

جداسازی جذب ذاتی و جذب حاصل از پراکنش امواج لرزه‌ای در پهنه شمال باختری فلات ایران

مجتبی تقوی^۱، حبیب رحیمی^۲ و علی مرادی^{۳*}

^۱دکتر، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲دانشیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳استادیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۳

چکیده

در این مطالعه مقادیر ناشی از جذب ذاتی و پراکنش، با استفاده از برآورد تضعیف حاصل از امواج دنباله‌ای و برشی جداسازی شده است. با توجه به وجود گسل‌های مهم، شهرهای پرجمعیت، رژیم لرزه‌زمین‌ساختی فعال و آتشفشانی بودن منطقه شمال باختری فلات ایران، برآورد مقادیر جذب امواج لرزه‌ای اهمیت فراوانی دارد. بدین منظور با استفاده از داده‌های زمین‌لرزه‌های ثبت شده در منطقه مورد مطالعه، مقادیر جذب امواج برشی و دنباله‌ای برآورد و میزان سهم جذب ذاتی و جذب حاصل از پراکنش جداسازی شد که نتایج آن حاکی از غلبه اثرات جذب ذاتی در مقایسه با جذب ناشی از پراکنش در منطقه مورد مطالعه است. در منطقه شمال باختری فلات ایران، نواحی اطراف گسل شمال تبریز و همچنین شهر تبریز جایگاه لرزه‌زمین‌ساختی ویژه‌ای دارند، از این رو نتایج این مطالعه علاوه بر منطقه شمال باختری ایران، برای شهر تبریز و همچنین گسل شمال تبریز نیز محاسبه و ارائه شد. در هر سه ناحیه، سهم جذب ذاتی به مراتب بیشتر از جذب ناشی از پراکنش برآورد شد که بیانگر بی‌هنجاری‌های زمین‌ساختی و سرعتی در مناطق یاد شده است. در این مطالعه بیش از ۱۰۰،۰۰۰ نگاشت لرزه‌ای با نسبت سیگنال به نوفه مناسب مورد استفاده قرار گرفت که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ ثبت شده بودند. حجم فراوان داده و چگالی زیاد مسیر پرتوها امکان برآورد ضریب کیفیت با دقت بالا و در ادامه روند جداسازی جذب ذاتی و جذب حاصل از پراکنش امواج لرزه‌ای را فراهم آورد.

کلیدواژه‌ها: امواج دنباله‌ای، موج‌های برشی و فشاری، جذب، ضریب کیفیت.

*نویسنده مسئول: علی مرادی

E-mail: asmoradi@ut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

مختلف زمین‌شناسی متفاوت خواهد بود. امواج دنباله‌ای بسامد بالا حاصل برهم‌نهی امواج پراکنده شده برشی توسط ناهمگنی‌های تصادفی توزیع یافته در پوسته و گوشته بالایی زمین هستند. از آنجایی که این امواج به علت وجود تعداد زیادی ناهمگنی تصادفی در محیط تولید می‌شوند، نمی‌توان آنها را با روشی قطعی و صریح جدا و با دقت فراوان حذف کرد. با این حال می‌توان این مسئله را با روش‌های آماری که نیاز به ضرایب کمتری برای توصیف خصوصیات امواج دنباله‌ای دارند تا حد زیادی حل کرد (Aki, 1969; Aki and Chouet, 1975; Sato, 1977).

از جمله مطالعات برآورد ضریب کیفیت انجام شده در شمال باختری ایران می‌توان به (Rahimi et al. (2010a اشاره کرد، که تضعیف بالای امواج مستقیم برشی را برای منطقه آتشفشانی سبلان، به ویژگی‌های زمین‌گرمایی منطقه سبلان نسبت داده‌اند. حیدری (۱۳۹۴) مقادیر پایین ضریب کیفیت را برای کل منطقه شمال باختری ایران و گسل شمال تبریز برآورد کردند. متقی و همکاران (۱۳۹۵) در راستای برآورد رابطه کاهندگی طیفی دامنه جنبش زمین در ناحیه شمال باختری ایران، مقادیر جذب امواج لرزه‌ای را نیز در ناحیه شمال باختری ایران برآورد کردند. ضروری‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) تضعیف کدای موج برشی را با استفاده از داده‌های ثبت شده در ناحیه شمال باختری ایران برآورد کردند.

از مطالعات انجام شده برای تعیین ضریب کیفیت امواج پیکری و دنباله‌ای در دیگر نواحی ایران می‌توان به تعیین ضریب کیفیت امواج برشی برای زمین‌لرزه کجور در البرز باختری (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۴)، مطالعات متقی و همکاران (۱۳۹۰) (۱۳۹۰) در ناحیه تهران، راستگو و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه هرمزگان، Mousavi et al. (2007) در فلات ایران، Kamalian et al. (2007) در منطقه آوج، Zafarani et al. (2008) در فلات ایران، Ma'hood and Hamzehloo (2009) در خاور ایران مرکزی، Safarshahi et al. (2011) در منطقه مکران، Hassani et al. (2011) در خاور ایران مرکزی و Samaei et al. (2013) در محدوده استان تهران و Farrokhi et al. (2016) در ناحیه البرز اشاره کرد.

بررسی و مطالعه شکل موج‌های ثبت شده بر روی لرزه‌نگاشت‌ها کمک فراوانی به شناخت ساختار سرعتی، همسانگردی، ناهمگنی‌ها و خواص کشسانی و ناکشسانی محیط انتشار می‌کند. با توجه به ماهیت ناهمگن و غیرکشسان زمین، در هنگام عبور امواج زمین‌لرزه از لایه‌های درونی آن تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی به‌طور کامل برگشت پذیر نیست. حرکت امواج در طول جابه‌جایی کانی‌های تشکیل دهنده مواد زمین و ایجاد حرارت برشی در مرز دانه‌ها باعث اتلاف انرژی اولیه موج لرزه‌ای می‌شود. این سازوکار را اصطکاک داخلی می‌نامند و اثرات ناشی از آن را با عنوان جذب ذاتی توصیف می‌کنند (Lay and Wallace, 1995). دامنه موج در حال انتشار به علت تبدیل قسمتی از انرژی کشسان به اصطکاک و یا سایر عوامل غیرکشسان، میرایی و افت پیدا می‌کند. دو سازوکار فیزیکی مجزای تضعیف یعنی جذب ذاتی و پراکنش اهمیت و کاربرد فراوانی در مطالعات بزرگ‌مقیاس لایه‌های درونی زمین دارد و عاملی برای شناخت هر چه بهتر خواص درونی زمین است (Minster, 1980; Karato, 1998; Der, 1998; Romanowicz and Durek, 2000). اثرات جذب کلی امواج لرزه‌ای می‌تواند به علت اثرات انکسار جانبی، چند مسیری، کانونی و غیر کانونی شدن پنهان شود و لذا این اثرات باید حذف شوند و یا به کمترین میزان خود قبل از تحلیل نتیجه‌های نهایی به دست آمده در تخمین جذب امواج لرزه‌ای برسند. جذب ذاتی در اثر جابه‌جایی‌های ریزمقیاس بلوری، اصطکاک و سیالات منفذی رخ می‌دهد و بیانگر اتلاف برگشت‌ناپذیر انرژی در محیط غیرهمگن و ناکشسان است. این اثرات به‌طور عمده ناشی از پیچیدگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی جانبی هستند و تجربه نشان داده است که تخمین جذب امواج لرزه‌ای هنگام عبور از زمین به علت وجود همه این اثرات می‌تواند غیر واقعی برآورد شود و لذا در برآورد جذب امواج لرزه‌ای و برای حذف این اثرات روش‌هایی در انتخاب چشمه‌ها، مکان ایستگاه‌ها و مسیرهای تحت پوشش ارائه شده که باید مورد توجه قرار گیرد (Mitchell, 1995; Mitchell et al., 1997). در برآورد ضریب کیفیت با روش‌های مختلف این نکته نیاز به دقت دارد که یکی از عناصر پراکنش یا ذاتی در یک روش برآورد جذب امواج لرزه‌ای می‌تواند بر دیگری تسلط داشته باشد و همچنین این میزان برای نواحی

۲- جایگاه زمین‌ساختی شمال باختری ایران

محدوده شمال باختر فلات ایران از نظر تقسیم‌بندی‌های مختلف زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی دارای وضعیت ناشناخته و پیچیده‌ای است که ریشه در دگرشکلی‌های فراوان زمین‌ساختی این ناحیه دارد. شمال باختر ایران از مناطق مهم جمعیتی و اقتصادی کشور بوده و سابقه لرزه‌خیزی آن حاکی از فعالیت شدید این ناحیه، شهر تبریز و مجموعه گسلی شمال تبریز است. منطقه آذربایجان به واسطه وجود گسل‌های فعال متعدد از جمله مناطق مستعد وقوع زمین‌لرزه در کشور به شمار می‌رود. بارزترین تغییرات توپوگرافی محدوده مورد مطالعه مربوط به کوه‌های آتشفشانی سهند و سیلان است.

