

مقایسه نسبت V_p/V_s از رابطه کاستاگنا و نگاره DSI

ملیحه سادات کاظمی

دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۸)

چکیده

نسبت سرعت‌های امواج تراکمی به بُرشی در تعیین خواص پتروفیزیکی سنگ‌ها اهمیت زیادی دارد. نسبت V_p/V_s در حکم شاخصی برای تشخیص هیدروکربورها در نظر گرفته می‌شود. محاسبه سرعت موج بُرشی از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی (DSI) در مقایسه با روابط تجربی دارای عدم قطعیت کمتری است. در این مقاله با استفاده از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی روابط همبستگی بین V_s و V_p در سازندهای کنگان و دالان در مجاورت یک چاه در میدان پارس جنوبی مورد بررسی قرار می‌گیرد و با رابطه تجربی بین V_s و V_p کاستاگنا مقایسه می‌شود. با استفاده از روابط همبستگی محاسبه شده از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی، V_s برای دو چاه دیگر در میدان مورد بررسی که فاقد نگاره‌های صوتی بُرشی دوقطبی بودند، به دست می‌آید. در این دو چاه با استفاده از داده‌های VSP فاکتور کیفیت (Q) تعیین می‌شود. از آنجاکه فاکتور کیفیت فاکتوری با ارزش در تحقیقات مخازن محسوب می‌شود، در این تحقیق نسبت V_p/V_s به دست آمده از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی و همچنین رابطه تجربی کاستاگنا با نسبت Q_p/Q_s مقایسه و روشن می‌شود که نسبت V_p/V_s از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی در مقایسه با نسبت V_p/V_s از رابطه کاستاگنا تطابق بهتری را در ناحیه مخزنی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: نسبت V_p/V_s ، نگاره DSI، روابط همبستگی، رابطه کاستاگنا، فاکتور کیفیت و نسبت Q_p/Q_s

Comparison of Castagna's relation with DSI data for estimation of V_p/V_s

Malihe Sadat Kazemi

Technical and Professional University, Tehran, Iran

(Received: 25 September 2011, accepted: 18 September 2012)

Summary

Seismic velocities in rocks are used as indicators of their petrophysical properties. V_p/V_s has been used for many purposes, such as a lithology indicator, degree of consolidation, identifying pore fluid, and predicting velocities. The velocity ratio (V_p/V_s) usually depends on porosity, degree of consolidation, pore geometry and other factors. V_p/V_s is used as a lithology indicator for hydrocarbon detection. This ratio decreases with gas saturation. The V_p/V_s crossplot is used to identify fluid type based on the fact that shear wave velocity is more sensitive than the P-wave velocity due to the fluid effect. Two multicomponent measurements are important for gas exploration. These include V_p/V_s ratio and anisotropy behavior (Rojas, 2005). The results from laboratory and dipole sonic log data analysis showed that lithology has a significant influence on V_p/V_s ratio.

Castagna, et. al. (1985) presented some empirical relation between P- and S-wave velocities. Wang (2000) developed an empirical equation that predicts S-wave velocity using the bulk density of the saturated rocks, the pore fluid modulus and the P-wave velocity. Brocher (2005) reviewed the existing V_s as a function of V_p , and proposed

several new empirical relations based on a wide-variety of common rock types.

When there is no shear wave log for a well, we must estimate V_s from V_p with correlation relations. Shear wave velocity associated with compressional wave velocity can provide accurate results for geophysical study of a reservoir. These studies have important role in reservoir characterization such as lithology determination, identifying pore fluid type, and geophysical interpretation. V_p/V_s is sensitive to gas in most elastic rocks and will often show a decrease due to its presence. Besides, shear wave velocities are much more sensitive to fractures than the P-wave velocity.

Dipole sonic tools such as DSI are designed to excite both compressional and flexural energy in the borehole and are thus able to directly measure both compressional and shear wave speeds in all type of formations. A dipole source excites the borehole flexural mode that provide a means to determine shear wave velocities.

Wave velocities and attenuation are two important properties that provide information about the saturation of the reservoir rocks. In general, by going deeper, the formation becomes harder and more rigid, with both V_p and V_s increasing and Q factor becoming higher. Generally, a high attenuation corresponds to a low velocity and a high V_p/V_s . The attenuation effects are directly related to the quality factors Q_p and Q_s as well as the Q_p/Q_s ratio. Q_p is noticeably affected by the presence of hydrocarbons. The ratio of the quality factors (Q_p/Q_s) is large in wet rocks and small in the gas zones.

In this study, the log data for two wells from the South Pars gas field and the analysis of DSI in one of the wells are used to develop relationships between V_p and V_s . However, in order to apply the relations obtained between elastic properties of the rocks and petrophysical properties, it turns out to be necessary to calculate the elastic properties from seismic data, such as V_p/V_s . When there is no shear wave log for a well, we have to estimate V_s from V_p with correlation relations. In a well (well I) relationships between V_p and V_s near the walls of a borehole for Kangan (K1 and K2) and Dalan (K3 and K4) Formations of South Pars field are determined. The P- versus S-wave velocity crossplot for all layers, show very good correlations. Correlation relations between V_p and V_s could be used for two other wells (II and III) in which V_s was obtained with Castagna's relation. The Q factors are obtained in the wells II and III as well.

S-wave velocity estimation based on V_p could be used for regions wherein we have no core sample and DSI data. Also, the relations between V_p and V_s for other parts of this field are obtained by estimation of S-wave velocity. Finally, the relation between P- and S- wave velocities are obtained from DSI in comparison with Castagna's relation. A good relation between V_p/V_s and Q_p/Q_s is then found based on the V_s used from DSI.

