

## تعیین ضریب کیفیت زیر شبکه های لرزه نگاری شمال شرق ایران

شیوا شانکی<sup>۱</sup>، دکتر محمد رضا قیطانچی<sup>۲</sup>، حسین ابره دری<sup>۳</sup> و کاظم میراج<sup>۴</sup>

### چکیده

تضعیف امواج لرزه ای در زمین یکی از خواص مهم ساختار زمین بشمار می آید. یکی از مفیدترین پارامترهای توصیف این تضعیف ضریب کیفیت لرزه ای است که از پارامترهای حائز اهمیت در علم زلزله شناسی می باشد. با محاسبه ضریب کیفیت در هر ناحیه به میزان فعالیت لرزه خیزی در آن ناحیه می توان پی برد. از این کمیت در تعیین سایر پارامترهای یک زلزله، مانند ممان و بزرگی می توان استفاده کرد. همچنین ضریب کیفیت در کارهای مدل سازی و مهندسی زلزله هم کاربردهای زیادی دارد. این کاربردها و وجود خطر بالای وقوع زمین لرزه در گستره شمال شرق ایران، اهمیت تعیین ضریب کیفیت برای این منطقه را نشان می دهد. در این تحقیق ضریب کیفیت زیر شبکه های لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در شمال شرق فلات ایران به روش ساتو و با استفاده از نرم افزار سایزن برای سه منطقه قوچان، مشهد و بیرجند تعیین شده است. برای این منظور از رکوردهای زمین لرزه های ثبت شده در این مناطق به وسیله شبکه های لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، طی سالهای ۲۰۰۶ تا انتهای سال ۲۰۰۸ در محدوده فرکانسی ۲ تا ۱۶ هرتز استفاده شده است. در نهایت رابطه  $Q = 98f^{0.83}$  برای خراسان شمالی، رابطه  $Q = 91f^{0.88}$  برای خراسان رضوی و رابطه  $Q = 69f^{0.92}$  برای خراسان جنوبی به عنوان روابط مربوط به تعیین ضریب کیفیت برای گستره شمال شرق ایران پیشنهاد شده اند. نتایج به دست آمده با مطالعات مشابه در سایر مناطق ایران مقایسه شده اند. به این ترتیب گستره شمال شرق ایران نسبت به گستره شمال غرب و همینطور منطقه بم از فعالیت لرزه خیزی بیشتر و نسبت به منطقه تهران از فعالیت لرزه خیزی کمتری برخوردار می باشد.

کلید واژه ها : ساختار پوسته، ضریب کیفیت، امواج دنباله ای، جذب، لرزه خیزی

## Evaluation of Quality Factor beneath the local seismic networks in NE Iran

Shiva Shanaki, Dr.Mohammad-Reza Gheitanchi, Hossein Abrehdari and Kazem Miraj

### Abstract

Attenuation of seismic waves in earth is an important property to study the crustal structure. One of the most useful parameters to describe this attenuation is quality factor, that it is one of the most important parameters of seismology science. By calculating the quality factor in each area we can understand about the rate of seismic activity in that region. This quantity can be used to determine of other earthquake parameters, such as moment and magnitude. The quality factor has many applications in modeling and

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد رشته ژئوفیزیک (زلزله شناسی) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات shiva.shanaki@gmail.com

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران mrghchee@ut.ac.ir

<sup>۳</sup> کارشناس موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و مدرس واحد علوم و تحقیقات abrehdari@ut.ac.ir

<sup>۴</sup> کارشناس ارشد رشته ژئوفیزیک (زلزله شناسی) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال و مدرس واحد سمنان miraj@semnaniau.ac.ir

earthquake engineering too. These applications and the existence of high seismic risk in northeast Iran, emphasis the importance of evaluation the quality factor in this region. In this study the quality factor is evaluated beneath the local seismic networks in North East of Iran with Sato method and seisan software for 3 regions, Quchan, Mashhad and Birjand. For this purpose earthquakes recorded in these areas by the seismic network Geophysical Institute of Tehran University during the years 2006 to end of 2008 in frequency range 2 to 16 Hz are used.

Finally the relations  $Q = 98f^{0.83}$  for North Khorasan,  $Q = 91f^{0.88}$  for Razavi Khorasan and  $Q = 69f^{0.92}$  for South Khorasan as for determining the quality factors have been proposed. The results have been compared with similar studies in other regions of Iran. Thus the NE region has more seismic activity than NW of Iran and Bam region but it has less seismic activity than Tehran area.

**Keywords:** Crustal structure, Quality factor, Coda waves, Attenuation, Seismicity

## ۱- مقدمه

شده است که از آن جمله می‌توان به روش دو ایستگاهی، روش تک پراکنش به عقب آکی و چوئ<sup>۱</sup> (۱۹۷۵) و روش ساتو<sup>۲</sup> (۱۹۷۷) اشاره کرد. در روش اول تضعیف از نسبت طیفی (نسبت دامنه‌ها) مستقیماً محاسبه می‌شود ولی در دو روش بعدی از امواج دنباله‌ای (Coda) استفاده می‌شود. در این مقاله برای محاسبه ضریب کیفیت گستره شمال شرق فلات ایران (خراسان شمالی، رضوی و جنوبی) از رکوردهای زمین لرزه‌های ثبت شده در این مناطق به وسیله شبکه‌های لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، طی سالهای ۲۰۰۶ تا انتهای سال ۲۰۰۸ در محدوده فرکانسی ۲ تا ۱۶ هرتز استفاده شده است.

