

## برآورد رابطه وابستگی فرکانسی ضریب کیفیت امواج فشارشی در جزیره قشم

ندا رحیمی<sup>۱</sup> و عباس غلامزاده<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران  
<sup>۲</sup>استادیار زلزله شناسی، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۰۲)

### چکیده

علم زلزله‌شناسی به کمک مطالعه نگاشت‌های ثبت‌شده حاصل از امواج زمین‌لرزه، نقش مهمی در شناسایی وضعیت و ترکیبات داخل زمین که امواج لرزه‌ای از داخل آن عبور می‌کنند، ایفا می‌کند. انرژی امواج لرزه‌ای در هنگام عبور از زمین با افزایش مسافت بین چشمه و گیرنده کاهش می‌یابد. کاهندگی امواج لرزه‌ای در لیتوسفر به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم جهت مطالعه ساختار داخل زمین و یکی از راه‌های شناسایی ویژگی‌های لرزه‌خیزی و ارتباط آن با تکتونیک در یک منطقه شناخته می‌شود. تعیین ضریب کیفیت در درون زمین با مطالعه کاهندگی امواج لرزه‌ای امکان‌پذیر است. می‌توان کاهندگی لرزه‌ای را به‌صورت  $Q_p^{-1}$  دامنه امواج لرزه‌ای نسبت به زمان و فاصله توصیف کرد. به طور کلی دامنه موج لرزه‌ای با افزایش فاصله درون زمین کاهش می‌یابد. به‌جز مواردی که تداخل امواج رخ می‌دهد، دامنه نسبت به فاصله به‌طور نمایی کاهش می‌یابد و مقدار افت آن متناسب با  $Q_p^{-1}$  است که مشخصه مکانی موج P است. گستره مورد مطالعه، جزیره قشم با طول متوسط ۱۳۲ کیلومتر و عرض متوسط ۱۱/۴ کیلومتر است که در بخش خاوری رشته‌کوه زاگرس قرار گرفته‌است. زمین‌لرزه قشم با بزرگای  $m_b = 6/0$  در ششم آذرماه ۱۳۸۴ در ساعت ۱۰:۲۲:۱۹ (UTC) در مختصات جغرافیایی ۲۶/۸۳ درجه عرض شمالی و ۵۵/۸۲ درجه طول شرقی توسط ۱۷ ایستگاه شبکه ملی لرزه‌نگاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به ثبت رسید. در این مطالعه جهت برآورد رابطه وابستگی فرکانسی ضریب کیفیت امواج P به روش نرمالایز کدا، از ۶۶۱ پس‌لرزه به‌دقت تعیین محل شده، استفاده شده است. در این روش ضریب کیفیت امواج طولی در ۹ بازه فرکانسی،  $1/5 - 2/5 - 3/5 - 4/5 - 5 - 7$  - ۱۰ - ۱۴ - ۱۹ - ۲۴ هرتز در منطقه قشم تعیین شدند. رابطه وابستگی فرکانسی به‌دست‌آمده برای امواج طولی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت  $Q_p^{-1} = (0.059 \pm 0.011)f^{-0.94 \pm 0.072}$  است. به این ترتیب کاهندگی منطقه قشم به نسبت بسیار زیاد است که می‌تواند دلالت بر این داشته باشد که مواد تشکیل‌دهنده پوسته زمین بخش زیادی از انرژی امواج تراکمی را مستهلک می‌کنند. این کاهندگی زیاد، با توجه به مقادیر گزارش شده برای سایر نقاط ایران و جهان، بازتابی از حضور یک لایه رسوبات نسبتاً نرم هم‌چون گنبد‌های نمکی است؛ همچنین می‌تواند به دلیل داده‌های استفاده شده پس‌لرزه‌های زمین‌لرزه ۶ آذرماه باشد که منطقه دچار خردشدگی و بالتبع افزایش ناهمگنی شده است. مقدار ضریب کیفیت در بسامد مرجع ۱/۰ هرتز کمتر از ۲۰۰ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این منطقه از لحاظ لرزه‌خیزی و زمین‌ساختی فعال است. نتایج با خصوصیات زمین‌شناسی و ساختار رسوبی منطقه مطابقت دارد؛ در این بخش از زاگرس تجمع گنبد‌های نمکی به وفور یافت می‌شود.

واژه‌های کلیدی: امواج P، روش نرمالایز کدا، قشم

## ۱ مقدمه

امتداد تاقدیس‌های بزرگ جزیره قشم با تاقدیس‌های زاگرس، شاهدی بر این موضوع است. تشکیل جزیره یا برونزد آن از دریا بیشتر نتیجه نیروهای فشاری در تداوم فاز زمین‌ساخت نهایی کوهزایی آلپ در اواخر تریسری بوده است (فرزانگان و همکاران، ۱۳۸۵).

روند ساختارهای زمین‌شناسی در این بخش از زاگرس، از شمال غرب-جنوب شرق به شرقی-غربی و سپس حتی به روند شمال شرق-جنوب غرب تغییر می‌یابد. در انتهای شرقی این ناحیه، روند چین‌ها ناگهان به امتداد NNW در کمربند میناب-زندان تغییر می‌کند. این انتقال با تغییر قابل ملاحظه در نوع چین‌خوردگی می‌تواند بازتاب تغییر در عمق سطح جدایش باشد (مولینارو و همکاران، ۲۰۰۴).

