تخمین پارامترهای ناهمسانگردی سنگ مخزن با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری درون‌چاهی

مهتاب رشیدی فرد[۱]، علی مرادزاده[۲*]، محمدعلی ریاحی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، m.rashidifard@ut.ac.ir
[۲*]استاد، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران a_moradzadeh@ut.ac.ir
[۳]استاد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران mariahi@ut.ac.ir

چکیده

در لرزه‌نگاری‌های سطحی پس از پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای حاصل، تصویر دقیقی از زیر سطح به دست می‌آید که می‌توان از روی آن برخی ناپیوستگی‌ها را به دست آورد، اما ناهمسانگردی‌های سنگ‌های مخازن همواره از طریق لرزه‌نگاری‌های سطحی بدست نمی‌آیند بلکه در بسیاری از موارد عملیات لرزه‌نگاری درون‌چاهی برای افزایش وضوح مقاطع لرزه‌ای به‌منظور تشخیص هرچه بهتر ناهمسانگردی‌ها ضروری می‌باشند. با توجه به داده‌های VSP در دسترس و برتری روش کندی – قطبش در حضور لایه‌های ناهمگن، در این پژوهش از روش فوق برای وارون سازی داده‌های لرزه‌ای استفاده‌شده است. در این روش با حصول پارامترهای کندی و قطبش از داده‌ها و به‌کارگیری معادلات آشفتگی مدل کندی حاصل شد و از روابط بین کندی و قطبش پارامترهای ناهمسانگردی برای محیط مورد مطالعه به دست آمدند، که نتایج حاکی از وجود ناهمسانگردی در ناحیه‌ی مورد بررسی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: لرزه‌نگاری، لرزه‌نگاری درون‌چاهی، ناهمسانگردی ، پارامترهای ناهمسانگردی، وارون سازی، روش کندی – قطبش.

Estimation of Anisotropy Parameters of Reservoir Rock Using Vertical Seismic Profiling

Mahtab Rashidi fard[1], Ali Moradzadeh[2]*, Mohammad Ali Riahi[3]

[1]*MSc student in Petroleum Engineering, College of Eng., University of Tehran, m.rashidifard@ut.ac.ir*
[2] *Professor, School of Mining, College of Engineering, University of Tehran, a_moradzadeh@ut.ac.ir*
[3] *Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, mariahi@ut.ac.ir*

Abstract

During surface seismic methods a precise image of subsurface is achieved after processing and interpreting seismic data. While some discontinuities are detectable by surface seismic methods, other discontinuities in smaller scales require vertical seismic profiling (VSP) to be implemented in order to increase the resolution of seismic profiles. Due to the seismic dataset and the predominance of slowness-polarization method in a media with nonhomogeneous layers, in this study the slowness-polarization method has been used to reverse the seismic data. In this method anisotropy parameters are determined by calculating slowness and polarization parameters and substituting in perturbation equations. And the results indicated that the studied area is anisotropic.

Keywords: seismic, vertical seismic profiling, anisotropy parameters, inversion, slowness-polarization method.