پهنه شمال باختر فلات ایران قسمتی از فلات ایران- ترکیه است که یکی از دو فلات مهم سیستم چین‌خورده آلپ- هیمالیا به شمار می‌رود (Sengör and Kidd, 1979; Dewey et al., 1986). شمال باختر فلات ایران و منطقه آذربایجان به دلیل قرار گرفتن گسل‌های فعال فراوان از مناطق با پتانسیل زیاد وقوع زمین‌لرزه در کشور به شمار می‌رود. با دید کلی به زمین‌لرزه‌های تاریخی روی داده در این محدوده مشخص می‌شود که ویرانی‌ها و خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه در این منطقه در برخی موارد بیش از سایر مناطق کشور است. با بررسی ساختارهای زمین‌شناسی شمال باختر فلات ایران می‌توان به این نکته پی برد که ویژگی‌های اکثر واحدهای ساختمانی و رسوبی موجود در سراسر کشور ایران در آن جمع شده‌اند (آقاباتی، ۱۳۸۳). Rizza et al. (2013) نرخ لغزش گسل شمال تبریز را در امتداد دو پروفیل معجزا $1/3 \pm 7/3$ میلی‌متر در سال برآورد کردند. گسل شمال تبریز نمود و رخمون بارزی در سطح دارد که (Moradi et al. 2011) شیب این گسل را به صورت قائم و راستای کلی آن را N115E عنوان کردند.

۳- جداسازی جذب ذاتی و پراکندگی

تاکنون بررسی‌های متعددی توسط افراد مختلف برای مشخص کردن میزان مشارکت هر یک از دو عامل جذب ذاتی و پراکندگی در برآورد ضریب تضعیف انجام شده و روش‌های گوناگونی نیز پیشنهاد شده است اما تعیین مرز دقیق میان این دو عامل مهم امکان‌پذیر نیست (Chang et al., 2009). Wu (1985) بر اساس نظریه انتقال، روشی را جهت محاسبه میزان جذب ذاتی و پراکندگی توسعه داد. به طوری که از روی وابستگی انرژی امواج برشی به فاصله چشمه- گیرنده، برآورد میزان نسبی جذب ذاتی و پراکنش صورت می‌گیرد که بر اساس وابستگی کامل انرژی موج S به فاصله کانونی پایه گذاری شده است. Zeng (1991) روش ارائه شده توسط Wu (1985) را توسعه داد و مدلی برای جذب امواج دنباله‌ای بر پایه پراکنش چندگانه غیرساکن پیشنهاد کرد.

ضریب جذب کلی برآورد شده حاصل جمع جذب ذاتی و جذب حاصل از پراکنش است که جداسازی این دو عامل و دانستن تقریبی میزان و چگونگی تغییرات جذب در اثر پراکندگی Q_c^{-1} و جذب ذاتی Q_s^{-1} ، جهت مطالعه و تعیین مواد سازنده زیرسطحی، بی‌هنجاری حرارتی، تفسیرهای زمین‌ساختی، ارزیابی حرکات پوسته زمین و تعیین خصوصیات جنبش زمین اهمیت دارد (Hoshiba, 1993; Del Pezzo et al., 1995; Bianco et al., 1999 and 2002; Rahimi et al., 2010). Wennerberg (1993) روشی را برای برآورد Q_c و Q_s از روی ضریب کیفیت موج برشی (S مستقیم) که در اینجا با Q_s نمایش داده می‌شود و امواج دنباله‌ای پیشنهاد داد. این روش بر پایه تقریب (Abubakirov and Gusev (1990) به روی مدل توسعه یافته Zeng (1991) استوار است. به این صورت که وابستگی زمان جذب Q_c نمی‌تواند با توجه به نقص روش پراکنش ساده به طور کامل توضیح داده شود اما تفسیر منطقی تری بر حسب یک محیط غیریکنواخت به دست می‌دهد. دلیل وابستگی زمان جذب Q_c^{-1} مشاهده شده می‌تواند به کاهش تضعیف ذاتی با افزایش عمق در لیتوسفر نسبت داده شود (Del Pezzo et al., 1995) و به طور قابل توجهی به کاهش تضعیف ذاتی با عمق در لیتوسفر وابسته باشد.

رابطه ضریب جذب کلی امواج برشی مستقیم Q_s^{-1} ، ضرایب جذب ذاتی Q_i^{-1} و پراکندگی Q_{sc}^{-1} به صورت رابطه زیر است:

$$\frac{1}{Q_s} = \frac{1}{Q_i} + \frac{1}{Q_{sc}} \quad (1)$$

با مطالعه نسبت کاهش دامنه امواج دنباله‌ای و مقایسه آن با روند کاهش دامنه حاصل از نظریه تک‌پراکنش و پراکنش چندگانه این نتیجه به دست می‌آید که این نسبت به صورت نمایی است و می‌توان ضریب جذب امواج دنباله‌ای Q_c^{-1} بر حسب ضریب کیفیت ذاتی و پراکندگی را به صورت رابطه زیر بیان کرد (Wennerberg, 1993):

$$\frac{1}{Q_c} = \frac{1}{Q_i} + \frac{1-2\delta(\tau)}{Q_{sc}} \quad (2)$$

$$1-2\delta(\tau) = -\frac{1}{4.44+0.738\tau} \quad \text{و} \quad \tau = \frac{\omega t}{Q_{sc}}$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود τ یک کمیت بدون بعد و δ بیانگر رابطه بین ضرایب کیفیت امواج لرزه‌ای مورد مطالعه است. معادله دو عامل جذب ذاتی و پراکندگی را می‌توان به معادلات زیر خلاصه کرد:

$$\frac{1}{Q_{sc}} = \frac{1}{2\delta(\tau)} \left(\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_c(\tau)} \right) \quad (3)$$

$$\frac{1}{Q_i} = \frac{1}{2\delta(\tau)} \left(\frac{1}{Q_c(\tau)} + \frac{2\delta(\tau)-1}{Q_s} \right) \quad (4)$$

با ادغام روابط بالا ضریب کیفیت حاصل از پراکندگی Q_{sc} از حل ریشه مثبت معادله زیر به دست خواهد آمد:

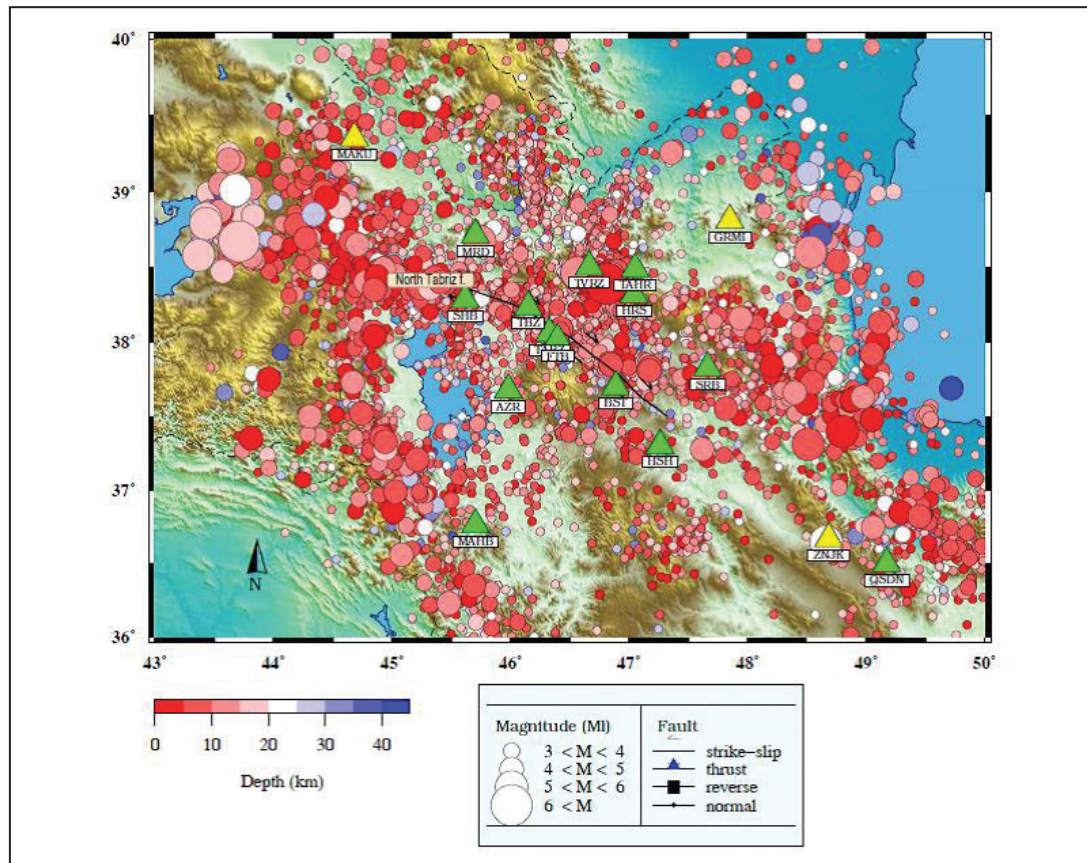
$$(Q_c - Q_s) 4.44 Q_{sc}^2 + Q_{sc} [0.738 \omega t (Q_c - Q_s) - 5.88 Q_c Q_s] - 0.738 \omega t Q_c Q_s = 0 \quad (5)$$