چین‌خوردگی‌ها، شکستگی‌ها و گنبدی‌های نمکی از ساختارهای مهم زمین‌ساختی در جزیره قشم هستند که در شکل ظاهری جزیره تأثیر بسزایی داشته‌اند. چین‌خوردگی‌ها حاصل نیروهای زمین‌ساختی در فاز پایانی آلپی هستند و به جز تاقدیس گورزین که روند محوری شمال‌باختری-جنوب‌خاوری دارد، دیگر تاقدیس‌ها روند تقریبی خاوری-باختری دارند. تنها ناودیس رخنمون یافته در جزیره قشم، ناودیس کوشا است که در فاصله تاقدیس‌های زیرانگ و گورزین قرار گرفته است (رضایی و زارع‌زاده، ۲۰۱۴).

رسوبات سنگ بستر رخنمون یافته در جزیره، شش تاقدیس و یک ناودیس را تشکیل داده است. به استثنای تاقدیس گورزین با جهت شمال‌باختری-جنوب‌خاوری، همه ساختارهای ذکر شده، دارای راستای تقریبی خاور-شمال‌خاوری، باختر-جنوب‌باختری هستند (نسن و همکاران، ۲۰۰۷).

واحدهای چین‌نگاری رخنمون یافته در سطح جزیره قشم از قدیم به جدید، عبارت اند از:

کشور ایران در میان دو صفحه لیتوسفری اوراسیا و عربستان قرار گرفته است و مقدار آهنگ همگرایی حدود  $25 \text{ mm/yr}$  است (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴). نوار چین‌خورده-رانده زاگرس (ZFTB) با راستای شمال باختر-جنوب خاور از کوه‌های تاروس در شمال شرق ترکیه تا تنگه هرمز در جنوب باختری ایران به طول حدود ۱۶۰۰ کیلومتر ادامه دارد. گسل اصلی زاگرس (MZT) حد شمال خاوری نوار زاگرس است که پهنه سندج-سیرجان (SSZ) (به‌عنوان بخشی از ایران مرکزی) را از کوه‌های زاگرس جدا می‌کند (بربریان، ۱۹۹۵).

زاگرس در حاشیه شمال شرقی صفحه عربستان بر روی پی‌سنگ دگرگونی پرکامبرین قرار گرفته است. از دیدگاه ساختمانی، شکل‌گیری آن با جنبش همگرایی مداوم صفحه عربستان در جنوب غرب و خرد قاره ایران مرکزی شمال شرق مرتبط است که خود ناشی از حرکت صفحه آفریقا-عربستان نسبت به اوراسیا به سوی شمال شرق است (علوی، ۱۹۹۴؛ بربریان، ۱۹۹۵).

نوار چین‌خورده-رانده زاگرس نتیجه بسته‌شدن اقیانوس نتوتیس و آغاز برخورد قاره‌ای در میوسن (مک کوری و همکاران، ۲۰۰۳) بین ایران مرکزی و سپر عربی است و تقریباً ۱ سانتی‌متر از  $2/5$  سانتی‌متر کوتاه‌شدگی بین صفحه عربی و اوراسیا در آن رخ می‌دهد (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴؛ تاتار و همکاران، ۲۰۰۲). زاگرس زلزله‌خیزترین منطقه ایران و از دیدگاه لرزه‌خیزی بسیار فعال است. بیش از ۵۰ درصد زمین‌لرزه‌های ایران که توسط شبکه‌های جهانی به ثبت رسیده‌اند، در گستره زاگرس روی داده است (میرزائی و همکاران، ۱۹۹۸).

جزیره قشم بخشی از جنوب خاوری ایالت زمین‌شناختی و نسبتاً فعال زمین‌ساختی-نوزمین‌ساختی زاگرس است. شباهت ظاهری و همچنین هماهنگی در

دامنهٔ امواج لرزه‌ای نسبت به زمان و فاصله توصیف کرد. در فرآیندهای ناکشسانی، انرژی انتشار موج به صورت انرژی لرزه‌ای باقی نمی‌ماند و به گرما تبدیل می‌شود. در مقابل، اُفت دامنهٔ امواج لرزه‌ای در پاسخ به فرایندهای کشسانی که شامل گسترش هندسی و پراکنش است، به برآورد قانون بقای انرژی امواج می‌پردازد. مطالعات نشان می‌دهند که مقادیر  $Q$  در مناطق لرزه‌خیز، کم و در مناطق پایدار، زیاد است (ساتو و فهلر، ۱۹۹۸). با توجه به فعالیت زیاد لرزه‌خیزی جزیرهٔ قشم مطالعه و شناخت دقیق‌تر پارامترهای جنبش نیرومند زمین امری ضروری است. در این پژوهش، ضریب کیفیت امواج مستقیم  $P$  به روش نرمالایز کدا در جزیرهٔ قشم برآورد می‌شود.

