Archive of SID

تابستان ۹۵، سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰، صفحه ۲۷۱ تا ۲۸۰

تعیین ضریب کیفیت امواج کدا در پهنه شمال باختری فلات ایران

مجتبی نقوی [۱]، حبیب رحیمی [۲] و علی مرادی [۲*]

[۱] دانشجوی دکترا، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

[۲] استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۰۹/ ۰۶/ ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: ۳۰/ ۱۰/ ۱۳۹۴

چکیده

جذب امواج لرزه‌ای در هر منطقه از متغیرهای مهم در شناخت درون زمین و از عوامل تأثیرگذار در خطر ناشی از رخداد زمین‌لرزه های بزرگ است. ویژگی‌های جذب امواج لرزه‌ای به عوامل مختلفی از جمله لرزه‌خیزی، پیچیدگی‌های زمین‌ساختی و ویژگی‌های محیط انتشار امواج هر منطقه مرتبط است. شمال باختری ایران از مناطق مهم جمعیتی و اقتصادی کشور است که پیشینه لرزه‌خیزی آن نشان از فعالیت شدید این ناحیه دارد. یکی از اهداف این مطالعه برآورد ضریب کیفیت و چگونگی جذب امواج حاصل از زمین‌لرزه در این منطقه است. در این مطالعه از تعداد بیش از ۱۳۰۰۰ زمین‌لرزه ثبت شده در شبکه مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) و شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن ایران (INSN) در گستره طول جغرافیایی ۴۳ تا ۵۰ و عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۴۰ درجه، برای برآورد جذب امواج لرزه‌ای استفاده شده است. ضریب کیفیت امواج کدا برآورد شده به‌طور میانگین از رابطه بسامدی $Q_c = 147(\pm 1.09) \times f^{1.08(\pm 0.01)}$ پیروی می‌کند. مقادیر برآورد شده ضریب کیفیت در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد بیشتر نواحی منطقه مورد بررسی از دید جایگاه زمین‌ساختی و لرزه‌زمین‌ساختی از جمله مناطق فعال به شمار می‌آیند. رابطه ضریب کیفیت برای گسل شمال تبریز و نواحی پیرامون آن از جمله آتشفشان سهند $Q_c = 49.00 \times f^{1.32}$ برآورد شده است که کاهیدگی به مراتب بیشتری از نواحی دیگر دارد که این نشان‌دهنده ناهمگنی بالا و جریان گرمایی گوشته بالایی در پهنه فعال و لرزه‌خیز گسل شمال تبریز و نواحی پیرامون آن است. همچنین بیشترین مقدار بسامدی ضریب کیفیت مربوط به ایستگاه زنجان و کمترین میزان آن مربوط به ایستگاه تبریز است. در مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات صورت گرفته برای دیگر مناطق ایران و جهان ضریب کیفیت کم و جذب زیاد برآورد شده به دور از انتظار نیست و وجود نواحی کم سرعت از مطالعات پیشین را که در این ناحیه صورت گرفته تأیید می‌کند. تغییرات جانبی (Q_0) برآورد شده نیز همخوانی بسیار مناسبی با واحدهای زمین‌ساختی بزرگ مقیاس در منطقه نشان داد.

کلیدواژه‌ها: ضریب کیفیت، امواج کدا، شمال باختری فلات ایران، گسل شمال تبریز، جذب غیرکشسان.

***نویسنده مسئول:** علی مرادی

E-mail:asmoradi@ut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

کاهندگی امواج زمین‌لرزه بیانگر ویژگی‌های محیط انتشار امواج است. بررسی ساختار جذب غیرالاستیک و برآورد مدل‌های ضریب کیفیت در مطالعات زمین‌لرزه‌شناسی مهندسی مانند شبیه‌سازی جنبش نیرومند زمین، برآورد خطر زمین‌لرزه، تعیین دقیق بزرگا و پیش‌بینی آماری زمین‌لرزه‌ها متغیرهایی لازم و اساسی هستند. افت انرژی امواج لرزه‌ای بر اثر عوامل غیر الاستیکی را تضعیف ذاتی می‌نامند و با (Q) نمایش می‌دهند. برای امواج در حال انتشار در زمین برای مقدار ثابت (Q)، یک موج با بسامد بالاتر، سریع‌تر از یک موج با بسامد پایین تضعیف خواهد شد؛ بنابراین مؤلفه‌های با بسامد بالای موج در فواصل اولیه نزدیک چشمه حذف می‌شوند (Lay & Wallace, 1995).

از آنجایی که ضریب کیفیت امواج نسبت به تغییرات دما بسیار حساس‌تر از متغیرهایی چون سرعت است (Romanowicz, 1995)، ضریب با ارزشی در بررسی تغییرات گرمایی درون زمین به شمار می‌آید. در مدل‌سازی برای بسامدهای کمتر از ۰/۳ هرتز متغیر سرعت امواج لرزه‌ای مهم است؛ ولی با افزایش بسامد، جذب امواج لرزه‌ای آشکارتر خواهد شد (Song & Jordan, 2013). تغییرات ضریب کیفیت امواج لرزه‌ای در سنگ‌کره در بازه‌ای از چند ده تا هزار متغیر است (Fehler & Sato, 2003; Stein & Wysession, 2003).

اثرات جذب ذاتی امواج لرزه‌ای به اثرات ناکشسانی محیطی که موج از چشمه تا گیرنده می‌پیماید بستگی دارد؛ بنابراین اثرات مرتبط با پدیده‌های کشسان باید حذف شود و یا به کمترین میزان خود پیش از تحلیل داده‌ها در برآورد جذب امواج لرزه‌ای برسد. این اثرات به‌طور عمده از پیچیدگی‌های زمین‌ساختی جانبی و چشمه زمین‌لرزه که به‌طور دقیق شناخته شده نیست، تأثیرپذیر هستند و تجربه نشان داده است که برآورد جذب امواج سطحی به علت وجود همه این اثرات می‌تواند غیر واقعی برآورد شود. بنابراین در برآورد جذب امواج لرزه‌ای و برای حذف این اثرات روش‌هایی در انتخاب چشمه‌ها، مکان ایستگاه‌ها و مسیرهای تحت پوشش ارائه شده است که باید مورد توجه قرار گیرد (Mitchell et al., 1997; Mitchell , 1995).

به‌طور کلی تعداد مطالعات تعیین ساختارهای جذب غیر الاستیک به دلیل پیچیدگی محاسبات نسبت به مطالعات برآورد ساختارهای سرعتی در مناطق مختلف کمتر است. تاکنون از روش‌های بسیاری برای تعیین ساختار الاستیک، مدل سرعتی و مطالعه بی‌هنجاری‌های زمین‌ساختی و گرمایی شمال باختر فلات ایران استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: بابرام‌نژاد و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از برگردان همزمان زمان سیر امواج زمین‌لرزه‌های محلی، مدل سرعتی پوسته را برای شمال باختر ایران به دست آوردند. Moradi et al. (2011) با استفاده از شبکه موقت لرزه‌نگاری در پیرامون گسل شمال تبریز، مدل سرعتی برای آن ناحیه ارائه کردند. Djamour et al. (2011) با استفاده از داده‌های GPS سرعت سطحی مناطق مختلف شمال باختر ایران را تعیین کردند. Karimzadeh et al. (2013) تجمع کرنش در گسل شمال تبریز را بررسی کردند. در این منطقه، Rahimi et al. (2010a) تضعیف امواج را برای منطقه آتشفشانی سبلان به دست آوردند که کاهندگی زیاد این منطقه را به ویژگی‌های زمین‌گرمایی منطقه سبلان نسبت داده‌اند. همچنین ضرونی‌زاده (۱۳۹۳) مقدار ضریب کیفیت در کل منطقه به‌ویژه در نزدیکی آتشفشان‌های سهند و سبلان را پایین برآورد کرد.

از مطالعات انجام شده برای تعیین ضریب کیفیت امواج کدا در دیگر نقاط ایران می‌توان به علیخانی و رحیمی (۱۳۹۴) در شمال خاور ایران، راستگو و همکاران (۱۳۹۰) در ناحیه هرمزگان، Irandoust- ahmadzadeh et al. (2015) در منطقه زاگرس، Gholamzadeh et al. (2014) در محدوده فاریاب، Rahimi et al. (2010b)

www.SID.ir

Archive of SID

در البرز و ایران مرکزی و Ma'hood & Hamzehloo (2009) در منطقه باختر بلوک لوت (خاور ایران مرکزی) اشاره کرد.

۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه و جایگاه زمین‌ساختی

محدوده شمال باختری فلات ایران در ناحیه‌ای میان دریای خزر، جنوب رشته کوه‌های بزرگ قفقاز، خاور آناتولی و شمال زاگرس جای دارد. این منطقه بخشی از فلات ایران ترکیه است که یکی از دو فلات مهم سامانه چین‌خورده آلپ هیمالیا به شمار می‌رود (Sengör & Kidd, 1979; Dewey et al., 1986). در شمال باختر ایران اگر چه گسل‌های امتدادلغز ممتد نیستند و از چند قطعه گسلی مجزا تشکیل شده‌اند ولی دارای یک امتداد هستند و امتداد آنها به گسل شمال آناتولی می‌رسد (Jackson, 1992) (شکل ۱).

