

تعیین مدل فیزیک سنگ برای سازند فهلیان، در دو چاه انتخابی از دو میدان نفی جنوب غرب کشور

سید بیژن ماهباز^۱ و حسین معاریان^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد اکتشاف نفت - معاونت اکتشاف نفت، شرکت پتروگسترپرمایون

^۲ استاد دانشکده مهندسی معدن - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۴/۱۱/۲۹، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۶/۸/۵، تاریخ تصویب ۸۷/۱/۲۷)

چکیده

روش های ژئوفیزیکی، به خصوص معکوس سازی داده های لرزه نگاری، امروزه پیشرفت های زیادی کرده، تا حدی که روش های شناخت رفتار الاستیکی سنگ ها به شدت مورد توجه شرکت های نفتی جهت کاهش ریسک عملیات قرار گرفته است. امروزه روابط توسعه یافته در مورد فیزیک سنگ به عنوان روشی مناسب برای دسترسی به این رفتارها شناخته شده است. اولین مرحله از شناخت رفتار الاستیک، تعیین مدل فیزیک سنگ می باشد. در این مقاله، رفتار پارامترهای مهم فیزیک سنگ در سازند فهلیان، در دو چاه واقع در جنوب غربی ایران، مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از داده های بدست آمده از چاه نگارهای صوتی، چگالی و تخلخل، مدل فیزیک سنگ مشابه با این سازند ارائه شده است. نتایج بررسی حاضر منجر به تعدیل مدل رایج فیزیک سنگ پیشنهاد شده توسط رایمر- گرینبرگ- کاستاگنا، در دو چاه مورد مطالعه گردید.

واژه های کلیدی: فیزیک سنگ - سازند فهلیان - مشخصه های الاستیک سنگ - مدل رایمر گرینبرگ
کاستاگنا - مشخصه های ژئومکانیکی

مقدمه

تعیین این مدل ها، روابط آن ها را با داده های لرزه نگاری بررسی کرده و با وارون سازی لرزه ای، مدل های مورد نظر را به دست می دهند. هم چنین با استفاده از این مدل ها، شرایط این سازندها را در حفاری پیش بینی نموده و یا این که مدلی دقیق تر از وضعیت مخزن ارائه می دهند. شایان ذکر است که پیش نیاز این مطالعات، تعیین دقیق مدل فیزیک سنگ می باشد و امروزه فیزیک سنگ قادر است پارامترهای مهمی چون مدول برشی (μ)، مدول بالک (K)، مدول یانگ (E) و نسبت پواسون (ν) را از روی نگارهای چاه محاسبه نماید. در سال های اخیر کوشش های زیادی برای ارائه روابط مناسبی، که بتواند مدل فیزیک سنگ بهینه ای را به دست دهد، صورت گرفته است. بررسی حاضر اولین کوششی می باشد که در این زمینه در دو چاه جنوب غرب ایران انجام پذیرفته است.

در این مقاله خصوصیات سرعت موج طولی، مقاومت موج طولی، تخلخل و روابط حاکم بر آن ها در اعماقی از دو چاه واقع در دو میدان مختلف از سازند فهلیان، بررسی شده و با استفاده از روابط مطرح شده،

تعیین روابط بین سرعت امواج طولی، تخلخل و مشخصه های مربوط به سیال، در مطالعه مخزن حائز اهمیت می باشد که این خصوصیات ژئوفیزیکدان ها را در بررسی نشانگرها و وارون سازی لرزه ای^۱، مهندسی مخزن را در مدل سازی مخزن و مهندسی حفاری را در پیش بینی شرایط حفاری و بهینه سازی آن، کمک می نماید. یکی از راه های دسترسی به این خصوصیات، انجام آزمایش های پرهزینه و مخرب بروی مغزه های حاصل از حفاری است. اما مغزه گیری همواره انجام نمی شود و در صورت وجود مغزه نمی توان آن را به کل ضخامت تحت مطالعه تعمیم داد. فیزیک سنگ راهی برای دسترسی به این خصوصیات، بدون انجام آزمایش بروی مغزه ها می باشد که روابط مورد نظر را بدون استفاده از آزمایش های مخرب و تنها با استفاده از نمودارهای چاه به دست می دهد. از حدود بیست سال پیش محققان در این زمینه، نام جدید فیزیک سنگ را برای بررسی های خود انتخاب نموده اند. امروزه در دنیا مطالعات فیزیک سنگ معمول بوده به طوری که برای انواع مخازن مدل های فیزیک سنگ، مشخص می شوند. متخصصان فیزیک سنگ، با