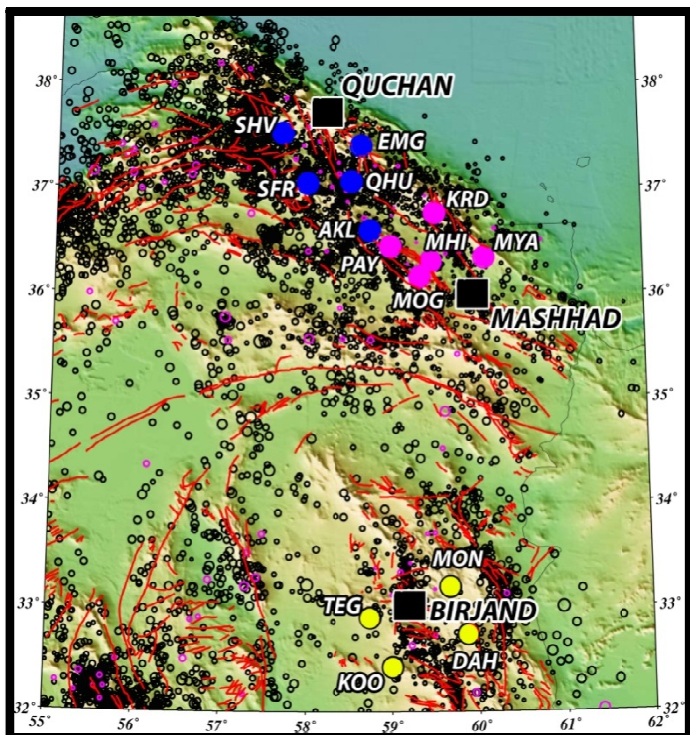
با داشتن مقدار ضریب کیفیت در هر ناحیه و مشاهدات تغییرات آن در اثر وقوع زمین لرزه می‌توان به کیفیت جنس زمین و چگونگی فعالیت لرزه خیزی در آن ناحیه پی برد. همچنین با استفاده از این ضریب می‌توان برای محاسبه دیگر پارامترهای زلزله از جمله سرعت، ممان و بزرگی کمک گرفت. اخیراً از ضریب  $Q$  به عنوان یکی از پیش نشانگرهای وقوع زلزله نام برده می‌شود که تغییرات آن می‌تواند نشانه‌ای از وقوع زلزله در یک مکان باشد. عامل کیفیت ( $Q$ ) که در هر فرکانس با ضریب جذب نسبت عکس دارد، تا حدود زیادی معرف خصوصیات محیط عبوری و نحوه انتشار امواج زلزله است. برای اندازه‌گیری این عامل تاکنون روشهای مختلفی با استفاده از داده‌های مصنوعی و داده‌های طبیعی ابداع

<sup>1</sup> Aki and chouet

<sup>2</sup> Sato

## ۲- لرزه زمینساخت منطقه

استان خراسان در شمال شرق ایران را می توان به سه بخش خراسان شمالی، خراسان رضوی و خراسان جنوبی تقسیم کرد. پهنه استان خراسان از نقطه نظر ساختاری دارای وضعیت کاملاً پیچیده بوده و در محل برخورد ورقه ایران مرکزی با ورقه توران در شمال و همچنین زیر پهنه بلوک لوت با زیر پهنه طبرستان در جنوب باختری و بلوک افغان در جنوب خاوری قرار دارد و دارای پتانسیل بالایی از لحاظ لرزه خیزی است. شکل زیر رو مرکز خرد زمین لرزه های ثبت شده به وسیله شبکه های جهانی و همچنین موقعیت ایستگاههای شبکه لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران را در گستره خراسان نشان می دهد. با توجه به سابقه لرزه خیزی در منطقه، منطقه پتانسیل وقوع زمین لرزه های مخرب را دارا می باشد. شکل (۱) لرزه خیزی منطقه طی دو سال گذشته و موقعیت شبکه های لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در این گستره را نشان می دهد.



شکل ۱- رو مرکز خرد زمین لرزه های ثبت شده بر روی نقشه گسلها از سال ۲۰۰۶ تا انتهای سال ۲۰۰۸ و موقعیت ایستگاههای شبکه لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در گستره خراسان.