با داشتن ضریب کیفیت قسمت پراکنش و همچنین ضریب کیفیت کلی برآورد شده، ضریب کیفیت ذاتی محیط انتشار موج حاصل از زمین‌لرزه محاسبه خواهد شد.

۴- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش با توجه به اهمیت شهر تبریز و همچنین گسل شمال تبریز جداسازی جذب ذاتی و جذب حاصل از پراکنش علاوه بر منطقه شمال باختر فلات ایران به طور اختصاصی برای شهر تبریز و گسل شمال تبریز محاسبه شده است. بدین منظور از تعداد بیش از ۱۰۰،۰۰۰ نگاشت لرزه‌ای مربوط به ۱۴۹۶۹ زمین‌لرزه با نسبت سیگنال به نوفه بالا ثبت شده در بازه زمانی سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۴ در ایستگاه‌های مرکز لرزه‌نگاری کشوری و شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن ایران در گستره شمال باختر ایران، شهر تبریز و پهنه گسلی شمال تبریز استفاده شده است. با توجه به فرضیات اولیه روش تک‌پراکنش به عقب آکی از زمین‌لرزه‌هایی با بزرگای متوسط برای به دست آوردن ضریب کیفیت امواج دنباله‌ای Q_c استفاده می‌شود، بنابراین در این مطالعه نیز داده‌هایی با بزرگای بین ۲ تا ۴ به کار گرفته شده است. تعداد زیاد زمین‌لرزه‌های و به تبع آن تعداد بالای مسیر پرتوهای لرزه‌ای، امکان برآورد ضریب کیفیت را با دقت بالا در این تحقیق فراهم می‌کند (شکل ۱).

امواج دنباله‌ای در اثر پراکنش امواج مستقیم برشی تولید شده و این امر باعث انتشار موج در همه جهات می‌شود. امواج دنباله‌ای در هر سه مؤلفه لرزه‌نگاشت به صورت آشکار ثبت می‌شود (Stein And Wysession, 2003). از هر سه مؤلفه می‌توان برای برآورد ضریب کیفیت استفاده کرد، به عبارت دیگر برآورد جذب امواج دنباله‌ای مستقل از نوع مؤلفه نگاشت لرزه‌ای است (Del Pezzo and Scarcell, 1986). در این تحقیق هم از هر سه مؤلفه لرزه‌نگاشت‌ها استفاده شد و با میانگین‌گیری از نتایج جذب برای سه مؤلفه ضریب تضعیف کلی به دست آمد. بعد از جداسازی شکل موج‌های یاد شده، پردازش‌های اولیه انجام و نسبت سیگنال به نویز برآورد شده است.



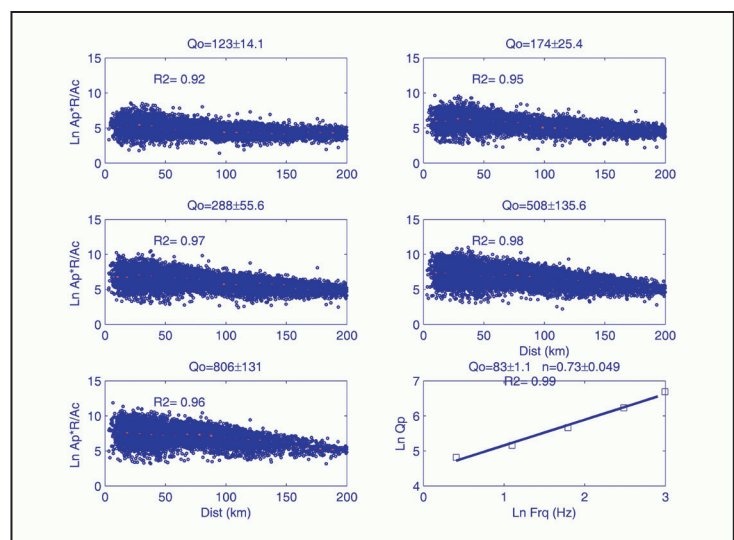
شکل ۱- زمین لرزه‌های روی داده، موقعیت گسل شمال تبریز و ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه نمایش داده شده است. مثلث‌های سبز رنگ ایستگاه مربوط به مرکز لرزه‌نگاری کشوری و مثلث‌های زرد رنگ ایستگاه‌های متعلق به شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن ایران هستند.

۵- برآورد جذب ذاتی و پراکنش

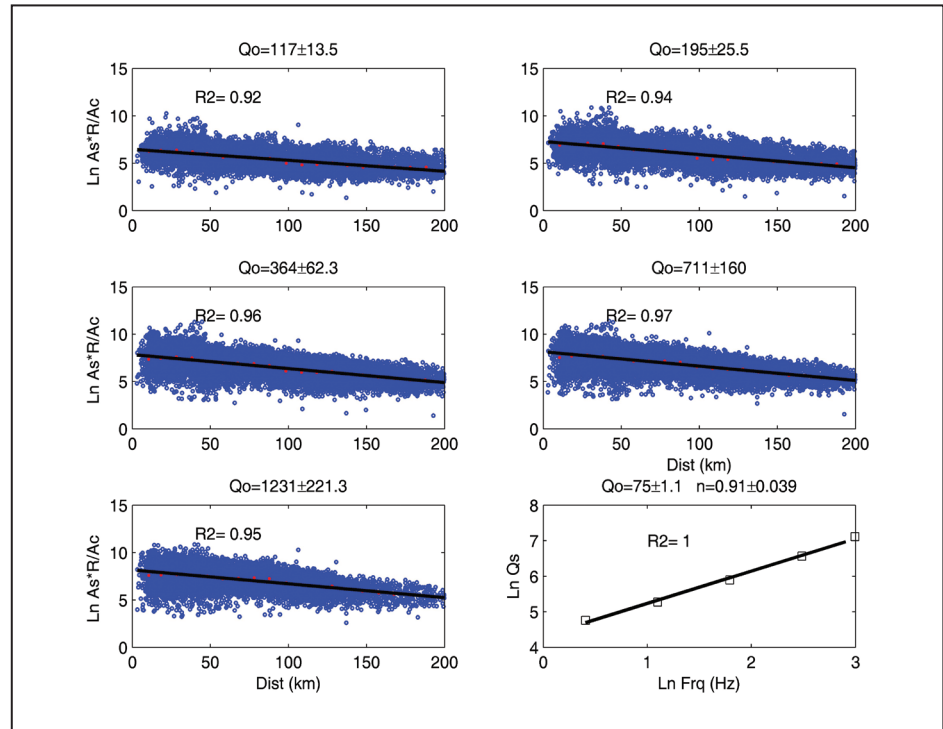
شهر تبریز و گسل شمال تبریز محاسبه و ارائه شد. جداسازی جذب ذاتی و جذب حاصل از پراکنش نیز برای سه ناحیه یاد شده صورت پذیرفت. در این بخش از داده‌هایی با فاصله رومرکزی صفر تا ۲۰۰ کیلومتر استفاده شد و برای به دست آوردن نتایج پایدار، طول پنجره‌های بالای ۴۰ ثانیه مورد استفاده قرار گرفت. بستگی بسامدی ضرایب جذب امواج برای منطقه شمال باختر ایران (شکل‌های ۲ و ۳)، شهر تبریز و اطراف گسل شمال تبریز به صورت جداگانه و نیز رابطه بستگی بسامدی ضرایب کیفیت برای هر سه ناحیه برآورد شد که در ادامه آمده است. به منظور برآورد ضرایب کیفیت موج طولی از مؤلفه قائم و همچنین برای مطالعه ضرایب کیفیت موج برشی از دو مؤلفه افقی زمین لرزه‌ها استفاده شده است.