در این دو چاه، نگارهای پتروفیزیکی به صورت کامل برداشت شده اند که در این بررسی از اطلاعات مربوط به تخلخل، چگالی و سرعت موج استفاده گردیده است (شکل ۳). نگارهای پتروفیزیکی برای محاسبه شرایط اشباع سیال و مقدار مدول بالک به کار می آیند. نوع کانی با استفاده از ارزیابی پتروفیزیکی داده های خام، که معمولاً توسط پرتو گاما به دست می آید، مشخص می شود. در شکل (۳ الف، ب، ج) نگارهای مورد استفاده در این بررسی را برای چاه A1 نشان می دهد.

ضخامت سازند فهلیان در چاه A2، معادل ۳۸۱ متر است. باتوجه به این که دو چاه مذکور در منطقه مرزی واقع شده است از نشان دادن مقیاس برروی نقشه موقعیت چاه ها ممانعت به عمل آمده است (شکل ۲ و ۳). سنگ شناسی سازند فهلیان در این چاه A2 عبارت است از آهک، مارن و شیل که بخش بالایی از تناوب لایه های آهک، مارن و شیل تشکیل شده است و رخساره بخش پائینی عمدتاً متشکل از سنگ آهک می باشد (شکل ۳). در این چاه نیز داده های اصلی مورد استفاده عبارت است از تخلخل، چگالی و سرعت موج طولی. ضمن این که شرایط اشباع سیال و جنس سنگ نیز در اعماق مختلف برای بررسی های اولیه مهم می باشد. در شکل (۳ د، ه، و) نگارهای چاه A2 نشان داده شده است.

محاسبات و تحلیل ها

شناخت جنس سنگ و شرایط اشباع سیال در این بررسی به این دلیل حائز اهمیت است که در ابتدا باید شرایط سیال در کل ضخامت مورد بررسی یکسان فرض شود، یا به عبارت دیگر تأثیر آن حذف گردد. به این منظور مراحل زیر به انجام رسید:

الف) محاسبه مدول بالک مؤثر سیال موجود در منافذ
(۲، ۴):

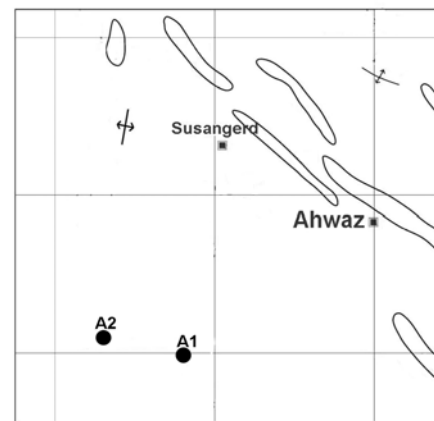
$$\frac{1}{K_f} = \frac{S_{gas}}{K_{gas}} + \frac{S_{oil}}{K_{oil}} + \frac{S_{br}}{K_{br}} \quad (1)$$

که در آن؛ S_{gas} اشباع گاز، S_{oil} اشباع نفت، S_{br} اشباع آب درون سازندی، K_{gas} مدول های ظاهری گاز، K_{oil} مدول های ظاهری نفت، و K_{br} مدول های ظاهری آب درون سازندی می باشد.

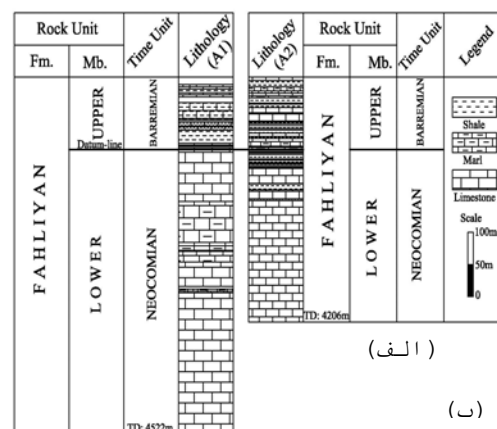
بهترین مدل فیزیک سنگ برای سازند فهلیان در این دو چاه ارائه گردیده است.

