

تخمین تخلخل از روی سرعت انتشار امواج تراکمی با در نظر گرفتن اثر رس در سازند ماسه سنگی شوربچه

مجید نبی‌بیدهندی* و محمدعلی اسماعیلی‌آبدر*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۴۶-۱۴۱۵۵.

چکیده

تخلخل سازند ماسه سنگی شوربچه از روی نگارهای چگالی و نوترون مربوط به یکی از چاه‌های اکتشافی نفت در شمال شرق ایران (سرخس) محاسبه شده است. همچنین از روی نگار صوتی همان چاه سرعت امواج تراکمی در همان عمق‌ها اندازه‌گیری شده‌اند. مقدار درصد رس موجود در ماتریکس سنگ در عمق‌های مختلف از نگار زمین‌شناسی به دست آمده است. از برازش خطی بین کمیت‌های تخلخل، ϕ ، مقدار رس، C و سرعت امواج تراکمی، V_p ، رابطه زیر برای سازند ماسه سنگی شوربچه به دست آمده است.

$$V_p = 5.55 - 9.62\phi - 1.37C \quad R^2 = 0.86$$

که در آن V_p بر حسب کیلومتر بر ثانیه و ϕ و C هر دو بر حسب نسبت حجمی است. با توجه به رابطه فوق و با محاسبه V_p از روی نگار صوتی و با معلوم بودن میزان رس موجود در سازند، می‌توان تخلخل را برای سازند مزبور تخمین زد.

کلیدواژه: تخلخل، محتوی رس، سرعت موج تراکمی

۱ مقدمه

علاوه بر تخلخل به کانی‌شناسی، و به‌طور عمده حضور رس و مواد آلی، هندسه خلل فرج و ... بستگی دارد. بنابراین هیچ‌کدام از این دو رابطه به‌طور مستقیم برای محاسبه تخلخل در ماسه سنگ‌های شیلی به کار نمی‌روند زیرا در این معادلات تاثیر مقدار رس روی سرعت موج صوتی در نظر گرفته نشده است.

محققان مختلف اثر رس و تخلخل را بر سرعت انتشار امواج صوتی مورد بررسی قرار داده‌اند (هن و همکاران، ۱۹۸۶ و کلیمتوس، ۱۹۹۱). در این مقاله سعی شده است که اثر رس بر سرعت انتشار امواج و تاثیر آن در تخمین تخلخل واقعی سازند از روی نگارهای صوتی در یک چاه اکتشافی نفت در منطقه شمال شرق ایران مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور ابتدا زمین‌شناسی منطقه بررسی می‌شود و سپس اندازه‌گیری تخلخل از روی نگارهای نوترون و چگالی مورد بحث قرار می‌گیرد. در ادامه رابطه‌ای خطی بین سرعت و تخلخل بدون در نظر گرفتن اثر رس و پس از آن رابطه خطی دیگری بین سرعت و تخلخل و میزان رس برای چاه فوق مورد بررسی قرار می‌گیرد و در انتها نتیجه‌گیری می‌شود.

اولین رابطه‌ای که برای تخمین تخلخل از روی نگارهای صوتی مورد استفاده قرار گرفته است، معادله متوسط زمانی وایلی و همکاران (۱۹۵۶) است.

