود:

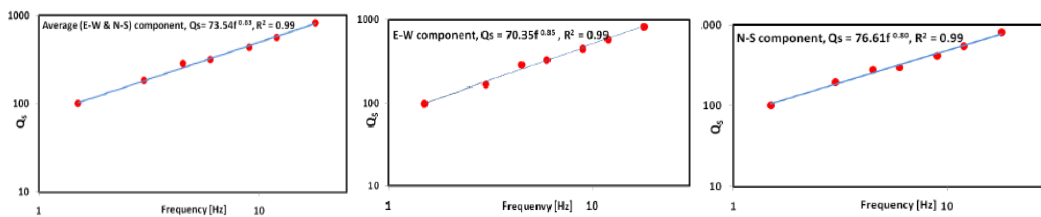
$$Q_s = -\frac{\pi f}{\beta b} \quad (4)$$

برای تعیین پنجره موج برشی، شروع موج  $S$  را به صورت مشاهده ای روی لرزه نگاشت تعیین و انتهای پنجره، با استفاده از الگوریتم Kinoshita (1994) مشخص می شود. همه لرزه نگاشت ها در هفت باند فرکانسی مطابق جدول ۱، فیلتر میان-گذر باترورت مرتبه ۲ شده اند. پهنای هر باند فرکانسی برابر با  $\frac{2}{3}$  بسامد مرکزی آن است (Wong et al. 2001; Wu et al. 2006; Hazarika et al. 2009; Mahood and Hamzehloo, 2009). سرعت موج برشی در منطقه مورد مطالعه را می توان به طور میانگین حدود  $3/58$  کیلومتر بر ثانیه در نظر گرفت (افسری و همکاران، ۱۳۹۴). وابستگی بسامدی ضریب کیفیت  $Q(f)$  را می توان به صورت رابطه ۵ نوشت:

$$\text{Ln}(Q) = n (\text{Ln}(f)) + \text{Ln}(Q_0) \quad (5)$$

$$Q = Q_0 f^n$$

که در این رابطه  $Q_0$ ، ضریب کیفیت در بسامد مرجع  $n$  هر تتر و وابستگی فرکانسی است. شیب خط درجه اول برازش داده شده به روش کمترین مربعات برابر  $n$  و عرض از مبدا این خط برابر  $\text{Ln}(Q_0)$  است. شکل ۲ رابطه وابستگی فرکانسی امواج برشی که با اعمال برازش خط مرتبه اول به روش حداقل مربعات بر مقادیر  $Q_s$  بر حسب بسامد برای هر دو مولفه افقی و میانگین آنها بر حسب فرکانس به دست آمده است، را نشان می دهد. در جدول ۱، نیز مقادیر  $Q_s$  برای ناحیه مورد مطالعه به ازای هفت باند فرکانسی به همراه مقادیر  $Q_0$  و  $n$  برای هر دو مولفه افقی و نیز مقادیر میانگین مقادیر  $Q_s$  آورده شده است.



شکل ۲) رابطه وابستگی فرکانسی ضریب کیفیت موج برشی برای مولفه های E-W، N-S و میانگین دو مولفه افقی با برازش خط درجه اول به روش کمترین مربعات بر مقادیر  $Q_s$  بر حسب بسامد را نشان می دهد.

جدول ۱) مقادیر ضریب کیفیت امواج برشی در هفت فرکانس مرکزی، به همراه مقادیر  $Q_0$  و  $n$  برای دو مولفه افقی و نیز مقادیر میانگین آنها.

Central Frequency	E-W Component $Q_s$	N-S Component $Q_s$	Average $Q_s$
1.5	98	101.5	99.75
3.0	167	198	182.5
4.5	289	280	284.5
6.0	330	299	314.5
9.0	447	415.5	431.25
12.0	572.5	549	560.75
18.0	825	819	822
$Q_0$	70.35	76.61	73.54
$n$	0.85	0.80	0.83

### ۳ نتیجه‌گیری

رابطه وابستگی بسامدی  $Q_S$  برآورد شده برای منطقه البرز مرکزی از روی دو مولفه افقی E-W و N-S به ترتیب  $Q_S=70.35f^{0.85}$  و  $Q_S=76.61f^{0.8}$  به دست آمد. همچنین مقدار میانگین  $Q_S$  دو مولفه افقی به صورت  $Q_S=73.54f^{0.83}$  بدست آمده است. نتایج بدست آمده در این پژوهش با مطالعات قبلی انجام شده در مناطق فعال لرزه زمین‌ساختی در ایران و دیگر نقاط جهان همخوانی قابل قبولی دارد. مطالعات انجام شده نشان‌دهنده رابطه قوی بین  $n$  و سطح فعالیت تکتونیکی هر منطقه است (Aki, 1980; Gupta and Ashwani, 1988). مقدار  $n$  در رابطه  $Q_S$  برآورد شده برای منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که منطقه از نظر لرزه‌خیزی فعال است.