داده های مورد بررسی

مطالعه حاضر بر روی سازند فهلیان، در دو چاه A1 و A2، انجام گرفته است. موقعیت دو چاه A1 و A2 در شکل (۱) و چینه شناسی سازند فهلیان در این دو چاه در شکل (۲ الف و ب) نشان داده شده است. در منطقه مورد مطالعه سازند فهلیان شامل دو بخش بالائی (با خصوصیات مخزنی ضعیف) و پائینی (با خصوصیات مخزنی خوب) است. ضخامت سازند فهلیان در چاه A1، معادل ۵۴۲ متر بوده و همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می شود، بخش بالایی سازند از تناوب لایه های آهک، شیل و مارن تشکیل شده و در قسمت هایی از بخش پائینی نیز مارن و شیل دیده می شود، ضمن این که قسمت اعظم بخش پائینی سازند را آهک تشکیل می دهد.



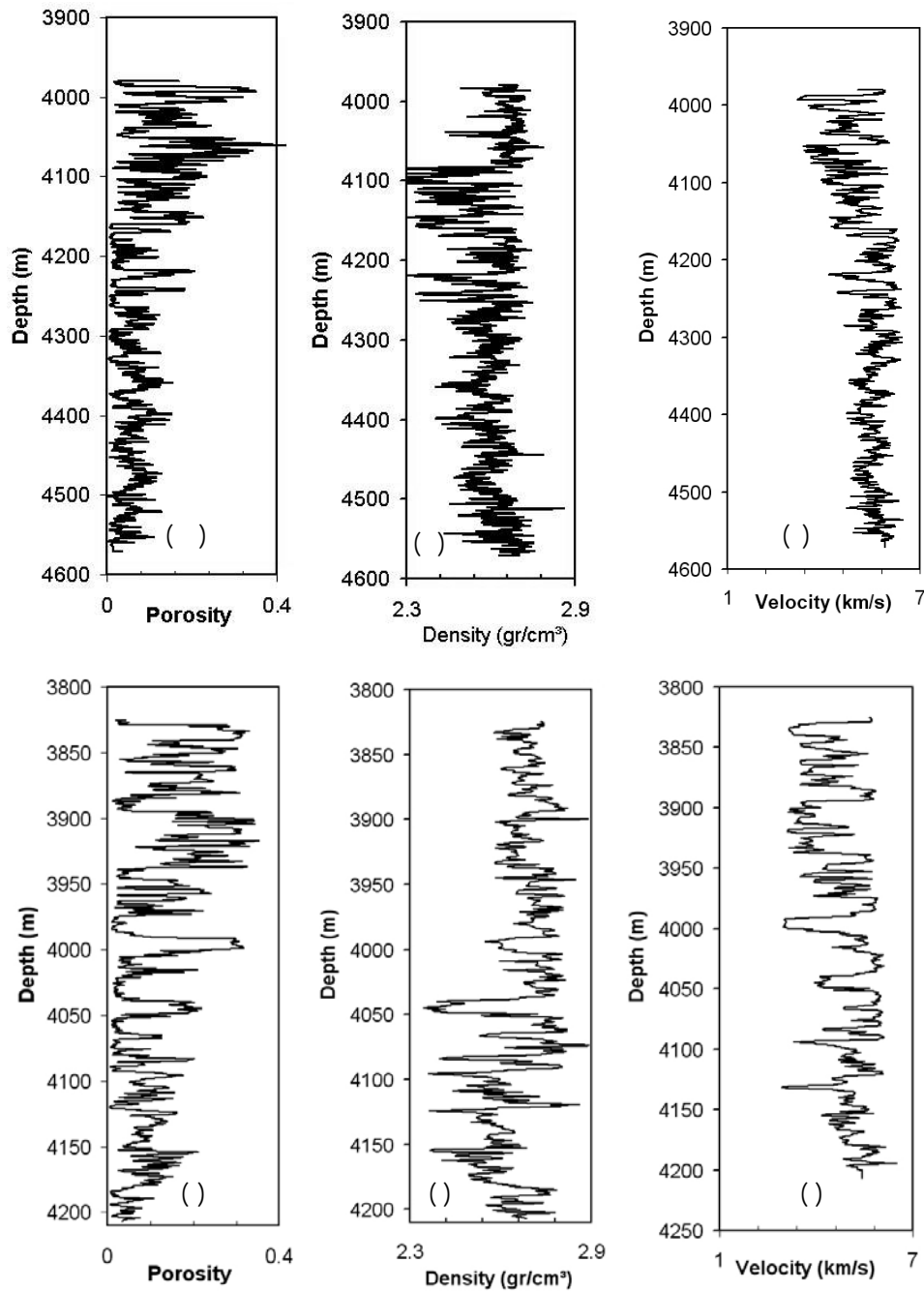
شکل ۱: موقعیت چاه های مورد مطالعه در بررسی حاضر.