Keywords: V_p/V_s ratio, DSI, correlation relations, Castagna relation, Q factor and Q_p/Q_s ratio

روشن ساختند که حضور شکستگی‌ها باعث تغییر در V_p/V_s می‌شود. با افزایش درصد اشباع سنگ با هیدروکربورهای گازی، V_p کاهش و V_s افزایش می‌یابد. کاهش V_p ناشی از افزایش تراکم پذیری به واسطه وجود گاز در خلل و فرج سنگ است. تغییر در ساختار یا ترکیب سنگ‌ها تغییراتی در انتشار امواج لرزه‌ای دارد. اگرچه V_p و V_s به نوع شاره حساس‌اند، اما نسبت V_p/V_s در مقایسه

۱ مقدمه

نسبت V_p/V_s به‌منزله شاخصی برای سنگ‌شناسی، درجه سنگ‌شدگی و تشخیص شاره بین منافذ به کار می‌رود. نسبت V_p/V_s معمولاً به تخلخل، درجه سیمانی شدن سنگ، محتوی رُس، اختلاف فشار، اختلاف دما و هندسه منافذ بستگی دارد. این نسبت را در کرنات‌ها می‌توان در تشخیص هیدروکربورها به کار برد. زو و همکاران (۲۰۰۶)

توصیف خوبی از سازوکارهای تضعیف به دست داده‌اند و درباره امکان به دست آوردن اطلاعات در مورد تراوایی سنگ بحث کرده‌اند. پراید و بریمن (۲۰۰۳) نیز توصیف مفصل تری از سازوکارهای تضعیف عرضه کرده‌اند. مدل‌های فیزیکی سنگ برای تضعیف موج در دو مقاله (دورکین و همکاران، ۲۰۰۳) معرفی شدند. همچنین نظریه مربوط به محاسبه تضعیف موج بُرشی را مائوکو و همکاران (۲۰۰۵) مطرح ساختند. این دو مدل برای محاسبه تضعیف در یک چاه در خلیج مکزیک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی روشن ساخت که نسبت Q_p/Q_s در سنگ مرطوب بزرگ و در ناحیه گازی این نسبت کوچک است. زنگ و استوارت (۲۰۰۸) مقادیر Q را با استفاده از روش نسبت طیفی روی داده‌های VSP برای چاهی در کانادا تعیین کردند. آنها روشن ساختند که میزان تضعیف با محتوی رُس در ماسه سنگ کاهش می‌یابد.

با V_p یا V_s به طور منفرد به طبیعت شاره حساس تر است. هنگامی که V_p/V_s کوچک است شاخص مناسبی برای تشخیص گاز محسوب می‌شود. از طرفی امواج بُرشی در مقایسه با امواج تراکمی به حضور گاز بسیار حساس ترند. برای تعیین V_s از V_p روابطی وجود دارند که با شرایط سنگ مخزن تغییر می‌کنند. در جدول ۱ بعضی از کاربردهای امواج تراکمی و بُرشی عرضه شده‌اند.

امواج لرزه‌ای با عبور از زمین تضعیف می‌شوند. تعیین تضعیف موج در پردازش داده‌های لرزه‌ای بسیار مهم است. همچنین تعیین تضعیف می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد سنگ‌شناسی به دست دهد. برای مدل‌سازی تضعیف لرزه‌ای می‌توان از کمیت‌هایی مثل تخلخل، اشباع آب، محتوی رُس و برآیند تنش‌ها استفاده کرد (والز و همکاران، ۲۰۰۲). تضعیف به قابلیت تحرک شاره نیز بستگی دارد (کومار و همکاران، ۲۰۰۳). قابلیت حرکت شاره به گرانیوی، مدول حجمی شاره درون خلل و فرج و تراوایی سنگ بستگی دارد. پراید و همکاران (۲۰۰۳)

جدول ۱. تعدادی از کاربردهای امواج تراکمی و بُرشی.

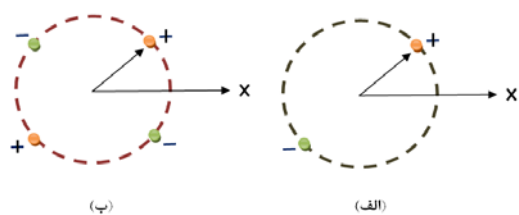
کاربردهای امواج تراکمی و بُرشی				
ژئوفیزیک	پتروفیزیک	ناهمسانگردی	بررسی امواج استونلی	ژئومکانیک
واسنجی کردن سرعت، تبدیل عمق/ زمان	برآورد تخلخل	تعیین پارامترهای ناهمسانگردی	تعیین شکستگی‌ها	فشار منفذی
مدل‌سازی لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی	برآورد تراوایی		تعیین تراوایی	پایداری دیواره چاه
تفسیر لرزه‌ای	کشف زون‌های گازی		ناهمسانگردی جریان شاره	طراحی شکستگی‌های هیدرولیکی
واسنجی کردن AVO				جدول‌های مقاومت سنگی

۲ ابزار DSI

DSI یکی از ابزارهای نمودارگیری درون چاهی با قدرت تفکیک زیاد است. با استفاده از DSI می توان تخلخل اولیه و ثانویه، سنگ شناسی، تراوایی، شکستگی ها و جهت ناهمسانگردی را تعیین کرد (آرویو فرانکو و همکاران، ۲۰۰۶). با این ابزار می توان گندی امواج تراکمی و بُرشی را نیز تعیین کرد.