$$\phi = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (1)$$

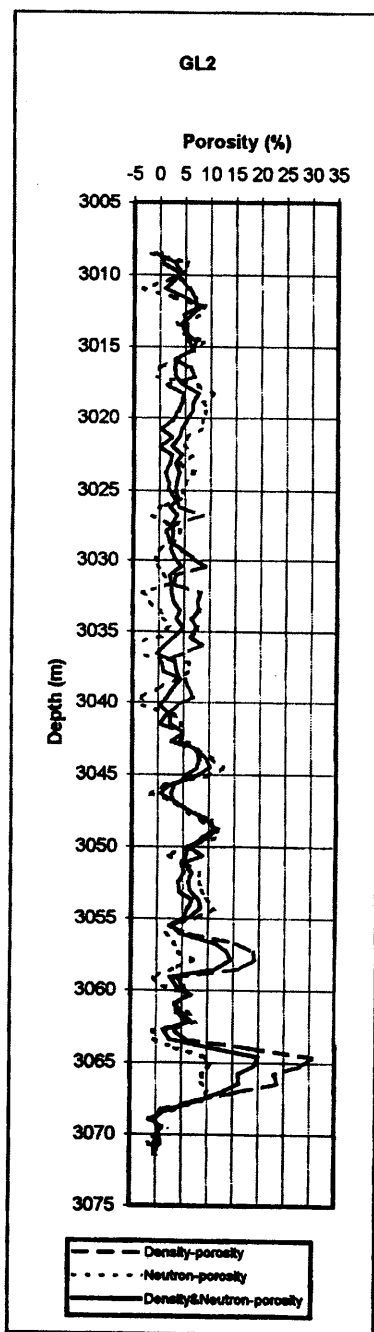
که در آن Δt ، Δt_{ma} و Δt_f به ترتیب زمان‌های گذر موج صوتی در طول واحد در سازند اشباع، ماتریکس و مایع درون حفره‌ای هستند. این معادله در عین سادگی سالیان دراز مورد استفاده شرکت‌های نفتی قرار گرفته است. با این حال این رابطه کمبودها و نقایصی از خود آشکار نموده است. ریمر و همکاران (۱۹۸۰) یک تبدیل جدید تجربی برای محاسبه تخلخل از روی سرعت امواج P ارائه کرده‌اند.

$$V_p = (1 - \phi)^2 V_{ma} + \phi V_f \quad (2)$$

که در آن V_p ، V_{ma} و V_f به ترتیب سرعت امواج تراکمی در سازند اشباع، ماتریکس و مایع درون حفره‌ای هستند.

این تبدیل چندان با معادله وایلی تفاوت ندارد، زیرا هر دوی آنها سرعت موج تراکمی را فقط به میزان تخلخل وابسته می‌کنند. حال آن‌که باید توجه داشت سرعت موج صوتی

۴ تحقیق رابطه خطی بین تخلخل و سرعت موج صوتی سرعت موج صوتی در سنگ تابعی از تخلخل سنگ است با به عبارتی هر چه تخلخل بیشتر باشد سرعت موج صوتی کم‌تر است، بنابراین می‌توان داده‌ها را روی مدل خطی زیر



شکل ۱. تخلخل محاسبه شده از ترکیب دو نگار چگالی و نوترون (خط‌تیره)، تخلخل محاسبه شده از نگار چگالی (خط‌چین) و تخلخل محاسبه شده از نگار نوترون (نقطه‌چین) برای چاه شماره دو گنبدلی.

۲ زمین‌شناسی منطقه

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق مربوط به چاه شماره دو گنبدلی از چاه‌های اکتشافی شرکت ملی نفت ایران در شمال شرق ایران (سرخس) است. این داده‌ها به سازند ماسه سنگی شوربیجه مربوط می‌شود. این سازند از نظر لیتولوژی، ماسه‌سنگ و کنگلومرا است که تناوبی از لایه‌های رس و سیلت قرمز قهوه‌ای و خاکستری روشن در آن یافت می‌شود.

۳ محاسبه تخلخل با استفاده از نگار نوترون و چگالی

نمودار نوترون به‌طور مستقیم بر حسب واحد تخلخل کالیبره می‌شود و این کالیبره شدن معمولاً برای ماتریکس سنگ آهک و مایع درون حفره‌ای آب صورت می‌گیرد. بنابراین تخلخل خوانده شده از روی نگار باید برای ماتریکس ماسه سنگ تصحیح شود و همچنین تاثیر کانی‌های رسی را نیز از روی آن باید حذف نمود.