## ۳- روش کار

ناهمگنی های موجود در زمین سبب پراکنش<sup>۱</sup> می شوند که پراکنش باعث می شود میدان موج<sup>۲</sup> با فرکانس بالا به رشته ای از رسیدهها تفکیک گردد که اصطلاحاً امواج دنباله ای نامیده می شوند. اکی<sup>۳</sup> (۱۹۶۹) امواج دنباله ای لرزه ای را به زلزله های محلی نسبت داد و نظریه ای ارائه کرد که این امواج، امواج پراکنده به عقبی هستند که از ناهمگنی های

<sup>۱</sup> Scattering

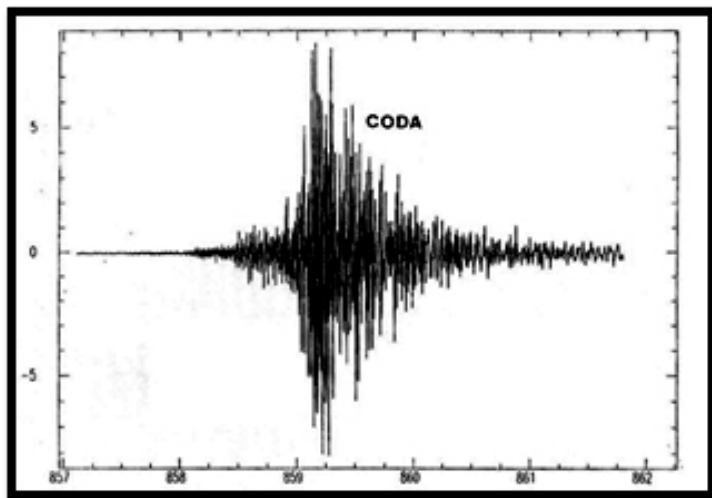
<sup>۲</sup> Wave Field

<sup>۳</sup> Aki

$$Q = Q_0 f^\alpha \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $\alpha$  محدوده ۰/۵ تا ۱/۱ را داراست. هم  $\alpha$  و هم  $Q_0$  تغییرات منطقه ای که اغلب به خصوصیات تکتونیک بستگی دارد را از خود نشان می دهند. ساتو روشی به نام الگوی تک پراکنش به عقب را ارائه داده است (Sato,1977) که گسترش یافته روش اکی و چوئیت (1975) می باشد و فرمول اصلی آن همان رابطه شماره (۱) می باشد. این روش برای چشمه های نزدیک و برای وقتی که ایستگاه در فاصله کمی از چشمه قرار دارد مورد استفاده است. این روش این اجازه را به ما می دهد که از قسمت آغازین موج کدا به جای قسمت پایانی که نسبت سیگنال به نویز خوب است استفاده کنیم. برای زلزله ها با بزرگی کم معمولا این روش مورد استفاده قرار می گیرد. تا کنون تلاشهای زیادی انجام شده تا فرایند تضعیف (پراکنش) ناشی از ساختار ناهمگن درک شود. ساتو به صورت نمادین رفتار موجهای بازتابی را مجددا مورد بررسی قرار داد. اگر محیط انتشار موج همگن باشد تنها موجهای مستقیم P و S در لرزه نگاشتها دیده می شوند، اما برای یک محیط واقعی تنوع ناهمگنی سرعت، باعث تغییراتی در

فراوانی که به طور اتفاقی در زمین توزیع شده اند حاصل شده و به وسیله یک روش آماری قابل تحلیل می باشند. در حالت کلی امواجی که در قسمت آخر لرزه نگاشت و بعد از امواج سطحی مشاهده می شوند را امواج دنباله ای می نامند. دامنه این امواج به صورت نمایی با زمان کاهش می یابد. نمونه ای از امواج دنباله ای را در شکل (۲) می توان دید.



شکل ۲- لرزه نگاشت یک زلزله نزدیک که در آن امواج coda نشان داده شده است. (ایستگاه SFUCBB، زلزله ۲۱ می ۱۹۹۷،  $\Delta=324$  km) (ادیاس ۱۹۹۹).

روش مورد استفاده برای تعیین ضریب کیفیت در این مقاله روش ساتو می باشد. در دهه های اخیر Q با استفاده از امواج کدا توسط زلزله شناسان بسیاری بدست آمده است و همانطور که از امواج برشی مستقیم با استفاده از روشهای طیفی مشاهده شده، به اثبات رسیده است که در هر دو مورد مطابق رابطه (۱)، Q تابعی از فرکانس f می باشد:

