

## تخمین فاکتور کیفیت با استفاده از داده های نیم رخ لرزه ای قائم (VSP)

سامیه جنیدی<sup>۱</sup> و دکتر محمد کمال قاسم‌العسکری<sup>۲</sup>

چکیده

امواج لرزه‌ای در اثر عبور از لایه‌های زمین تضعیف می‌شوند. تعیین مکانیزم تضعیف در زمین مسئله‌ای بسیار مهم و از نظر تحلیل داده‌های لرزه‌ای بسیار با اهمیت است. یکی از پارامترهای مهم در تضعیف امواج لرزه‌ای، ضریب تضعیف است. تضعیف توسط فاکتوری به نام  $1/Q$  تعریف می‌شود که پراکندگی در محیط را توصیف می‌کند. فاکتور  $Q$  با افزایش تضعیف کاهش می‌یابد. یک روش نسبتاً جدیدی برای تعیین میزان تضعیف، استفاده از داده‌های نیم‌رخ لرزه‌ای قائم با در نظر گرفتن افت فرکانس و دامنه در عمق‌های مختلف برای امواج پائین‌رونده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های نیم‌رخ لرزه‌ای قائم با دور افت کم بین دو چاه اکتشافی در جنوب ایران، فاکتور کیفیت با استفاده از دو روش کاهش دامنه و سیگنال تحلیلی تخمین زده شده است و نشان داده‌ایم مناطقی که  $Q$  کاهش پیدا کرده است، می‌تواند دلیل وجود هیدروکربورهای گازی باشد. کلید واژه‌ها: موج لرزه‌ای، تضعیف، فاکتور کیفیت، نیم‌رخ لرزه‌ای قائم، روش کاهش دامنه، روش سیگنال تحلیلی.

## Estimation of Seismic Quality Factor Using VSP Data

Samieh Joneidi and Dr. M. K. Ghasem-al Askari

### Abstract

Seismic waves would be attenuated while transmitting in the earth layers. Determination of attenuation mechanism in the earth and analysis of seismic data are very important. One of the most significant parameters in attenuation of seismic waves is attenuation coefficient ( $1/Q$ ). Attenuation is limited by quality factor which describe the scattering in media. By increasing of attenuation, quality factor would be decreased. One of the newest ways for estimation of  $Q$  is using VSP data (Vertical Seismic Profiling) by considering the decrease of frequency and amplitude in different depths for down going waves. In this research quality factor would be estimated by using zero-offset VSP data of two exploration wells in the south of Iran.  $Q$  would be estimated by amplitude decay method and analytical signal method. We show that decreasing of  $Q$  maybe due to gas hydrocarbon existence.

**Keywords:** Seismic wave, attenuation, quality factor, VSP, amplitude decay method, analytical signal method.

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشکده علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال Samieh\_joneidi@yahoo.com

<sup>۲</sup> عضو هیئت علمی دانشگاه صنعت نفت اهواز askari5027@yahoo.com

## مقدمه:

لرزه‌سنجی عمودی (VSP) یک نوع روش لرزه‌ای است که آرایه گیرنده و یا آرایه چشمه (گاهی هر دو گروه) در درون چاه قرار داده می‌شوند. در روش متداول گیرنده‌ها در درون چاه و فرستنده‌های لرزه‌ای (چشمه‌ها) در روی سطح زمین یا روی سطح آب دریا مستقر می‌شوند. گیرنده‌ها در درون چاه به دیواره چاه متصل می‌شوند. لرزه‌سنجی عمودی کاربردهای زیادی در اکتشافات و ازدیاد برداشت دارد. یکی از کاربردها تعیین دقیق سطوح لایه‌بندی زمین در نزدیکی چاه است. مهمترین کاربردهای VSP مقایسه بازتاب‌ها با لرزه‌سنجی سطحی (ssp) است. از کاربردهای دیگر این روش، تعیین و شناسایی لایه‌های پنهان و لایه‌های نازک با سرعت و چگالی کم است. یکی دیگر از کاربردهای لرزه‌سنجی عمودی تعیین محل دقیق سیالات در لایه‌های زمین در نزدیکی چاه است. در روش VSP با کم شدن مسیر پرتوها تا حدودی از کاهیدگی انرژی لرزه‌ای جلوگیری می‌شود و ناحیه فرنل نیز کاهش می‌یابد. کاهش ناحیه فرنل سبب افزایش دقت افقی و عمودی می‌گردد. ضمناً با کم شدن مسیر پرتوها نقاط ابهام در تفسیر داده‌های لرزه‌ای کاهش می‌یابد. از کاربردهای دیگر VSP حذف اثر امواج عبوری از چندگانه‌ها (multiples) در و آمیختگی (deconvolution) است. به علاوه VSP می‌تواند اطلاعاتی در مورد پارامترهای لیتولوژیکی که معمولاً مورد نیاز هستند فراهم کند، این اطلاعات شامل امپدانس صوتی، تضعیف و نسبت  $\frac{V_p}{V_s}$  و تعیین ضریب پواسون (poisson coefficient) است. یکی از مهمترین موارد استفاده از داده‌های VSP تخمین ضریب کیفیت Q است (قاسم‌العسکری، ۱۳۸۳). کاهش دامنه امواج لرزه‌ای هنگامی که از سنگ بستر عبور می‌کنند به دلایل مختلفی صورت می‌گیرد که عبارتند از: پخش کروی، تبدیل و انتقال موج، پراش و چندگانه‌ها. تضعیف به وسیله فاکتور  $1/Q$  تعریف می‌شود که پراکندگی در