نمودار چگالی، چگالی سازند اشباع را اندازه می‌گیرد و با توجه به ارتباط بین تخلخل و چگالی می‌توان از رابطه زیر تخلخل سازند را محاسبه نمود (هرست و همکاران، ۲۰۰۰).

$$\phi_D = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (۳)$$

که در آن ρ_{ma} چگالی ماتریکس، ρ_f چگالی مایع درون حفره‌ای و ρ_b چگالی بالک خوانده شده از روی نگار است. در این جا ρ_{ma} و ρ_f به ترتیب برابر $۲/۶۵ \text{ g/cm}^3$ و $۱/۱ \text{ g/cm}^3$ انتخاب شده‌اند. در محدوده‌هایی که اختلاف بین تخلخل نوترونی و تخلخل حاصل از نگار چگالی بیش از ده واحد تخلخل است، تخلخل را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد (اسکوئیت و همکاران، ۱۹۸۲).

$$\phi_{N-D} = \sqrt{\frac{\phi_N^2 + \phi_D^2}{2}} \quad (۴)$$

در غیر این صورت می‌توان از رابطه زیر برای محاسبه تخلخل استفاده نمود.

$$\phi_{N-D} = \frac{\phi_N + \phi_D}{2} \quad (۵)$$

شکل (۱) تخلخل محاسبه شده از نگار نوترون با تخلخل محاسبه شده از نگار چگالی به همراه تخلخل محاسبه شده از ترکیب دو نگار را برای چاه شماره ۲ گنبدلی نشان می‌دهد.

$$V_p = 5.55 - 9.62\phi - 1.37C \quad R^2 = 0.86 \quad (9)$$

مقداری که برای سرعت صوت در ماتریکس از این معادله به دست می‌آید برابر با ۵/۵۵ کیلومتر بر ثانیه است که این مقدار تقریباً برابر با سرعت واقعی صوت در ماتریکس ماسه سنگ است.

شکل (۴) انحرافات نسبی در مقادیر سرعت پیش‌بینی شده از رابطه خطی (۹) با مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده از روی نگار صوتی بر حسب تخلخل را نشان می‌دهد. در این حالت دیده می‌شود که انحرافات نسبت به شکل (۲) کم‌تر است و داده‌ها به خط واحد نزدیک‌ترند. شکل (۵) همان انحرافات شکل (۴) را بر حسب مقدار درصد رس نشان می‌دهد. انحرافات در این جا بر خلاف شکل (۳) هیچ وابستگی به مقدار درصد رس نشان نمی‌دهند.

مشابه چنین کاری برای چاه شماره شش گنبدلی نیز انجام شده است و روابطی مشابه با روابط (۷) و (۹) برای آن چاه به دست آمده‌اند (اسماعیلی‌آبدر، ۱۳۸۰).

۶ نتیجه‌گیری

سرعت موج صوتی در سنگ علاوه بر تخلخل تابعی از مقدار رس موجود در سنگ است و به عبارتی با افزایش مقدار حجمی رس در سنگ، سرعت موج صوتی کاهش می‌یابد. بنابراین رابطه خطی که بر اساس روش کم‌ترین مربعات فقط بین سرعت موج صوتی و تخلخل به دست می‌آید در صورت وجود کانی‌های رسی نمی‌تواند مقدار تخلخل را به طور صحیح پیش‌بینی کند، بنابراین باید مقدار درصد رس را نیز در محاسبه سرعت موج صوتی به حساب آورد. البته باید توجه داشت که رابطه خطی بر اساس روش کم‌ترین مربعات بین سرعت موج صوتی، تخلخل و مقدار درصد رس کاملاً انحرافات بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی را از بین نمی‌برند و این انحرافات باقی‌مانده را می‌توان ناشی از حضور مقداری کربن آلی در سنگ دانست زیرا مواد آلی بر روی سرعت تاثیر زیادی دارند.