چشمه های تک قطبی، انرژی صوتی را به طور شعاعی در همه جهت ها منتشر می کنند. چشمه تک قطبی یک موج بُرشی در سازند سریع ایجاد می کند که یک موج شبه ریلی است. موج بُرشی تبدیل یافته (موج شبه ریلی) تقریباً با سرعت مشابهی به گیرنده تک قطبی می رسد. همچنین چشمه های تک قطبی، امواج استونلی را در سازندهای سریع و کند ایجاد می کنند. امواج استونلی با بسامد کم را موج لوله ای می گویند. چشمه های تک قطبی می توانند دو موج درونی و سطحی را تولید کنند، ولی چشمه های دو قطبی فقط امواج سطحی را تولید می کنند. امواج تراکمی را همه گیرنده های صوتی تک قطبی ثبت می کنند. چشمه دو قطبی در سازندهای سریع و در چاه های با قطر بزرگ موج تراکمی با بسامدهای زیادتر تولید می کند. طیف بسامد موج بستگی به طیف بسامد چشمه دارد و معمولاً در محدوده بین ۵ تا ۳۰ کیلوهرتز است. این موج در حفره ها با سرعتی کمتر از موج تراکمی سریع در سازند حرکت می کند و دامنه اش به سرعت با مساحت کاهش می یابد. چشمه های دو قطبی انرژی را به صورت شعاعی منتشر نمی کنند. این گونه چشمه ها را چشمه های نامتقارن گویند و می توانند یک موج تراکمی در سازند تولید کنند که معمولاً ثبت نمی شود مگر اینکه قطر چاه خیلی بزرگ باشد یا سازند از نوع سازند بسیار کند باشد.

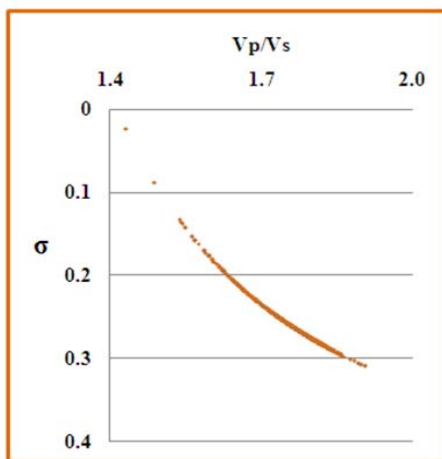
ابزارهای نمودارگیری صوتی در چاه باز دارای هر دو چشمه تک قطبی و دو قطبی اند. بعضی از ابزارهای نمودارگیری مدرن دارای دو چشمه دو قطبی عمود برهم و گیرنده های دو قطبی متناظر هستند. بنابراین داده های بُرشی در سازند در دو جهت ثبت می شوند. داده های ثبت شده پس از پردازش، به دو زمان سیر بیشینه و کمینه تبدیل می شوند. از نسبت این دو زمان، ناهمسانگردی در سنگ تعیین می شود. این خاصیت مهم در بررسی تنش ها، طراحی شکستگی های هیدرولیکی، توصیف مخازن شکاف دار و تحقیقات زمین ساختی حائز اهمیت است. چشمه های چهارگانه، امواج تراکمی نامتقارن تولید می کنند که امواج پیچشی نامیده می شوند و مشابه با چشمه های دو قطبی عمل می کنند (شکل ۱).



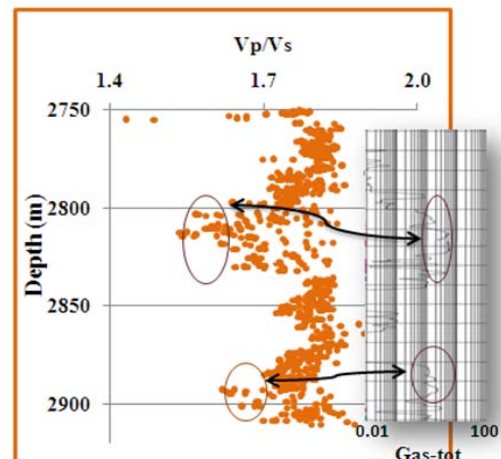
شکل ۱. چشمه های (الف) دو قطبی و (ب) چهارقطبی.

۳ فاکتور کیفیت

امواج لرزه ای در زمین تضعیف می شوند و در واقع امواج با بسامد زیادتر، سریع تر از امواج با بسامد کمتر جذب محیط می شوند. معمولاً برای محاسبه تضعیف محیطی، از کمیت هایی مانند ضریب جذب محیطی (α) و فاکتور کیفیت (Q) استفاده می شود. قابلیت سنگ در تضعیف امواج لرزه ای معمولاً با فاکتور کیفیت (Q) اندازه گیری



(ب)

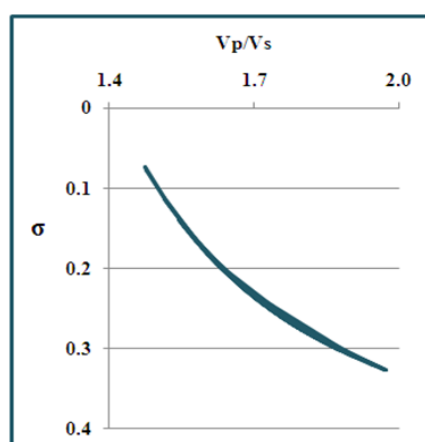


(الف)

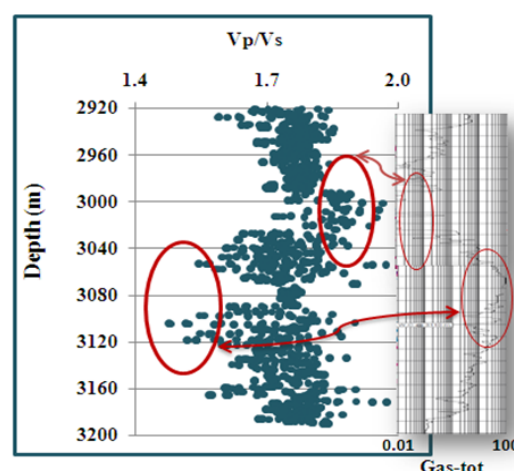
شکل ۲. نمودار چاه I: (الف) V_p/V_s برحسب میزان گاز (ب) V_p/V_s برحسب نسبت پواسون برای سازند کنگان.