محیط را توصیف می‌کند. فاکتور Q هنگامی که تضعیف قویتر می‌شود، کاهش می‌یابد. لیتولوژی در زیر زمین توسط سرعت، چگالی و فاکتور کیفیت مشخص می‌شود فاکتور کیفیت روی اولین رسیده‌ها یا بازتاب‌ها تأثیر نمی‌گذارد بلکه بر دامنه و محتوای فرکانسی تأثیر می‌گذارد (زانگ، ۲۰۰۲).

بسیاری از اندازه‌گیری‌هایی که در آزمایشگاه و داده‌های میدانی انجام شده است، نشان دهنده تضعیف موج P است که مقدار تضعیف در ماسه سنگ‌هایی که به مقدار کم اشباع شده‌اند و واحدهای ماسه‌ای متخلخل به بیشترین مقدار خود می‌رسد. تضعیف با درجه‌ی فشردگی رسوبات نیز رابطه دارد که حضور گاز و مقدار آن و نوع اشباع مایعات در محل را نشان می‌دهد. تعاریف متعددی برای فاکتور کیفیت وجود دارند که تمامی آن‌ها از تعاریف نوپوف و مک دونالد در سال ۱۹۵۸ نشأت گرفته‌اند و تئوری پایه برای به دست آوردن ضریب جذب  $\alpha$  یا فاکتور کیفیت لرزه‌ای از معادله موج توسط یگر (۱۹۶۹)، آکی و ریچاردز (۱۹۸۰) و گانلی (۱۹۸۱) بیان شده است. برای تعیین Q چندین روش متفاوت موجود است که روش‌ها به ۲ دسته تقسیم می‌شوند.

الف) روش‌های حیطه زمان

ب) روش‌های حیطه فرکانس

برخی از روش‌ها در حیطه زمان شامل موارد زیر می‌باشند: کاهش دامنه، سیگنال تحلیلی، مدل‌سازی موجک، مدل‌سازی فاز، مدل‌سازی فرکانس، زمان صعود و دامنه پالس

روش‌ها در حیطه فرکانس شامل موارد زیر می‌باشند: تکنیک هماهنگ‌سازی، مدل‌سازی طیفی و نسبت طیفی در این پژوهش دو روش کاهش دامنه و سیگنال تحلیلی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

## روش‌های مورد مطالعه

روش کاهش دامنه: یکی از ساده‌ترین روش‌های محاسبه Q است که بر مبنای کاهش دامنه‌ها محاسبه می‌-

شود با استفاده از رابطه (۱) نسبت دامنه در دو عمق متفاوت  $X_1$  و  $X_2$  (یا زمان‌های  $t_1 = X_1/c$  و  $t_2 = X_2/c$ ) برابر است با:

$$Q = \frac{\omega \Delta x}{2c} \left\{ \ln \left[ \frac{a(x_1)}{a(x_2)} \right] \right\}^{-1} \quad (1)$$

$f = \frac{\omega}{2\pi}$  فرکانس غالب است. این روش احتیاج به ثبت دامنه‌ها دارد.