۱ مقدمه

ناهمسانگردی که بیش از یک قرن است به علم لرزه‌نگاری راه‌یافته است، از دیرباز به‌عنوان یک پیچیدگی ناخواسته موجود در داده‌های لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شد. پروفیل زنی قائم لرزه‌ای (VSP) نسبت به سایر روش‌های لرزه‌ای تخمین‌های دقیق‌تری را از ناهمسانگردی‌های محلی (اطراف چاه) ایجاد می‌کند که دقت این تخمین‌ها نه‌تنها وابسته به پراکندگی داده‌هاست بلکه به بزرگی تغییرات سرعت جانبی در روباره نیز بستگی دارد. هرچه پوشانندگی زاویه‌ای داده‌های داخل گمانه بیشتر باشد، عملیات وارون سازی VSP موفق‌تر خواهد شد (تمیمی و ساوانکین، ۲۰۱۵). روش‌های مطالعه‌ی ناهمسانگردی داده‌های حاصل از عملیات VSP به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: ۱- روش‌هایی که تنها از پارامترهای کندی استفاده می‌کنند و ۲- روش‌هایی که از پارامترهای کندی و قطبش به همراه هم استفاده می‌کنند و کاربردهای هر روش به میزان پیچیدگی روباره بستگی دارد (اصغرزاده، ۲۰۱۳). برای محیط‌های با روباره‌ی ناهمگن اغلب روش کندی – قطبش برای تخمین پارامترهای ناهمسانگردی به‌کاربرده می‌شود. این روش نخستین بار توسط وایت (۱۹۸۳) ارائه شد (وایت و موناش، ۱۹۸۳) و بعدها توسط پارسکائو (۱۹۹۱) توسعه یافت. در این روش ناهمسانگردی از طریق بردارهای کندی و جهات قطبش امواج شبه طولی و شبه عرضی تخمین زده می‌شود (هورن و لینی، ۲۰۰۰). ژئوفون‌های سه مؤلفه‌ای برای ثبت امواج برشی در برخوردهای زاویه‌دار و هم‌چنین چرخش از نوع آلفورد برای جدایش امواج برشی آهسته و سریع لازم است (دلینگر، نولته و همکاران، ۲۰۰۱). علاوه بر زمان‌های عبور امواج S_1 و S_2 چرخش آلفورد منجر به حصول بردارهای قطبش امواج برشی خواهد شد. ازآنجاکه قطبش در محل ژئوفون‌ها اندازه‌گیری می‌شود این پارامتر برای حصول پارامترهای ناهمسانگردی قابل‌استفاده است. تخمین تمامی مقادیر موردنیاز برای توصیف مخزن توسط لرزه‌نگاری سطحی غیرممکن است بنابراین استفاده از داده‌های VSP با منبع متحرک ضروری به نظر می‌رسد (دوانگان و گرچکا، ۲۰۰۳). در این مطالعه ابتدا با فرض ناهمسانگردی ضعیف برای محیط و با به‌کارگیری روابط تقریبی حاصل بین کندی و قطبش که با استفاده از تئوری آشفتگی مرتبه‌ی اول حاصل‌شده‌اند با توجه به این‌که تنها داده‌های موج P در دسترس بودند، پارامترهای ناهمسانگردی تامسون و سرعت عمودی موج P حاصل‌شده‌اند.

۲ روش تحقیق

بردار کندی امواج لرزه‌ای منتشرشده از طریق رابطه‌ی زیر محاسبه شد (که در این رابطه t زمان و x بردار جابه‌جایی می‌باشد):

$$\mathrm{P_i^{(p)}} = \frac{\partial \mathrm{t^{(P)}}}{\partial \mathrm{x_i}} \qquad (۱)$$

برای حصول پارامتر قطبش نیز از معادله‌ی کریستوفل استفاده می‌شود:

$$[\mathrm{G_{ik}} - \rho \mathrm{V^2}\delta_{\mathrm{ik}}]\mathrm{U_k} = 0 \qquad (۲)$$

در این رابطه V سرعت فازی، δ دلتای کرونکر، U بردار قطبش و ماتریس G به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathrm{G_{ik}} = \mathrm{c_{ijkl}}\mathrm{n_j}\mathrm{n_l} \qquad (۳)$$

n در این رابطه بردار واحد کندی است. لذا بنابر مطالعات تامسون در سال ۱۹۸۶ پارامترهای ناهمسانگردی برای مطالعه‌ی محیط ناهمسانگرد ضعیف معرفی شدند که با معرفی آن‌ها سرعت‌های فازی امواج لرزه‌ای و در نتیجه ناهمسانگردی لرزه‌ای قابل تعریف می‌باشد. گرچکا و متیوا (۲۰۰۷) با معرفی پارامترهای ناهمسانگردی جدید و با به‌کارگیری تئوری آشفتگی مرتبه‌ی اول به رابطه‌ی تقریبی بین کندی و قطبش موج P رسیدند (گرچکا، متیوا و همکاران، ۲۰۰۷):

$$q_p(\psi) \approx \frac{\cos\psi}{V_{P0}}[1 + \delta_{VSP}\sin^2\psi + \eta_{VSP}\sin^4\psi] \qquad (۴)$$