(الف)

(ب)

شکل ۲: چینه شناسی سازند فهلیان در چاه A1 و چاه A2.



شکل ۳: چاه نگارهای تخلخل، چگالی و سرعت موج در چاه A1 (الف، ب، ج) و چاه A2 (د، ه، و).

می شود، بهترین خط برازش شده بر این داده ها یک رابطه درجه ۲ است و نشان می دهد که مدول موج طولی علاوه بر تخلخل به عامل دیگری نیز وابسته است. در واقع می توان این امر را به تغییر نوع سیال در اعماق مختلف از سازند نسبت داد. به این ترتیب که با تغییر نوع سیال در ضخامت های متفاوت، حالت تخلخل ثابت، موج طولی نیز تغییر می کند که این امر روند تغییرات مدول موج طولی نسبت به تخلخل را از حالت خطی خارج می نماید. برای

ب) مدول موج طولی $(M_{log})^2$ از نگارهای چاه یا مغزه با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید [۱، ۲، ۴]:

$$M_{log} = \rho_b V_p^2 \quad (2)$$

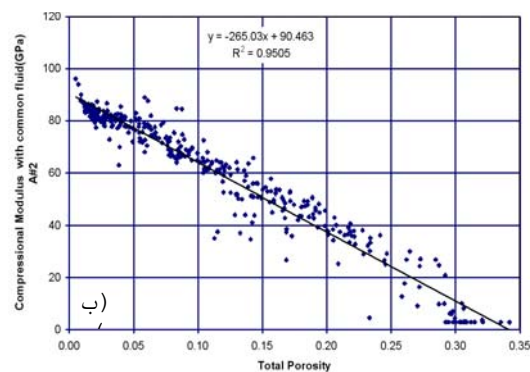
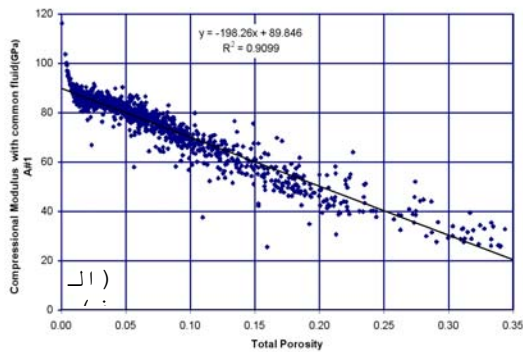
که در آن؛ V_p سرعت موج طولی، ρ_b چگالی بافت سنگ می باشد.

در شکل (۴-الف و ب) تغییرات مدول موج طولی به دست آمده از رابطه ۲ نسبت به تخلخل، برای دو چاه ترسیم شده است. همان طور که در شکل (۴) دیده

$$M_c = M_m \frac{\phi M_d - (1 + \phi) K_{cf} M_{dry} / M_m + K_{cf}}{(1 - \phi) K_{cf} + \phi M_m - K_{cf} M_{dry} / M_m} \quad (5)$$

که در آن K_{cf} مدول بالک سیال متعارف بوده و مقدار آن به طور انتخابی برای هر دو چاه تحت مطالعه برابر ۲/۲۵ (مقدار مدول بالک آب) در نظر گرفته شده است، که می توان هر مقدار دیگری نیز برای آن انتخاب نمود.

در شکل (۵ - الف و ب) مدول موج طولی در حالت اشباع از سیال متعارف برای دو چاه A1 و A2، که از رابطه ۵ محاسبه شده است، نشان داده شده است.