سیگنال تحلیلی: این روش به استناد تحلیل پالس‌های لرزه‌ای مختلط است. جزئیات این روش توسط انگل‌هارد و همکارانش (۱۹۸۶) بحث شده است. پالس لرزه‌ای می‌تواند با استفاده از دامنه لحظه‌ای  $a(t)$  و فاز لحظه‌ای  $\Phi(t)$  توصیف شود.

$$u(t) = a(t) \cos[\Phi(t)] \quad (2)$$

معادله (۳) حاصل تحلیل سطح تخت مختلط است:

$$z(t) = a(t) \exp[i\Phi(t)] = u(t) + iv(t) \quad (3)$$

$z(t)$  سیگنال تحلیلی  $u(t)$  است و  $v(t)$  سیگنال قائم  $u(t)$  است و  $v(t)$  و  $u(t)$  جفت‌های تبدیل هیلبرت می‌باشند. با استفاده از تبدیل فوریه، این امکان برقراری یک رابطه منحصر به فرد بین  $z(t)$  و پالس لرزه‌ای اندازه‌گیری شده  $u(t)$  را فراهم می‌کند. با دانستن  $u(t)$  و  $v(t)$  دامنه لحظه‌ای  $a(t)$ ، فاز لحظه‌ای  $\Phi(t)$  و فرکانس لحظه‌ای  $f(t)$  قابل محاسبه هستند.

استفاده از مقادیر (انگل‌هارد و همکارانش، ۱۹۸۶) می‌تواند رابطه زیر را برای فاکتور کیفیت ارائه دهد:

$$\frac{1}{Q} = -2 \frac{d}{d(\Delta x/c)} \left[ \ln \frac{a(T)}{G} \right] \frac{1}{2\pi f(t)} \quad (4)$$

$\Delta x$  فاصله سیر در محیط،  $C$  سرعت و  $G$  گسترش هندسی و  $T$  زمان تناوب است. شکل ۱ مقادیر متفاوتی از جمله زمان تناوب  $T$  و تفاوت‌های زمان انتشار برای  $\Delta t = \Delta x/c$  و زمان ثبت  $t$  را نشان می‌دهد. برای لایه‌های معین، عملگر دیفرانسیلی می‌تواند با معادله (۵) جایگزین شود:

$$\frac{1}{Q} = \frac{-2}{2\pi f(T)\Delta t} \Delta \left[ \ln \frac{a(T)}{G} \right] \quad (5)$$

یا

$$\ln \left[ \frac{a_2(T)}{a_1(T)} \right] = \ln \left[ \frac{G_2}{G_1} \right] - \frac{\pi \Delta t f_1(T) + f_2(T)}{2} \quad (6)$$

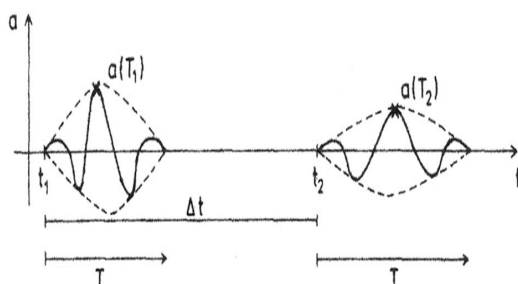
سه روش متفاوت برای تحلیل رابطه (۶) بحث می‌شود.

(۱) روش ماکزیمم: فقط ماکزیمم دامنه‌ای لحظه‌ای تحلیل می‌شوند.  $\Delta t$  تفاوت زمان بین این ماکزیمم‌ها است.

(۲) روش میانگین: هر نمونه از موجک‌ها جداگانه در نظر گرفته می‌شوند و حاصلش تخمین  $Q$  است. میانگین این تخمین‌ها، حاصلش فاکتور کیفیت است. هرچند که تطبیق زمانی مشکلی جدی است، ولی زمان تناوب با کمک ماکزیمم‌ها هم زمان شده و در نتیجه پاشندگی تغییر می‌کند.

(۳) تقریب خطی: رابطه (۶) می‌تواند به عنوان معادله خطی با قطع  $\ln(G_2/G_1)$  و شیب  $\pi \Delta t / Q$  در نظر گرفته شود. تخمین  $Q$  با تقریب کمترین مربعات دارای این مزیت است که نیاز به دانستن دامنه‌های واقعی و فاکتور پراکندگی نمی‌باشیم.

RAINER TONN



شکل ۱. نمایش زمان تناوب  $T$ ، تفاوت زمان انتشار  $\Delta t$  و زمان ثبت شده  $t$

### بحث و بررسی

برای محاسبه  $Q_p$  از دو رابطه (۱) و (۶) استفاده شده و برای تعیین  $Q_s$  از رابطه (۷) استفاده می‌کنیم:

$$Q_s/Q_p = 4/3 (V_s/V_p)^2 \quad (7)$$

با توجه به محاسبات انجام شده و نتایج بدست آمده، تشابه روند  $Q_p$  در هر دو روش کاهش دامنه و سیگنال تحلیلی کاملاً واضح است و همچنین این تشابه در روند  $Q_s$  هم مشاهده می شود. مقادیر  $Q$  به دست با روش سیگنال تحلیلی در اکثر مناطق کمی بزرگتر از مقادیر  $Q$  بدست آمده از روش کاهش دامنه است. در هر چاه مقدار  $Q$  میانگین را برای هر سازند مقایسه و نتایج بدست آمده را ارائه می دهیم (جدول ۱).