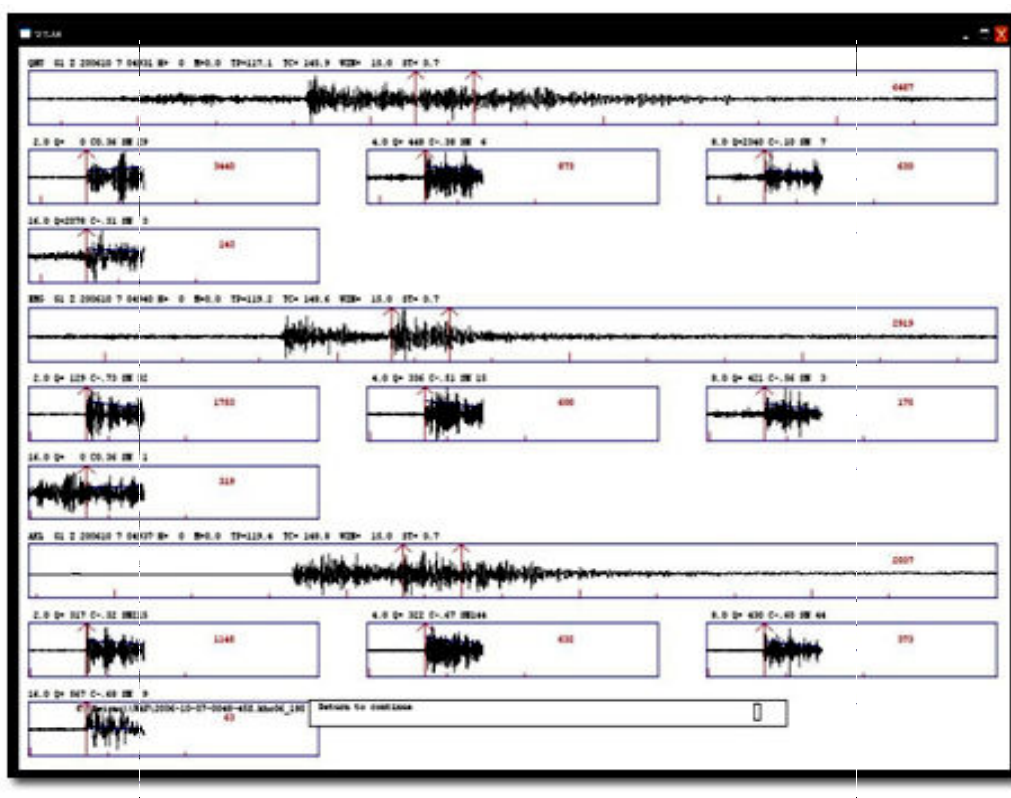
## Archive of SID

است. با استفاده از رکوردهای ثبت زلزله طی این سالها و با به کارگیری نرم افزار ساین (SEISAN)، مقادیر Q را برای هر زلزله و چهار فرکانس ۲، ۴، ۸ و ۱۶ هرتز به دست آوردیم. خروجی برنامه مانند شکل (۳) می باشد که برای زلزله ۲۰۰۶/۱۰/۷ با بزرگی ۳/۶ در منطقه خراسان شمالی (قوچان) به عنوان نمونه آورده شده است.

زمان رسیدهها می گردد. تغییرات سریع ضرایب الاستیک ناهمگنی ها، موجب تضعیف دامنه موجهای مستقیم P و S به وسیله پراکنش می گردد.

## ۴- پردازش داده ها

در این مقاله در مجموع از داده های ۱۵ ایستگاه شبکه لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در سه منطقه قوچان، مشهد و بیرجند طی سالهای ۲۰۰۶ تا انتهای سال ۲۰۰۸ استفاده شده



شکل ۳- نمایش گرافیکی تعیین ضریب کیفیت برای زلزله ۲۰۰۶/۱۰/۷ در منطقه خراسان شمالی (قوچان).

نمودار LOG (Q) را بر حسب LOG (f) رسم می کنیم. بنابراین خواهیم داشت :

$$\log Q = \log Q_0 + \alpha \log f$$

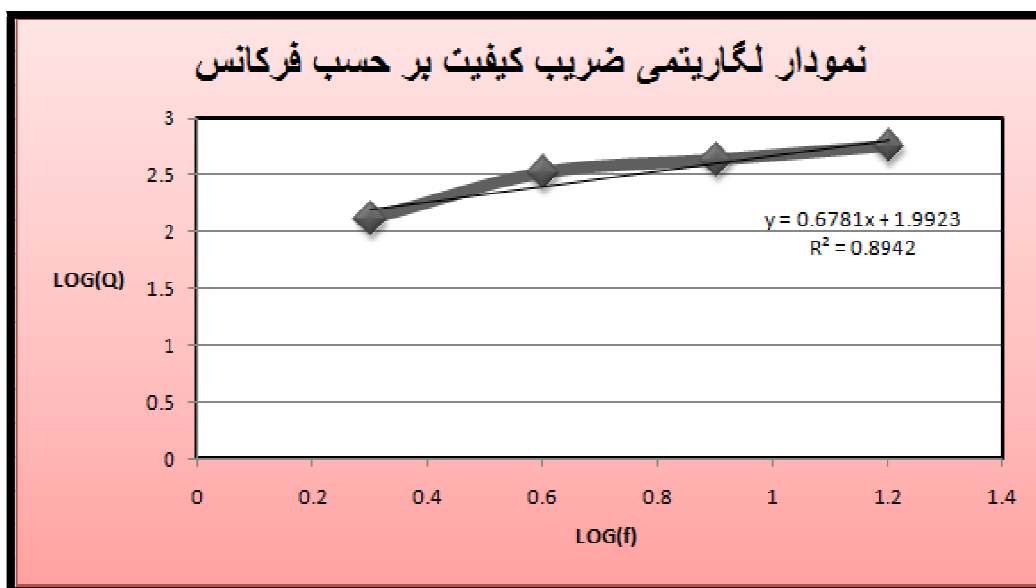
به این ترتیب برای چهار فرکانس مختلف چهار Q متفاوت به دست می آید. حال از طرفین رابطه  $Q = Q_0 f^\alpha$  لگاریتم گرفته، سپس

LOG(f)	LOG(Q)
۰/۳	۲/۱۱
۰/۶	۲/۵۲
۰/۹	۲/۶۳
۱/۲	۲/۷۵

جدول ۱- مقادیر لگاریتمی Q به دست آمده از نرم افزار برای فرکانسهای ۲، ۴، ۸ و ۱۶ هرتز مربوط به زمین لرزه ۲۰۰۶/۱۰/۰۷ در خراسان شمالی.

