

تعیین پارامترهای شکستگی‌ها از داده‌های پروفیل لرزه‌ای قائم با منبع متحرک

مهتاب رشیدی فرد^۱

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران. m.rashidifard@ut.ac.ir

چکیده

شناسایی و توصیف شکستگی‌ها از مهم‌ترین مراحل توصیف مخازن هیدروکربوری می‌باشد که تاثیر بهسزایی در بهبود تولید و بازیابی از مخازن دارد. تشخیص شکستگی‌های متوسط مقیاس که توسط روش‌های لرزه‌ی سطحی و چاهنگاری قابل شناسایی نمی‌باشند توسط روش‌های پروفیل لرزه‌ای قائم امکان پذیر است. با توجه به این که داده‌های پروفیل لرزه‌ای قائم با منبع متحرک محدوده‌ی وسیعی در اطراف چاه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند، ثابت‌های ناهمسانگردی از رابطه‌ی مطلق تخمین زوایای فازی و قطبش امواج لرزه‌ای حاصل شدند و در نهایت پارامترهای شکستگی‌های ناحیه با استفاده از روابط کمی توسعه یافته از پارامترهای ناهمسانگردی محیط محاسبه شدند. نتایج حاصل حاکی از آن بود که محیط مورد مطالعه ناهمسانگرد با تقارن راست‌لوژی است که چگالی شکستگی‌ها در این ناحیه بالا و محتویات سیال شکستگی‌ها ناچیز است.

واژه‌های کلیدی: پروفیل لرزه‌ای قائم با منبع متحرک، ناهمسانگردی لرزه‌ای، پارامترهای ناهمسانگردی، پارامترهای شکستگی، چگالی شکستگی‌ها، محتویات سیال

Determination of Fracture Parameters from Walkaway Vertical Seismic Profiling Data

Mahtab Rashidifard¹

¹MSc Student in Petroleum Engineering, College of Eng., University of Tehran, m.rashidifard@ut.ac.ir

Abstract

Detection and characterization of fractures are fundamental steps in characterization of hydrocarbon reservoirs which has a great impact on production and reservoir recovery. Although determination of mid-scale fractures is impossible, using only surface seismic or well logs, it becomes practical using vertical seismic profiling. As walkaway vertical seismic profiling data cover a wide area around the wellbore, anisotropy coefficients were estimated using an exact equation of phase and polarization angles of seismic waves, and then fracture parameters were calculated using anisotropy parameters and improved analytical equations. The results showed that the studied area is anisotropic with an orthorhombic symmetry system in which fracture density is high while the fluid content is insignificant.

Keywords: Walkaway vertical seismic profiling, seismic anisotropy, anisotropy parameters, fracture parameters, fracture density, fluid content.

۱ مقدمه

شکستگی‌ها ناپیوستگی‌های صفحه‌ای بزرگ مقیاسی می‌باشند که طبیعی و یا القا شده هستند. شکستگی‌های طبیعی ناپیوستگی‌های مکانیکی هستند که به علت شکست میدان تنش در مقیاس‌های بزرگ ایجاد شده‌اند. مجموعه‌ای از ناپیوستگی‌ها مثل شکستگی‌های هیدرولیکی و مکانیکی خصوصیت سنگ‌ها را کنترل می‌کنند. بنابراین توصیف شکستگی‌ها

در تولید و بازیابی هیدروکربن از مخازن شکافدار دارای اهمیت بهسزایی می‌باشد (اندرسون، ۲۰۱۷). جهت‌گیری غالب شکستگی‌ها در مخازن شکافدار نقش مهمی را در برنامه‌ریزی توسعه مخازن و مکان‌یابی چاههای میدان ایفا می‌کند. اغلب ویژگی‌های شکستگی‌های کوچک‌مقیاس از داده‌های چانگاری و شکستگی‌های بزرگ‌مقیاس و گسل‌ها از لرزه‌نگاری‌های سطحی حاصل می‌شود. با این وجود داده‌های حاصل از پروفیل زنی قائم لرزه‌ای با منبع متحرک اطلاعات دقیقی را درباره شکستگی‌های متوسط مقیاس در اختیار قرار می‌دهد (لیو و مارتینز، ۲۰۱۲).