در چاه شماره ۹ در سازند سروک کمترین مقدار  $Q$  و در سازند فهلیان بیشترین مقدار  $Q$  میانگین را داریم. در چاه شماره ۱۰ کمترین مقدار  $Q$  میانگین در  $k3$  و هیت و سپس کمترین مقدار در سازند فهلیان است. بیشترین مقدار  $Q$  میانگینی شده در سازند گدوان وجود دارد.

در این پژوهش زون ها را از نظر تضعیف بررسی کرده و نتیجه می گیریم هر جا تضعیف زیاد باشد  $Q$  کم است و ممکن است بیانگر حضور هیدروکربور گازی باشد.

### سپاسگزاری

از همکاری صمیمانه سرکار خانم دکتر ویلیانی تشکر و قدردانی می شود.

### چاه شماره ۹

سازند	سروک	کژدمی	داریان	گدوان	فهلیان	هیت	سورمه	نیریز	دشتک
(کاهش $Q_p$ دامنه)	۵	۶	۷	۱۲	۱۴	۱۱	۸	۱۰	۱۱
$Q_p$ (سیگنال تحلیلی)	۵	۶	۹	۱۵	۲۳	۱۵	۹	۱۳	۱۷

### چاه شماره ۱۰

سازند	داریان	گدوان	فهلیان	هیت	سورمه	دشتک	آغار شیل	کنگان	K1	K2	K3	K4
$Q_p$ (کاهش دامنه)	۷	۸	۲	۱	۴	۳	۲	۲	۸	۴	۱	۴
$Q_p$ (سیگنال تحلیلی)	۱۱	۱۱	۲	۱	۴	۳	۳	۳	۱۰	۵	۱	۹

جدول ۱. مقدار  $Q$  میانگینی شده در چاه شماره ۹ و ۱۰

برای محاسبه فاکتور کیفیت با موج برشی به سرعت موج برشی نیاز داریم که از دو فرمول تجربی که کاستاگنا و همکاران (۱۹۸۵) بدست آورده اند، استفاده می شود. رابطه (۸) برای گل سنگ اشباع شده و رابطه (۹) برای دولومیت صادق است.