## ۲ داده‌ها

در تاریخ ۶ آذرماه ۱۳۸۴ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای  $m_b = 6/0$  جزیرهٔ قشم را در ساعت ۱۳:۵۲ به وقت محلی لرزاند. مختصات جغرافیایی این زمین‌لرزه  $26/83$  درجهٔ عرض شمالی و  $55/82$  درجه طول شرقی است که توسط ۱۷ ایستگاه ملی لرزه‌نگاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به ثبت رسید. موقعیت این زمین‌لرزه در فاصلهٔ ۴۶ کیلومتری باختری شهر قشم و ۶۰ کیلومتری جنوب باختری بندرعباس است. بزرگ‌ترین پس‌لرزهٔ آن دارای بزرگای  $m_b = 5/8$  است که در ساعت ۲۰ همان روز به وقوع پیوست. در اثر این زمین‌لرزه ۱۳ نفر کشته و بیش از ۱۰۰ نفر مجروح شدند و ۱۴ روستا تخریب شد. در اثر این زمین‌لرزه، روستای تنان در بخش مرکزی جزیره تخریب شد و چندین شهرک از جمله گورزین و جیجیان به شدت آسیب دیدند (نیسن و همکاران، ۲۰۰۷). پس‌لرزه‌ها در بیش از ۸ ایستگاه به ثبت رسیدند (شکل ۱) که تعداد ۶۶۱ پس‌لرزه به منظور برآورد ضریب کیفیت موج طولی به دقت تعیین محل شده‌اند.

- سری هرمز (پرکامبرین پسین تا کامبرین پیشین)؛ این سری در محل گنبدنمکی (نمکدان) در جنوب باختری قشم رخنمون دارد؛  
- سازند میشان با سن میوسن میانی تا میوسن پسین که در قسمت‌های مرکزی تاقدیس‌های هلر، صلخ و گورزین قابل مشاهده است؛  
- سازند آغاچاری (میوسن پسین تا پلیوسن) که بیرون‌زدگی‌های فراوانی در جزیرهٔ قشم داشته و ۷۰ درصد سطح جزیره را می‌پوشاند؛  
- نهشته‌های معادل سازند بختیاری (پلوسن تا پلیستوسن پیشین) (حقی‌پور، ۲۰۰۶)؛  
- نهشته‌های کواترنری در این جزیره بسیار متنوع و دارای گسترش فراوانی است (پروینی، ۲۰۰۷).

کمربند چین و تراست زاگرس شامل گسل‌های مهمی مانند گسل معکوس اصلی زاگرس (MZRF)، گسل زاگرس مرتفع (HZF)، گسل جبههٔ پیشانی زاگرس (ZFF)، گسل پیشانی کوهستان (MFF) و گسل زندان-میناب است. منطقهٔ مورد مطالعه در جزیرهٔ قشم در لبهٔ جنوبی این کمربند واقع است. بارزترین گسل جزیرهٔ قشم، گسل قشم است. گسل قشم با طول حدود ۶۰ کیلومتر به سمت شمال‌غرب تحدب دارد. مشاهدات صحرائی به وضوح شواهد مربوط به جابه‌جایی در طول این گسل را آشکار ساخته است.

کاهندگی امواج لرزه‌ای با پارامتر بدون بعد  $Q$ ، فاکتور کیفیت معرفی می‌گردد که مستقیماً به کاهش انرژی کشسانی در طی انتشار امواج در محیط مربوط است. کاهندگی امواج لرزه‌ای به صورت عکس فاکتور کیفیت ( $Q^{-1}$ ) به فهم قوانین فیزیکی حاکم بر انتشار امواج لرزه‌ای در لیتوسفر زمین کمک می‌کند. با توجه به فرآیندهای کشسانی و ناکشسانی که هنگام انتشار امواج درون زمین وجود دارد، می‌توان کاهندگی لرزه‌ای را به صورت اُفت

$$c(k) = \left( \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k e^2(n) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

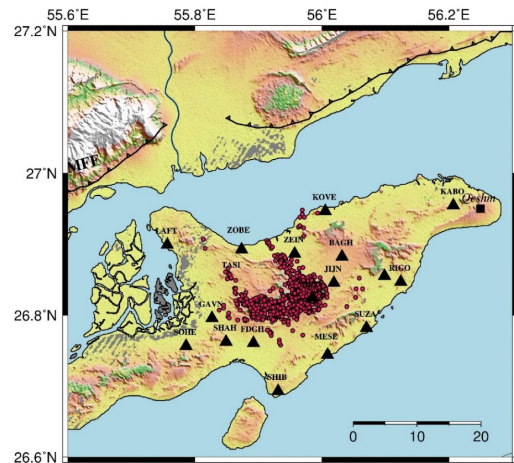
سپس پنجره‌ای به طول ۵ ثانیه قبل از زمان رسید موج P، به‌عنوان پنجره نوبه انتخاب گردید و با استفاده از رابطه (۲) دامنه میانگین نوبه محیطی تعیین گردید. امواج P با مقدار سیگنال به نوبه بیشتر از ۳، جهت محاسبات استفاده گردید. برای امواج کدا مقدار سیگنال به نوبه بیشتر از ۲ استفاده گردید.