شمال باختری ایران از دید زمین‌ساختی بسیار فعال و یکی از مناطق فعال لرزه‌خیز شناخته شده در جهان است که در طی تاریخ، زمین‌لرزه‌های بزرگی در آن رخ داده است، همچنین گسل شمال تبریز، در این ناحیه از کشورمان بخش عمده‌ای از لرزه‌خیزی تاریخی و دستگاهی را به خود اختصاص داده است، که منشأ زمین‌لرزه‌های ویرانگر بسیاری در طول تاریخ بوده است (۸۵۸ م بزرگی ۶/۵، ۱۰۴۲ م بزرگی ۷/۵، ۱۷۲۱ م بزرگی ۷/۷، ۱۷۸۰ م بزرگی ۷/۷ و ۱۹۶۵ م بزرگی ۵/۱) و بار دیگر با فعالیت دوباره خود می‌تواند شهر را به ویرانه‌ای تبدیل کند (Ambraseys & Melville, 1982).

در پهنه شمال باختری فلات ایران افزون بر دو سامانه گسلی شمال تبریز و ارومیه می‌توان به گسل‌های ارس، تالش و سلطانیه اشاره کرد که تأثیرات مهمی در زمین‌ریخت منطقه داشته‌اند. با توجه به پوشیده شدن سطح منطقه از سنگ‌های ماگمایی، می‌توان آذربایجان را فلات آتشفشانی دانست (خیام، ۱۳۷۲). آشکارترین عارضه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه کوه‌های آتشفشانی سهند و سبلان است که جریان‌های گرمابی بالای حاصل از آنها و همچنین نزدیکی آتشفشان سهند به پهنه گسلی تبریز، در سال‌های اخیر نگرانی‌هایی را در مورد لرزه‌خیزی احتمالی آن در آینده ایجاد کرده است.

۳- تعیین ضریب کیفیت با استفاده از روش تک‌پراکنش به عقب

برای برآورد کاهندگی امواج کدا و بررسی تغییرات آن در منطقه مورد مطالعه، از مدل تک‌پراکنش به عقب Aki (1969) و Aki & Chouet (1975) استفاده شده است. Aki مشاهده کرد در بخش ابتدایی لرزه‌نگاشت‌ها دامنه با زیاد شدن فاصله از مرکز زمین‌لرزه کاهش می‌یابد، همچنین محتوای بسامدی این بخش از شکل موج برای فواصل مختلف متفاوت است. در برابر آن بخش پایانی هر شکل موج، شامل بخش‌هایی بود که برای فواصل رومرکزی مختلف، دامنه و محتوای بسامدی مشابهی داشتند و جهت انتشار آنها به همه طرف و به‌صورت تصادفی انجام می‌شد. وی این امواج را امواج دنباله‌ای (Coda Waves) نامید. بخش‌های ابتدایی این امواج، ایستگاه به ایستگاه متفاوت هستند ولی لرزه‌نگاشت‌هایی که فیلتر میان‌گذر شده‌اند، شکل مشابهی در همه ایستگاه‌ها پس از حدود دو یا سه برابر زمان سیر موج S از چشمه تا گیرنده دارند (Rautian & Khalturin, 1978). بر خلاف امواج مستقیم که در حوزه نظریه پرتو بررسی می‌شوند و از روابط معین فیزیکی برای توصیف آنها استفاده شده و کاهندگی به‌دست آمده از آنها به مسیر میان چشمه و ایستگاه ربط داده می‌شود، امواج کدا در حوزه نظریه پراکنش و پخش امواج مورد مطالعه قرار می‌گیرند و از روابط آماری برای توصیف رفتار آنها در محیط استفاده می‌شود. بنابراین کاهندگی حاصل از این بخش از شکل موج، میزانی از رفتار ناهمگن و ناکشسان یک محیط را در اختیار قرار خواهد داد.

بر پایه مطالعات انجام شده، برای برآورد مقادیر قابل اعتماد ضریب کیفیت امواج کدا، شروع ابتدای پنجره کدا برای هر شکل موج باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که محتوای طیف بسامدی موج کدای ثبت شده از هر زمین‌لرزه در ایستگاه‌های مختلف تقریباً یکسان باشد. برپایه مطالعات پژوهشگران، گذشت زمانی دو برابر زمان‌رسید موج برشی را می‌توان به عنوان ابتدای پنجره کدا در نظر گرفت (Rautian & Khalturin, 1978; Havskov & Ottemoller, 2003). با توجه به رابطه بسامدی ضریب کیفیت امواج $Q_c = Q_0 f^n$، متغیر بستگی بسامدی (n) هم در محاسبات، متغیر با ارزش دیگری برای برآورد میزان ناهمگنی لایه‌ها و فعالیت زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه است (Aki, 1980).

مدل اساسی برای امواج پراکنش یافته به عقب جهت تعیین ضریب کیفیت امواج کدا را Aki & Chouet (1975) به کار گرفتند. در این روش ایستگاه و چشمه بر هم منطبق فرض می‌شود و از پراکنش‌های متوالی صرف‌نظر می‌گردد که پایه کار بر دامنه کدای موج S ای است که برای امواج دنباله‌ای که زمان رسیدن آنها دو برابر زمان سیر موج S است صادق است. با توجه به اینکه پوش دنباله کدا از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$A(\omega,t) = c(\omega)t^{-1}.\exp(-\omega t / 2Q_c(\omega)) \quad (1)$$

که $c(\omega)$ ضریب چشمه دنباله در بسامد ω و t (زمان) سپری شده از زمان رویداد زمین‌لرزه است و $Q_c(\omega)$ ضریب کیفیت امواج کداست که با گرفتن لگاریتم از دو سوی رابطه بالا و از شیب خط برازش داده شده میان $Ln(A(\omega,t).t)$ و t، مقادیر ضریب کیفیت امواج دنباله‌ای برآورد می‌شود.

۴- پردازش داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش برای برآورد تضعیف غیر الاستیک امواج حاصل از زمین‌لرزه و بررسی تغییرات جانبی و ژرفی آن در پهنه شمال باختری فلات ایران از بیش از ۱۳۰۰۰ زمین‌لرزه و حدود ۲۶۷۲۴ نگاشت لرزه‌ای ثبت شده در شبکه مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) و شبکه ملی لرزه نگاری باند پهن ایران (INSN) در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ و گستره طول جغرافیایی ۴۳ تا ۵۰ و عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۴۰ درجه استفاده شده است که در مجموع تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش ۱۷ ایستگاه است و از این میان، ۱۴ ایستگاه مربوط به مرکز لرزه‌نگاری ایران و ۳ ایستگاه متعلق به شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن ایران است. ژرفای زمین‌لرزه‌های نمایش داده شده از کاتالوگ شبکه لرزه‌نگاری کشوری استخراج شده است (شکل ۲).

زمین‌لرزه‌های محلی با فواصل رومرکزی زیر ۲۰۰ کیلومتر (از هر ایستگاه) انتخاب شده‌اند. دورنمای کلی از داده‌های مورد استفاده در منطقه، در شکل ۳ آورده شده است. نمودار بزرگا بر حسب فاصله و نمودار تعداد زمین لرزه بر حسب بزرگا، ژرفا و آزیموت، مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است (شکل ۳).

زمان رسیدهای امواج برشی رکوردها نیز از کاتالوگ ارائه شده توسط شبکه لرزه‌نگاری کشوری استخراج و استفاده شده است. در این مطالعه، نسبت سیگنال به نوفه، بازه بسامدی مناسب برای امواج ثبت شده، پنجره زمانی مناسب برای فازهای لرزه‌ای و پاسخ دستگاهی در پردازش داده‌ها مد نظر قرار گرفته و با توجه به گستردگی منطقه مورد بررسی و همچنین تعداد زیاد ایستگاه‌ها و رخدادهای لرزه‌ای به دست آوردن داده پالایش شده به عنوان ورودی، از بخش‌های بسیار مهم و زمان‌بر این مطالعه بوده است. گفتنی است ایستگاه TAHR به علت این که مدت زمان کمتری نسبت به ایستگاه‌های دیگر نصب و راه‌اندازی شده بود، داده‌هایی که نسبت سیگنال به نوفه مناسبی برای برآورد ضریب کیفیت داشته باشند، ثبت نکرده بود. با محاسبه ضریب کیفیت برای هر مسیر پرتو یا به عبارت دیگر هر یک جفت زمین‌لرزه و ایستگاه که دارای شرایط لازم یاد شده برای قرارگیری در پایگاه داده پایانی باشند (به‌طور میانگین نسبت سیگنال به نوفه ۳ برای پنجره‌های مختلف در نظر گرفته شد)،

www.SID.ir

Archive of SID

برآوردی از مقدار ضریب کیفیت امواج کدا برای هر مسیر پرتو به دست می‌آید. چگونگی برآورد ضریب کیفیت امواج کدا از یک نگاشت لرزه‌ای همراه با اعمال فیلترهای مختلف برای زمین‌لرزه اهر ورزقان برای ایستگاه تبریز به عنوان نمونه آورده شده است (شکل ۴).

برای برآورد تغییرات ژرفی میزان کاهندگی در منطقه با افزایش نفوذ موج در زمین (گسترش محیط پراکنش)، برای دو گروه داده به‌ترتیب با فاصله رومرکزی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر و از ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر (شکل ۵)، در بازه‌های زمانی ۵ تا ۹۰ ثانیه (در مجموع ۱۸ پنجره زمانی) برای پوشش بهتر و بررسی دقیق‌تر تغییرات ژرفی (Q_c) صورت گرفت. مقادیر میانگین ضریب کیفیت در یک هرتز (Q_0) و همچنین ضریب بستگی بسامدی (n) برای بازه‌های زمانی یاد شده برآورد و مقایسه شد. بالابودن مقدار (n) در مطالعات نشان‌دهنده محیط ناهمگن‌تر و فعال بودن منطقه از دید زمین‌ساختی است.