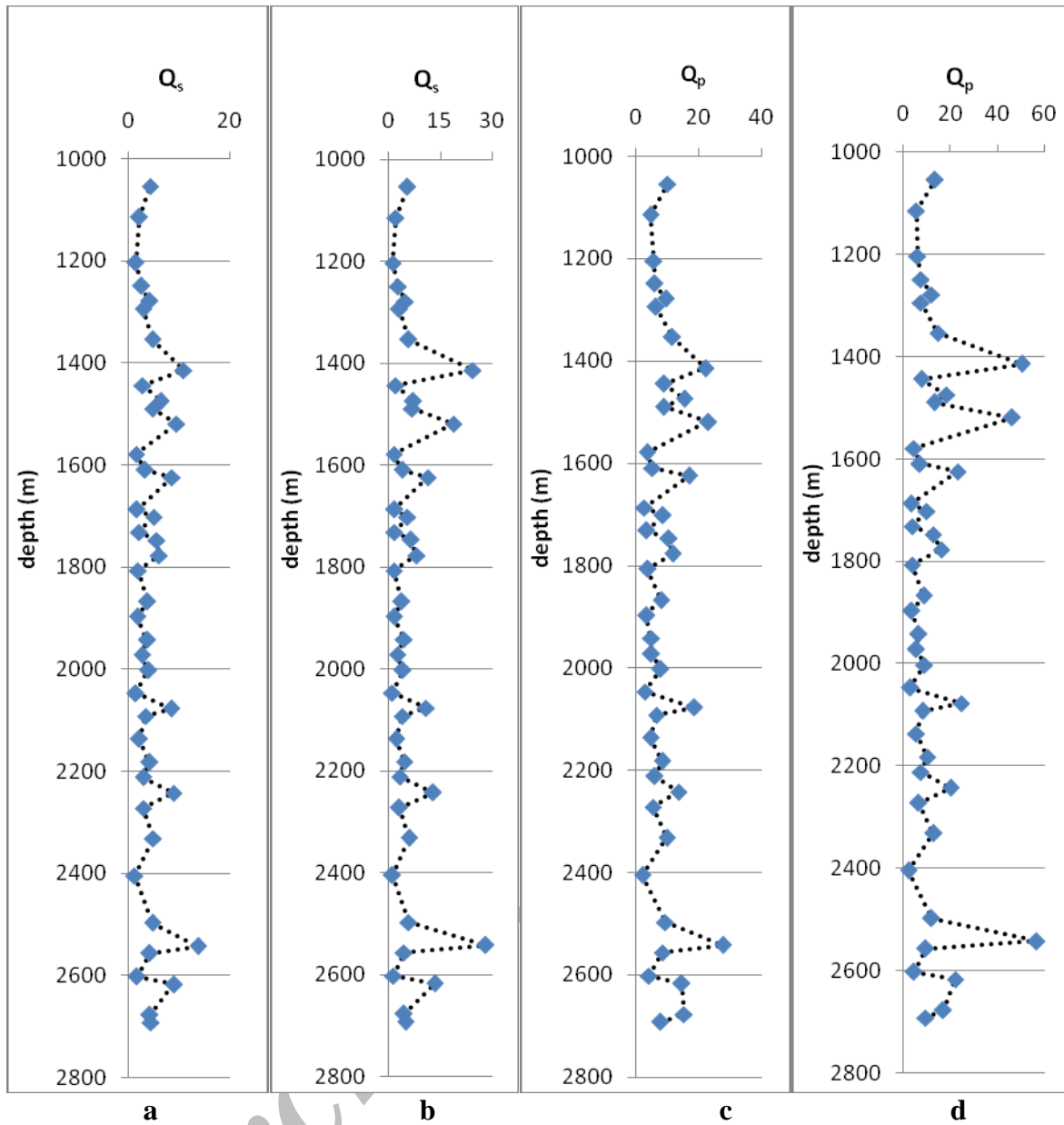
$$V_s = 0.862 \times V_p - 1.172 \quad (8)$$

$$V_s = 0.583 \times V_p - 0.7776 \quad (9)$$

مقدار  $V_p$  را از دو چاه اکتشافی بدست می آوریم و باید توجه داشت که واحد آن  $km/s$  است تا بتوانیم  $V_s$  را محاسبه کنیم.