#### ۴ روش نرمالایز کدا

در این مطالعه روش نرمالایز کدا جهت تعیین ضریب کیفیت امواج P استفاده شده است. روش نرمالایز کدا توسط یوشیموتو و همکاران (۱۹۹۳) به منظور اندازه‌گیری دامنه موج مستقیم P نسبت به فاصله سیر توسعه داده شد. در این روش تأثیرات چشمه، ساختگاه و دستگاه، با نرمال‌سازی دامنه طیفی امواج برشی با دامنه طیفی امواج کدا حذف می‌شوند. در روش نرمالایز کدا ابتدای پنجره کدا از زمان وقوع زمین‌لرزه دو برابر زمان سیر موج S در نظر گرفته می‌شود. طیف دامنه موج طولی در ۹ بازه فرکانسی با فرکانس‌های مرکزی ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۵، ۷، ۱۰، ۱۴، ۱۹ و ۲۴ هرتز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\ln \left( \frac{A_p(f, r) r^\gamma}{A_c(f, t_c)} \right) = -\frac{\pi f}{\alpha Q_p(f)} r + \text{const}(f), \quad (3)$$

که  $A_p(f, r)$  دامنه طیفی موج P ثبت شده در فاصله  $r$  از زمین‌لرزه،  $r$  فاصله کانونی،  $f$  فرکانس،  $\gamma$  ضریب گسترش هندسی،  $A_c(f, t_c)$  دامنه طیفی موج کدا،  $\alpha$  سرعت موج طولی،  $Q_p(f)$  ضریب کیفیت موج طولی و ضریب گسترش هندسی برای امواج حجمی در فاصله رومرکزی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر،  $\gamma = 1$  است. بر اساس بررسی لرزه‌زمین‌ساخت منطقه هرمزگان، سرعت موج طولی در منطقه مورد مطالعه به طور میانگین حدود ۵/۵ کیلومتر بر



شکل ۱. موقعیت پس‌لرزه‌ها (دایره‌های قرمز) در منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های لرزه‌نگاری (مثلث‌های مشکی).

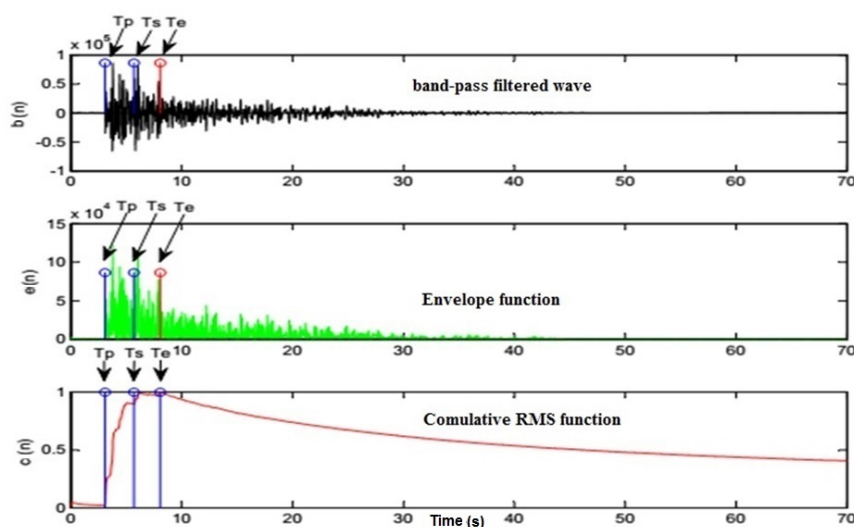
#### ۳ پردازش داده‌ها

جهت پردازش داده‌ها ابتدا بر روی لرزه‌نگاشت‌های مؤلفه عمودی، تصحیح خط مبنا انجام گرفت. سپس بر روی لرزه‌نگاشت، در بازه‌های فرکانسی ۱-۲، ۲-۳، ۳-۴، ۴-۶، ۶-۸، ۸-۱۲، ۱۲-۱۶، ۱۶-۲۲ و ۲۲-۲۶ هرتز با فرکانس مرکزی ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۵، ۷، ۱۰، ۱۴، ۱۹ و ۲۴ هرتز فیلتر میان‌گذر اعمال شد. در مرحله بعد در هر فرکانس، پوش لرزه‌نگاشت به صورت رابطه زیر به دست آمد:

$$e(n) = \left( b^2(n) + H^2(b(n)) \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

که  $H(b(n))$  تبدیل هیلبرت سری زمانی  $b(n)$  است. با استفاده از قرائت چشمی برای تمامی نگاشت‌ها زمان رسید موج P و S، تعیین شده است. پنجره موج P از شروع موج طولی P تا زمان رسید موج S در نظر گرفته شد. ماکزیمم دامنه موج P در پنجره موج P، به‌عنوان دامنه موج  $A_p$  در محاسبات در نظر گرفته شد.

جهت تعیین دامنه امواج کدا با توجه به زمان  $t_c$  پنجره‌ای به طول ۵ ثانیه از نگاشت جدا شد. سپس جذر میانگین مجموع توان دو امواج کدا مطابق رابطه (۲) به دست آمد و به‌عنوان دامنه امواج کدا  $A_c$  استفاده گردید.



شکل ۲. تعیین پنجره موج طولی.  $T_p$ ,  $T_s$  به ترتیب زمان رسید موج P و S، و  $T_e$  انتهای پنجره موج برشی را نشان می‌دهند.