به‌طور معمول در مطالعات مربوط به تغییرات جذب امواج لرزه‌ای به منظور شناسایی بی‌هنجاری‌های جانبی طول پنجره ۲۵ و ۳۰ ثانیه برای بررسی تغییرات جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ زیرا در میان پنجره‌های ابتدایی امواج کدا، این طول پنجره‌ها مقادیر پایدارتر و قابل اطمینانی از میزان جذب با خود به همراه دارند (Havskov & Ottemoller, 2003). برای بررسی تغییرات جانبی، گروه داده اول (فاصله رومرکزی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر) و طول پنجره زمانی ۳۰ ثانیه مورد استفاده قرار گرفت. امواج منتشره در این بازه رومرکزی کمتر به ژرفا نفوذ کرده‌اند و اطلاعات بهتری از لایه‌های سطحی‌تر و به‌ویژه سنگ‌کره محدوده مورد مطالعه در اختیار می‌گذارند. برای بررسی بی‌هنجاری‌های ژرفی از هر ۲ گروه داده و از اطلاعات طول پنجره‌های یاد شده در مطالعه برای تفسیر و نتایج پایانی استفاده شده است.

۵- تغییرات جانبی و ژرفی کاهندگی کدا در منطقه

تغییرات (Q_0) و (n) می‌تواند به‌علت عوامل مختلف زمین‌شناسی هم‌چون جنس مواد زیرسطحی، میزان شکستگی‌ها و لرزه‌خیزی منطقه باشد (Jin & Aki, 1989; Mitchell, 1995; Singh et al., 2001; Rahimi et al., 2010a & b). مقدار (Q_0) و (n) هر ایستگاه نشانگر میانگین این مقادیر در محیط پیرامونی ایستگاه است. برای ارائه تحلیل دقیق‌تر از تغییرات جانبی کاهندگی در سطح منطقه، تغییرات ضریب کیفیت در بازه‌های مختلف آزیموتی در هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. برای دیدن بهتر تغییرات جانبی مقادیر (Q_0) و (n) در سطح منطقه، دایره‌هایی با شعاع متناسب با ضریب کیفیت و متغیر بستگی بسامدی به مرکزیت هر ایستگاه رسم شده است (شکل ۶).

در بخش دیگر نیز برای بررسی تغییرات ژرفی کاهندگی، از نتایج مقدار میانگین (Q_0) و (n) استفاده شد و تغییرات این دو عامل برای گذشت‌های زمانی مختلف مد نظر قرار گرفت. برای بررسی بهتر تغییرات ژرفی، برای هر زیرمنطقه، مقادیر میانگین تغییرات ضریب کیفیت بر حسب ژرفا برای دو گروه داده به‌ترتیب با فاصله رومرکزی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر و از ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر رسم شد (شکل ۷)؛ همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، با توجه به اینکه مقدار ضریب کیفیت باید با ژرفا روند افزایشی داشته باشد، با در نظر گرفتن تغییر آهنگ روند افزایش ژرفا، ناحیه کم‌سرعت به‌طور تقریبی از ۱۱۹ کیلومتر شروع (تصویر سمت چپ) می‌شود و تا حدود ۲۱۰ کیلومتر (تصویر سمت راست) ادامه پیدا می‌کند که همخوانی خوبی با نتایج مطالعات Priestley et al. (2012) و Shad- Manaman et al. (2011) که با استفاده از توموگرافی صورت گرفته است نشان می‌دهد.

با ارزیابی نتایج پایانی به دست آمده، مقادیر کم (Q_0) در پنجره‌های ابتدایی کدا، نشانگر بی‌هنجاری‌های شدید در لایه‌های کم‌ژرفای زمین در محدوده مورد مطالعه است. مقادیر ضریب کیفیت در ۱۸ پنجره زمانی کدا (از ۵ تا ۹۰ ثانیه با گام ۵ ثانیه) رفتار افزایشی داشته است (شکل‌های ۸ الف و ب). با در نظر گرفتن مقادیر به دست آمده در محاسبات مشخص شد که بیشتر نواحی منطقه مورد بررسی از دید جایگاه لرزه‌خیزی از جمله مناطق فعال به شمار می‌آیند. تغییرات جانبی (Q_0) عموماً مقادیر کمتر از ۲۰۰ را نشان دادند که همخوانی بسیار مناسبی با واحدهای زمین‌ساختی بزرگ‌مقیاس در منطقه مانند گسل شمال تبریز و محدوده آتشفشان سهند و سبلان نشان داد. با در نظر گرفتن مقادیر به دست آمده در محاسبات مشخص شد که بیشتر نواحی منطقه مورد بررسی از دید جایگاه لرزه‌خیزی از جمله مناطق فعال به شمار می‌آیند. همچنین بیشترین مقدار بسامدی ضریب کیفیت مربوط به ایستگاه زنجان و کمترین میزان آن مربوط به ایستگاه تبریز است که گویای جذب زیاد در پیرامون این ایستگاه است.

در نمودارهای شکل ۹ نتایج حاصل از بررسی ژرفی ایستگاه‌های مختلف به‌طور کلی نشان داده شده است. همچنین نتایج به دست آمده برای ایستگاه زنجان که بیشترین رابطه بسامدی ضریب کیفیت (کمترین میزان جذب) را در میان ایستگاه‌های موجود داشته است به عنوان نمونه آورده شده است (شکل ۱۰).

همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود، مقادیر مربوط به ناحیه پهنه گسلی شمال تبریز نسبت به نواحی پیرامون در منطقه دارای مقادیر ضریب کیفیت به مراتب کمتر و در نتیجه تضعیف بیشتر هستند که این امر با توجه به ویژگی‌های این پهنه گسلی مورد انتظار بوده است و جایگاه زمین‌ساختی فعال گسل یاد شده را تأیید می‌کند و همخوانی مناسبی با آن دارد (شکل ۱۱).

با مد نظر قرار دادن این نکته که عموماً مقادیر کمتر از ۲۰۰ برآورد شده برای (Q_0)، بیان‌کننده لرزه‌زمین‌ساخت فعال در یک منطقه، مقدار برآورد شده بیشتر از ۶۰۰ نشانگر منطقه غیرفعال لرزه‌زمین‌ساختی و مقادیر میانه ضریب کیفیت مربوط به لرزه‌خیزی متوسط است؛ مقایسه نتایج حاصل از برآورد ضریب کیفیت برای منطقه شمال باختری فلات ایران با مطالعات صورت گرفته برای نواحی دیگر ایران (شکل ۱۲) و همچنین با مطالعات جذب امواج لرزه‌ای صورت گرفته در مناطق فعال لرزه‌زمین‌ساختی دیگر نقاط دنیا مانند شمال باختر هیمالیا (Kumar et al., 2005)، منطقه کچ در باختر هند (Sharma et al., 2007)، منطقه جنوب باختر آناتولی (Shahin, 2008)، شمال خاور شبه‌قاره هند (Hazarika et al., 2009)، منطقه باختر شبه‌قاره هند (Gupta et al., 1998) و منطقه جنوب باختر چین (Li et al., 2004) (شکل ۱۳) نشان داد که مقادیر تضعیف به دست آمده برای این ناحیه همگی زیر ۲۰۰ و نشانگر فعالیت زمین‌ساختی و با لرزه‌خیزی بالاست.

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج ضریب کیفیت (در یک هرتز) و متغیر بستگی بسامدی برای تک‌تک ایستگاه‌ها و مقایسه تغییرات آنها در سطح منطقه و همچنین تجمیع پرتوهای با ضریب کیفیت تقریباً یکسان برای زیرایستگاه‌های مختلف و وجود گسل‌های بسیار با پتانسیل لرزه‌خیزی بالا و مناطق آتشفشانی و زمین‌ساخت پیچیده منطقه، ضریب کیفیت کم و جذب زیاد برآورد شده در نتایج حاصل از این پژوهش به دور از انتظار نیست و وجود نواحی کم‌سرعت از مطالعات پیشین که در این ناحیه صورت گرفته است را تأیید می‌کند.