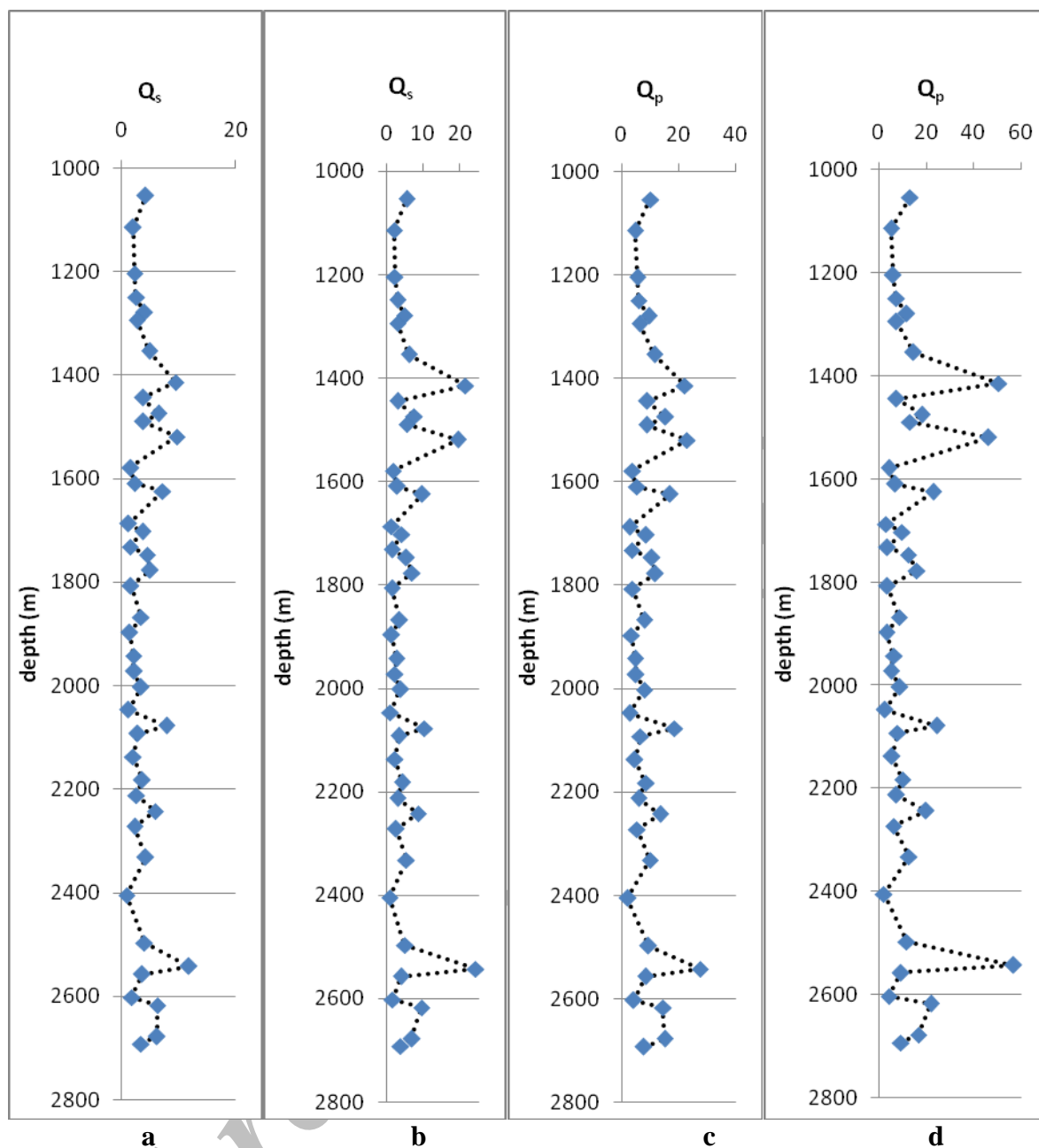
برای تعیین  $Q_s$  مقادیر  $Q_p$  را با توجه به مقادیری که از دو فرمول کاهش دامنه و سیگنال تحلیلی تخمین زده ایم، در نظر می گیریم و سپس مقدار  $V_s$  را با توجه به روابط (۸) و (۹) بدست آورده و در رابطه (۷) قرار می دهیم.  $Q_s$  و  $Q_p$  تخمین زده شده در دو چاه اکتشافی در شکل های ۲ تا ۵ نشان داده شده اند. در چاه شماره ۹ از سازند سروک تا سازند دشتک و در چاه شماره ۱۰ از سازند داریان تا  $k4$  را مورد بررسی قرار می دهیم.

### نتیجه گیری



شکل ۲.  $Q_s$  و  $Q_p$  تخمین زده شده در چاه شماره ۹ با توجه به سرعت موج برشی در گل سنگ اشباع شده.

- a.  $Q_s$  (کاهش دامنه)  
 b.  $Q_s$  (سیگنال تحلیلی)  
 c.  $Q_p$  (کاهش دامنه)  
 d.  $Q_p$  (سیگنال تحلیلی)