تسکل ۵. تغییرات مدول موج طولی در شرایط اشباع از سیال متعارف نسبت به تخلخل در چاه A1 (الف) و چاه A2 (ب).

همان طور که در این شکل مشخص است، بهترین خط برازش شده بر روی داده ها خطی است که از معادله درجه ۱ پیروی می کند. این امر نشان دهنده رابطه مستقیم مدول موج طولی در حالت اشباع از سیال متعارف نسبت به تخلخل است. اما با یکی کردن نوع سیال در کل ضخامت تحت مطالعه، یعنی جایگزین کردن سیالات مختلف با سیال متعارف، وقتی تخلخل در ضخامت های مختلف ثابت است، سیال نیز ثابت می باشد و بنابراین مقدار مدول موج طولی نیز ثابت بوده و تنها با تغییر در مقدار تخلخل، تغییر می کند و این تغییرات نسبت به تخلخل، خطی می شود.

تغییر معادله درجه ۲ به معادله درجه ۱ باید شرایط اشباع سیال در حالت متعارف ایجاد شود. برای تعیین مدول موج طولی در شرایط سیال متعارف، مراحل زیر دنبال شده است.

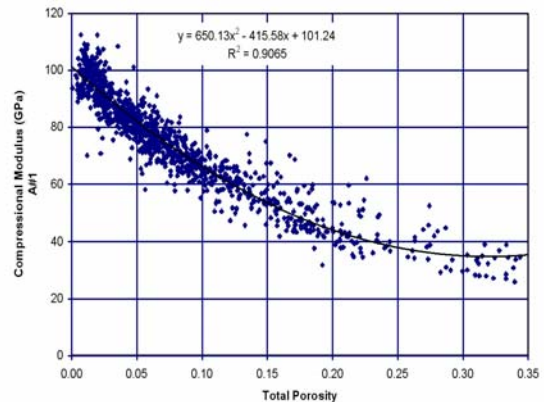
ج) مدول موج طولی مربوط به سنگ خشک M_d از رابطه زیر محاسبه می شود [۲،۴]:

$$M_d = M_m \frac{1 - (1 - \phi) M_{\log} / M_m - \phi M_{\log} / \bar{K}_f}{1 + \phi - \phi M_m / \bar{K}_f - M_{\log} / K_m} \quad (3)$$

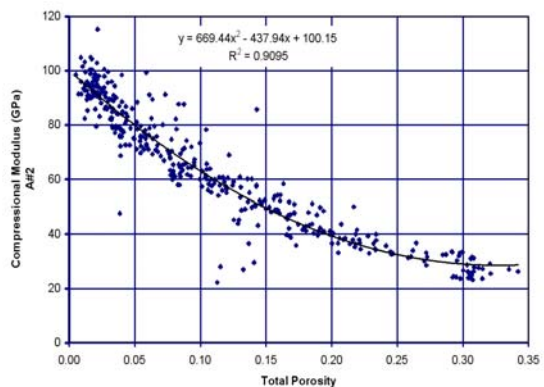
از رابطه زیر بدست می آید:

$$M_m = K_m + 4 \mu_m / 3 \quad (4)$$

که در آن ϕ تخلخل نهایی، μ_m مدول موج برشی فاز کانی و K_m مدول بالک فاز کانی می باشد [۱].



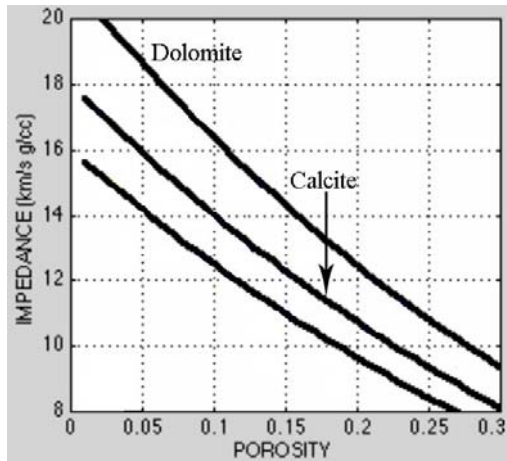
(الف)



(ب)

شکل ۴: تغییرات مدول موج طولی نسبت به تخلخل در چاه A1 (الف) و چاه A2 (ب).