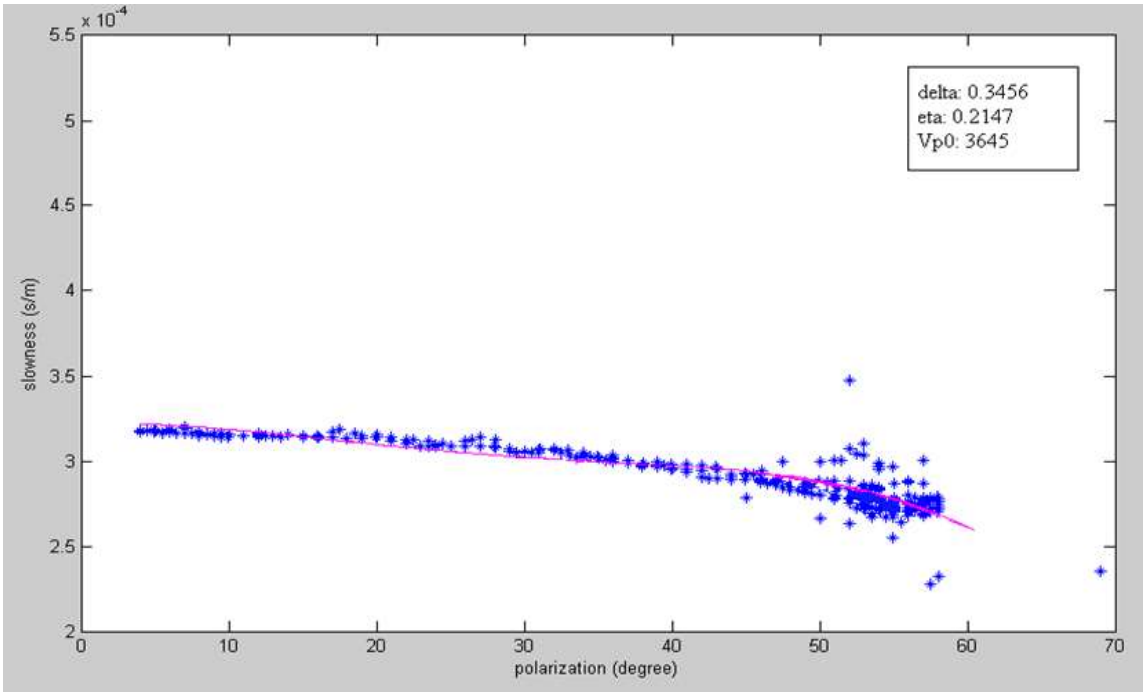
که در آن:

$$\delta_{VSP} = (f_o - 1)\delta \qquad (۵)$$

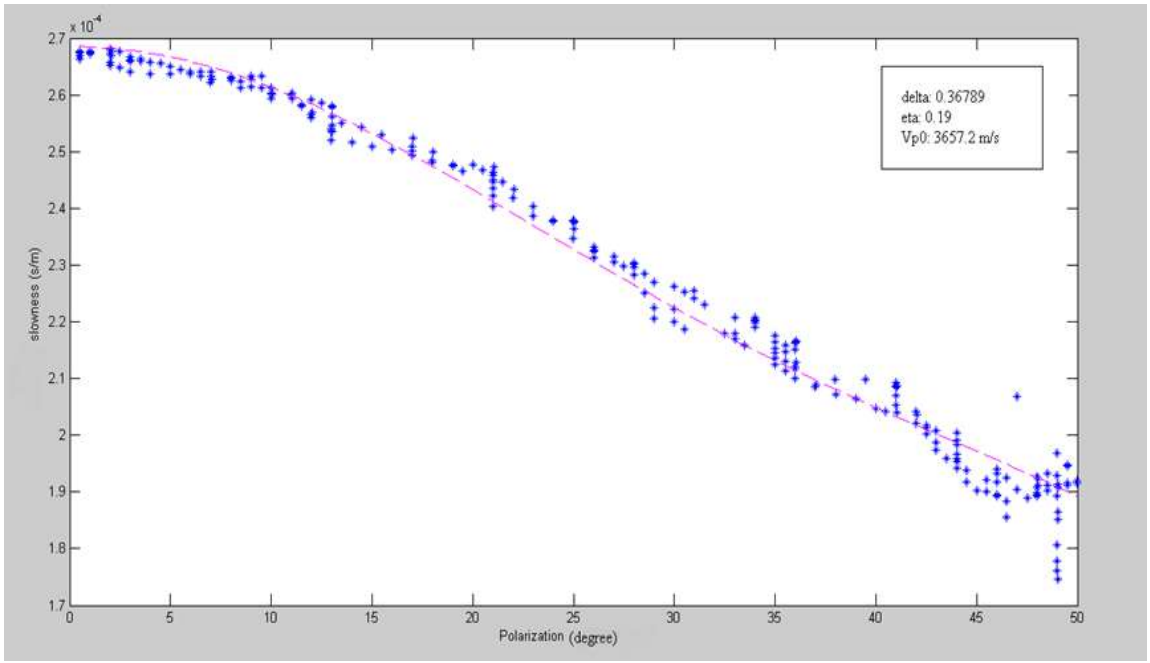
$$\eta_{VSP} = (2f_o - 1)\eta \qquad (۶)$$