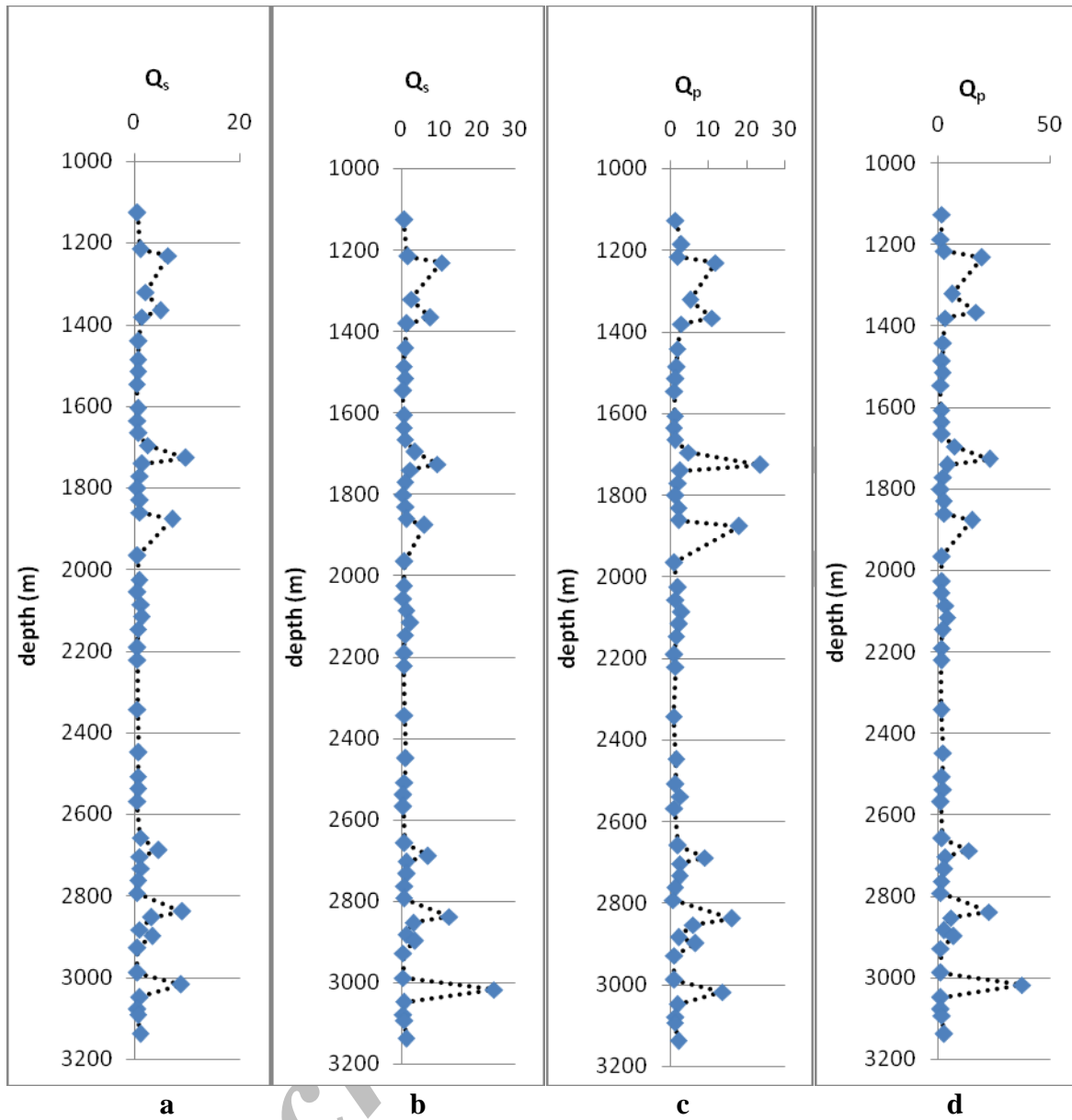
شکل ۳.  $Q_s$  و  $Q_p$  تخمین زده شده در چاه شماره ۹ با توجه به سرعت موج برشی در دولومیت.

a.  $Q_s$  (کاهش دامنه)

b.  $Q_s$  (سیگنال تحلیلی)