اثرات شکستگی‌ها یا ناهمسانگردی‌ها روی سرعت امواج لرزه‌ای با استفاده از نمودارهای صوتی درون‌چاهی و مطالعات آزمایشگاهی مطالعه شده است. مطالعه‌ی ناهمسانگردی سرعت امواج لرزه‌ای از روش‌های دقیق برای شناسایی شکستگی‌ها می‌باشد. بنابراین، مطالعه‌ی شکستگی‌های متوسط مقیاس با استفاده از داده‌های لرزه‌ای درون‌چاهی منجر به توصیف هرچه واضح‌تر شکستگی‌ها می‌شود. اسچنبرگ و سیر (۱۹۹۵) برای نخستین بار استخراج پارامترهای شکستگی را از داده‌های لرزه‌ای مطالعه کردند. آن‌ها تئوری لغزش خطی را معرفی کردند که شامل تغییر شکل امواج لرزه‌ای در حین عبور از صفحات ضعف می‌باشد. اطلاعات قابل استخراج شکستگی‌ها از داده‌های لرزه‌ای شامل جهت‌گیری غالب شکستگی‌ها و تانسور تنش مربوط به شکستگی‌ها می‌باشد (اسچنبرگ و سیر، ۱۹۹۵). باکولین و گرچکا (۲۰۰۰) تخمین پارامترهای شکستگی‌ها از داده‌های لرزه‌نگاری سطحی را مطالعه و آن را بر اساس نوع سیستم ناهمسانگردی محیط در سه بخش ارائه کردند. آن‌ها وابستگی اثرات امواج لرزه‌ای روی خصوصیات فیزیکی شکستگی‌ها را مطالعه کردند و الگوریتمی را برای تخمین پارامترهای ناهمسانگردی ارائه دادند (باکولین و همکاران، ۲۰۰۰). تئوری آن‌ها وابسته به سیستم تقارن ناهمسانگردی محیط است که باید پیش از محاسبه‌ی پارامترهای شکستگی حاصل شود. آن‌ها برای محاسبه‌ی اختلاف پارامترهای ناهمسانگردی در جهات مختلف استفاده از تحلیل AVO و بیضوی NMO را پیشنهاد دادند (باکولین و همکاران، ۲۰۰۰).

در این مطالعه از داده‌های دو خط برداشت لرزه‌ای (M و N) استفاده شده که به صورت متقاطع حول یکی از چاههای برداشت شده‌اند. ابتدا پارامترهای ناهمسانگردی محیط بدون هیچ پیش‌فرضی و با استفاده از رابطه‌ی مطلق زوایای فازی و قطبش امواج P حین عبور از محیط ناهمسانگرد حاصل شد و با توجه به نوع محیط ناهمسانگرد پارامترهای شکستگی با روابط ارائه شده باکولین برای محیط مورد مطالعه حاصل شدند. با تحلیل این پارامترها جهت‌گیری غالب شکستگی‌ها، چگالی شکستگی‌ها و محتويات سیال آن‌ها نیز تخمین زده شدند.