### منابع

- افسری، ن؛ تقی‌زاده‌فرهمند، ف. و قاسمی، م. ر، ۱۳۹۴، مطالعه ساختار پوسته بخش خاوری با استفاده از فازهای تبدیل یافته P، مجله علوم زمین، بهار ۹۴، شماره ۹۵، صفحه ۵۶-۴۹ (زمین‌ساخت).
- Aki, K., 1980, Scattering and attenuation of shear waves in lithosphere, *Journal of Geophysical Research*, 85, 6496-6504.
- Anderson, J. and Quass, 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, *Earthq. Spectra*, 4, 635-646.
- Castro, R. R., Anderson, J. G. and Singh, S. K., 1990, Site response, attenuation and source spectra of S waves along the Guerrero, Mexico, subduction zone, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 1481-1503.
- Chang, T. W. and Sato, H., 2001, Attenuation of high-frequency P and S waves in the crust of Southeastern South Korea: *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91(6), 1867-1874.
- Console, R. and Rovelli, A., 1981, Attenuation parameters for Friuli region from strong motion acceleration spectra, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 1981-1991.
- Fedotov, S. A. and Boldyrev, S. A., 1969, Frequency dependence of body wave absorption in the crust and upper mantle of the Kuril-island chain, *Izv. Akad. Nauk SSSR, Fiz. Zemli* 9, 17-33.
- Gupta, S. C. and Ashwani, K., 1988,  $Q_C$  and  $Q_B$  estimates in the Garhwal Himalaya using strong motion records of Uttarkashi earthquake, *Proc. Eleventh Symp. On Earthquake Engineering*, December 17-19, 1988, (75-83). India, Roorkee.
- Hazarika, D., Baruah, S. and Gogoi, N. K., 2009, Attenuation of coda waves in the Northeastern region of India: *J. Seismol.*, 13, 141-160.
- Kim, K. D., Chung, T. W. and Kyung, J. B., 2004, Attenuation of high frequency P and S waves in the crust of Choongchung provinces, Central South Korea: *Bull. Seism. Soc. Am.*, 94, 1070-1078.
- Kinoshita, S., 1994, Frequency-dependent attenuation of shear waves in the crust of the southern Kanto area, Japan. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 1378-1396.
- Mahood, M. and Hamzehloo, H., 2009, Estimation of coda wave attenuation in East Central Iran: *J. Seismol.*, 13, 125-139.
- Mirzaei, N., Mengtan, G. and Yuntai, C., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: Major seismotectonic provinces: *Journal of Earth Prediction Research*, 7, 465-495.
- Rahimi, H., Hamzehloo, H. and Kamalian, N., 2010, Estimation of Coda and shear wave attenuation in the Volcanic area in SE Sabalan mountain, NW Iran: *Acta Geophys.*, 58, 244-268.
- Rovelli, A., 1983, Frequency relationship for seismic of  $Q_B$  of central southern Italy from accelerograms for Irpinia earthquake (1980), *Phys. Earth Planet. Interiors* 32, 209-217.
- Sato, H. and Matsumura, S., 1980,  $Q^{-1}$  values for S waves (2-32 Hz) under the Kanto district, *Zisin* 33, 541-543 (in Japanese).
- Wong, V., Rebolgar, C. J. and Mungul, L., 2001, Attenuation of Coda waves at the Tres Virgenes volcanic area, Baja California Sur, Mexico: *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 683-693.
- Wu, T., Jiao, W., Ming, Y. and Su, W., 2006, Attenuation of Coda waves at the Changbaishan Tianchi volcanic area in Northeast China: *Pure Appl. Geophys.*, 163, 1351-1368.
- Yoshimoto, K., Sato, H. and Ohtake, M., 1993, Frequency-dependent attenuation of P and S waves in the Kanto area, Japan, based on the coda-normalization method: *Geophys. J. Int.*, 114, 165-174.