منطقه ( $\alpha$ ) و ضریب رگرسیون ( $R$ ) مطابق جدول (۲) به دست خواهد آمد ( $\alpha$  شیب خط و عرض از مبدا،  $\log Q_0$  می باشد).

با قرار دادن مقادیر این جدول در برنامه EXCEL نموداری مانند نمودار (۱) به دست می آید که از روی آن ، مقادیر ( $Q_0$ )، ضریب تکتونیکی

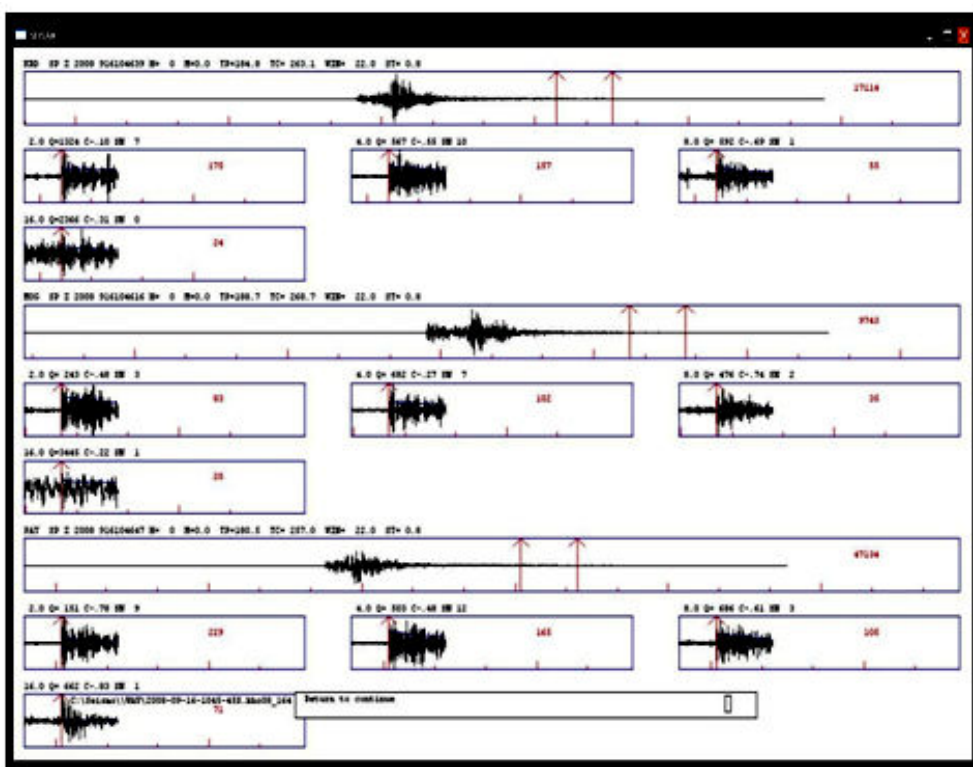


نمودار ۱- LOG (Q) بر حسب LOG(f) برای زلزله ۲۰۰۶/۱۰/۰۷.

$Q_0$	۱.۰۱
$\alpha$	۰.۶۷
$R$	۰.۹۴

جدول ۲- نتایج به دست آمده برای زلزله ۲۰۰۶/۱۰/۰۷ در منطقه خراسان شمالی (قوچان).