رابطه بسامدی (Q_c) متوسط محدوده شمال باختر فلات ایران، به‌صورت $Q_c = 147(\pm 1.09) \times f^{1.08(\pm 0.01)}$ به دست آمد که در مقایسه با مطالعات صورت گرفته برای نواحی فعال زمین‌ساختی دیگر نقاط ایران نشان‌دهنده همخوان بودن مقدار ضریب کیفیت برآورد شده با دیگر نواحی فعال ایران است. با محاسبه نتایج به‌طور جداگانه برای پهنه گسلی تبریز و نواحی پیرامون آن که به علت قرارگیری کوه آتشفشانی سهند در این محدوده و جریان‌های گرمابی بالای حاصل از آن و نزدیکی این آتشفشان به پهنه گسلی تبریز که در سال‌های گذشته نگرانی‌هایی را در مورد

www.SID.ir

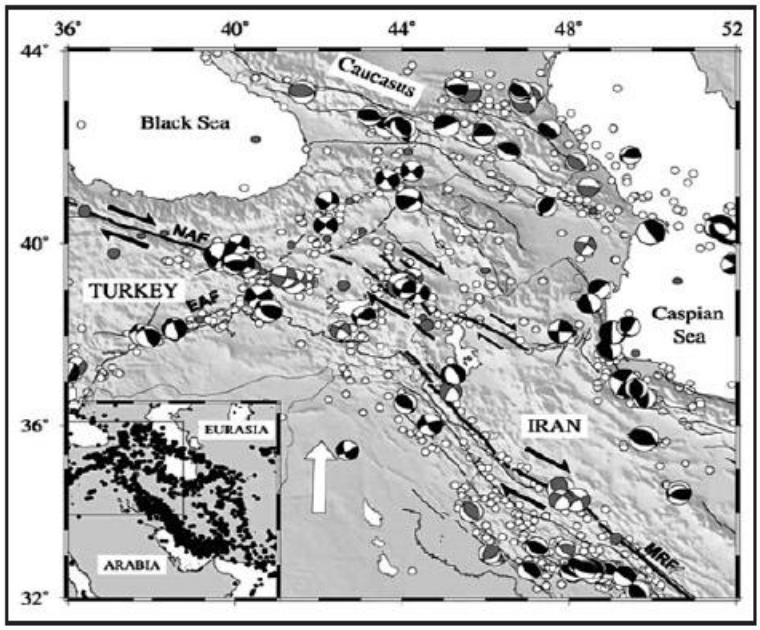
Archive of SID

فعالیت احتمالی آن در آینده ایجاد کرده است. رابطه ضریب کیفیت برای گسل تبریز و نواحی پیرامون آن از جمله آتشفشان سهند مقدار $Q_c = 49.00 \times f^{1.32}$ برآورد شده است که در مقایسه با نتایج حاصل از برآورد ضریب کیفیت برای مناطق فعال لرزه‌زمین‌ساختی دیگر نقاط دنیا نشان‌دهنده فعال بودن این گسل از دید ویژگی‌های زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی است و همچنین تضعیف به مراتب بالاتری نسبت به دیگر مناطق فعال ایران دارد.

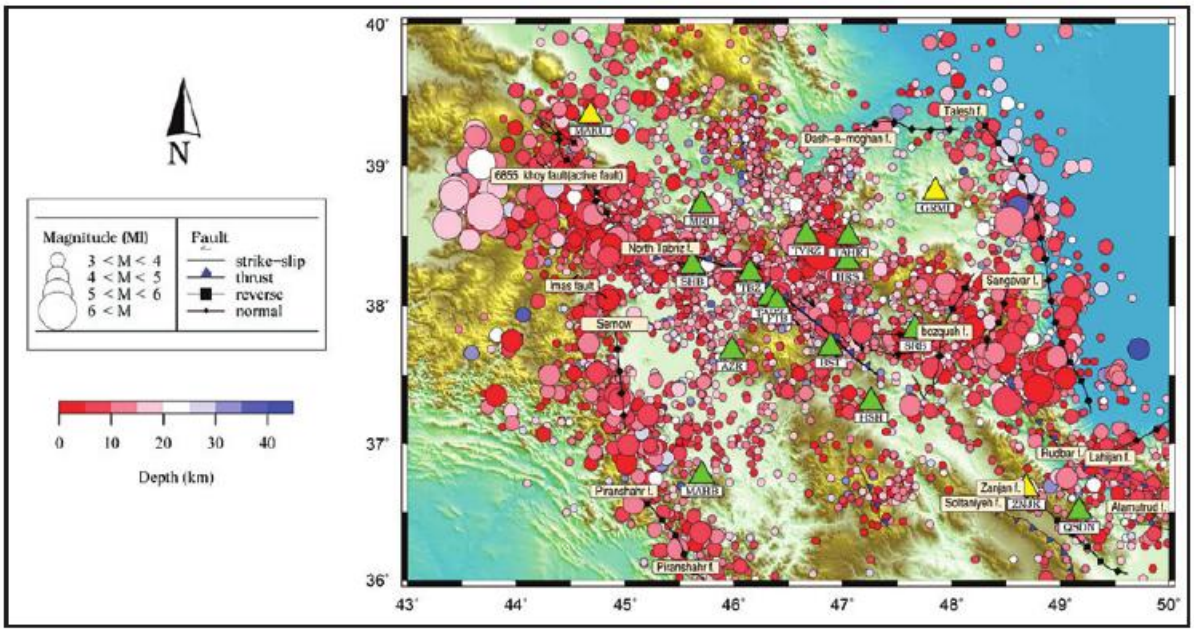
ارائه رابطه ضریب کیفیت میانگین برای یک منطقه، زمانی دقیق‌تر خواهد بود که ضریب کیفیت به دست آمده برای ایستگاه‌های منطقه، مقدارهای کم‌وبیش یکسانی را نشان دهند و تفاوت قابل توجهی در مقادیر (Q_0)و (n) ایستگاه‌ها وجود نداشته باشد. مقادیر (Q_0)و (n) ایستگاه‌های توزیع شده در شمال باختری فلات ایران نیز این شرط را دارند و تغییرات قابل ملاحظه‌ای به‌ویژه برای پنجره‌های بالای ۲۰ ثانیه نشان نمی‌دهند. بنابراین می‌توان گفت لایه‌های بالایی سنگ‌کره و پوسته این کمربند از الگوی جذب تقریباً یکسانی پیروی می‌کنند. ژرفای لایه کم‌سرعت برآورد شده همخوانی قابل ملاحظه‌ای با نتایج مطالعات Priestley et al. (2012) و Shad- Manaman et al. (2011) نشان می‌دهد.

سپاسگزاری

در این مطالعه از شکل موج‌هایی که از سوی مرکز لرزه‌نگاری کشوری و همچنین شبکه ملی باند پهن ایران در اختیار نگارندگان قرار گرفته، استفاده شده است. بنابراین نگارندگان از ایشان سپاسگزاری می‌کنند.



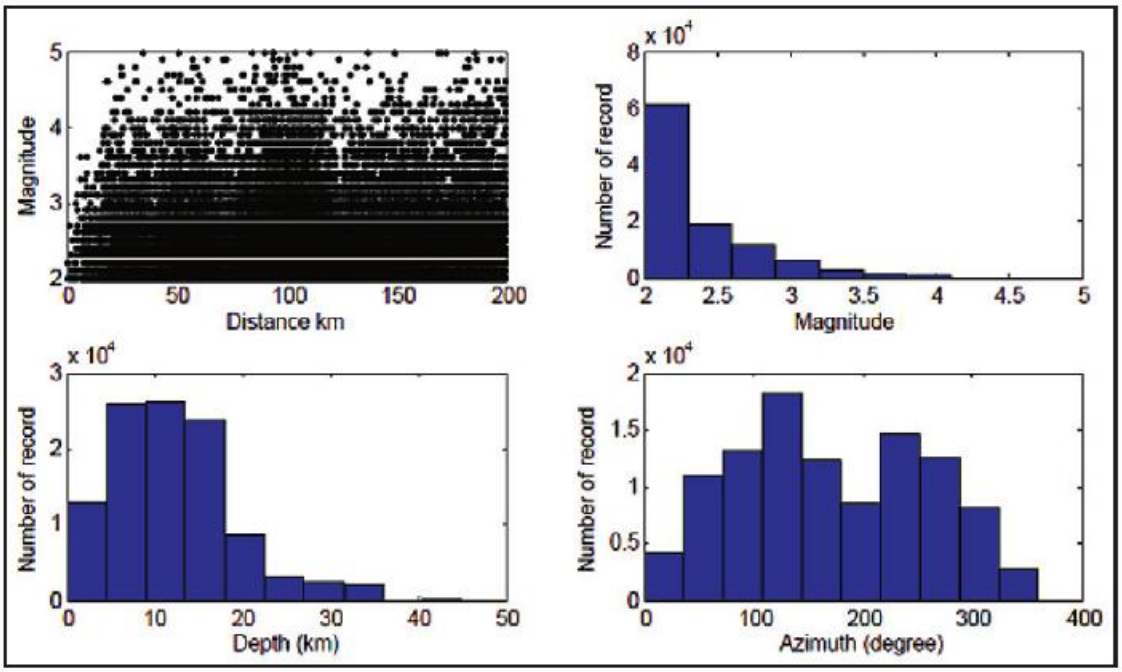
شکل ۱- نقشه گسل‌های اصلی و سازوکارهای دیده شده در شمال باختر ایران که بیانگر وجود و چیرگی حرکات امتدادلغز بر حرکات فشاری در این ناحیه است (Talebian & Jackson, 2002)؛ NAF: گسل شمال آناتولی، EAF : گسل خاور آناتولی، MRF: گسل عهد حاضر در زاگرس.