#### ۴ بحث و نتایج

در شکل ۳ مقادیر  $Q_p$  به ازای هر فرکانس مرکزی، با توجه به رابطه (۳) با برازش خط درجه اول به دست آمده است. در جدول ۱ مقادیر  $Q_p$  در ۹ بازه فرکانسی به همراه مقادیر  $Q_0$  و  $n$  آورده شده است. رابطه وابستگی فرکانسی ضریب کیفیت موج طولی با استفاده از روش نرمالایز کدا برحسب فرکانس برای منطقه قشم به صورت رابطه زیر به دست آمد (شکل ۴):

$$Q_p = 17f^{0.94} \quad (۷)$$

مقدار  $Q_p$  برای فرکانس‌های مرکزی ۱/۵ Hz تا ۱ Hz از ۲۴ تا ۳۳ تا ۲۹۸ به دست آمده است (جدول ۱). افزایش ظاهری  $Q$  با فرکانس، دلالت بر افزایش کاهندگی دارد. امواج با فرکانس کم (طول موج بلند) از ناهمگنی‌هایی با ابعاد کوچک عبور می‌کنند، در حالی که امواج با فرکانس بالا قادر به عبور از این ناهمگنی‌ها نیستند؛ این ویژگی سبب می‌شود که کاهندگی امواج دارای فرکانس بالا بیشتر باشد.

رابطه وابستگی فرکانسی ضریب کیفیت امواج طولی به روش نرمالایز کدا در مناطق دیگر ایران و جهان نیز به

ثابته در نظر گرفته می‌شود (یمینی فرد و همکاران، ۲۰۱۲). با برازش خط درجه اول با شیب  $b$  به روش کمترین مربعات، ضریب کیفیت موج طولی به ازای هر بسامد با توجه به رابطه (۳) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_p = \left( -\frac{\pi f}{ab} \right) \quad (۴)$$

پس از به دست آوردن مقادیر  $Q$  با استفاده از برازش منحنی روابط ذکر شده، ضریب کیفیت به ازای هر فرکانس مرکزی، رابطه وابستگی بسامدی ضریب کیفیت به صورت رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$Q = Q_0 f^n \quad (۵)$$

که ضریب کیفیت در بسامد مرجع ۱ هرتز و  $\pi$  پارامتر بسامدی است. با توجه به رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$\ln(Q) = n(\ln(f)) + \ln(Q_0) \quad (۶)$$

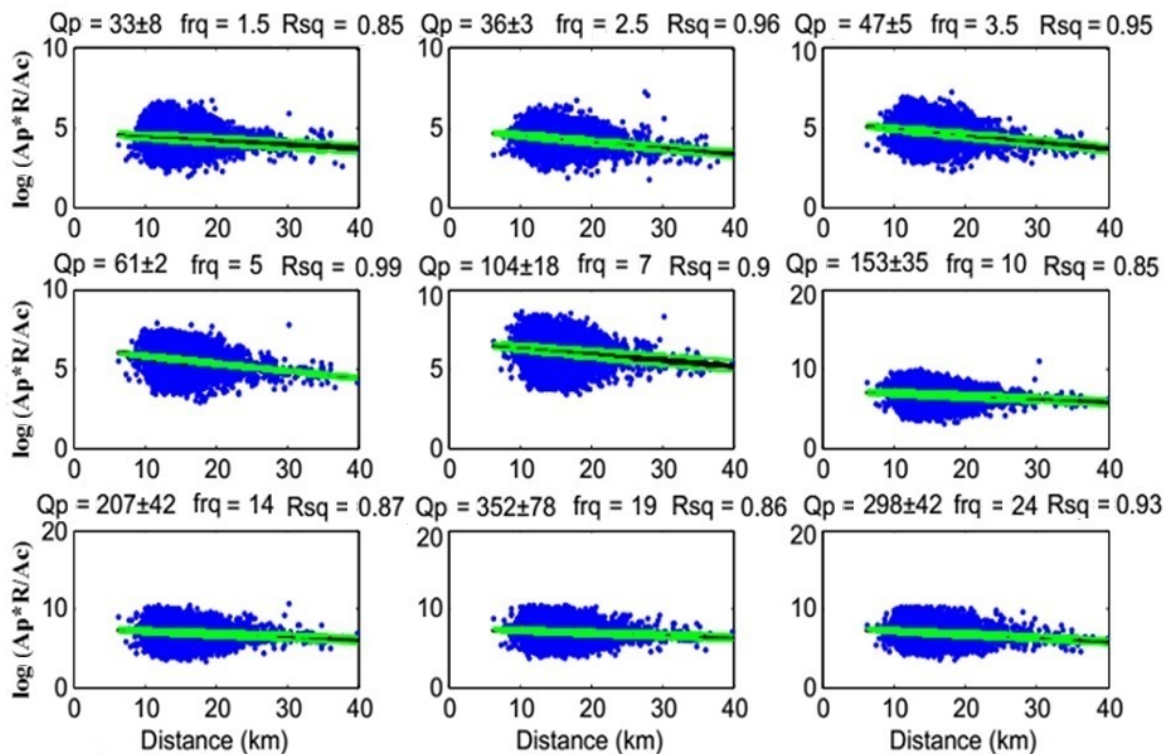
با برازش منحنی درجه اول به روش کم‌ترین مربعات، عرض از مبدأ و شیب خط آن به ترتیب برابر با  $\ln(Q_0)$  و  $n$  خواهد بود

جدول ۱. مقادیر ضریب کیفیت امواج P در ۹ بازه فرکانسی، همراه با مقادیر  $Q_0$  و  $n$

Frequency (Hz)	$Q_p$
۱/۵	۳۳±۸
۲/۵	۳۶±۳
۳/۵	۴۷±۵
۵	۶۱±۲
۷	۱۰۴±۱۸
۱۰	۱۵۳±۳۵
۱۴	۲۰۷±۴۲
۱۹	۳۵۲±۷۸
۲۴	۲۹۸±۴۲
$Q_0$	۱۷±۳
$n$	۰/۹۴±۰/۰۷۲

دست آمده است؛ به عنوان مثال، برای کل منطقه شرق ایران مرکزی که سه منطقه بم، زرنند و جیرفت را شامل می‌شود، باتوجه به مقادیر  $Q$  که برابر  $Q_p^{-1} = 0.025f^{-0.99}$  به دست آمده است (معهود و همکاران، ۲۰۰۹)، این منطقه جزو مناطق با ناهمگنی و نیز فعالیت تکتونیکی بالا محسوب می‌شود.