تخلخل، نوع و گرانبوی محیط بستگی دارد. فاکتور کیفیت را می‌توان با داده‌های VSP برآورد کرد. فاکتور کیفیت را می‌توان با استفاده از نمودارهای صوتی نیز به‌دست آورد (پارا و هاگرت، ۲۰۰۶). تعیین میزان تضعیف موج در پردازش داده‌های لرزه‌ای بسیار مهم است. در واقع اهمیت میزان تضعیف در این‌است که بتواند به‌مثابه یک معرف مستقیم هیدروکربوری مطرح شود.

می‌شود. به‌لحاظ فیزیکی، Q درحکم نسبت انرژی به انرژی تلف شده در یک چرخه نوسان تعریف می‌شود. وجود گاز و شکستگی‌ها سبب افزایش تضعیف امواج لرزه‌ای و کاهش فاکتور کیفیت می‌شود. پارامترهای تضعیف می‌توانند اطلاعات مهمی در مورد نوع سنگ‌ها و میزان اشباع با شاره‌ها فراهم کنند. در واقع تضعیف به پارامترهای سنگ مخزن مانند شکستگی‌ها، تراوایی،

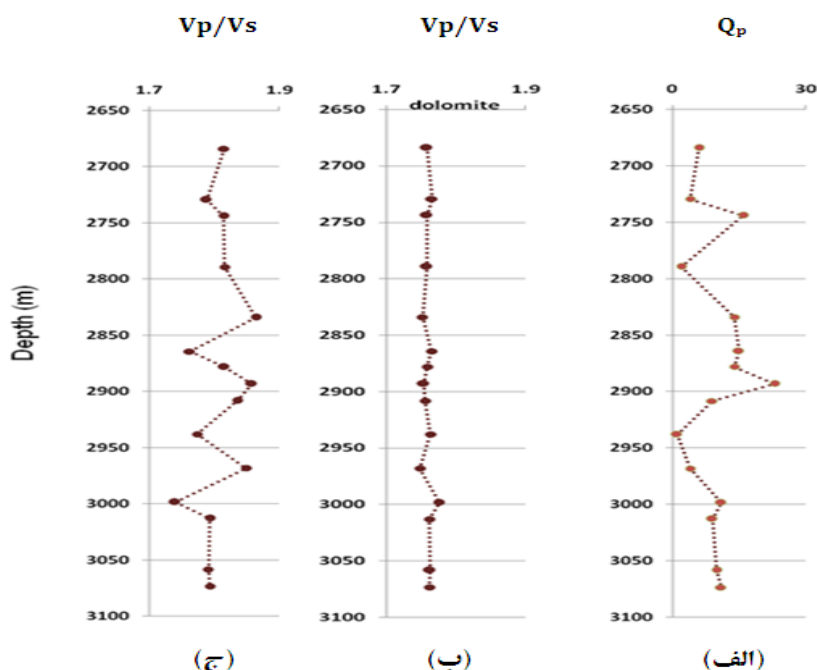


(ب)



(الف)

شکل ۳. نمودار چاه I: (الف) V_p/V_s برحسب میزان گاز (ب) V_p/V_s برحسب نسبت پواسون برای سازند دالان.



شکل ۴. مقایسه نمودارهای چاه II بر حسب عمق: (الف) Q_p ، (ب) V_p/V_s برای دولومیت (از رابطه کاستاگنا) و (ج) V_p/V_s از نگاره DSI

$$A_1 = A_2 e^{\alpha \lambda} \quad (۶)$$

که α به صورت زیر به دست می آید:

$$\alpha = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_1}{A_2} \quad (۷)$$

رابطه بین α و Q مطابق رابطه زیر برقرار است.

$$Q = \left(\frac{\pi}{\alpha \lambda} \right) \quad (۸)$$

تعیین Q از داده‌های لرزه‌ای سطحی محدودیت و عدم قطعیت زیادی را به همراه دارد. امواج ثبت شده با روش VSP مسیر کوتاه‌تری را در زمین طی می‌کنند و نسبت به داده‌های لرزه‌ای سطحی بسامدهای بیشتری دارند. به همین دلیل برای برآورد Q بهتر است از داده‌های VSP استفاده شود (کازمی، ۱۳۸۷). فاکتور کیفیت برای موج P (Q_p) به خواص شاره موجود در خلل و فرج سنگ بستگی دارد. مقدار آن برای سنگ‌های اشباع از شاره کمتر از سنگ‌های خشک است. تغییرات اشباع و نوع شاره‌های درون خلل و فرج سنگ‌ها با بررسی Q_p و Q_s به دست می‌آید.

به طور کلی تضعیف موج به معنای اتلاف دامنه موج تحت شرایط محیطی است.

$$L[\text{dB}] = 20 \log(A_0/A) \quad (۱)$$

وقتی از تضعیف بحث می‌شود، منظور اتلاف انرژی بر حسب مسافت انتشار نیز هست و اتلاف انرژی به طور کلی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$L = \alpha d \quad (۲)$$

d مسافت انتشار و α ضریب جذب محیطی است.