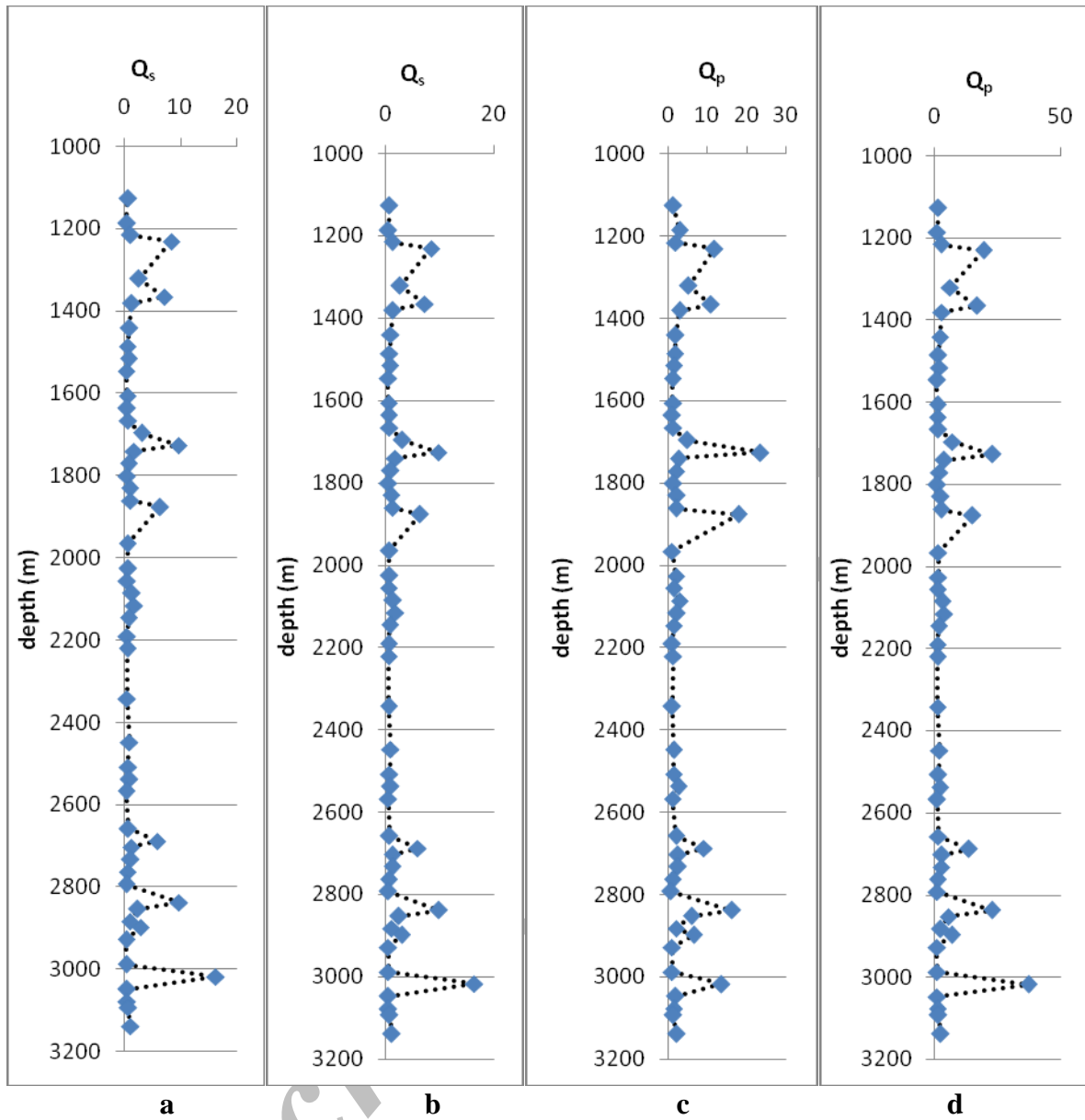
c.  $Q_p$  (کاهش دامنه)

d.  $Q_p$  (سیگنال تحلیلی)



شکل ۴.  $Q_s$  و  $Q_p$  تخمین زده شده در چاه شماره ۱۰ با توجه به سرعت موج برشی در گل سنگ اشباع شده.

- a.  $Q_s$  (کاهش دامنه)
- b.  $Q_s$  (سیگنال تحلیلی)
- c.  $Q_p$  (کاهش دامنه)
- d.  $Q_p$  (سیگنال تحلیلی)



شکل ۵.  $Q_s$  و  $Q_p$  تخمین زده شده در چاه شماره ۱۰ با توجه به سرعت موج برشی در دولومیت.

a.  $Q_s$  (کاهش دامنه)

b.  $Q_s$  (سیگنال تحلیلی)

c.  $Q_p$  (کاهش دامنه)

d.  $Q_p$  (سیگنال تحلیلی)



## منابع

- Ganley, D. C. 1981, A method for calculating synthetic seismograms which include the effects of absorption and dispersion, *Geophysics* 46, 1100 – 1107.
- Jaeger, J. C. 1969, *Elasticity. Fracture and Flow, with Engineering and Geological Applications*, Chapman and Haal.
- Knopoff, L. and McDonald, G.J.F. 1958, Attenuation of small amplitude stress waves in solids, *Reviews of Modern Physics* 30, 1178 – 1192.
- Tonn, R. 1991, The determination of the Seismic quality factor Q from VSP data: a Comparison of different Computational methods. *Geophysical Prospection* 39, 1 27.
- Zhang, C. 2002, Estimation of Quality Factor An Analytical Approach, CSEG Geophysics.
- قاسم‌العسکری، م.، ۱۳۸۳، اصول ژئوفیزیک اکتشافی (جلد اول)، مؤسسه نشر دانشگاهی (آییز)
- Aki, K. and Richards, P.G. 1980, *Quantitative Seismology, Theory and Methods*, Vol. 1. W. H. Freeman and Co.
- Castagna, J. P., Batzle, M.L., and Eastwood, R. L., 1985, Relationships between Compressional wave and shear wave velocities in Clastic silicate rocks, *Geophysics*, v. 50, p. 571 581.
- Engelhard, L., Doan, D., Dohr, G., Drews, P., Gross, T., Neupert, F., Sattlbgger, J. and Schönfeld, U. 1986, Determination of the attenuation of seismic waves from actual field data, as well as considerations to fundamental questions from model and laboratory measurements. DGMK Report 254, 83 119.

Archive of SID