۲ روش تحقیق

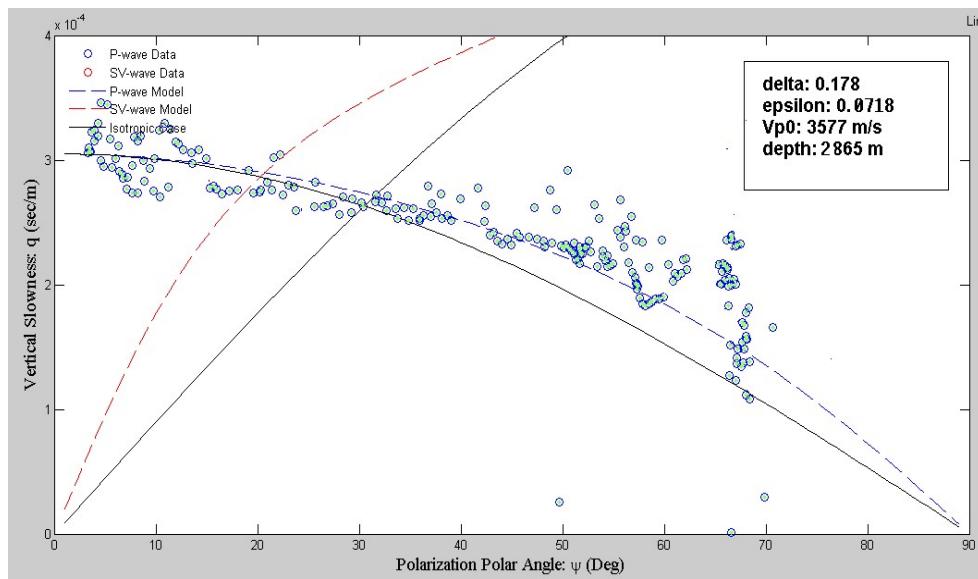
وقتی که امواج لرزه‌ای از یک محیط همسانگرد عبور می‌کنند، تنش و کرنش حاصل از موج لرزه‌ای توسط مدول یانگ مرتبط می‌شوند که این مدول به دو پارامتر الاستیک (λ و μ) وابسته می‌باشد (تساوانکین، ۲۰۱۲).

اگر محیط انتشار موج ناهمسانگرد باشد تعداد بیشتری از پارامترها باید حاصل شوند. اسچنبرگ (۱۹۹۵) شکستگی‌ها را به عنوان صفحات ضعف در نظر گرفت و تئوری لغزش خطی را معرفی کرد. وی ماتریس جدیدی را برای شکستگی‌ها معرفی کرد که آرایه‌های آن عکس تانسور سختی می‌باشند و بیان کرد که جمع ماتریس مربوط به شکستگی‌ها و سنگ بکر منجر به توصیف کامل سنگ شکافدار می‌شود (اسچنبرگ و سیر، ۱۹۹۵). با تعریف پارامترهای شکستگی‌ها، تعداد ثابت مورد نیاز برای تعریف یک سیستم ناهمسانگرد تقلیل یافت. این پارامترها شامل Δ_v , Δ_N و Δ_H می‌باشند که به صورت ضعف‌های عمودی مماسی، نرمال و افقی مماسی بدون بعد شکستگی‌ها قابل تعریف می‌باشند. برای محاسبه‌ی این سه پارامتر ابتدا باید پارامترهای ناهمسانگردی را به دست آورد.