ضریب جذب محیطی (α) یکی از پارامترهای مهم در تعیین تضعیف است که رابطه آن با دامنه موج به صورت زیر بیان می‌شود.

$$A_1 = A_0 e^{-\alpha r} \quad (۳)$$

که A_1 دامنه در فاصله r از چشمه و A_0 دامنه اولیه است. در دو نقطه که به فاصله یک طول موج (λ) از یکدیگر قرار دارند، می‌توان نوشت:

$$A_2 = A_0 e^{-\alpha(r+\lambda)} \quad (۴)$$

$$A_1/A_2 = e^{-\alpha r} / e^{-\alpha(r+\lambda)} \quad (۵)$$

$$V_S = 0.8619 V_P - 1.172. \quad (10)$$

رابطه (۱۱) برای سنگ آهک (کاستاگنا، ۱۹۹۳) صادق است.

$$V_S = -0.05509 V_P^2 + 1.0168 V_P - 1.0305. \quad (11)$$

کاستاگنا (۱۹۹۳) رابطه‌ای را برای دولومیت (رابطه ۱۲) مطرح کرد.

$$V_S = 0.5832 V_P - 0.0777. \quad (12)$$

کاستاگنا رابطه‌ای خطی بین سرعت‌های امواج بُرشی و تراکمی برای شیل‌ها مطرح کرد (رابطه ۱۳).

$$V_S = 0.8042 V_P - 0.8559. \quad (13)$$

رابطه (۱۴) برای ماسه‌سنگ‌ها صادق است.

$$V_S = 0.7700 V_P - 0.8674. \quad (14)$$

بروچر (۲۰۰۵) رابطه تجربی (۱۵) را بین سرعت‌های امواج بُرشی و تراکمی مطرح کرد. اغلب اندازه‌گیری‌های او مربوط به نمونه‌های کالیفرنای شمالی بود. رابطه (۱۵) در محدوده $1.5 < V_P < 8 \text{ km/s}$ معتبر است.

۴ رابطه همبستگی بین V_P و V_S و تعیین آن در ناحیه مورد بررسی

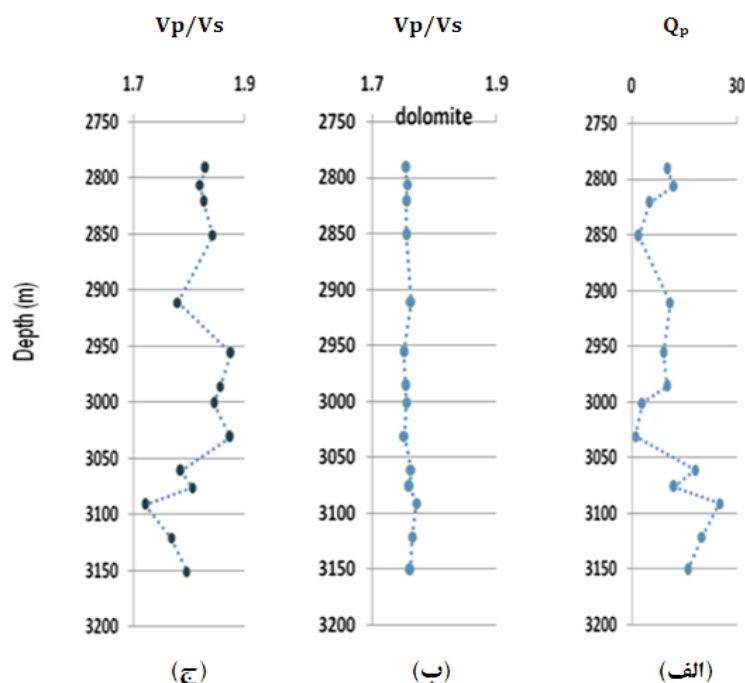
پیکت (۱۹۶۳) رابطه‌ای را بین V_P و V_S برای دولومیت (رابطه ۹)، مطرح کرد.

$$V_S = V_P/1.8. \quad (9)$$

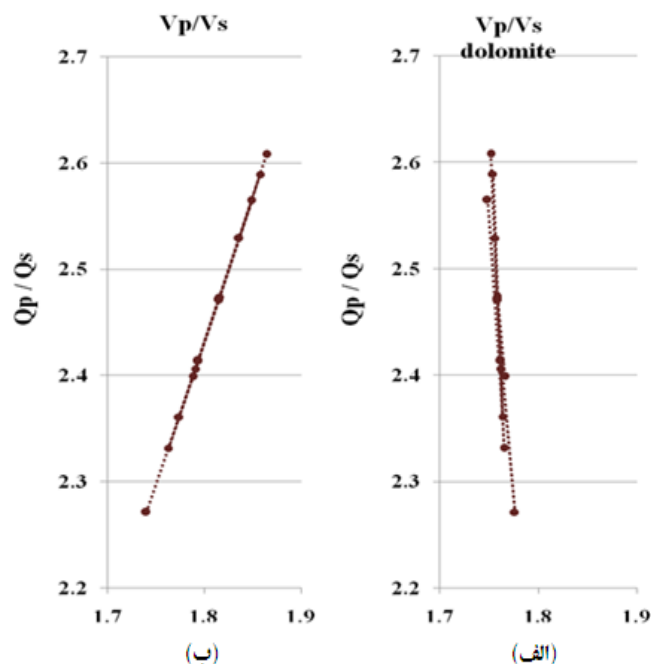
همچنین نمونه‌هایی از روابط بین V_P و V_S را کاستاگنا به‌دست آورده است. برای تعیین V_S از V_P روابطی وجود دارند که با توجه به شرایط مخزن ضرایب آنها تغییر می‌کنند. بعضی از این‌گونه روابط به شرح زیراند:

کاستاگنا و همکاران (۱۹۸۵) و هان و همکاران (۱۹۸۶) روابط تجربی بین نسبت سرعت، تخلخل و محتوی رُس را مطرح کردند. رابطه کاستاگنا و همکاران (۱۹۸۵) نشان‌دهنده افزایش نسبت سرعت با افزایش تخلخل است.

کاستاگنا و همکاران (۱۹۸۵) رابطه (۱۰) را برای گِل‌سنگ مطرح کردند.



شکل ۵. مقایسه نمودارهای چاه III برحسب عمق: (الف) Q_p ، (ب) V_P/V_S برای دولومیت (از رابطه کاستاگنا) و (ج) V_P/V_S از نگاره DSI.