با توجه به اینکه روش Wennerberg (1993) جهت جداسازی جذب ذاتی Q_i^{-1} و جذب حاصل از پراکنش Q_{sc}^{-1} نیاز به ضریب کیفیت موج برشی (مستقیم) Q_s و امواج دنباله‌ای دارد، ابتدا ضریب کیفیت موج برشی با استفاده از روش کدای بهنجار شده (Aki, 1980; Yoshimoto et al., 1993; Hatzidimitriou, 1995) در مرحله دوم، ضریب کیفیت امواج دنباله‌ای از مدل تک‌پراکنش به عقب برآورد شد (Aki, 1969; Aki and Chouet, 1975). در نهایت نتایج به دست آمده از دو روش فوق برای جداسازی جذب ذاتی و پراکنش طبق رابطه ۵ استفاده شد. با توجه به اهمیت شهر تبریز و همچنین گسل شمال تبریز، مقادیر ضرایب کیفیت امواج دنباله‌ای، برشی و فشارشی به‌طور جداگانه برای منطقه شمال باختری فلات ایران،

شکل ۲- تعیین رابطه وابستگی بسامدی ضرایب کیفیت امواج طولی در پنج بسامد مرکزی با برازش خط درجه اول به روش کمترین مربعات برای منطقه شمال باختر.



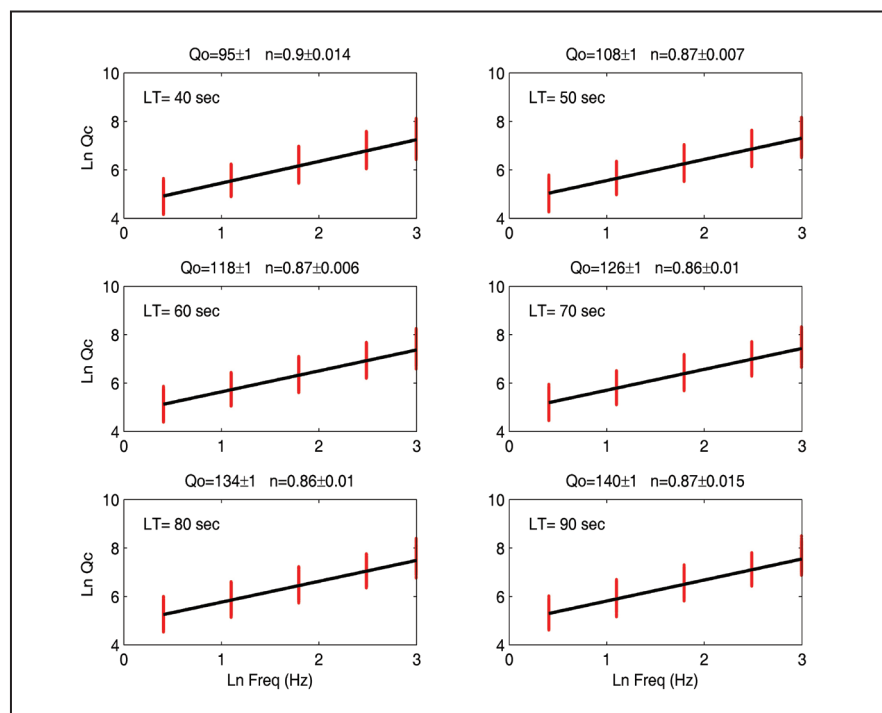
شکل ۳- تعیین رابطه وابستگی بسامدی ضریب کیفیت امواج برشی در پنج بسامد مرکزی با برازش خط درجه اول به روش کمترین مربعات برای منطقه شمال باختر.



پیروی می‌کنند.
ضرایب کیفیت امواج دنباله‌ای برآورد شده برای سه ناحیه یاد شده به‌طور میانگین در قسمت جدا کردن جذب ذاتی و پراکنش در پنجره زمانی ۴۰ ثانیه محاسبه شد که به عنوان نمونه در شکل ۴ برای محدوده اطراف شهر تبریز نمایش داده شده است و به ترتیب از روابط بسامدی $Q_e = 97(\pm 0.91) \times f^{0.91(\pm 0.01)}$ برای کل منطقه شمال باختر ایران، $Q_e = 95(\pm 1.00) \times f^{0.09(\pm 0.14)}$ برای شهر تبریز و حومه آن و $Q_e = 94(\pm 1.00) \times f^{0.85(\pm 0.02)}$ برای گسل شمال تبریز، پیروی می‌کنند.

با توجه به اهمیت شهر تبریز و همچنین گسل شمال تبریز، مقادیر ضرایب کیفیت امواج دنباله‌ای، برشی و فشارشی همانند ضریب کیفیت امواج دنباله‌ای برای منطقه شمال باختر ایران، شهر تبریز و گسل شمال تبریز محاسبه شد. ضرایب کیفیت برآورد شده برای سه ناحیه یاد شده به‌طور میانگین به ترتیب از رابطه بسامدی $Q_s = 75(\pm 1.1) f^{0.91(\pm 0.039)}$ ، $Q_p = 83(\pm 1.1) f^{0.73(\pm 0.049)}$ ، $Q_s = 78(\pm 1.1) f^{0.92(\pm 0.064)}$ و $Q_p = 83(\pm 1.2) f^{0.86(\pm 0.097)}$ و $Q_s = 78(\pm 1.1) f^{0.93(\pm 0.026)}$ و $Q_p = 91(\pm 1.1) f^{0.74(\pm 0.037)}$

شکل ۴- مقایسه رفتار ضرایب کیفیت امواج دنباله‌ای با افزایش بسامد در زمان گذشت‌های مختلف از پنجره موج دنباله‌ای در محدوده اطراف شهر تبریز.



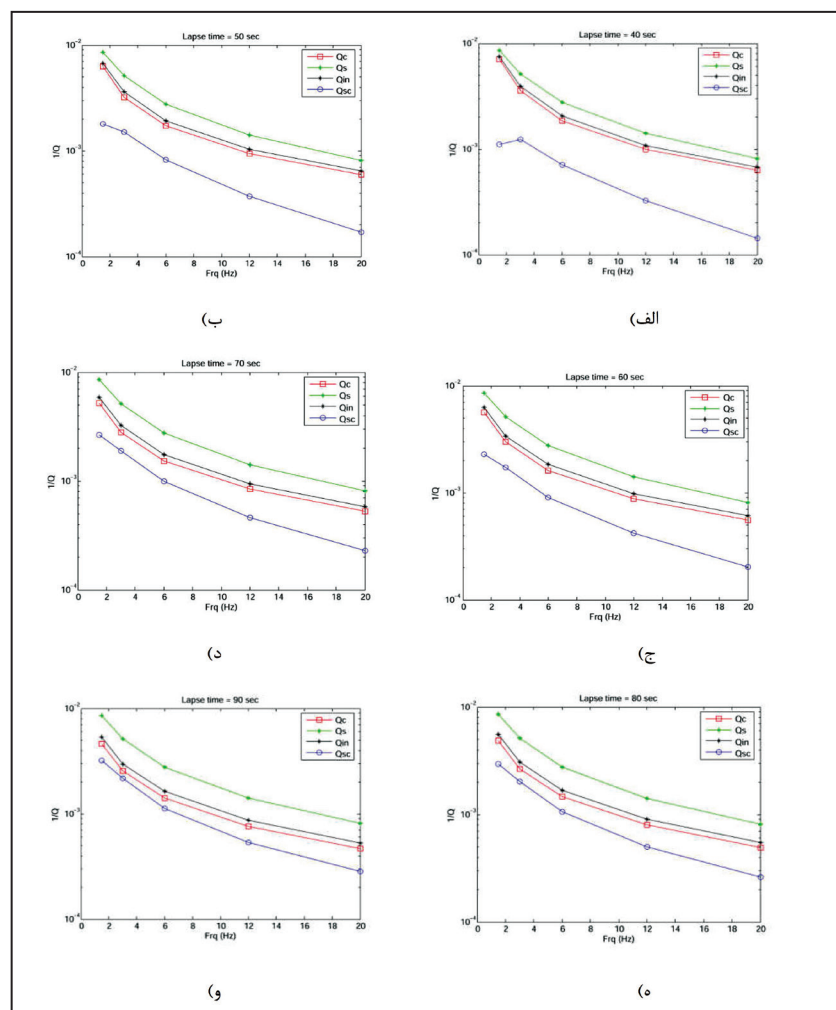
این موضوع نشان‌دهنده جذب شدید موج حاصل از زمین‌لرزه در اطراف این سیستم گسلی است که همخوانی مناسبی با تغییر شکل‌های حاصل از فعالیت این گسل دارد. به همین ترتیب برای اطراف شهر تبریز از منطقه شمال باختر ایران بیشتر است که با توجه به نزدیکی آتشفشان سهند و وجود پهنه‌های گسلی فراوان مخصوصاً سیستم گسلی شمال تبریز به این شهر بزرگ نتایج حاصل توجه‌پذیر است.