قسمت شمال شرق ایران که محل برخورد ورقه ایران مرکزی با توران و بخشی از کمربند بزرگ لرزه‌خیز آلپ-همیالیا است، باتوجه به مقادیر  $Q$  که برابر  $Q_p^{-1} = 0.016f^{-0.86}$  به دست آمده است (نوروزی، ۲۰۰۶) از لحاظ لرزه‌خیزی دارای پتانسیل زیادی است.

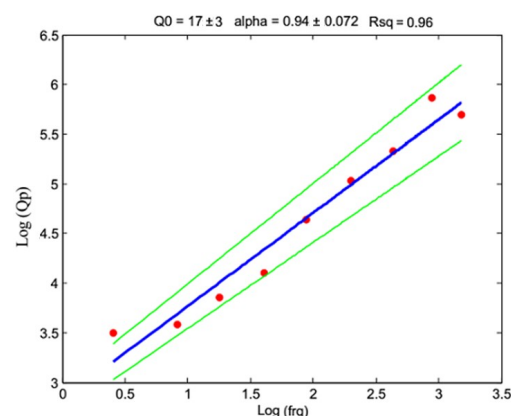


شکل ۳. برآورد ضریب کیفیت امواج طولی به روش نرمالایز کدا در منطقه قشم در ۹ بازه فرکانسی.

لرزه‌خیز و نیز از نظر لرزه‌خیزی منطقه پایداری محسوب می‌شود.

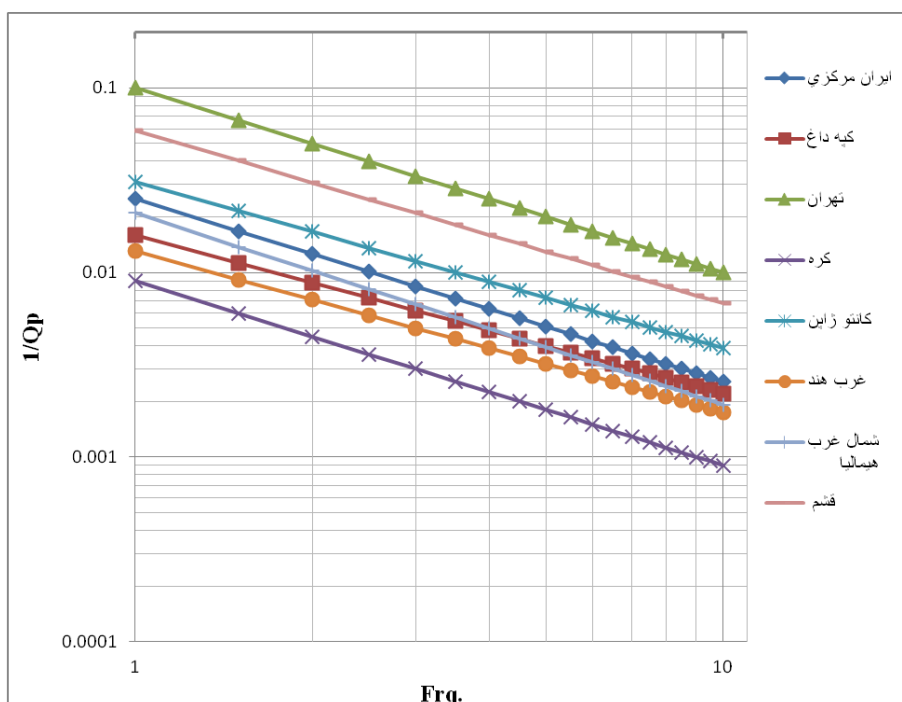
کانتو در شرق ژاپن و محل برخورد صفحات اوراسیا، اقیانوس آرام و دریای فیلیپین است؛ با توجه به مقادیر  $Q$  که برابر  $Q_p^{-1} = 0.031f^{-0.90}$  به دست آمده است (یوشیموتو و همکاران، ۱۹۹۳)، منطقه‌ای با لرزه‌خیزی بالا محسوب می‌شود. گوجرات منطقه کچ که در غرب هند قرار دارد، با توجه به مقادیر  $Q$  که برابر  $Q_p^{-1} = 0.013f^{-0.87}$  به دست آمده است (شارما و همکاران، ۲۰۰۸) در اثر برخورد صفحه هند با اوراسیا به وجود آمده و به همین دلیل تنش‌های فشارشی زیادی را متحمل شده است.

منطقه کینار در شمال غرب هیمالیا با توجه به مقادیر  $Q$  که برابر  $Q_p^{-1} = 0.021f^{-1.04}$  به دست آمده (کومار و همکاران، ۲۰۱۳) از نظر لرزه‌خیزی فعال و بسیار ناهمگن است و مقدار به دست آمده برای ضریب کیفیت موج  $P$  با تکتونیک منطقه هم‌خوانی دارد (شکل ۵).