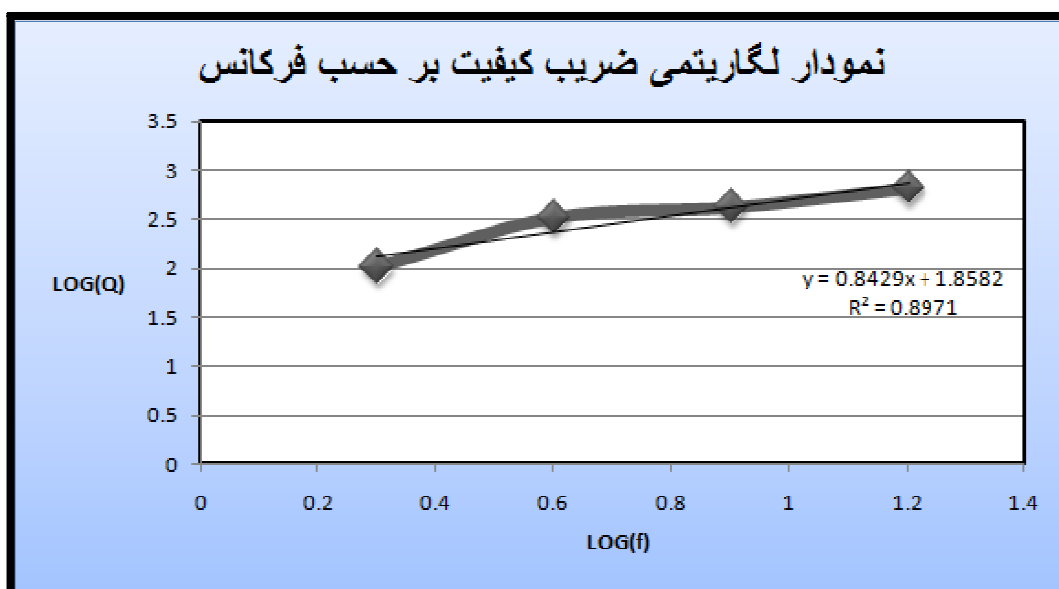
برای منطقه خراسان رضوی نتایج به دست آمده برای زمین لرزه ۲۰۰۸/۹/۱۶ با بزرگی ۳/۷ به عنوان نمونه آورده شده است.



شکل ۴- نمایش گرافیکی تعیین ضریب کیفیت برای زلزله ۲۰۰۸/۹/۱۶ در منطقه خراسان رضوی (مشهد).

LOG(f)	LOG(Q)
۰/۳	۲
۰/۶	۲/۵۱
۰/۹	۲/۶۲
۱/۲	۲/۸۲

جدول ۳- مقادیر لگاریتمی Q به دست آمده از نرم افزار برای فرکانسهای ۲، ۴، ۸ و ۱۶ هرتز مربوط به زمین لرزه ۲۰۰۸/۹/۱۶ در خراسان رضوی.



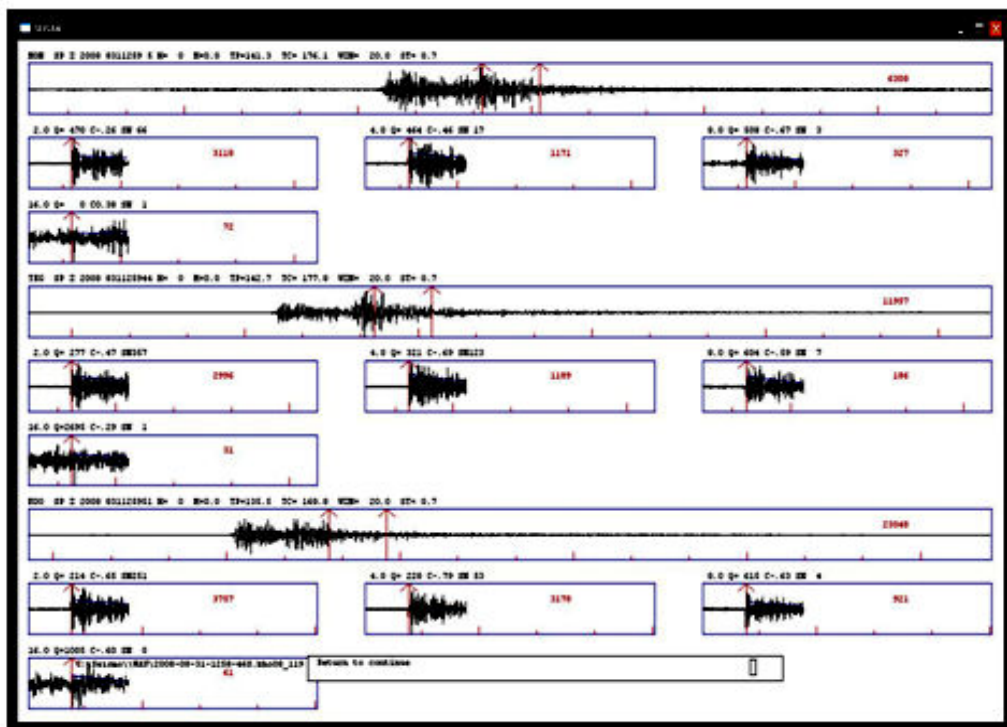
نمودار ۲- LOG (Q) بر حسب LOG(f) برای زلزله ۲۰۰۸/۹/۱۶.

$Q_0$	۷۵
$\alpha$	۰/۸۴
R	۰/۹۴

جدول ۴- نتایج به دست آمده برای زلزله ۲۰۰۸/۹/۱۶ در منطقه خراسان رضوی (مشهد).