شکل ۶. مقایسه نمودارهای چاه II: (الف) Vp/Vs (از رابطه کاستاگنا) برحسب Qp/Qs و (ب) Vp/Vs (از DSI) برحسب Qp/Qs.

مطرح کرد. این رابطه در محدوده $1.5 < V_p < 8.5$ km/s معتبر است

$$\sigma = 0.8835 - 0.315V_p + 0.0491V_p^2 - 0.0024V_p^3 \quad (17)$$

به طور کلی با توجه به شرایط منطقه، بهتر است روابط مربوط به کار گرفته شود.

با استفاده از نگاره DSI یک چاه، روابط همبستگی بین سرعت های V_p و V_s برای سازندهای کنگان و دالان در میدان پارس جنوبی به دست آمد. این دو سازند در زون مخزنی میدان پارس جنوبی قرار گرفته اند. سازند کنگان شامل لایه های K1 و K2 و سازند دالان شامل لایه های K3 و K4 است. روابط همبستگی بین سرعت های V_p و V_s برای سازند کنگان در افق های K1 (رابطه ۱۸) و K2 (رابطه ۱۹) و سازند دالان در افق های K3 (رابطه ۲۰) و K4 (رابطه ۲۱) محاسبه شد.

$$V_s = 0.502 V_p + 0.266 \quad (18)$$

$$V_s = 0.475 V_p + 0.391 \quad (19)$$

$$V_s \text{ (km/s)} = 0.7858 - 1.2344V_p + 0.7949V_p^2 - 0.1238V_p^3 + 0.0064V_p^4 \quad (15)$$

کمیت دیگری که در توصیف محیط های کشسان اهمیت دارد نسبت پواسون است. با توجه به اینکه نسبت پواسون را نیز می توان به عنوان شاخصی برای تشخیص هیدروکربور در نظر گرفت نسبت بین سرعت امواج تراکمی و برشی مستقیماً منجر به محاسبه ی نسبت پواسون شده است.

$$\sigma = \frac{1}{2} \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad (16)$$

نسبت V_p/V_s در محیط همسانگرد بین $\sqrt{2}$ و بی نهایت در تغییر است و در نتیجه نسبت پواسون در محدوده صفر تا نیم تغییر می کند. در محیط ناهمسانگرد نسبت V_p/V_s می تواند کمتر از $\sqrt{2}$ باشد و برای سنگ های اشباع شده با گاز تا $1/3$ کاهش می یابد. بروچر (۲۰۰۵) یک رابطه تجربی بین نسبت پواسون و سرعت امواج تراکمی (۱۷)

دورآفت کم است. Q_p به خواص شاره موجود در خلل و فرج سنگ بستگی دارد. مقدار آن برای سنگ‌های اشباع از شاره کمتر از سنگ‌های خشک است. نسبت آن با درجه اشباع و نوع شاره تغییر می‌کند. تغییرات اشباع و نوع شاره‌های درون خلل و فرج سنگ‌ها را Q_p به همراه Q_s تعیین می‌کند. به‌طور کلی تضعیف زیاد متناظر با سرعت کم و نسبت V_p/V_s زیاد است. Q_p با افزایش V_p و V_s افزایش و با افزایش V_p/V_s کاهش می‌یابد. در نواحی گازی، هر دو نسبت V_p/V_s و Q_p/Q_s کوچک‌اند، در نتیجه این نسبت‌ها به‌منزله دو نشانگر مؤثر در تشخیص هیدروکربور مطرح هستند.

در این تحقیق نسبت V_p/V_s از روابط تجربی کاستاگنا و V_p/V_s از نگاره DSI بررسی و با فاکتور Q مقایسه شد. همچنین تغییرات Q و V_p/V_s برحسب عمق نیز محاسبه و مقایسه شد. از آنجا که V_p/V_s یک شاخص

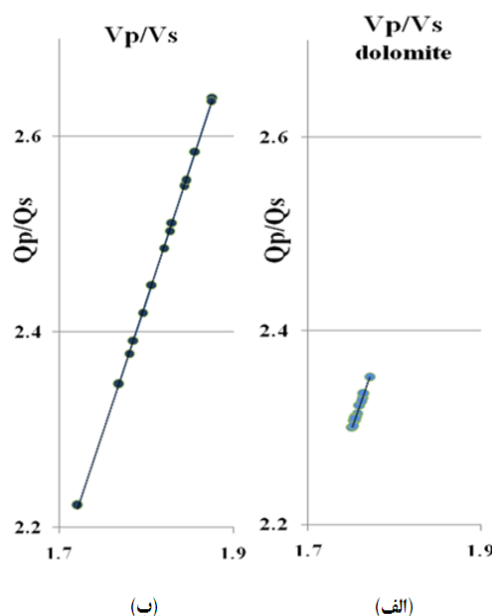
$$V_s = 0.439 V_p + 0.604. \quad (20)$$

$$V_s = 0.499 V_p + 0.295. \quad (21)$$

در این تحقیق با استفاده از روابط همبستگی بین سرعت‌های V_p و V_s محاسبه شده از نگاره DSI در سازندهای کنگان و دالان برای دو چاه اکتشافی در میدان پارس جنوبی سرعت‌های V_s به‌دست آمد و نسبت‌های V_p/V_s در این دو سازند محاسبه شد.

۵ مقایسه نسبت V_p/V_s از رابطه کاستاگنا و نگاره DSI با فاکتور کیفیت

قابلیت سنگ در تضعیف امواج لرزه‌ای با فاکتور کیفیت (Q) اندازه‌گیری می‌شود. به‌طور کلی با افزایش عمق سرعت‌های امواج تراکمی و بُرشی افزایش و V_p/V_s کاهش می‌یابد. تعیین Q از داده‌های لرزه‌ای سطحی محدودیت و عدم قطعیت زیادی دارد. یکی از روش‌های مناسب برای برآورد Q استفاده از داده‌های VSP با



شکل ۷. مقایسه نمودارهای چاه III: (الف) V_p/V_s (از رابطه کاستاگنا) برحسب Q_p/Q_s و (ب) V_p/V_s (از DSI) برحسب Q_p/Q_s .