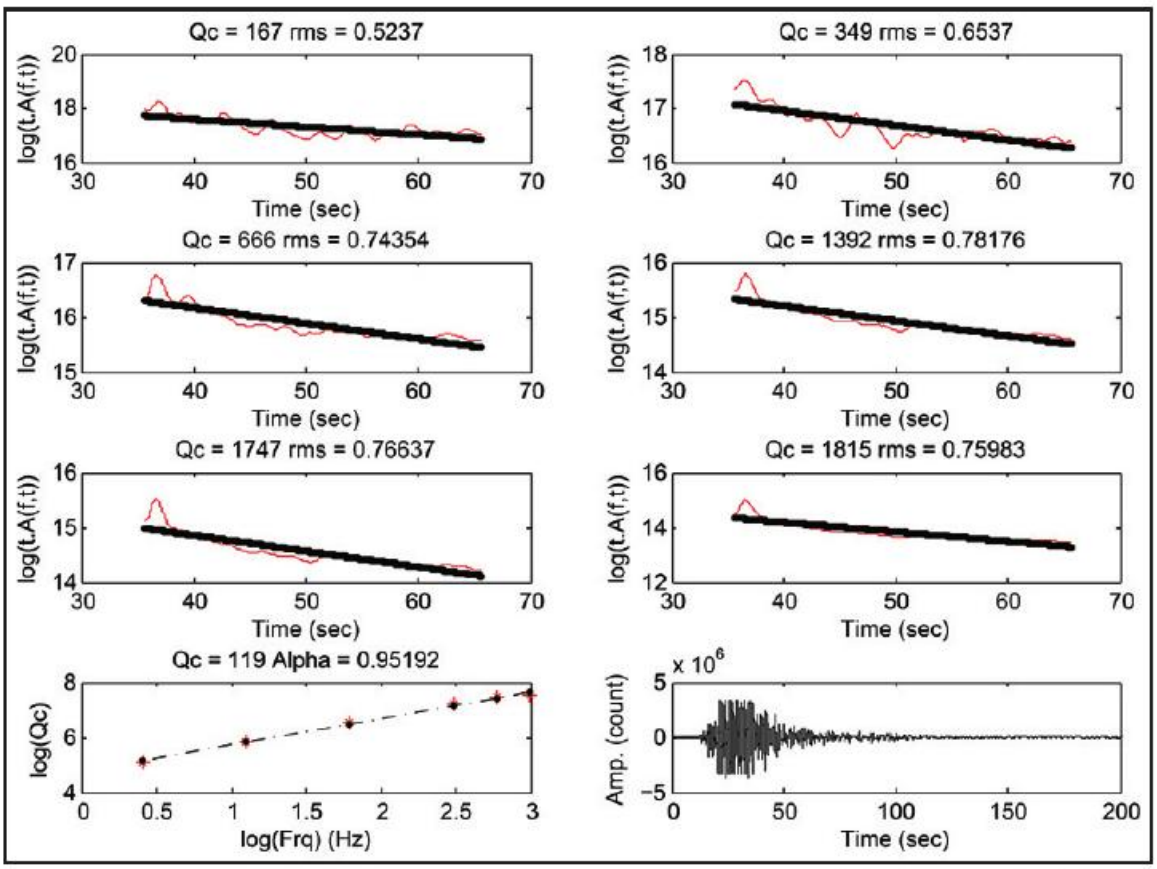
شکل ۲- زمین‌لرزه‌های روی داده و گسل‌های مهم منطقه به همراه ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه. مثلث‌های سبز رنگ ایستگاه مربوط به مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) و مثلث‌های زرد رنگ ایستگاه‌های متعلق به شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن کشور (INSN) هستند.

www.SID.ir

Archive of SID



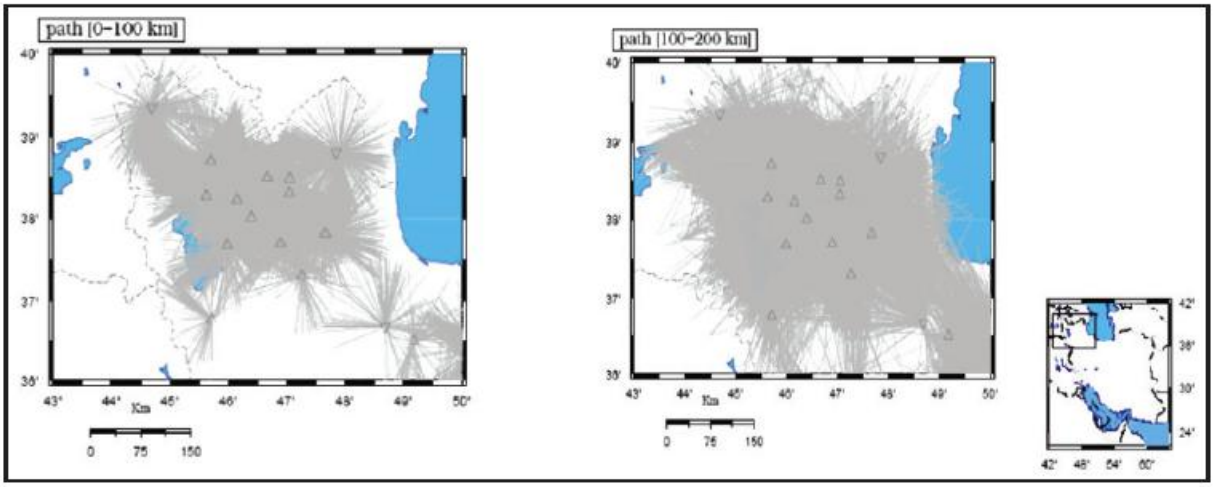
شکل ۳- نمودار بزرگا بر حسب فاصله و نمودار تعداد زمین‌لرزه بر حسب، بزرگا، ژرفا و آزیموت مورد استفاده در این مطالعه.



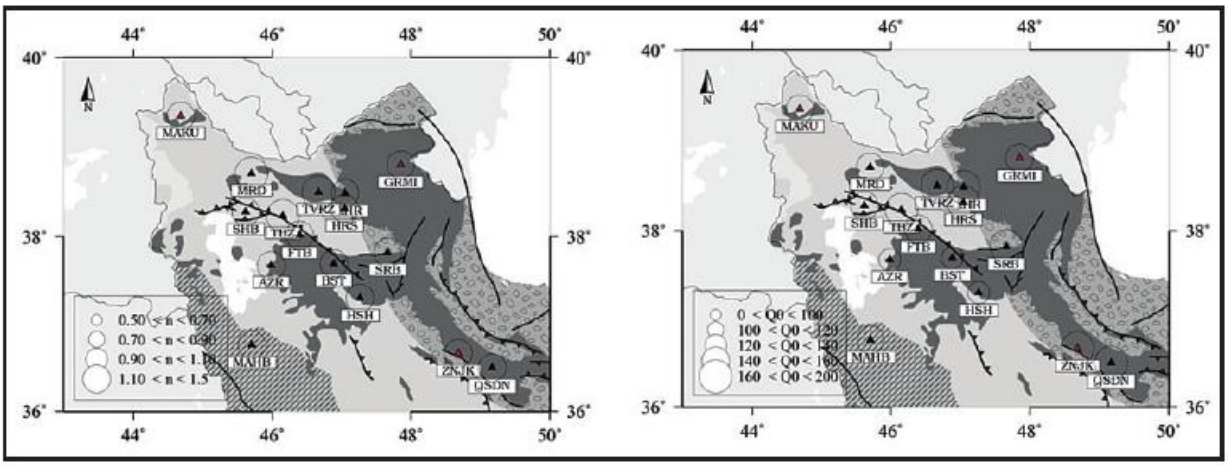
شکل۴- چگونگی برآورد ضریب کیفیت از یک نگاشت لرزه‌ای همراه با اعمال فیلترهای مختلف.

www.SID.ir

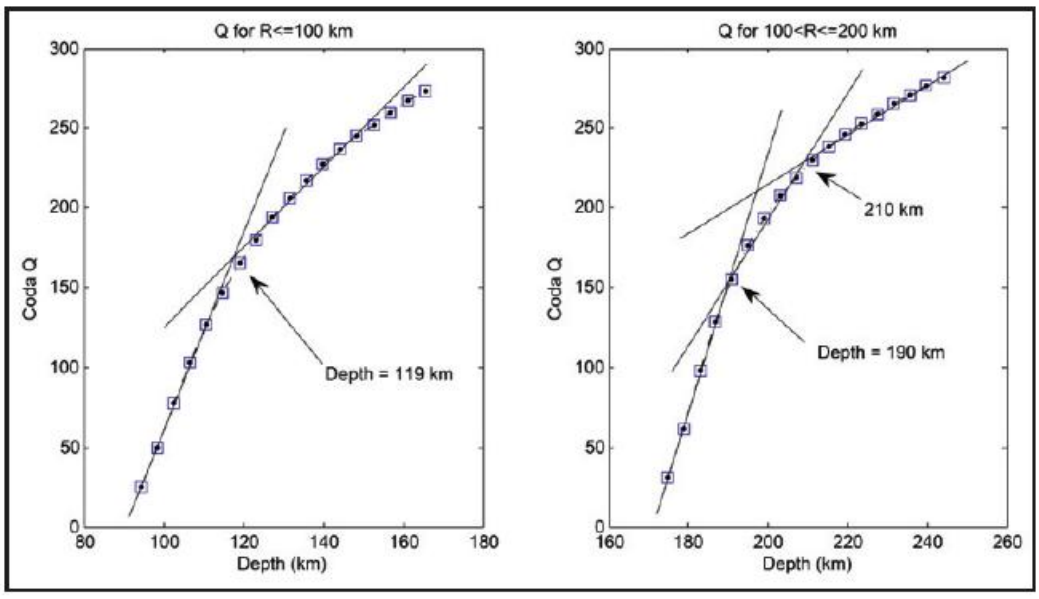
Archive of SID



شکل ۵- توزیع مسیرپرتوها در منطقه مورد مطالعه، شکل سمت چپ (فواصل کمتر از ۱۰۰ کیلومتر) شکل سمت راست (فواصل بیشتر بین ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلومتر). علامت‌های مثلث موقعیت ایستگاه‌های مرکز لرزه‌نگاری کشوری (IRSC) و مثلث‌های وارونه شبکه ملی لرزه‌نگاری باند پهن ایران (INSN) را نمایش می‌دهند.