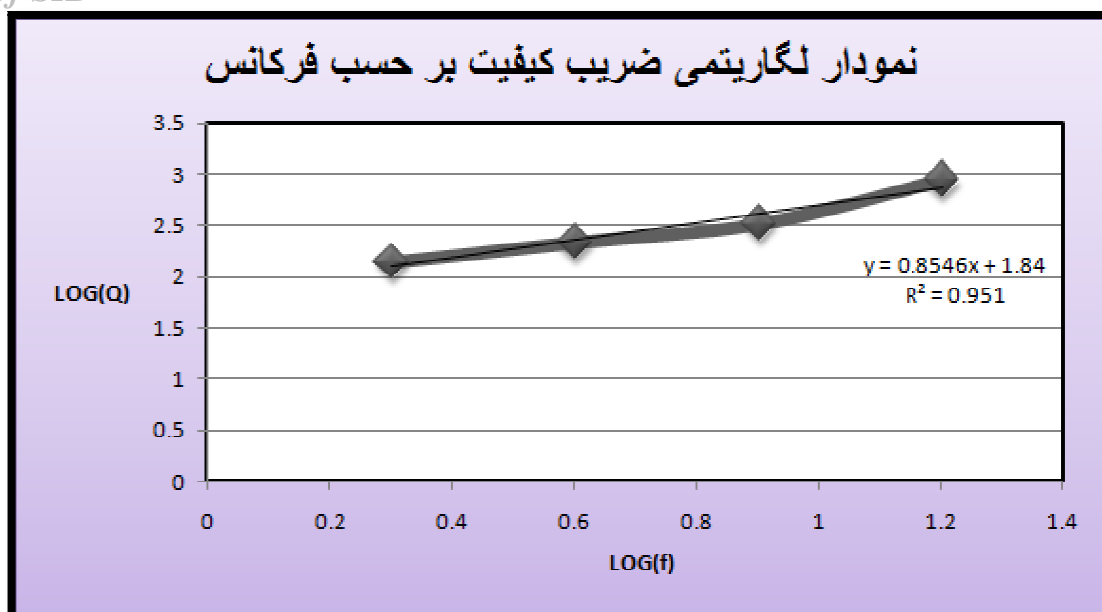
در نهایت برای منطقه خراسان جنوبی نتایج به دست آمده برای زمین لرزه ۲۰۰۸/۸/۳۱ با بزرگی ۴ به عنوان نمونه آورده شده است.



شکل ۵- نمایش گرافیکی تعیین ضریب کیفیت برای زلزله ۲۰۰۸/۸/۳۱ در منطقه خراسان جنوبی (بیرجند).

LOG(f)	LOG(Q)
۰/۳	۲/۱۴
۰/۶	۲/۳۳
۰/۹	۲/۵۱
۱/۲	۲/۹۴

جدول ۵- مقادیر لگاریتمی Q به دست آمده از نرم افزار برای فرکانسهای ۲، ۴، ۸ و ۱۶ هرتز مربوط به زمین لرزه ۲۰۰۶/۸/۳۱ در خراسان جنوبی.



نمودار ۳- LOG (Q) بر حسب LOG(f) برای زلزله ۲۰۰۸/۸/۳۱.

$Q_0$	۷۱
$\alpha$	۰/۸۵
$R$	۰/۹۷

جدول ۶- نتایج به دست آمده برای زلزله ۲۰۰۸/۸/۳۱ در منطقه خراسان جنوبی (بیرجند).

## ۵- بحث و نتیجه گیری

ایستگاه که زلزله را به طور واضح در منطقه مورد نظر ثبت کرده اند و پوش دامنه موج کدا و فاز موج  $p$  هم برای آن سه ایستگاه کاملاً مشخص و به طور واضح قابل خواندن باشد احتیاج داریم، لذا داده هایی که فاقد این خصوصیت هستند به طور خودبخود حذف می شوند. با این توصیف، مشابه

همه داده ها برای ما قابل استفاده نمی باشند. عمده ترین علت برای داده های غیر قابل استفاده، تریسهای نامطلوب است که ممکن است به دلیل فاصله زیاد از رومرکز زلزله به خوبی ثبت نشده باشند. از آنجا که ما برای اجرای برنامه حداقل به سه

رابطه مشاهده می شود که در رابطه پیشنهادی برای خراسان جنوبی  $Q_0$  پایین ترین مقدار و ضریب جذب ( $\alpha$ ) در آن بالاترین مقدار را دارد و این به آن معناست که این منطقه نسبت به دو منطقه دیگر از لحاظ تکتونیکی فعالتر است. با وجود گسلهای توانمندی چون دشت بیاض، آبیض و فردوس در خراسان جنوبی که همواره زمین لرزه های بزرگی را ایجاد کرده اند، این نتیجه چندان هم دور از انتظار نمی باشد. در این محدوده فرکانسی (۱۶-۲ هرتز)، برای هر سه منطقه ضریب کیفیت همواره به فرکانس وابسته است و با افزایش  $f$  این ضریب هم افزایش می یابد.

تاکنون ضریب کیفیت برای مناطق مختلفی در ایران محاسبه گردیده است. در جدول (۷) نمونه هایی از تعیین ضریب کیفیت در نقاط مختلف فلات ایران که در تمامی آنها از امواج Coda استفاده شده است و همچنین مقدار میانگین ضریب کیفیت به دست آمده برای گستره شمال شرق ایران، که نتیجه این تحقیق می باشد آورده شده است.