د) مدول موج طولی سنگ اشباع از سیال متعارف M_c از رابطه زیر محاسبه می شود که در آن ϕ تخلخل نهایی، μ_m مدول موج برشی فاز کانی و K_m مدول بالک فاز کانی است [۱]:

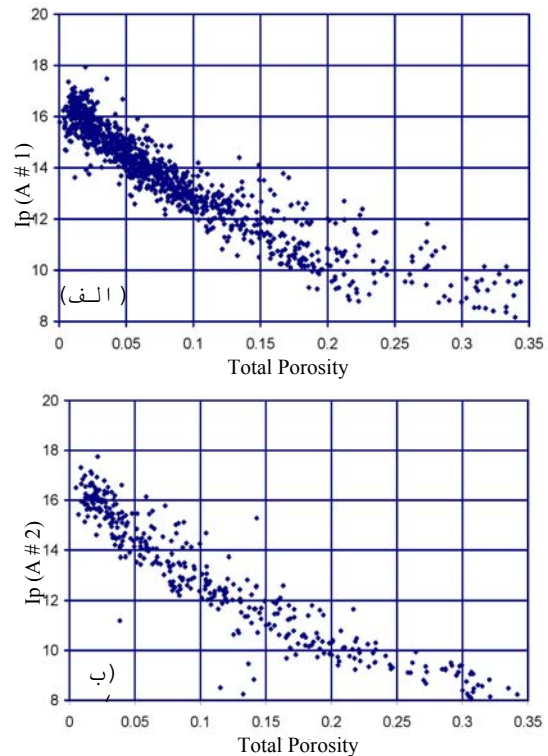


شکل ۷: مدل فیزیک سنگ رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا برای کرنات ها، نمایشگر رابطه بین مقاومت موج طولی و تخلخل، برای شیل، کوارتز، کلسیت و دولومیت [۳].

با قرار دادن مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا بر روی داده های بررسی حاضر (شکل ۸)، دیده می شود که این مدل روندی مشابه با داده های مورد بررسی حاضر دارد اما درست روی آن ها قرار نگرفته و برای اینکه کاملاً بروی داده ها قرار گیرد، باید مقداری اصلاح شود. جابجایی قائم روند داده های واقعی نسبت به مدل، دلایل مختلفی می تواند داشته باشد. مدل مورد بررسی از داده های حاصل از موقعیت های جغرافیایی غیر از ایران بدست آمده [۵]، [۶]، [۸]، [۹] که می تواند با شرایط ویژه مخزن مورد مطالعه متفاوت باشد.

طبق نظر کارشناسان فیزیک سنگ همه مدل ها، مشخصه های مختلفی مثل تخلخل و مدول الاستیک، برای اصلاح دارند که در موقعیت های مختلف می توان از آن ها استفاده کرد [۷، ۱۰]. شکل ۸ مدل فیزیک سنگ را همراه با داده های مورد مطالعه دو چاه A1 و A2 نشان می دهد. همان طور که در شکل (۸) دیده می شود، روند داده های واقعی از روند مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا پیروی نموده، اما نسبت به آن تا حدی جابجایی دارد. در این مدل، مقاومت موج طولی به صورت تابعی از تغییرات تخلخل بیان شده است که با تغییر تخلخل در رابطه مدل، جا به جایی در مدل صورت می گیرد و مدل بر روی داده ها قرار می گیرد. علت جا به جایی داده ها نسبت به مدل نیز اختلاف تخلخل موجود در مخزن مورد مطالعه و مخازنی که مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا از آن استخراج شده است.

پس از حذف تأثیر سیال از کل ضخامت مورد بررسی، روند تغییرات مقاومت موج طولی (I_p) نسبت به تخلخل در دو چاه تحت مطالعه، ترسیم گردید (شکل ۶). که مقدار آن با تخلخل رابطه عکس داشته و همان طور که در شکل (۶) مشخص است، این روند برای هر دو چاه مشابه می باشد.