شکل ۴. برآورد رابطه وابستگی فرکانسی ضریب کیفیت امواج طولی در منطقه قشم.

همچنین جنوب و جنوب شرق تهران که بین زون‌های زمین‌ساختی البرز و ایران مرکزی قرار گرفته است، با توجه به مقادیر  $Q$  که برابر  $Q_p^{-1} = 0.1f^{-1}$  به دست آمده (واشقانی فراهانی و همکاران، ۲۰۱۲) و جنوب شرق کره جنوبی که در شرق آسیا واقع شده است، با توجه به مقادیر  $Q$  که برابر  $Q_p^{-1} = 0.009f^{-1.00}$  به دست آمده (چانگ و ساتو، ۲۰۰۱)، دور از مرز صفحات فعال



شکل ۵. مقایسه کاهندگی به دست آمده در مطالعه حاضر با سایر نقاط ایران و جهان.

انتشار امواج، دچار خوردشدگی شده و ناهمگنی محیط افزایش یافته است، در نتیجه این اتفاق احتمال دارد کاهندگی بدست آمده نسبتاً زیادت‌تر باشد.

### منابع

- Alavi, M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations: *Tectonophysics*, **229**, 211-238.
- Berberian, M., 1995, Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds, active basement tectonics and surface morphotectonics: *Tectonophysics*, **241**, 193-224.
- Chung, T. W., and Sato, H., 2001, Attenuation of high-frequency P and S waves in the crust of Southeastern South Korea: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **91**(6), 1867-1874.
- Farzanegan, E., Mirzaei Alavijeh, H., and Sinacian, F., 2006, the earthquake report in Qeshm Island (Persian Gulf) at november 27, 2005: Building and Housing Development Research Center.
- Haghipour, A., 2006, *Geology of Qeshm*, Qeshm Free Zone Organization Publication: P. 5.
- Kinoshita, S., 1994, Frequency-dependent attenuation of shear waves in the crust of the southern Kanto area, Japan: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**, 1387-1396.
- Kumar, N., Mate, Sh., and Mukhopadhyay, S., 2013, Estimation of  $Q_p$  and  $Q_s$  of Kinnaur Himalaya: *Journal of seismology* **18**, 47-59, DOI 10.1007/s10950-013-9399-7.
- Ma'hood M., Hamzehloo H., and Doloei G. J., 2009, Attenuation of high frequency P and S waves in the crust of the east-central Iran: *Geophysical Journal International*, **179**, 1669-78.
- McQuarrie, N., Stock, J. M., Verdel, C., and Wernicke, B., 2003, Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions: *Geophysical Research Letters*, **30**(20), 2036-2040.
- Mirzaei, N., Gao, M. and Chen Y. T., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. *Journal of Earthquake Prediction Research* **7**, 465-495.
- Molinaro, M., Guezou, J. C., Leturmy, P., Eshraghi, S. A., and Frizon de Lamotte, D., 2004, the origin of changes in structural
- مقدار  $Q_p$  که در این مطالعه به دست آمده است از همه نقاط، به استثناء جنوب و جنوب شرق تهران که در شکل ۵ آمده است، کمتر است.
- ضخامت لایه رسوبی در جزیره قشم ۸ کیلومتر با سرعت ۵/۵ کیلومتر بر ساعت برآورد شده است (یمینی فرد و همکاران، ۲۰۱۲). مقدار کم  $Q$  دال بر کاهندگی بیشتر در منطقه جزیره قشم است. این کاهندگی بیشتر می‌تواند به لایه رسوبی نسبتاً ضخیم و شامل رسوبات تبخیری و گنبد‌های نمکی زاگرس مربوط باشد.
- وجود گسل مهم قشم که مسبب زلزله ۶ آذر ۱۳۸۴ بوده است، در وسط منطقه مورد بررسی، موجب پراکندگی و چندمسیر شدن امواج لرزه‌ای در موقع عبور از این گسل می‌شود. همچنین منطقه مورد مطالعه دارای ابعاد نسبتاً کوچکی است و در برگرنده پس لرزه‌های زلزله ۶ آذر ۱۳۸۴ است. در نتیجه زون شکستگی و خورد شدگی ناشی از گسلش موجب پراکندگی امواج و باعث کاهندگی بیشتر می‌شود.

### ۵ نتیجه‌گیری

باتوجه به مقادیر ضریب کیفیت امواج طولی که با استفاده از روش نرمالایز کدا محاسبه گردید، این نتیجه به دست می‌آید که تضعیف امواج طولی در منطقه قشم ناشی از وجود لایه‌های سست‌تر رسوبی هم‌چون گنبد‌های نمکی است. از آنجا که قشم بخشی از جنوب خاوری ایالت زمین‌شناختی زاگرس است، بیشترین تجمع گنبد‌های نمکی در این بخش از زاگرس است.

با توجه به رابطه  $Q_p^{-1} = 0.059 f^{-0.94}$  به دست آمده در منطقه مورد مطالعه، مقدار  $Q_0$  در فرکانس مرجع ۱/۰ هرتز کمتر از ۲۰۰ است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این منطقه از لحاظ لرزه‌خیزی و زمین‌ساختی فعال است.