با توجه به نمودارهای مقایسه ضرایب کیفیت برآورد شده ضریب جذب امواج برشی Q_s^{-1} برای کل منطقه شمال باختر، اطراف شهر تبریز و گسل شمال تبریز از ضرایب Q_c^{-1} ، Q_i^{-1} و Q_{sc}^{-1} بیشتر است. در مورد نمودار امواج برشی به دست آمده باید یادآور شد که مطالعه و برآورد ضریب کیفیت موج برشی در تخریب سازه‌ها و تعیین مناطق و شهرهای دارای خطرپذیری زیاد اهمیت بالایی دارد. جذب بیشتر امواج مستقیم برشی در نواحی مختلف شمال باختر فلات ایران باعث کاهش سریع انرژی امواج خواهد شد که این امر در کاهش تخریب و ویرانی سازه‌ها با توجه به فاصله تأثیر بسزایی دارد.

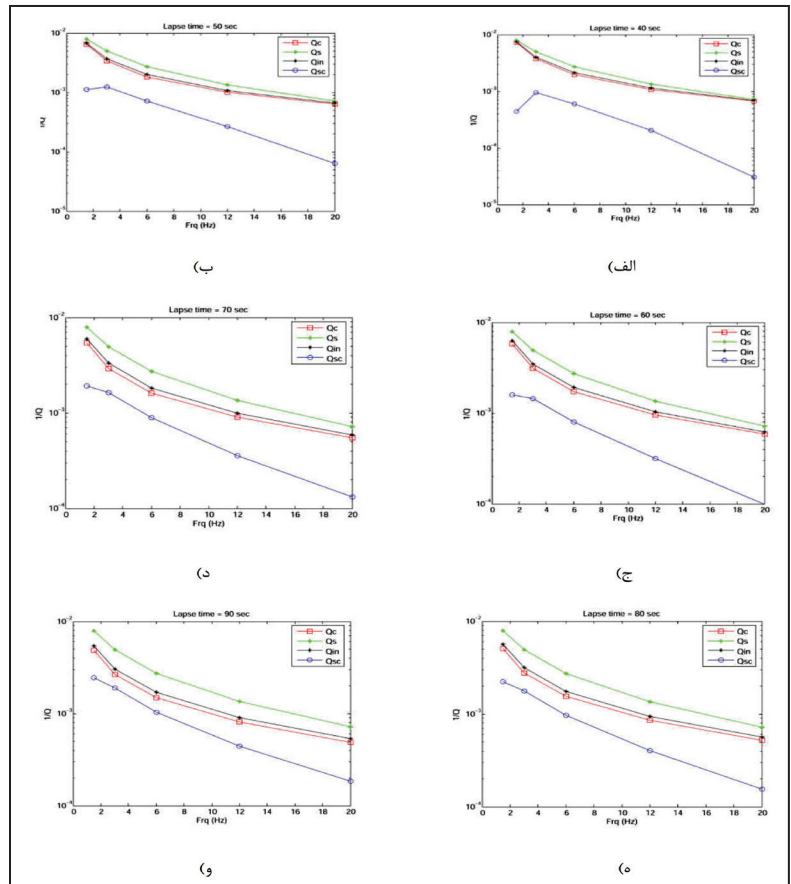
نتیجه اصلی برای هر سه ناحیه برابری تقریبی مقادیر جذب ذاتی و جذب حاصل از پراکنش در اکثر بازه‌های بسامدی است که نشان می‌دهد اثر تضعیف پراکنش Q_{sc}^{-1} تأثیر کمتری در این منطقه دارد و تضعیف برآورد شده از پدیده‌های غیرکشسان ناشی می‌شود. جذب ذاتی Q_i^{-1} برای هر سه ناحیه خیلی بیشتر از تضعیف ناشی از پراکنش Q_{sc}^{-1} بوده و همچنین جذب حاصل از امواج دنباله‌ای Q_c^{-1} برآورد شده با Q_i^{-1} برآورد شده نزدیک‌تر است که به صورت تقریبی و ایده‌آل می‌توان ضریب جذب امواج دنباله‌ای را به عنوان ضریب جذب ذاتی در هر سه ناحیه در نظر گرفت و بنابراین می‌تواند برای دیگر مطالعات لرزه‌زمین‌ساختی و زمین‌لرزه‌شناسی با تقریب خوبی مورد استفاده قرار گیرد.

در این بخش علاوه بر جداسازی سهم میرایی پراکنش و تضعیف حاصل از جذب، مقادیر ضریب کیفیت برای امواج دنباله‌ای، برشی و فشارشی نیز بخشی از نتایج محاسبات است که به صورت نمودار در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نمایش داده شده‌اند. با ارزیابی نمودارهای مقایسه ضرایب کیفیت برآورد شده امواج دنباله‌ای، پراکنش، موج برشی و ذاتی در شش پنجره زمانی مختلف (پنجره‌های ۴۰ تا ۹۰ با گام‌های ۱۰ ثانیه) برای کل منطقه شمال باختر، اطراف شهر تبریز و گسل شمال تبریز، توجه به وجود گسل‌های فعال کواترنری، نواحی آتشفشانی، وجود چشمه‌های آب گرم، بی‌هنجاری‌های زمین‌شناسی و نرخ لرزه‌خیزی بالا به دور از انتظار نیست و جذب ذاتی زیاد در هر ناحیه این موارد را تأیید می‌کند. در بازه‌های بسامدی پایین، جذب بسیار بالا و با افزایش بسامد روند افت نمودار جذب کمتر می‌شود این موضوع به این علت است که در هر چه بسامد پایین‌تر باشد طول موج بلندتر است و ساختارها و بی‌هنجاری‌های بیشتری بر آن اثر می‌گذارند.

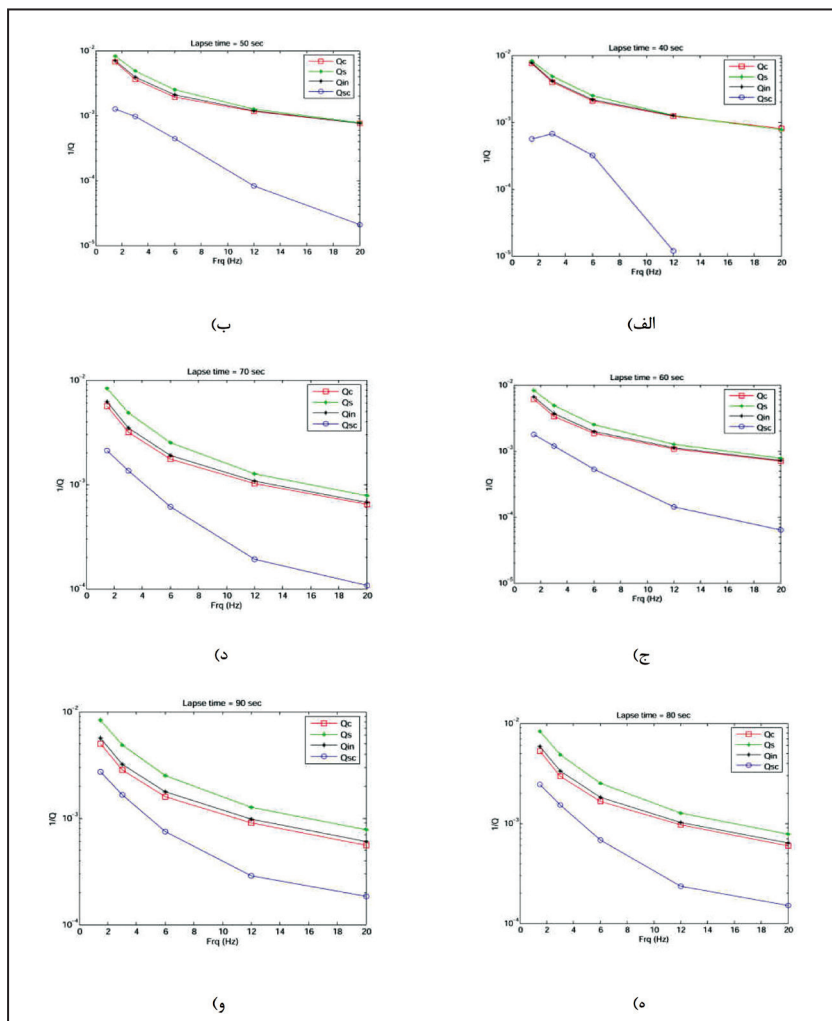
با افزایش طول پنجره زمانی، امواج از لایه‌های عمیق‌تر به ایستگاه می‌رسند (گسترش محیط پراکنش) و ناهمگنی‌ها کاهش می‌یابد و با افزایش عمق، موج کمتر پراکنش می‌یابد و روند افت نمودار آن کمتر می‌شود. همچنین با افزایش عمق، روند کاهشی Q_i^{-1} ادامه دارد و جذب ذاتی وابستگی عمقی پیدا می‌کند و به نمودار Q_c^{-1} نزدیک می‌شود. روند کلی تغییرات نمودار جذب Q_c^{-1} ، Q_s^{-1} ، Q_i^{-1} و Q_{sc}^{-1} در کل منطقه شمال باختر، اطراف شهر تبریز و گسل شمال تبریز یکسان است و برای بسامدهای پایین جذب قوی‌تر می‌شود و با افزایش بسامد این روند حالت کاهشی می‌یابد و متعادل‌تر می‌شود. مقادیر جذب ذاتی و جذب امواج دنباله‌ای در اطراف گسل شمال تبریز نسبت به کل منطقه و همچنین شهر تبریز به هم نزدیک‌تر هستند که