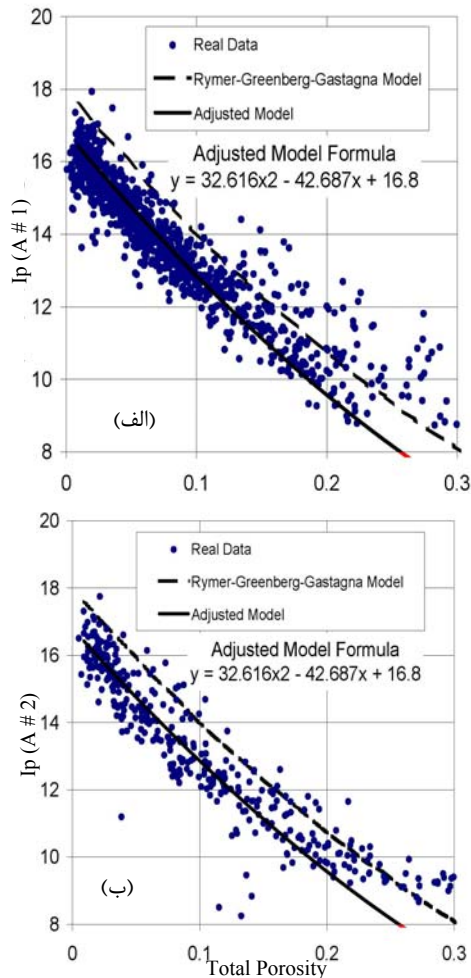
شکل ۶: تغییرات مقاومت موج طولی نسبت به تخلخل در چاه A1 (الف) و چاه A2 (ب).

تعیین مدل فیزیک سنگ مناسب

برای تعیین مدل فیزیک سنگ، باید داده های مورد نظر را با مدل های پیشنهاد شده قبلی مقایسه نمود. مدل های فیزیک سنگ چندی تاکنون ارائه شده اند که می توان از بین آنها به مدل های هان [۵]، رایمر، گرینبرگ و کاستاگنا [۹] و نیور [۷، ۸] اشاره کرد [۳]. از این میان مدلی که با داده های کسب شده از سازند فهلیان در دو چاه مورد مطالعه، مشابهت فراوانی دارد، مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا می باشد که برای سنگ های کرنات ه ارائه شده است. در شکل (۷)، این مدل نشان داده شده و رابطه ۶ بیان ریاضی آن می باشد [۱، ۳].

$$Y = 32.616x^2 - 42.687x + 17.967 \quad (۶)$$

بررسی حاضر نشان داد که برای تعدیل مدل فقط کافی است تا عرض از مبدأ رابطه ۶، از ۱۷/۹۶۷ به ۱۶/۸ کاهش داده شود. با این تغییر مدل رایمر به مقدار مناسبی جا به جا می شود و بر روی داده های واقعی کسب شده از سازند فهلیان قرار می گیرد (شکل ۹).

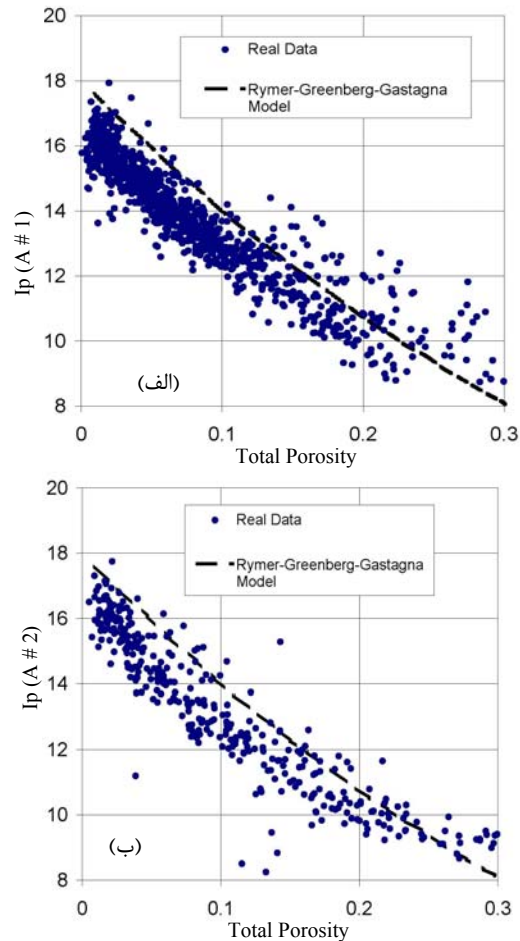


شکل ۹: اصلاح مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا بر روی داده های واقعی (خط ممتد) در چاه A1 (الف) و چاه A2 (ب).