برای محاسبه کاهندگی از پس‌لرزه‌های زلزله مخرب ۶ اسفند ۱۳۸۴ استفاده شده است، در اثر زلزله اصلی محیط



- Tatar, M., Hatzfeld, D., Martinod, J., Walpersdorf, A., Ghafori-Ashtiany, M., and Chery, J., 2002, the present-day deformation of the central Zagros from GPS measurements: *Geophysical Research Letters*, **29**(19), 1927-1931.
- Vasheghani Farahani, J., Zare, M., and Cichowicz, A., 2012, Attenuation of high-frequency P and S waves in south and southeast Tehran using blast data: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **40**, 99-108.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Chery, J., Bayer, R., Djamour, Y., Masson, F., Nankali, H., Ritz, J. F., Sedighi, M., and Tavakoli, F., 2004, Deciphering oblique shortening of central Alborz in Iran using geodetic data: *Earth and Planetary Science Letters*, **223**, 177-185.
- Yaminifard, F., Tatar, M., Hessami, K., Gholamzadeh, A., and Bergman, E. A., 2012, Aftershock analysis of the 2005 November 27 (Mw 5.8) Qeshm Island earthquake (Zagros-Iran): Triggering of strike-slip faults at the basement. *Journal of Geodynamics*, **61**, 138-147.
- 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: *Geophysical Journal International*, **114**, 165-174.
- Nissen, E., Ghorashi, M., Jackson, J., Parson, B., and Talebian, M. 2007, The 2005 Qeshm Island earthquake (Iran) – a link between buried reverse faulting and surface folding in the Zagros Simply Folded Belt: *Geophysical Journal International*, **171**, 326–338.
- Nowroozi, G., 2006, Seismological constraints on the crustal structure of NE Iran: Ph. D. thesis. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran.
- Parvini, M., 2007, Description of the plan Regulations structures against earthquake (2800 standard): Simaye-Danesh Publication.
- Rezaee, P., and Zarezadeh, R., 2014, Carbonate Marine Terraces of Qeshm Island, a Symbol of Sea Level Changes of the Persian Gulf in the Quaternary: *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, **23**(92), 67-68.
- Sato, H., and Fehler, M. C. 1998, *Seismic Wave Propagation and Scattering in the Heterogeneous Earth*: Springer Verlag, New York.
- Sharma, B., Gupta, A. K., Devi, D. K., Kumar, D., Teotia, S. S., and Rastogi, B. K., 2008, Attenuation of high-frequency seismic waves in Kachchh region, Gujarat, India: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **98**, 2325–40.

## Estimation of P-waves frequency dependence of quality factor in Qeshm Island

Neda Rahimi<sup>1</sup>, and Abbas Gholamzadeh<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>M. Sc. Student of Seismology, Physics Department, Faculty of Science, Hormozgan University, Hormozgan, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor of Seismology, Physics Department, Faculty of Science, Hormozgan University, Hormozgan, Iran

(Received: 05 July 2016, Accepted: 20 February 2017)

### Summary

Seismology has an important role in identifying earth structure by studying seismic waves. The amplitude and frequency of these waves change when they pass into the earth due to various parameters including anisotropy and heterogeneity. Seismic waves decay as they radiate away from their sources, partly for geometric reasons because their energy is distributed on an expanding wave front, and partly because their energy is absorbed by the material they travel through. The energy absorption depends on the material properties.

The amplitude of seismic waves decreases with increasing distance from earthquake, explosion, and impact sources. How this amplitude decrease occurs and how rapidly it occurs and how it depends on the frequency of the seismic waves is fundamentally important to the efforts to describe Earth structure and seismic sources.

Attenuation of seismic waves is expressed with inverse quality factor ( $Q^{-1}$ ) and helps understand the physical laws governing the propagation of seismic waves in the lithosphere.

The observed seismic-wave amplitudes usually decay exponentially with increasing traveled distance after the correction for geometrical spreading, and decay rates is proportional to  $Q^{-1}$  which characterizes the spatial attenuation for P-wave.

An earthquake with magnitude Mw 5.8 occurred on Qeshm Island, on the western edge of the Strait of Hormuz in SE Zagros, on November 27, 2005. From 2005 December 2 to 2006 February 26, a dense seismological network of 17 stations was installed in the epicentral region of the 2005 November 27 Qeshm sequence.

In this study, 661 aftershocks were selected to estimate the frequency dependence relationship of the quality factor of P-wave with coda normalization method. The coda normalization method was used for the estimation of the quality factor of the longitudinal waves at 9 frequency band (the central frequency: 1.5, 2.5, 3.5, 5, 7, 10, 14, 19, 24). The frequency dependence relationship for the longitudinal waves are  $Q_p = 0.059f^{-0.94}$  in the study area. As reported from other parts of world and Iran, the high value of attenuation in Qeshm may be because of the presence of some soft sediments such as a salt dome. Another reason for this high attenuation, probably due to using aftershocks data. After main shocks occurred, the medium must smash and cracked, and as a result, more heterogeneity and consequently, attenuation increase. The quality factor at a reference frequency of 1.0 Hz is less than 200. Therefore, it can be concluded the area is very active in terms of tectonic plates and seismicity which represents the accumulation of salt domes in this part of Zagros.

**Keywords:** P-waves, attenuation, coda normalization method, Qeshm

\*Corresponding author:

abbas.gholam@hormozgan.ac.ir