شکل ۵- نمودار مقایسه ضرایب کیفیت برآورد شده امواج دنباله‌ای، پراکنش، موج برشی و ذاتی در پنجره‌های زمانی مختلف (پنجره‌های ۴۰ تا ۹۰ با گام‌های ۱۰ ثانیه) برای کل منطقه شمال باختر.



شکل ۶- نمودار مقایسه ضرایب کیفیت برآورد شده امواج دنباله‌ای، پراکنش، موج برشی و ذاتی در پنجره‌های زمانی مختلف (پنجره‌های ۴۰ تا ۹۰ با گام‌های ۱۰ ثانیه) برای شهر تبریز.



شکل ۷- نمودار مقایسه ضرایب کیفیت برآورد شده امواج دنباله‌ای، پراکنش، موج برشی و ذاتی در پنجره‌های زمانی مختلف گسل شمال تبریز (پنجره‌های ۴۰ تا ۹۰ با گام‌های ۱۰ ثانیه).

۶- بحث

در محدوده مورد بررسی جذب امواج دنباله‌ای با جذب ذاتی همخوانی بیشتری نشان می‌دهد و با افزایش بازه بسامدی ضریب جذب ذاتی به ضریب جذب امواج دنباله‌ای نزدیک‌تر می‌شود. مقادیر جذب ذاتی و جذب امواج دنباله‌ای در اطراف گسل شمال تبریز نسبت به کل منطقه و همچنین شهر تبریز به هم نزدیک‌تر هستند که این موضوع نشان از جذب شدید موج حاصل از زمین‌لرزه در اطراف این سیستم گسلی دارد. به همین ترتیب برای اطراف شهر تبریز نیز میزان جذب امواج دنباله‌ای از منطقه شمال باختر ایران بیشتر است که با توجه به نزدیکی آتشفشان سهند و وجود پهنه‌های گسلی فراوان مخصوصاً سیستم گسلی شمال تبریز به این شهر بزرگ نتایج حاصل توجه‌پذیر است.

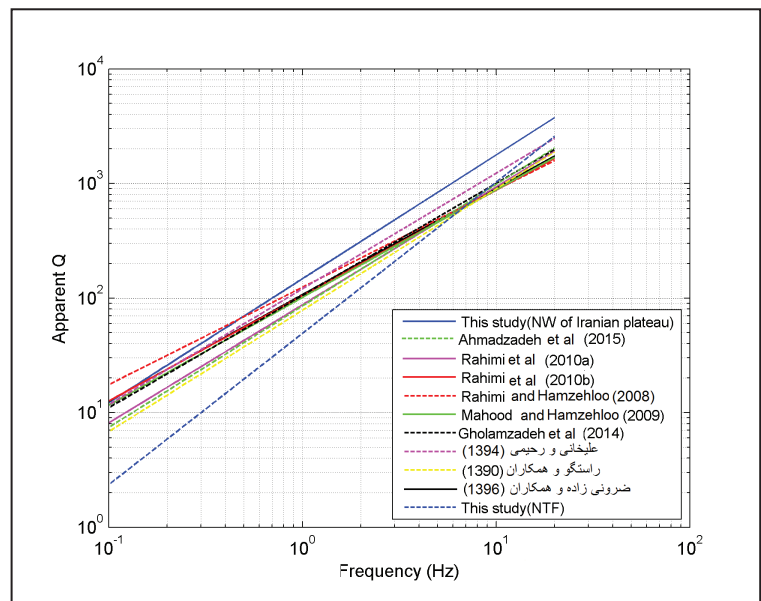
جدول ۱- نتایج برآورد ضرایب کیفیت حاصل از امواج دنباله‌ای، برشی، ذاتی و پراکنش

در پنجره‌های زمانی و بازه‌های بسامدی مختلف برای محدوده شهر تبریز.

Lapse Time (s)	Frq1	Frq2	Qc	Qs	Qi	Qsc
40	1	2	137	127	134	2276
40	2	4	269	202	250	1045
40	4	8	508	367	468	1688
40	8	16	925	742	876	4835
40	16	24	1475	1392	1454	32492
50	1	2	155	127	148	891
50	2	4	295	202	269	810
50	4	8	547	367	496	1408
50	8	16	991	742	923	3769
50	16	24	1572	1392	1526	15791
60	1	2	171	127	159	625
60	2	4	320	202	286	687
60	4	8	578	367	518	1253
60	8	16	1054	742	969	3157
60	16	24	1694	1392	1616	10035
70	1	2	184	127	168	518
70	2	4	340	202	300	614
70	4	8	616	367	546	1117
70	8	16	1107	742	1008	2804
70	16	24	1813	1392	1703	7619
80	1	2	196	127	176	451
80	2	4	359	202	314	563
80	4	8	648	367	570	1029
80	8	16	1174	742	1058	2479
80	16	24	1910	1392	1774	6453
90	1	2	206	127	184	408
90	2	4	377	202	327	526
90	4	8	674	367	590	970
90	8	16	1235	742	1104	2259
90	16	24	2047	1392	1876	5395

نمودارهای جذب Q_c^{-1} ، Q_s^{-1} ، Q_i^{-1} و Q_{sc}^{-1} با بالا رفتن بسامد، روند کاهشی دارند اما به طور کلی روند کاهش نمودارهای جذب Q_c^{-1} ، Q_s^{-1} ، Q_i^{-1} کمتر از روند افت نمودار جذب پراکنش است. پراکنده‌گی کمتر برآورد شده نسبت به جذب ذاتی نشان از آن دارد که ضریب تضعیف برآورد شده، بیشتر متأثر از ناهنجاری‌های زمین‌ساختی، وجود گسل‌های فراوان، قله‌های آتشفشانی و نواحی گرم موجود در شمال باختر فلات ایران است. نتایج برآورد شده به صورت جدول ۱، ۲ و ۳ آمده است.

مقدارهای برآورد شده (Q_0) در سه ناحیه مورد مطالعه کمتر از ۲۰۰ به دست آمد که بیان‌کننده لرزه‌زمین‌ساخت فعال این نواحی است. در شکل ۸، نتایج حاصل از برآورد ضریب کیفیت برای منطقه شمال باختر فلات ایران با مطالعات یاد شده در مباحث قبلی برای نواحی دیگر فلات ایران مقایسه شده است.



شکل ۸- مقایسه نمودار تضعیف منطقه شمال باختر ایران و نواحی اطراف گسل شمال تبریز و آتشفشان سهند با بررسی‌های انجام شده در نواحی مختلف ایران.

جدول ۳- نتایج برآورد ضرایب کیفیت حاصل از امواج دنباله‌ای، برشی، ذاتی و پراکنش در پنجره‌های زمانی و بازه‌های بسامدی مختلف برای منطقه شمال باختر فلات ایران.