نتیجه گیری

با توجه به بررسی های انجام شده می توان به نتایج زیر رسید:

- ۱ - مدل فیزیک سنگ ارائه شده توسط رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا برای کربنات ها در سال ۱۹۹۷ تقریباً با شرایط سازند فهلیان در دو چاه مورد مطالعه همخوانی دارد، اما دقیقاً بر روی داده های واقعی قرار نمی گیرد.
- ۲ - برای قرارگرفتن مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا بر روی داده های واقعی باید این مدل تعدیل شود. از این میان عامل مناسب برای تعدیل تخلخل می باشد.
- ۳ - بعد از تعدیل مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا رابطه مدل برای سازند فهلیان در دو چاه مورد مطالعه به صورت زیر تعریف می شود:



شکل ۸: مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا برای سنگ آهک (خط چین) در کنار داده های واقعی، چاه A1 (الف) و چاه A2 (ب).

با توجه به برازش خط مورد نظر بر روی داده ها می توان مدل رایمر-گرینبرگ-کاستاگنا را به صورت زیر برای سازند فهلیان در دو چاه مورد نظر در دو حوضه نفتی جنوب غربی ایران تعدیل نمود:

$$Y = 32.616x^2 - 42.687x + 16.8 \quad (7)$$

معکوس استفاده نمود و با استفاده از مدل تهیه شده به شناخت نوع سازند و سنگ شناسی پرداخت.
 ۵ - با دست یابی به مدل قابل اطمینان فیزیک سنگ برای سازند فهلیان، مشخصه های ژئومکانیکی این سازند، در محدوده مورد مطالعه، قابل استنتاج می باشد.

$$Y = 32.616x^2 - 42.687x + 16.8 \quad (A)$$

۴ - با در دست داشتن مدل فیزیک سنگ و شناخت روند مقاومت موج طولی و مدول موج طولی نسبت به تخلخل، می توان از این پس برای شناخت نوع سنگ، از روند

مراجع

- 1 - Avesth, P., Mukerji, T. and Mavko, G. (2005). *Quantitative Seismic Interpretation*. Cambridge University Press.
- 2 - Castagna, J. P., Batzle, M. L. and Kan, T. K. (1993). "Rock physics: The link between rock properties and AVO response." *Investigation in Geophysics*, No. 8., PP. 135-171.
- 3 - Dvorkin, J. P. (2001). *Rock Physics Reservoir Characterization*. Stanford University Course.
- 4 - Dvorkin, J. P. (2003). *Velocity and Porosity Empirical and Theoretical Models*. Stanford University Course.
- 5 - Han, D. (1986). *Effects of porosity and clay content on acoustic properties of sandstones and unconsolidated sediments*. Ph.D. Dissertation, Stanford University.
- 6 - Mavko, G., Mukerji, T. and Dvorkin, J. (1998). *The Rock Physics handbook*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 7 - Nur, A. (1971). "Effects of stress on velocity anisotropy in rocks with cracks." *J. Geophys. Res.*, Vol. 76, PP. 2022-2034.
- 8 - Nur, A. and Simmons, G. (1998). "Stress-induced velocity anisotropy in rocks: An experimental study." *J. Geophys. Res.*, Vol. 103, PP. 6667.
- 9 - Raymer, L. L., Hunt. E. R. and Gardner, J. S. (1980). "An improved sonic transit time-to-porosity transforms." *Soc. Professional Well Log Analysis (SPWLA)*, 21st Ann. Logg. Symp., Paper P July 1980.
- 10 - Spikes, K. T. and Dvorkin, J. P. (2004). *Reservoir and Elastic Property Prediction Away From Well Control*. Stanford Rock Physics Laboratory.
- 11 - Mahbaz, B. (2006). *Application of well logs and rock physic relations to determination of geotechnical parameters of Fahliyan reservoir of two oil wells, South west of Iran*, M.Sc. Dissertation, Faculty of Engineering, University of Tehran.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Seismic Inversion
- 2 - Compressed Module