کوچک به دست آمده برای Q نشان دهنده کاهیدگی بالا در دو ناحیه گازی مورد بررسی است. با توجه به مقادیر به دست آمده، می توان مشخص ساخت که در کدام عمق، کاهیدگی بیشتر است. با توجه به اینکه مقادیر Q_p در سازندهای کنگان و دالان به نسبت کوچک اند، شاخص تعیین کننده با جذب زیاد که بتواند مؤید وجود هیدروکربورهای گازی در نواحی مورد بررسی باشد، مشخص شد. با مقایسه مقادیر Q_p با نسبت V_p/V_s در بخش هایی که Q_p کوچک است، نسبت V_p/V_s به دست آمده نیز کوچک است و روند مشابهی بین تغییرات این دو کمیت را نشان می دهد. اگر مقادیر به دست آمده برای Q_p و Q_s در ناحیه مورد نظر کوچک باشد، این مسئله مؤید محیطی با کاهیدگی زیاد است و مقادیر کوچک به دست آمده برای فاکتور کیفیت می تواند در حکم شاخص حضور هیدروکربورها در مخزن باشد. در شکل ۲ نمودار V_p/V_s بر حسب میزان گاز و نمودار V_p/V_s بر حسب نسبت پواسون برای چاه I در سازند کنگان آمده است. در شکل ۲-الف تغییرات معکوس V_p/V_s بر حسب میزان گاز در عمق هایی که میزان گاز به نسبت زیاد است مشخص شده است. همچنین در شکل ۳ نمودار V_p/V_s بر حسب میزان گاز و نمودار V_p/V_s بر حسب نسبت پواسون در سازند دالان در ناحیه مورد بررسی آورده شده است. در شکل ۳-الف نیز تغییرات معکوس V_p/V_s بر حسب میزان گاز در دو محدوده عمقی که میزان گاز به نسبت زیاد است، تعیین شده است. در شکل ۴ فاکتور کیفیت برای مقایسه با نسبت V_p/V_s نشان داده شده است. در چاه II فاکتور کیفیت در لایه های K2 و K4 کمتر از لایه های دیگر است. همچنین بیشینه مقدار فاکتور کیفیت مربوط به لایه K3 است. در ناحیه مخزنی مقادیر Q کوچک است که این نشان دهنده محیطی با کاهیدگی زیاد است. همچنین Vs برای دولومیت که با رابطه کاستاگنا و همکاران (۱۹۸۵) عرضه شده، محاسبه شد. در

مناسب برای تشخیص شاره است، تغییرات Q و نسبت V_p/V_s بر حسب عمق حائز اهمیت است. در منطقه مورد بررسی، بین نمودارهای V_p/V_s و Q تشابه به نسبت خوبی وجود دارد. نسبت Q_p/Q_s با نسبت V_p/V_s از رابطه کاستاگنا و نگاره DSI برای دو چاه نیز مقایسه شد. به طور کلی نسبت های V_p/V_s از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی در مقایسه با نسبت های V_p/V_s از رابطه کاستاگنا تطابق بهتری با Q_p/Q_s نشان داد. همچنین نسبت پواسون شاخص خوبی برای مقایسه با فاکتور کیفیت تشخیص داده شده است.

۶ بحث

طی این تحقیق با استفاده از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی (DSI) نسبت های V_p/V_s برای سازندهای کنگان و دالان تعیین شد. نسبت های V_p/V_s از رابطه کاستاگنا و همکاران (۱۹۸۵) نیز محاسبه شد و با نسبت هایی که از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی به دست آمده بود، مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین نسبت های V_p/V_s به دست آمده از نمودار DSI و روابط کاستاگنا با فاکتور کیفیت مقایسه شد. این بررسی روشن ساخت که نسبت های V_p به V_s به دست آمده از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی در مقایسه با روابط تجربی کاستاگنا نتایج بهتری به دست می دهد. به طور کلی در صورتی که داده های سرعت موج بُرشی برای چاهی موجود نباشند، بهتر است سرعت موج بُرشی را از نمودارهای DSI برآورد کرد.

برای دو چاه اکتشافی در محدوده عمق های ۲۷۰۰ تا ۳۱۰۰ متر با استفاده از داده های VSP با دورآفت کم، مقادیر دامنه اولین رسیده ها برای چند عمق متفاوت تعیین شد و فاکتور کیفیت به کمک روش نسبت طیفی به دست آمد. برای یک چاه اکتشافی (چاه I) در محدوده عمق های ۲۶۵۰ تا ۳۱۰۰ متر با استفاده از داده های VSP با دورآفت کم، مقادیر Q در ناحیه مخزنی به دست آمد. مقادیر

۲- نسبت‌های Vp/Vs از نگاره صوتی بُرشی دوقطبی در مقایسه با نسبت‌های Vp/Vs از رابطه کاستاگنا تطابق بهتری را با Q_p/Q_s به‌خصوص برای سنگ‌های مخزن دیواره دو چاه در میدان پارس جنوبی نشان می‌دهد.

۳- با توجه به نتایج به‌دست آمده در هر منطقه، بهتر است روابط همبستگی بین Vp و Vs برای نواحی موردنظر به‌طور اختصاصی محاسبه شود.

منابع

کاظمی، م. س.، جواهریان، ع.، و قاسم‌العسکری، م. ک.، ۱۳۸۷، برآورد فاکتور کیفیت با استفاده از داده‌های نیم‌رخ لرزه‌ای قائم در یکی از میداین هیدروکربوری جنوب ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۲ (۲)، ۷۹-۹۰.