تشکر و قدردانی

از شرکت ملی نفت ایران به خاطر در اختیار قرار دادن

به کار برد (هن و همکاران، ۱۹۸۶).

$$V_p = A_0 - A_1\phi \quad (6)$$

در این مدل V_p سرعت موج صوتی بر حسب کیلومتر بر ثانیه و تخلخل بر حسب نسبت حجمی است. بر اساس منطق رابطه (۶)، برای داده‌های چاه شماره دو گنبدلی رابطه زیر به دست آمده است.

$$V_p = 5.20 - 7.9\phi \quad R^2 = 0.72 \quad (7)$$

همان‌طور که از این معادله پیدا است مقداری که برای سرعت ماتریکس به دست می‌آید برابر با ۵/۲ کیلومتر بر ثانیه است و این مقدار کم‌تر از سرعت واقعی صوت در ماتریکس ماسه سنگ، حدود ۵/۵۰ کیلومتر بر ثانیه، است.

شکل (۲) انحرافات نسبی بین مقادیر سرعت پیش‌بینی شده از معادله خطی (۷) با مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده از روی نگار صوتی را بر حسب تخلخل نشان می‌دهد و پراکندگی انحرافات از مقدار یک زیاد است و این به علت وجود کانی‌های رسی در ماتریکس ماسه سنگ است.

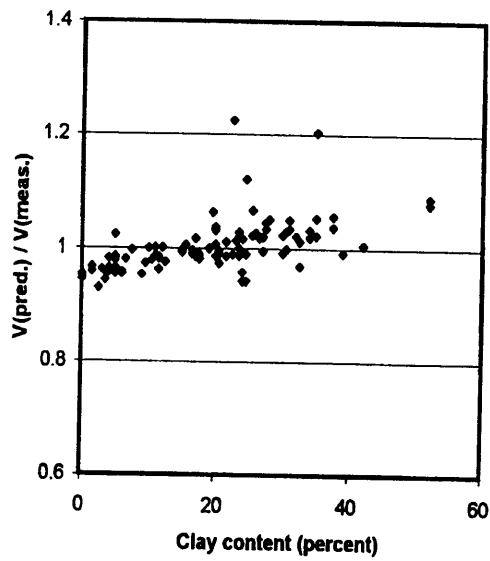
شکل (۳) همان انحرافات شکل (۲) را بر حسب مقدار درصد رس نشان می‌دهد و با توجه به این شکل انحرافات وابستگی روشنی به مقدار درصد رس نشان می‌دهند و یا به عبارتی با زیاد شدن درصد رس نسبت مقدار سرعت پیش‌بینی شده از رابطه (۷) به سرعت اندازه‌گیری شده از روی نگار صوتی روندی افزایشی از خود نشان می‌دهد.

۵ تحقیق رابطه خطی بین تخلخل، سرعت موج صوتی و مقدار درصد رس در سازند

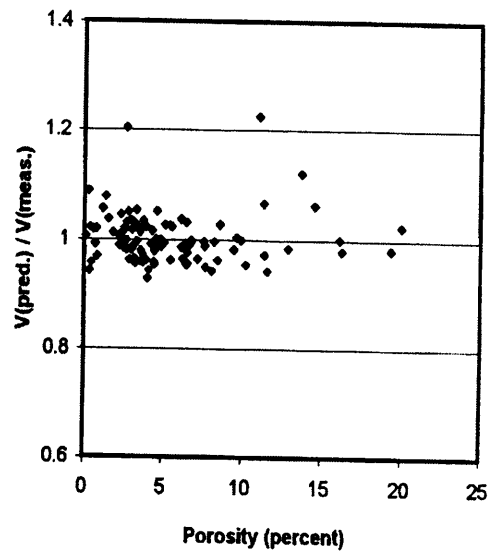
همان‌طور که در قسمت قبل مشاهده شد سرعت موج تراکمی علاوه بر تخلخل به مقدار درصد رس نیز وابسته است، بنابراین داده‌ها را باید روی مدل خطی زیر به کار برد (هن و همکاران، ۱۹۸۶).