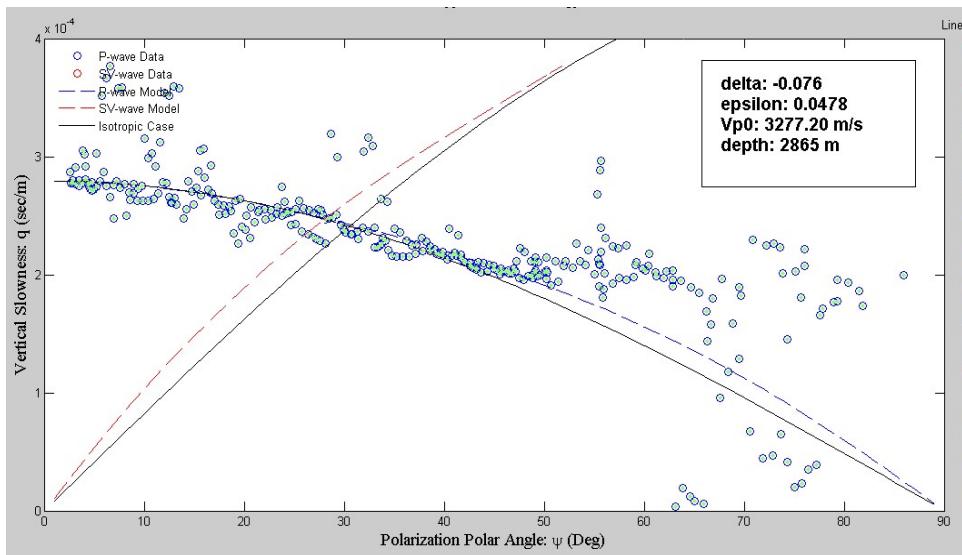
به منظور تخمین پارامترهای ناهمسانگردی در این مطالعه از رابطه‌ی گرچکا و متیووا (۲۰۰۷) استفاده شده که در آن محیط ناهمسانگرد مطلق در نظر گرفته می‌شود. آن‌ها با در نظر گرفتن بردارهای کنندی و قطبش در صفحه‌ی عمودی به معادله‌ی زیر رسیدند:

$$(c_{11} - c_{55}) \tan^2 \theta + 2(c_{13} + c_{55}) \cot 2\psi \tan \theta - (c_{33} - c_{55}) = 0 \quad (1)$$

که در آن ψ زاویه‌ی قطبیش و θ زاویه‌ی فاز و c آرایه‌های تانسور سختی هستند. از این معادله زاویه‌ی فازی حاصل می‌شود و از طریق مقایسه آرایه‌های تانسور سختی داده‌های واقعی و مدل پارامترهای ناهمسانگردی حاصل می‌شوند. اشکال ۱ و ۲ تخمین پارامترهای ناهمسانگردی را با استفاده از رابطه‌ی توسعه یافته گرچکا و متییوا (۲۰۰۷) نشان می‌دهند (گرچکا و متییوا، ۲۰۰۷).



شکل ۱: تخمین ضرایب ناهمسانگردی برای خط برداشت M



شکل ۲: تخمین ضرایب ناهمسانگردی برای خط برداشت N

همان‌طور که در اشکال بالا نشان داده می‌شود هردو پارامتر ناهمسانگردی در دو جهت تفاوت دارند. بنابراین چهار پارامتر ناهمسانگردی مختلف حاصل می‌شود که برای تعیین پارامترهای شکستگی‌ها از آن‌ها استفاده می‌شود. سرعت عمودی موج P در جهت خط برداشت M بزرگ‌تر است که نشان می‌دهد جهت‌گیری غالب شکستگی‌ها در این راستا می‌باشد. بنابراین محیط مورد مطالعه ناهمسانگرد راست‌لوزی است و پارامترهای شکستگی‌ها با توجه به روابط موجود برای محیط راست‌لوزی محاسبه می‌شوند.

تخمین پارامترهای ناهمسانگردی در محیط راستلوزی با وجود یک دسته شکستگی در جهت یکی از خطوط برداشت (M) ازروابط زیر حاصل می‌شود:

$$\varepsilon^{(2)} - \varepsilon^{(1)} = -2g(1-g)\Delta_N \quad (2)$$

$$\delta^{(2)} - \delta^{(1)} = -2g[(1-2g)\Delta_N + \Delta_V] \quad (3)$$

$$\gamma^{(2)} - \gamma^{(1)} = -\frac{\Delta_V}{2} \quad (4)$$

$$\eta^{(2)} - \eta^{(1)} = 2g[\Delta_V - g\Delta_N] \quad (5)$$

پارامتر g مطابق رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$g \equiv \frac{\mu}{\lambda + 2\mu} = \frac{V_S^2}{V_p^2} \quad (6)$$