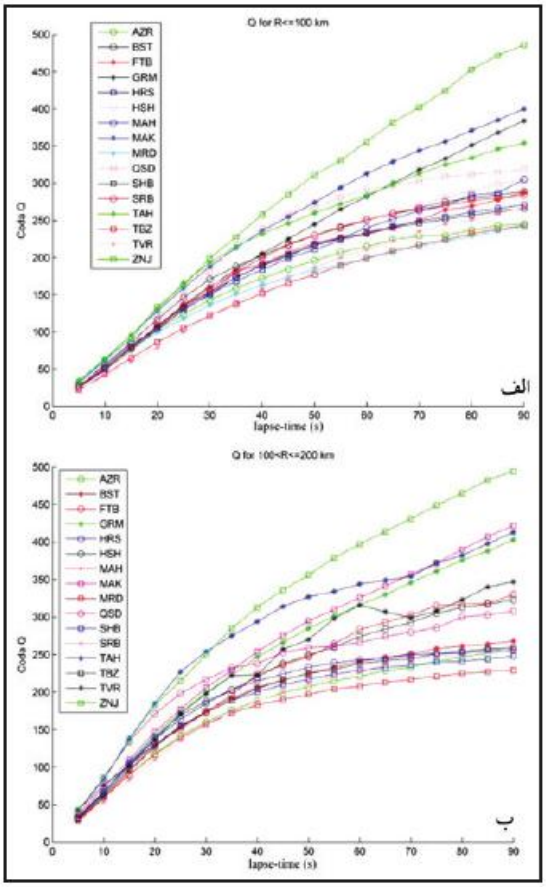
شکل ۶- مقادیر میانگین ضریب کیفیت در یک هرتز (بالا) و بستگی بسامدی (پایین) برای ایستگاه‌های منطقه با علامت دایره (شعاع متناسب با مقدار (Q_0) و (n)).



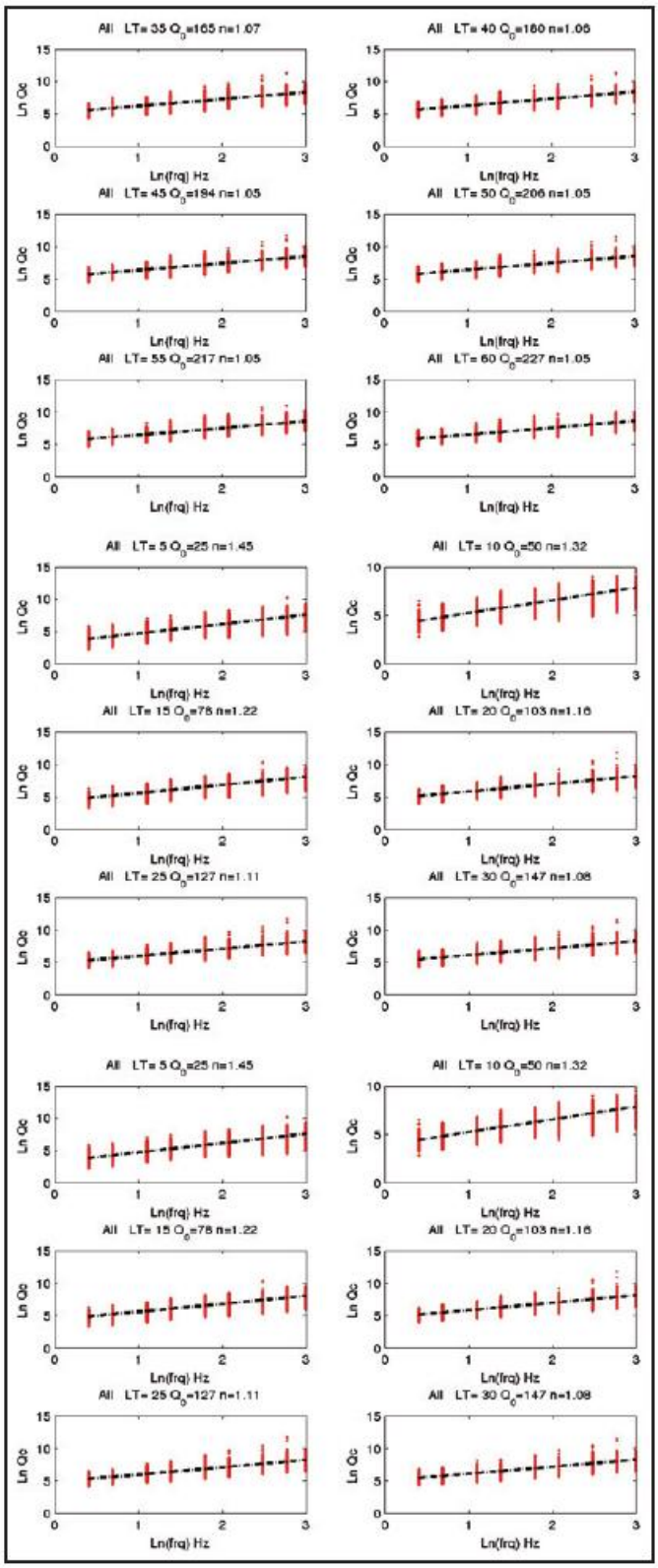
شکل ۷- تغییرات ضریب کیفیت نسبت به ژرفا برای دو گروه داده به ترتیب با فاصله رومرکزی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر و از ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر.

www.SID.ir

Archive of SID



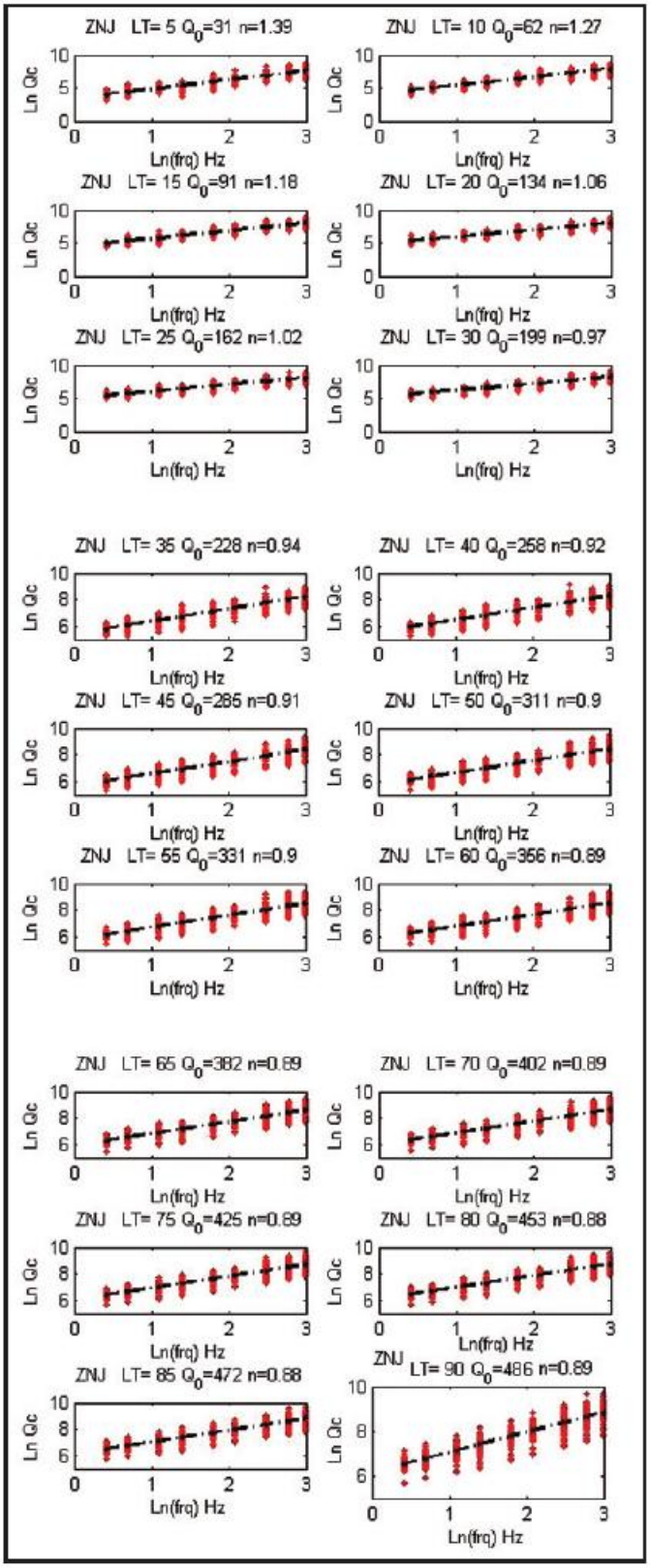
شکل ۸- الف) تغییرات ضریب کیفیت در بازه ۵ تا ۹۰ ثانیه برای داده‌های با فاصله رومرکزی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر؛ ب) تغییرات ضریب کیفیت در بازه ۵ تا ۹۰ ثانیه برای داده‌های با فاصله رومرکزی ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر.