همین کار برای تمامی داده های قابل استفاده طی این دو سال در منطقه قوچان و دو منطقه مشهد و بیرجند صورت گرفته است و در نهایت ضریب کیفیت را برای سه منطقه خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به دست آورده ایم. مقادیر  $Q_0$  و  $\alpha$  نشان دهنده وضعیت تکتونیکی منطقه می باشند. هر چه مقدار  $Q_0$  پایین تر باشد منطقه از لحاظ تکتونیکی فعالتر است و مقدار ضریب جذب ( $\alpha$ ) برای آن منطقه بالاتر می باشد و در حالت عکس آن منطقه پایدار تکتونیکی را خواهیم داشت که مقدار  $\alpha$  برای آن گستره پایین می باشد. از محاسبات انجام شده به وسیله نرم افزار سائزن و رابطه کلی  $Q = Q_0 f^\alpha$ ، با میانگین گیری از مقادیر  $Q_0$  و  $\alpha$  به دست آمده برای هر سه منطقه که از روی نمودار خطی  $\log(Q)$  بر حسب  $\log(f)$  بدست آوردیم نتایج زیر به دست آمده است:

برای منطقه قوچان تعداد ده زلزله قابل استفاده بودند و رابطه پیشنهادی برای این منطقه به صورت  $Q = 98f^{0.83}$  می باشد، برای مشهد بیست و یک زلزله قابل استفاده بودند و رابطه پیشنهادی برای این منطقه به صورت  $Q = 91f^{0.88}$  می باشد و در نهایت برای بیرجند دوازده زلزله قابل استفاده بودند و رابطه پیشنهادی برای این منطقه به صورت  $Q = 69f^{0.92}$  می باشد. با مقایسه این سه

$\alpha$	$Q_0$	مکان
۰/۵۰	۲۳۹	گستره شمال غرب ایران (نظام اسلامی، ۱۳۸۲)
۰/۹۵	۱۲۸	گستره بم (میراج، ۱۳۸۷)
۰/۸۹	۶۵	گستره تهران (دانش دوست، ۱۳۸۷)
۰/۸۷	۸۵	گستره شمال شرق ایران (شانکی، ۱۳۸۸)

جدول ۷- نمونه هایی از تعیین ضریب کیفیت برای نقاط مختلف فلات ایران با استفاده از امواج دنباله ای.

دلیل در اختیار قرار دادن داده های بایگانی شده در آن شبکه که هنوز منتشر نشده است تشکر و قدردانی می شود.

#### فهرست منابع فارسی

دانش دوست، م. ، ۱۳۸۷ ، تعیین ضریب کیفیت منطقه تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

میراج، ک. ، ۱۳۸۷، تعیین ضریب کیفیت منطقه بم، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

نظام اسلامی، ح. ، ۱۳۸۲، تعیین ضریب کیفیت مناطق اطراف تبریز، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

از مقایسه نتایج حاصل از محاسبه ضریب کیفیت در گستره شمال شرق با دیگر مناطق مختلف در فلات ایران می توان نتیجه گرفت که این گستره نسبت به گستره شمال غرب ایران از لحاظ لرزه خیزی فعالتر می باشد، نسبت به منطقه بم فعالیت لرزه خیزی بالاتری را نشان می دهد ولی این تفاوت در فعالیت لرزه خیزی در مقایسه با منطقه شمال غرب ایران کمتر می باشد و در مقایسه با منطقه تهران، مقدار به دست آمده نشان دهنده فعالیت لرزه خیزی پایینتر گستره شمال شرق می باشد.

#### ۶- تشکر و قدردانی

از همکاری صمیمانه کلیه مسئولین شبکه لرزه نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به

**REFERENCE:**

Aki, K., 1969. Analysis of seismic of local earthquakes as scattered waves, *J. Geophys. Res.* 74, 615-31.

Aki, K. and Chouet, B., 1975, Origin of coda waves: source, attenuation and scattering effects, *J. Geophys. Res.*, 80, 3322 – 3342.

Aki, K., 1982, Scattering and attenuation, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 72, 319 – 330.

Havskov, J. and Ottemoller, L., 2005, THE EARTHQUAKE ANALYSIS SOFTWARE, Department of earth Science University of Bergen Allegation 41, 5007 Bergen, Norway, 1 – 259.

Jin, A. and Aki, K. 1991, Observational and Physical bases for the coda  $Q^{-1}$  Precursor: American Geophysical Union, Washington, DC. 181 – 212.

Sato, H., 1977. Energy Propagation including scattering effects, single isotropic scattering approximation, *J. Phys. Earth*, 25, 27 – 41.

Sato, H., 1990. Unified approach to amplitude attenuation and coda excitation in the randomly inhomogeneous lithosphere, *pageoph* 132, 93 – 121.

Sato, H., Fehler, M., and Wu, R., 2002. Scattering and attenuation of seismic waves in the lithosphere. *International handbook of earthquake and engineering seismology*, Academic Press, 81 A, 195-208.

Lay, T. and Wallace, T.C., 1995, *Modern Global Seismology*, Academic Press, INC PRESS INC, 104 – 114.

Udias A., 1999. *Principles of Seismology*. Cambridge University Press.