Lapse Time (s)	Frq1	Frq2	Qc	Qs	Qi	Qsc
40	1	2	140	117	134	901
40	2	4	280	195	256	816
40	4	8	541	364	489	1417
40	8	16	1009	711	924	3073
40	16	24	1594	1231	1495	6969
50	1	2	159	117	147	559
50	2	4	310	195	276	661
50	4	8	582	364	518	1220
50	8	16	1069	711	968	2677
50	16	24	1681	1231	1558	5864
60	1	2	177	117	159	437
60	2	4	335	195	293	579
60	4	8	617	364	543	1101
60	8	16	1134	711	1014	2374
60	16	24	1790	1231	1637	4961
70	1	2	191	117	169	376
70	2	4	356	195	308	529
70	4	8	653	364	569	1007
70	8	16	1188	711	1055	2178
70	16	24	1899	1231	1717	4348
80	1	2	204	117	179	337
80	2	4	376	195	323	490
80	4	8	683	364	592	943
80	8	16	1246	711	1099	2012
80	16	24	2029	1231	1813	3834
90	1	2	217	117	187	309
90	2	4	394	195	336	463
90	4	8	710	364	613	895
90	8	16	1312	711	1148	1865
90	16	24	2142	1231	1897	3505

جدول ۲- نتایج برآورد ضرایب کیفیت حاصل از امواج دنباله‌ای، برشی، ذاتی و پراکنش در پنجره‌های زمانی و بازه‌های بسامدی مختلف برای گسل شمال تبریز.

Lapse Time (s)	Frq1	Frq2	Qc	Qs	Qi	Qsc
40	1	2	131	120	128	1772
40	2	4	251	206	239	1485
40	4	8	476	398	455	3136
40	8	16	802	792	799	83665
40	16	24	1226	1276	NaN	NaN
50	1	2	149	120	141	793
50	2	4	276	206	257	1034
50	4	8	514	398	483	2260
50	8	16	866	792	847	12051
50	16	24	1322	1276	1310	48029
60	1	2	164	120	152	565
60	2	4	299	206	273	836
60	4	8	544	398	504	1878
60	8	16	925	792	891	7079
60	16	24	14261	1276	1388	15726
70	1	2	176	120	160	473
70	2	4	316	206	286	735
70	4	8	572	398	525	1636
70	8	16	983	792	934	5205
70	16	24	1547	1276	1478	9316
80	1	2	189	120	169	409
80	2	4	336	206	300	657
80	4	8	601	398	547	1458
80	8	16	1037	792	974	4230
80	16	24	1680	1276	1577	6672
90	1	2	200	120	178	368
90	2	4	353	206	313	602
90	4	8	627	398	567	1335
90	8	16	1107	792	1027	3461
90	16	24	1800	1276	1667	5437

و موج برشی و ذاتی در ۶ پنجره زمانی مختلف برای کل منطقه شمال باختر، اطراف شهر تبریز و گسل شمال تبریز، با توجه به وجود گسل‌های فعال کوتاه‌تری، نواحی آتشفشانی، وجود چشمه‌های آب گرم، بی‌هنجاری‌های زمین‌شناسی و نرخ لرزه‌خیزی بالا، نتایج به دست آمده در این تحقیق دور از انتظار نیست و جذب ذاتی زیاد در هر ۳ ناحیه مورد بررسی این موارد را تأیید می‌کند. در بازه‌های بسامدی پایین، جذب بسیار بالا و با افزایش بسامد روند افت نمودار جذب کمتر می‌شود.

نتیجه اصلی برای هر سه ناحیه غلبه مقادیر جذب ذاتی بر جذب حاصل از پراکنش در اکثر بازه‌های بسامدی است که نشان می‌دهد اثر تضعیف پراکنش تأثیر کمتری

نمودار جذب امواج برشی Q_s^{-1} از نمودار ضرایب جذب Q_c^{-1} ، Q_s^{-1} و Q_{sc}^{-1} در هر سه ناحیه بیشتر است با توجه به مقادیر پایین ضریب کیفیت و لذا جذب بالای امواج برشی در پهنه شمال باختر ایران، شهر تبریز و همچنین اطراف گسل شمال تبریز، دامنه این امواج حین عبور از زمین به شدت تضعیف می‌شود که این اثر جذب امواج لرزه‌ای، باید در گزینش روابط کاهندگی مناسب در محاسبات مربوط به تحلیل خطر لرزه‌ای و شبیه‌سازی امواج زمین لرزه مد نظر قرار گیرد.

۷- نتیجه‌گیری

با ارزیابی نمودارهای مقایسه ضرایب کیفیت برآورد شده امواج دنباله‌ای، پراکنش

سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان از مرکز لرزه‌نگاری کشوری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله برای در اختیار قرار دادن داده‌های مورد استفاده در این تحقیق کمال تشکر و سپاسگزاری را دارند.

در جذب کل امواج لرزه‌ای در این منطقه دارد و جذب برآورد شده از پدیده‌های غیرکشسان ناشی می‌شود. جذب ذاتی Q_i^{-1} و پراکنش Q_{sc}^{-1} با بالا رفتن بسامد روند کاهشی دارند اما به‌طور کلی روند کاهش نمودار جذب ذاتی کمتر از روند افت نمودار جذب پراکنش است.

کتابنگاری

- آقباتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- حیدری، ط.، ۱۳۹۴- محاسبه ضریب کیفیت موج برشی در شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.
- راستگو، م.، حمزه‌لو، ح.، رضاپور، م. و رحیمی، ح.، ۱۳۹۰- برآورد ضریب کیفیت امواج برشی و کدا در ناحیه هرمزگان، جنوب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۵، صص. ۱۱۱ تا ۱۳۱.
- ضرونی‌زاده، ز.، متقی، خ.، رحیمی، ح. و قدس، ع.، ۱۳۹۶- برآورد کاهندگی کدای موج برشی در ناحیه شمال غرب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۱۱، شماره ۱، صص. ۱۷۰ تا ۱۵۶.
- علیخانی، ع. و رحیمی، ح.، ۱۳۹۴- برآورد ضریب کیفیت امواج کدا در شمال شرق ایران، نشریه فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۱، صص. ۲۵ تا ۳۳.
- قاسمی، ه.، کمالیان، ن.، حمزه‌لو، ح. و بیت‌اللهی، ع.، ۱۳۸۴- تعیین فاکتور کیفیت امواج برشی مستقیم، در منطقه البرز به کمک داده‌های میدان نزدیک حرکت نیرومند زمین لرزه کجور در محدوده بسامدی ۱ تا ۳۲ هرتز. مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۱، شماره ۱، صص. ۱۰۳ تا ۱۱۲.
- متقی، خ.، ضرونی‌زاده، ز. و قدس، ع.، ۱۳۹۵- محاسبه کاهندگی طیف دامنه جنبش زمین در ناحیه شمال غرب ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۱۰، شماره ۴، صص. ۱۲۸ تا ۱۴۱.
- متقی، خ.، قدس، ع. و سیاهکوهی، ح.، ۱۳۹۰- تعیین روابط کاهندگی دامنه امواج لرزه‌ای در ناحیه تهران. مجله علوم زمین، جلد ۷۹، شماره ۱، صص. ۶۱ تا ۶۶.