با در دسترس بودن نگار DSI پارامتر g در عمق مورد مطالعه تقریباً $0/327$ می‌باشد. اگر جهت خط برداشت M (۱) و خط برداشت N (۲) در نظر گرفته شود پارامترهای شکستگی مماسی (Δ_v) و عمودی (Δ_N) به ترتیب $0/352$ و $0/054$ حاصل می‌شوند. از آنجایی که هیچ بازتابنده‌ی شبیداری وجود ندارد می‌توان فرض کرد که شکستگی‌ها با چرخش تغییری نمی‌کنند ($\Delta_v = \Delta_H$) و در نتیجه تنها یک ضریب ضعف مماسی حاصل می‌شود. تطابق نتایج حاصل از ضرایب ناهمسانگردی و نوع محیط ناهمسانگرد حاکی از دقیق بودن رابطه‌ی مورد استفاده در تخمین پارامترها برای ناهمسانگردی‌های متوسط مقیاس است. بنابراین از پارامترهای حاصل می‌توان برای توصیف شکستگی‌ها استفاده کرد. از آنجا که هر پارامتر ناهمسانگردی بین صفر و یک متغیر است، در محیط مورد بررسی چگالی شکستگی‌ها قابل ملاحظه می‌باشد. پایین بودن شاخص محتويات سیال نشان می‌دهد که در محدوده مورد مطالعه محتويات سیال شکستگی‌ها بسیار محدود و قابل صرف نظر کردن می‌باشد. این نتیجه بیشتر بودن سرعت موج P را در جهت خط برداشت M تایید می‌کند. با این همه اگر در محدوده مورد بررسی امواج برشی در دسترس باشند نتایج دقیق‌تری قابل حصول هستند.

۳ نتیجه‌گیری

استفاده از رابطه‌ی مطلق زاویه‌ی فازی و مطلق امواج لرزه‌ای حین عبور از محیط ناهمسانگرد به تخمین پارامترهای ناهمسانگردی و همچنین سرعت عمودی امواج P منجر شد. تعیین این پارامترها نه تنها سیستم تقارن ناهمسانگردی را مشخص می‌کند بلکه ثابت‌های ناهمسانگردی دقیقی را برای محاسبه‌ی پارامترهای شکستگی‌ها ایجاد می‌کند. نتایج حاکی از آن بود که محیط مورد مطالعه ناهمسانگرد با سیستم تقارن راستلوزی است که در این محیط یک دسته شکستگی عمود بر لایه‌بندی وجود دارد. مقادیر پارامترهای شکستگی حاصل نشان می‌دهند که چگالی شکستگی‌ها بالاست در حالی که محتويات سیال شکستگی‌ها ناچیز است. بنابراین می‌توان استنباط کرد که در ناحیه‌ی مورد مطالعه از شکستگی‌ها تولید قابل ملاحظه‌ای صورت نمی‌گیرد.

منابع

- Anderson, T. L., 2017, Fracture mechanics: fundamentals and applications. CRC press.
- Bakulin, A., Grechka, V. and Tsvankin, I., 2000, Estimation of fracture parameters from reflection seismic data — Part II : Fractured models with orthorhombic symmetry, **65(6)**, pp. 1803–1817.
- Bakulin, A., Grechka, V. and Tsvankin, I., 2000, Estimation of fracture parameters of orthorhomic media from reflection seismic data, 62nd Mtg., **65(6)**, p. Session:C0003.
- Grechka, V. and Mateeva, A., 2007, Inversion of P-wave VSP data for local anisotropy: Theory and case study', *Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, **72(4)**, pp. D69–D79.
- Liu, E. and Martinez, A., 2012, Seismic Fracture Characterization Concepts and Practical Applications.
- Schoenberg, M. and Sayers, C. M., 1995, Seismic anisotropy of fractured rock, **60(1)**, pp. 204–211.
- Tsvankin, I., 2012, Seismic Signatures and Analysis of Reflection Data in Anisotropic Media, Third Edition. doi: 10.1190/1.9781560803003.