$$V_p = A_0 - A_1\phi - A_2C \quad (8)$$

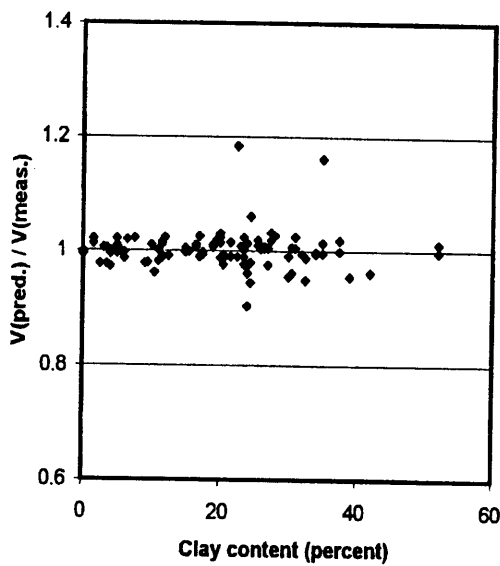
در این مدل V_p سرعت موج صوتی بر حسب کیلومتر بر ثانیه، ϕ تخلخل بر حسب نسبت حجمی و C مقدار رس موجود در سازند بر حسب نسبت حجمی است. بر اساس رابطه (۸) برای داده‌های چاه شماره دو گنبدلی رابطه زیر به دست آمده است.



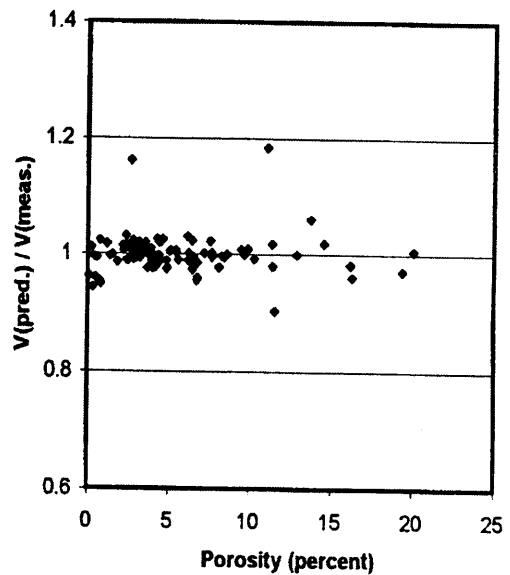
شکل ۳. داده‌های شکل ۲ بر حسب مقدار درصد رس.



شکل ۲. انحرافات نسبی مقادیر سرعت پیش‌بینی شده از رابطه خطی $V_p = 5.20 - 7.9\phi$ با مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده از روی نگار صوتی بر حسب تخلخل.



شکل ۵. داده‌های شکل ۴ بر حسب درصد رس.



شکل ۴. انحرافات نسبی مقادیر سرعت پیش‌بینی شده از رابطه خطی $V_p = 5.55 - 9.62\phi - 1.37C$ با مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده از روی نگار صوتی بر حسب تخلخل.

- Asquith, G.B., and Gibson, C.R., 1982, Basic well log analysis for Geologists: the American Association of Petroleum Geologists.
- Han, D.H., Nur, A., and Morgan, D., 1986, Effects of porosity and clay content on wave velocities in sandstones: Geophysics, **51**, 2093-2107.
- Hearst, J.R., Nelson, P.H., and Paillet, F.L., 2000, Well logging for physical properties: John Wiley and Sons, Ltd.
- Klimentos, T., 1991, The effect of porosity-permeability-clay content on the velocity of compressional waves: Geophysics, **56**, 1930-1939.
- Raymer, L.L., Hunt, E.R., and Gardner, J.S., 1980, An improved sonic transit time to porosity transform: SPWLA Twenty-first Annual Logging Symposium.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., and Gardner, L.W., 1956, Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media: Geophysics, **21**, 41-70.

داده‌های مربوط به این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

اسماعیلی آبدر، م.ع.، ۱۳۸۰، تخمین تخلخل از روی نگارهای صوتی در سازند ماسه سنگی شورپیجه مربوطه به چاه‌های شماره ۲ و ۶ گنبدلی سرخس: پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.