References

- Abubakirov, I. R. and Gusev, A. A., 1990- Estimation of scattering properties of the lithosphere of Kamchatka based on Monte Carlo simulation of record envelope of a near earthquake. *Phys. Earth planet. Inter.*, 64, 52- 67.
- Aki, K. and Chouet, B., 1975- Origin of coda waves: source, attenuation, and scattering effects. *J. geophys. Res.*, 80, 3322- 3342.
- Aki, K., 1969- Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. *J. geophys. Res.*, 74, 615- 631.
- Aki, K., 1980- Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere. *J. Geophys. Res.* 85, 6496- 6504.
- Ahmazadeh, M., Sobouti, F. and Rahimi, H., 2015- Lateral and depth variations of coda Q in the Zagros region of Iran. *J. Seismol.* 19 (3), 1- 15.
- Bianco, F., Castellano, M., Del Pezzo, E. and Ibañez, J. M., 1999- Attenuation of short-period seismic waves at Mt. Vesuvius, Italy. *Geophys. J. Int.*, 138, 67- 76.
- Bianco, F., Del Pezzo, E., Castellano, M., Ibañez, J. and Di Luccio, F., 2002- Separation of intrinsic and scattering seismic attenuation in the Southern Apennine zone, Italy. *Geophys. J. Int.*, 150, 10- 22.
- Chang, J., Chen, Y. and Shin, T., 2009- Spatial distribution of coda Q estimated from local earthquakes in Taiwan area. *Earth Planets Space.*, 61, 1077- 1088.
- Del Pezzo, E. and Scarcella, G., 1986- Three-component coda Q in the Abruzzi-Molise region, Central Apennines, *Ann. Geophys.*, 4, 589- 592.
- Del Pezzo, E., Ibañez, J., Morales, J., Akinci, A. and Maresca, R., 1995- Measurements of intrinsic and scattering seismic attenuation in the crust. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 85, 1373- 1380.
- Der, Z., 1998- High frequency P- and S- wave attenuation in the earth: *Pure Appl. Geophys.*, 153, 273- 310.
- Dewey, J. F. Hempton M. R. Kidd, W. S. F. Saroglu, F. and Sengor, A. M. C., 1986- Shortening of continental lithosphere: The tectonics of eastern Anatolia - A young collision zone. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 19- 36.
- Farrokhi, M., Hamzehloo, H., Rahimi, H. and Allameh Zadeh, M., 2016- Separation of intrinsic and scattering attenuation in the crust of central and eastern Alborz region, Iran. *Phys Earth Planet Inter* 253:88- 96.
- Gholamzadeh, A., Rahimi, H. and YaminiFard, F., 2014- Spatial and temporal variation of codaweaveattenuation in the Faryab Region, Southeast of the Sanandaj-Sirjan Zone, using aftershocks of the Tiab earthquake of 28 February 2006. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 104. <http://dx.doi.org/10.1785/0120130072> No. 1 dio.
- Hassani, B., Zafarani, H., Farjoodi, J. and Ansari, A., 2011- Estimation of site amplification, attenuation and source spectra of S-waves in the East-Central Iran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 85, pp. 17- 30.
- Hatzidimitriou, P. M., 1995- S-wave attenuation in the crust in northern Greece. *Bull. seism. Soc. Am.*, 85, 1381- 1387.
- Hoshiba, M., 1993- Separation of scattering attenuation and intrinsic absorption in Japan using the Multiple Lapse Time-Window Analysis of full seismogram envelope. *J. geophys. Res.*, 98, 15809- 15824
- Kamalian, N., Hamzeloo, H. and Ghasemi, H., 2007- S-wave attenuation and spectral decay parameter for the Avaj region, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology*, Vol. 31, pp. 63- 71,

- Karato, S., 1998- A dislocation model of seismic wave attenuation and micro-creep in the earth: Harold Jeffreys and the rheology of the solid earth. *Pure Appl. Geophys*, 153, 239- 256.
- Lay, T. and Wallace. T. C., 1995- *Modern Global Seismology*, Academic Press, San Diego.
- Ma'hood, M. and Hamzehloo, H., 2009- Estimation of coda wave attenuation in East Central Iran. *J. Seismol.*, 13, 125- 139, doi:10.1007/s10950-008- 9130-2.
- Minster, J., 1980- Anelasticity and attenuation, in Dziewonski. *physics of the earth's interior*, North-Holland, Amsterdam, 152- 212.
- Mitchell, B. J., 1995- Anelastic structure and evolution of the continental crust and upper mantle from seismic surface wave attenuation. *Rev Geophys*, 33, 441- 462.
- Mitchell, B. J., Pan, Y., Xie, J. and Cong, L., 1997- Lg coda Q variation across Eurasia and its relation to crustal evolution. *J. Geophys. Res.* 102, 22,767- 22,779.
- Moradi, A. S., Hatzfeld, D. and Tatar, M., 2011- Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran). *Tectonophysics*, 506, 22- 30.
- Mousavi, M., Zafarani, H., Noorzad, A., Ansari, A. and Bargi, K., 2007- Analysis of Iranian strong motion data using the specific barrier model. *Journal Geophysics and Engineering*, Vol. 4, pp.1- 14.
- Rahimi, H. and Hamzehloo, H., 2008- Lapse time and frequency-dependent attenuation of coda waves in the Zagros continental collision zone in Southwestern Iran. *J. geophys. Eng.* 5, 173- 185
- Rahimi, H., Hamzehloo, H. and Kamalian, N., 2010a- Estimation of Coda and shear wave Attenuation in the Volcanic area in SE Sabalan Mountain, NW Iran. *Acta Geophys.*, 58, 244- 268.
- Rahimi, H., Motaghi, K., Mukhopadhyay, S. and Hamzehloo, H., 2010b- Variation of coda wave attenuation in the Alborz region and central Iran, *Geophys. J. Int.*, 181, 1643- 1654.
- Rizza, M., Vernant, P., Ritz, J. F., Peyret, M., Nankali, H., Nazari, H., Djamour, Y., Salamati, R., Tavakoli, F., Chery, J., Mahan, S. A. and Masson, F., 2013- Morphotectonic and geodetic evidence for a constant slip-rate over the last 45 kyr along the Tabriz fault (Iran), *Geophys. J. Int.*, 193, 1083- 1094, doi: 10.1093/gji/ggt041.
- Romanowicz, B. and Durek, J., 2000- Seismological constrains on attenuation in the earth: a review: Earth's deep interior: mineral physics and tomography from atomic to the global scale. *Geophysical Monograph 117*, American Geophysical Union, 161- 179.
- Safarshahi, M., Hamzehloo, H., Rezapour, M., Sinaeian, F., Farzanegan, E. and Mirzaei, H., 2011- Estimation of QS in southern Iran, using strong motion data of Rigan earthquakes (2010 & 2011). 1st International Conference of Urban Construction in the Vicinity of Active Faults, Tabriz, Iran.
- Samaei, M., Miyajima, M., Tsurugi, M. and Fallahi, A., 2013- Source and path parameters for recorded earthquakes in Tehran Province, Iran, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. A1 (Structural Engineering & Earthquake Engineering (SE/EE)), 69 (4), I_980-I_988.
- Sato, H., 1977- Energy propagation including scattering effects: single isotropic approximation. *J.Phys. Earth.*, 25, 27- 41.
- Şengör, A. M. C. and Kidd, W. S. F., 1979- The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361- 376.
- Stein, S. and Wysession, M., 2003- *An Introduction to seismology, earthquake and earth structure*. Blackwell Pub.
- Wennerberg, L., 1993- Multiple-scattering Interpretation of coda-Q Measurements. *Bull. Seismol. Soc Am.*, 83, 279- 290.
- Wu, R.S., 1985- Multiple Scattering and Energy Transfer of Seismic Waves, Separation of Scattering Effect from Intrinsic Attenuation, I. Theoretical Modeling. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 82, 57- 80.
- Yoshimoto, K., Sato, H. and Ohtake, M., 1993- Frequency-dependent attenuation of P and S waves in Kanto area Japan based on the coda-normalization method. *Geophys. J. Int.*, 114, 165- 174.
- Zafarani, H., Mousavi, M., Noorzad, A. and Ansari, A., 2008- Calibration of the specific barrier model to Iranian plateau earthquakes and development of physically based attenuation relationships for Iran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.28 pp. 550- 576.
- Zeng, Y., 1991- Compact Solutions for Multiple Scattered Wave Energy in Time Domain. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 81, 1022- 1029.

Separation of Intrinsic and Scattering Attenuation in North-West of Iranian plateau

M. Naghavi¹, H. Rahimi² and A. Moradi^{3*}

¹Ph.D., Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

²Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

³Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2017 October 24 Accepted: 2018 September 04

Abstract

In this study, we have used recorded local earthquakes by 17 permanent seismic stations to separate intrinsic and scattering attenuation in North-West of Iranian plateau. Intrinsic and scattering attenuation can be applied as useful tools to study the geodynamic and tectonic characteristics of a region. They also represent thermal, compositional and deformational characteristics of the crust and upper mantle. The wave attenuation has strong correlation with seismicity and heterogeneity of medium and is regularly used in the study of tectonically active regions of the world. Single backscattering and coda normalized methods are used to estimate the coda Q (Q_c) and Q_s respectively, using 14,969 earthquakes which are recorded by the stations. The results show this region is very active region tectonically and seismically. Due to low values of Quality factor and thus high attenuation values of body and shear waves in North West part of Iran, amplitude of the propagated waves are decreased severely in this area. The intrinsic attenuation and the Coda wave attenuations curves around the North Tabriz fault are closer in comparison with entire northwestern Iran region and Tabriz city, indicating a strong attenuation of the earthquake waves around this fault system. Similarly, these curves are closer in Tabriz city than those calculated for the northwestern region of Iran which expresses the overriding intrinsic attenuation from the effect of dispersion. The attenuation effect of seismic waves reduces the damages caused by earthquakes at appropriate distances of faults at the time of earthquake occurrence.

Keywords: Coda waves, Compressive and shear waves, Attenuation, Quality factor.

For Persian Version see pages 25 to 34

*Corresponding author: A. Moradi; E-mail: asmoradi@ut.ac.ir