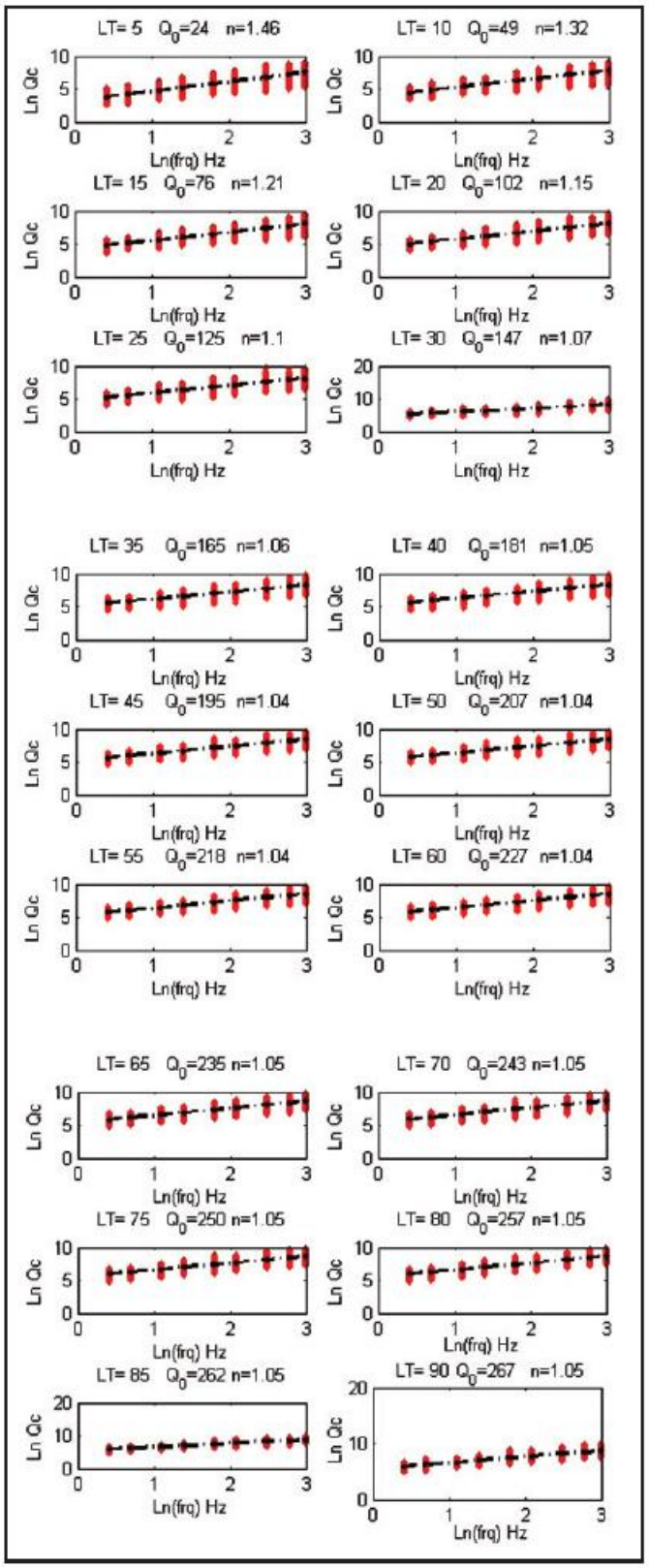
شکل ۹- نتایج حاصل از بر آورد ضریب کیفیت وابسته به بسامد در پنجره‌های زمانی ۵ تا ۹۰ ثانیه برای کل محدوده شمال باختر فلات ایران (مقادیر میانگین ضریب کیفیت در ۱ هرتز (Q_0) و (n) در بالای هر شکل نشان داده شده است).

www.SID.ir

Archive of SID



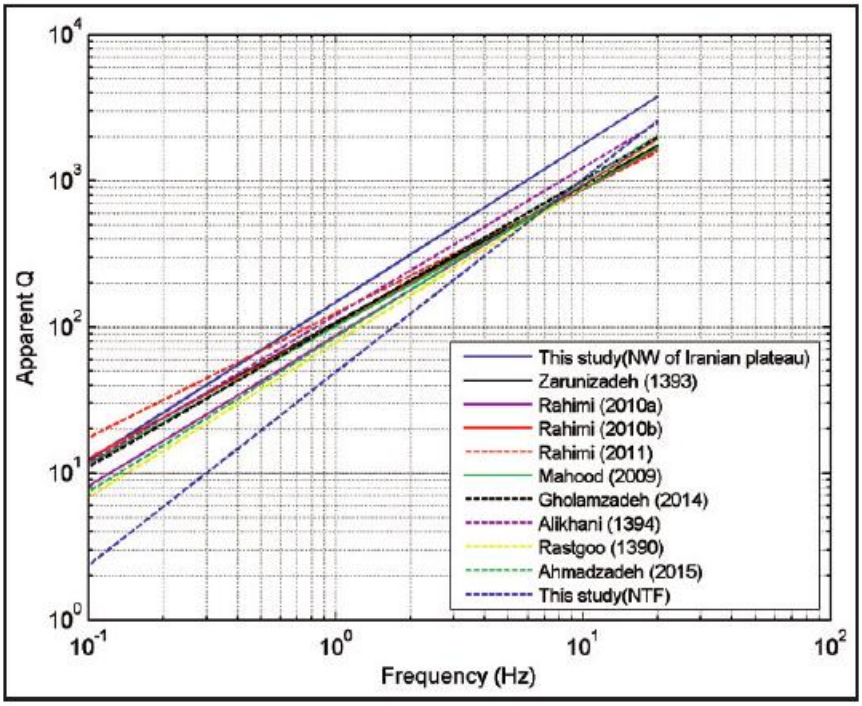
شکل ۱۰- نتایج بر آورد ضریب کیفیت وابسته به بسامد در پنجره‌های زمانی ۵ تا ۹۰ ثانیه و فواصل رومرکزی از صفر تا ۱۰۰ کیلومتر برای ایستگاه زنجان (مقادیر میانگین ضریب کیفیت در ۱ هرتز (Q_0) و (n) در بالای هر شکل نشان داده شده است).



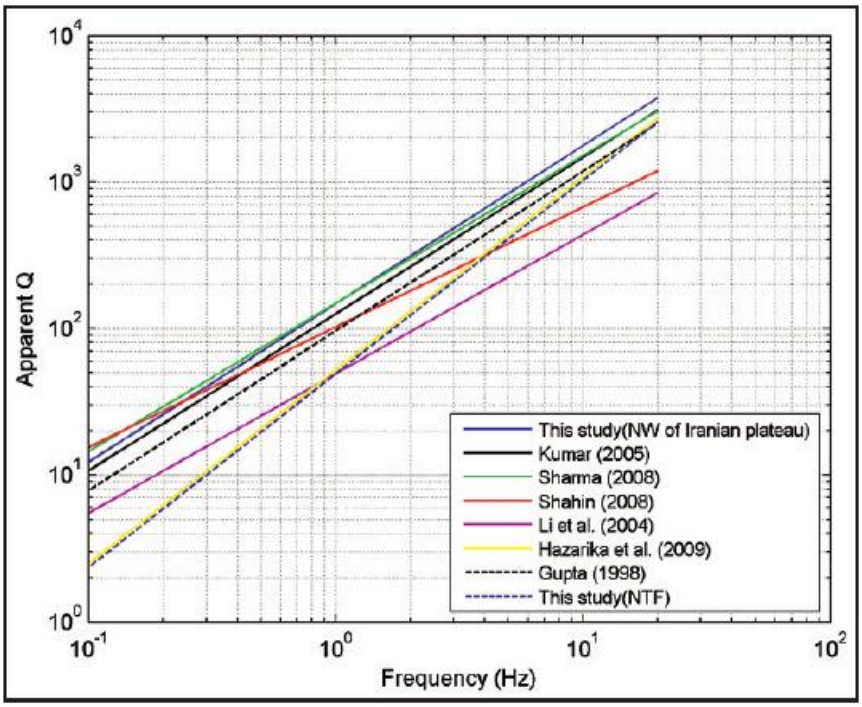
شکل ۱۱- نتایج بر آورد ضریب کیفیت وابسته به بسامد در پنجره‌های زمانی ۵ تا ۹۰ ثانیه و فواصل رومرکزی از صفر تا ۱۰۰ کیلومتر برای محدوده در برگیرنده گسل شمال تبریز (مقادیر میانگین ضریب کیفیت در ۱ هرتز (Q_0) و (n) در بالای هر شکل نشان داده شده است).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲- مقایسه نمودار تضعیف منطقه شمال باختر ایران و نواحی پیرامون گسل شمال تبریز با بررسی‌های انجام شده در نواحی مختلف ایران.



شکل ۱۳- مقایسه نمودار تضعیف منطقه شمال باختر ایران و نواحی پیرامون گسل شمال تبریز با نتایج بررسی‌های انجام شده در دیگر نواحی جهان.

کتابنگاری

بابرام‌نژاد، ا.، قبطانچی، م. و میرزایی، م.، ۱۳۸۶ تعیین مدل پوسته بهینه برای شمال غرب ایران، با استفاده از برگردان همزمان زمان امواج زلزله های محل ، نشریه فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۳، شماره ۳، صص. ۴۷ تا ۵۹.

خیام، م.، ۱۳۷۲ کوششی بر طرح وضع ساختمانی و مورفولوژی آتش‌فشانی فلات آذربایجان با تاکید بر توده ولکانیکی سبلان، نشریه دانشکده علوم انسانی دانشگاه تبریز، شماره‌های ۱۴۶و ۱۴۷.

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، شماره۵، صص. ۱۱۱ تا ۱۳۱.