- Arroyo Franco, J. L., Mercado Ortiz, M. A., De, G. S., Renlie, L., and Williams, S., 2006, Sonic investigations in and around the borehole: Oilfield Review, 14-33.
- Brocher, T. M., 2005, Compressional and shear wave velocity versus depth in the San Francisco Bay Area: California, USGS.
- Castagna, J. P., Batzle, M. L., and Eastwood, R. L., 1985, Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in elastic silicate rocks: Geophysics, 50, 571-581.
- Castagna, J. P., Batzle, M. L., and Kan, T. K., 1993, Rock physics- the link between rock properties and AVO response in Castagna, J. P., and Backus, M. M., Eds., Offset-dependent reflectivity-Theory and practice of AVO analysis: Society of Exploration Geophysicists, 135-171.
- Dvorkin, J., Mavko, G., Walls, J., Taner, M. T., and Derzhi, N., 2003, Attenuation at Patchy Saturation - A Model, 65th Mtg.: Eur. Assn. Geosci. Eng., E23.
- Goldberg, D., 2003, Reprocessing of wireline sonic logs in turbidites and hemipelagic sediments at ODP Site: 1173, 1-15.
- Han, D. H., Nur, A., and Morgan, D., 1986, Effects of porosity and clay content on wave velocities in sandstones: Geophysics, 51,

شکل ۴- الف، Q_p و در شکل ۴- ب Vp/Vs از رابطه کاستاگنا برای دولومیت در ناحیه مخزنی برحسب عمق آمده‌است. در شکل ۴- ج، Vp/Vs از نگاره DSI برحسب عمق در چاه II آورده شده‌است. همچنین برای یک چاه اکتشافی دیگر (چاه III) نیز با استفاده از داده‌های VSP با دورافت کم، مقادیر Q در ناحیه مخزنی به‌دست آمد. در شکل ۵ فاکتور کیفیت برای مقایسه با نسبت Vp/Vs نشان‌داده شده‌است. در شکل ۵- الف، Q_p و در شکل ۵- ب، Vp/Vs از رابطه کاستاگنا برای دولومیت در ناحیه مخزنی آمده‌است. در شکل ۵- ج، Vp/Vs از نگاره DSI برحسب عمق در چاه III آورده شده‌است. در این بررسی برای محاسبه Q_s از رابطه تجربی $Q_s = (4Q_p) / 3(Vp/Vs)^2$ استفاده شد. در شکل‌های ۶ و ۷ نسبت‌های Vp/Vs و Q_p/Q_s مقایسه شده‌اند. در شکل ۶- الف، مقادیر Vp/Vs از رابطه کاستاگنا برای دولومیت برحسب Q_p/Q_s استفاده شد. همچنین در شکل ۶- ب، مقادیر Vp/Vs از نگاره DSI برحسب Q_p/Q_s آمده است. با توجه به نمودارهای به‌دست آمده در شکل ۶ در حالی که از رابطه کاستاگنا برای تعیین سرعت موج بُرشی استفاده شده‌است، نمودار Vp/Vs برحسب Q_p/Q_s دارای شیب منفی است. در شکل ۷- الف، مقادیر Vp/Vs از رابطه کاستاگنا برای دولومیت برحسب Q_p/Q_s استفاده شد. همچنین در شکل ۷- ب، مقادیر Vp/Vs از نگاره DSI برحسب Q_p/Q_s عرضه شده‌اند. با توجه به نمودارهای به‌دست آمده، نسبت Vp/Vs برحسب نسبت Q_p/Q_s در شکل‌های ۷- الف و ۷- ب دارای شیب مثبت هستند. نواحی که نسبت‌های Vp/Vs و Q_p/Q_s کوچک‌اند مؤید وجود هیدروکربورها است.

۷ نتیجه‌گیری

۱- مقایسه Q_p با نسبت Vp/Vs در لایه‌های مخزنی در دو چاه مورد بررسی، توافق به نسبت خوبی را نشان می‌دهد.

- Yamamoto, T., Berryman, J. G., and Fehler, M., 2003, Permeability dependence of seismic amplitudes: *The Leading Edge*, **22**(6), 518-525.
- Walls, J., Taner, M. T., Mavko, G., and Dvorkin, J., 2002, Seismic attenuation for reservoir characterization: Quarterly report, DE-FC26-01BC15356.
- Xu, X., Hofmann, R., Batzle, M., and Tshering, T., 2006, Influence of pore pressure on velocity in low-porosity sandstone: Implications for time-lapse feasibility and pore pressure study: *Geophysical Prospecting*, **54**(5), 565-573.
- Zhang, Z., and Stewart, R., 2008, Well log analysis and seismic attenuation in a heavy oilfield: Ross Lake, Saskatchewan, CSPG. CSEG, CWLS. Convention, 383-387.
- 2093-2107.
- Kumar, G., Batzle, M., and Hofmann, R., 2003, Effect of fluids on attenuation of elastic waves: 73th SEG meeting, 1592-1595.
- Mavko, G., Dvorkin, J., and Walls, J. D., 2005, A rock Physics and attenuation analysis of a well from the Gulf of Mexico: 75th SEG meeting, 1585-1588.
- Parra, J. O., and Hackert, C. L., 2006, Modeling and interpretation of Q logs in carbonate rock using a double-porosity model and well logs: *J. Appl. Geophys.*, **58**, 253-262.
- Pride, S. R., and Berryman, J. G., 2003, Linear dynamics of double-porosity dual-permeability materials II: Fluid transport equations, *Phys. Rev. E.*, **68**, 036604
- Pride, S. R., Harris, J. M., Johnson, D. L., Mateeva, A., Nihei, K. T., Nowack, R. L., Rector, J. W., Spetzler, H., Wu, R. S.,