ضرونی‌زاده، ز.، ۱۳۹۳ برآورد کاهندگی امواج کدا در ناحیه شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

References

Aki, K. & 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.

Ambraseys, N. N. & Melville, C. P., 1982- A history of Persian earthquakes. Cambridge University Press, London, 219 Pp.

Dewey, J. F., Hempton M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F. & Sengor, A. M. C., -1986- Shortening of continental lithosphere: The tectonics of eastern Anatolia - A young collision zone. Geol. Soc. Spec Publ., 19 - 36.

Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H. R. & Tavakoli, F., 2011- NW Iran-eastern Turkey present-day kinematics: results from the Iranian permanent GPS network. Earth and Planetary Science Letters 307: 27-34, http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2011.04.029.

Fehler, M. C. & Sato, H., 2003- Coda. Pure Appl. Geophys 160: 541-554.

Gholamzadeh, A., Rahimi, H. & Yaminifard, F., 2014- Spatial and Temporal Variation of Coda Wave Attenuation in the Faryab Region, Southeast of the Sanandaj-Sirjan Zone, using Aftershocks of the Tiab Earthquake of February 28, 2006. Bull. Seismol. Soc. Am 104:529-539.

Gupta, S. C., Teotia, S. S., Rai, S. S. & Gautam, N., 1998- Coda Q estimates in the Koyna region, India. Pure Appl. Geophys 153:713–731.

Havskov, J. & Ottemoller, L., 2003- SEISAN: the earthquake analysis software for windows, Solaris, Linux, and Mac OSX Version 8.0, 244 pp.

Hazarika, D., Baruah, S. & Gogoi, N. K., 2009- Attenuation of coda waves in the Northeastern region of India: J. Seismol 13: 141-160.

Irandoust- ahmadzadeh, M., Sobouti, F. & Rahimi M., 2015- Lateral and depth variations of coda Q in the Zagros region of Iran . J Seismol -15 1 (3) :19doi: 10.1007/s10950-015-9520-1.

Jackson, J., 1992- Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey and the Caucasus. J. Geophys. Res 97:12,479 -12,471.

Jin, A. & Aki, K., 1989- Spatial and Temporal correlation between coda Q−1 and seismicity and its physical mechanism. Journal of Geodynamics 66 (2013) 53- 58.

Karimzadeh, S,. Cakir, Z., Osmanoglu, B. & Schmalzle, G., 2013- Interseismic strain accumulation across the North Tabriz Fault (NW Iran) deduced from InSAR time series. Journal of Geodynamics 66: 53- 58.

Kumar, N., Parvez, I. A. & Virk, H. S., 2005- Estimation of coda wave attenuation for NW Himalayan region using local earthquakes. Phys. Earth planet. Inter 151: 243-258.

Lay, T. & Wallace, T. C., 1995- Modern Global Seismology. Academic Press, San Diego.

Li, B. J., Qin, J. Z., Qian, X. D. & Ye, J. Q., 2004- The coda attenuation of the Yao'an area in Yunnan Province: Acta Seismol. Sin 17: 47-53.

Ma'hood, M. & Hamzehloo, H., 2009- Estimation of coda wave attenuation in East Central Iran. J. Seismol 13: 125-139, doi:10.1007/s10950-008- 9130-2.

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. & 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. & Tatar, M., 2011- Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran). Tectonophysics 506: 22-30.

Priestley, K., McKenzie, D., Barron, J., Tatar. M. & Debayle, E., 2012- The Zagros core: deformation of the continental lithospheric mantle. Geochem Geophys Geosyst 13(11):Q11014. doi:10. 1029/2012GC004435.

Rahimi, H., Hamzehloo, H. & 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. & Hamzehloo, H., 2010b- Variation of coda wave attenuation in the Alborz region and central Iran. Geophys. J. Int 181: 1643-1654.

Rautian, T. G. & Khalturin, V. I., 1978- The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum. Bull. seism. Soc. Am 68: 923-948.

Romanowicz, B., 1995- A global tomographic model of shear attenuation in the upper mantle. J. Geophys. Res 100, 12,375-12,394.

Şengör, A. M. C. & Kidd, W. S. F., 1979- The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateauand a comparison with Tibet. Tectonophysics, 55: 361-376.

Shad- Manaman, N., Shomali, H. & Koyi, H., 2011- New constraints on upper-mantle S-velocity structure and crustal thickness of the Iranian plateau using partitioned waveform inversion. Geophys J Int 184: 247–267. doi:10.1111/j.1365-246X. 2010.04822.x.

Shahin, S., 2008- Lateral variations of coda Q and attenuation of seismic waves in Southwest Anatolia. J. Seismol 12: 367-376.

Sharma, B., Teotia, S. S. & Kumar, D., 2007- Attenuation of P, S, and coda waves in Koyna region, India. J. Seismol 11: 327-344.

Singh, D. D., Aladino, G. & Bragato, P. L., 2001- Coda Qc Attenuation and Source Parameter Analysis in Friuli (NE Italy) and its Vicinity. Pure appl. Geophys 158: 1737-1761.

Song, X. & Jordan, T. H., 2013- Anelastic Attenuation and Elastic Scattering of Seismic Waves in the Los Angeles Region. American Geophysical Union, Fall Meeting 2013

Stein, S. & Wysession, M., 2003- An Introduction to seismology, earthquake and earth structure. Blackwell Pub.

Talebian, M. & Jackson, J. A., 2002- Offset on the Main Recent Fault of NW Iran and implications for late Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone. Geophys. J. Int 150: 422-439.

www.SID.ir

Archive of SID

Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, Vol. 25, No.100, Summer 2016

Determination of Coda Wave quality factor in the North-West of the Iranian plateau

M. Naghavi [1], H. Rahimi [2] & A. Moradi [2*]

[1] Ph.D. Student, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

[2] Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2015 August 31 Accepted: 2016 January 20

Abstract

The energy of a seismic wave decays while passing through a "real" medium such as the earth which is not completely elastic. Scattering and attenuation of high-frequency seismic waves are substantial parameters to quantify and to physically characterize the earth medium and from which useful information on medium properties can be inferred. The coda waves in seismograms are one of the most prominent observations supporting the existence random heterogeneities in the earth. Determination of source parameters must take into account the proper attenuation characteristic of the wave path. Moreover, it is essential for seismic risk studies and seismic hazard assessment, and consequently for seismic risk mitigation and engineering seismology. Many researchers used coda waves from small earthquakes to determine local attenuation properties of the crust. The S-coda has a common amplitude decay curve for lapse time greater than the twice the S-wave travel time. The shape of this decay curve is quantified by using a parameter knows coda attenuation Qc^{-1}. The time domain coda decay method of a single back scattering model is employed to estimate frequency dependence of the quality factor of coda waves modeled using $Q=Q_0 f^n$, where Q_0 is the coda quality factor at frequency of 1 Hz and n is the frequency parameter. The purpose of this study is to determine the coda quality factors from recorded events at 17 stations in the NW of Iranian plateau, using the single backscattering method (Aki and Chouet 1975). Scattering models have been developed in order to infer physical properties of the lithosphere from observations of seismic codas. In this study, the coda quality factors of seismic waves have been estimated by using local earthquakes with recorded in NW of Iranian plateau. This region includes major faults such North Tabriz Fault and two volcanoes (Sahand and Sabalan) and many thermal units. The data used in this study consists more than 13000 earthquakes and 26724 high-quality waveform recorded between 2000-2013 by Iranian National Seismic Network (INSN) and Iranian Seismological Center (IRSC) stations to estimate lateral variations of coda wave quality factor. By using these data set, Qc and its frequency dependency were estimated, in NW of Iranian plateau. We also investigated lateral and depth variation of Qc in this region. The average frequency relations for NW of Iranian plateau and around North Tabriz Fault (NTF) are $Q_c = 147(\pm 1.09) \times f^{1.08(\pm 0.01)}$, and $Q_c = 49.00 \times f^{1.32}$, respectively. These values show this region is very active region tectonically and seismically. To investigate the attenuation variation with depth, Qc value was calculated for 18 lapse-times (5, 10, 15, 90s) for two data sets comprising epicentral distance range $R < 100$ km (data set 1) and $100 < R < 200$ km (data set 2). As the quality factor is related to the heat flow, as the mechanisms show, it decrease with increasing temperature, because active region greater absorption than stable region. We should note that in this study the Q_0 results, are taken as mean values of each propagation-path. It is observed that generally with increasing coda wave lapse-time, Q0 (quality factor at 1 Hz) and n (frequency dependence factor) values show increasing and decreasing trend, respectively. Determinations of Q_0 and n in the attenuation relationships for different tectonic regions, have been the focus of many studies. Both these parameters appear to represent the level of tectonic activity of a seismic region. According to the results, we observed well correlation between reported lithosphere thickness and trends of Q_0 and n in longer lapse-times (larger depths). The lateral variation of Q_0 correlates well with the large scale tectonic units of the studied area. According to the results obtained in this study NTF, Sahand volcano and its surrounding regions are characterized by relatively low Q_0 and a high gradient of Q_0 can be observed in the region. Furthermore NW Iran is a region of significant geothermal activity and anomalously high crustal temperatures. These geothermal activities result in smaller values for quality factor and higher attenuation of seismic waves. Such of the Q_0 and n variations can be attributed to variability in the depth and severity of the crustal velocity gradient.

Keywords: Quality factor, Coda waves, NW of Iranian plateau, North Tabriz Fault, Attenuation.

For Persian Version see pages 271 to 280

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

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional
www.SID.ir