$$f_o = \frac{1}{1 - \frac{V_{S0}^2}{V_{P0}^2}} \qquad (۷)$$

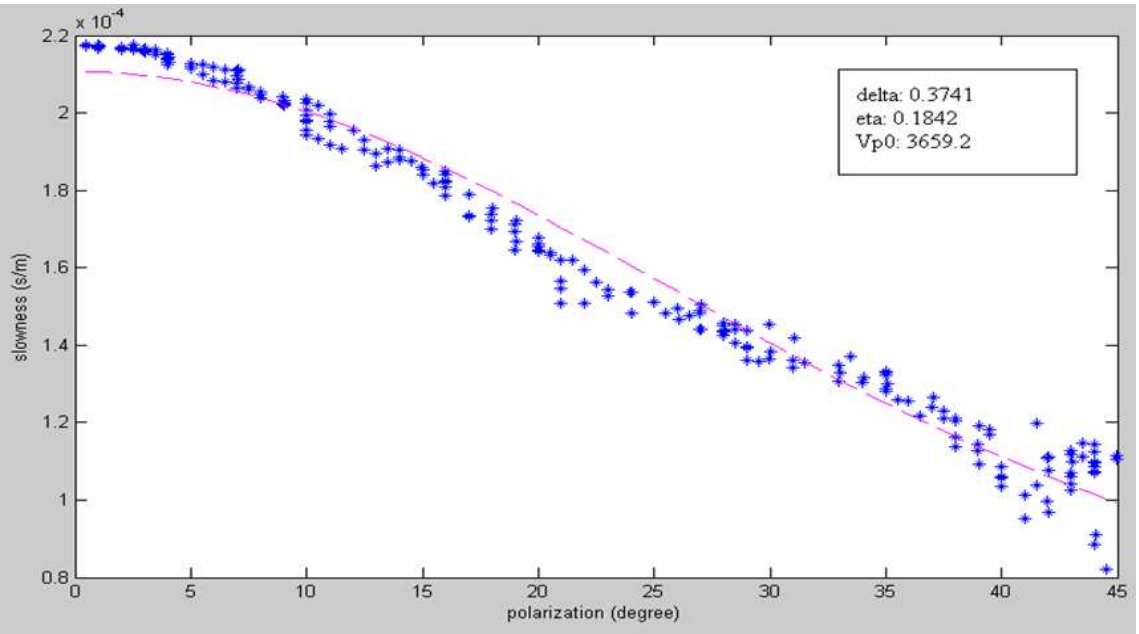
در این بخش با استفاده از رابطه‌ی (۴) و مقایسه‌ی مقدار کندی حاصل از رابطه و کندی واقعی پارامترهای ناهمسانگردی حاصل شدند که در کنار آن‌ها سرعت عمودی موج P نیز محاسبه شد. در ادامه نتایج حاصل برای سه گروه از ژئوفون‌ها در سه عمق متفاوت در یک خط برداشت لرزه‌ای و پارامترهای ناهمسانگردی حاصله در اشکال ۱ تا ۳ نشان داده‌شده‌اند.



شکل ۱. پارامترهای ناهمسانگردی و سرعت عمودی موج P (عمق ۲۸۵۰)



شکل ۲. پارامترهای ناهمسانگردی و سرعت عمودی موج P (عمق۲۸۶۵)



شکل ۳. پارامترهای ناهمسانگردی و سرعت عمودی موج P (عمق ۲۸۸۰)

۳ نتیجه‌گیری

با توجه به محدودیت امواج تولیدی (نبود امواج برشی) در برداشت‌ها و همچنین محدودیت تعداد گیرنده‌های درون‌چاهی پارامترهای ناهمسانگردی (ε و η) به‌صورت میانگین برای محدوده‌ی بررسی حاصل شد. پارامترهای ناهمسانگردی محیط مورد مطالعه با استفاده از روش کندی – قطبش غیر صفر حاصل شدند که حاکی از ناهمسانگرد بودن سنگ مخزن در عمق مورد مطالعه می‌باشد. پارامتر δ حرکات نزدیک به عمود و پارامتر η حرکات نزدیک به افق را کنترل کرده و اختلاف آن‌ها به نوعی اخلاف سرعت امواج لرزه‌ای و ناهمسانگردی لرزه‌ای را در سنگ مخزن نشان می‌دهد.

منابع

Asgharzadeh, M. Bóna, A. Pevzner, R and Urosevic, M., 2013, Reliability of the slowness and slowness-polarization methods for anisotropy estimation in VTI media from 3C walkaway VSP data, *Geophysics*, **78(5)**, p. WC93-WC102.

Dellinger, J. A., Nolte, B. and Etgen, J. T., 2001, Alford rotation, ray theory, and crossed-dipole geometry, *Geophysics*. Society of Exploration Geophysicists, **66(2)**, pp. 637–647.

Dewangan, P. and Grechka, V., 2003, Inversion of multicomponent, multiazimuth, walkaway VSP data for the stiffness tensor, *Geophysics*, **68(3)**, pp. 1022–1031.

Grechka, V. Mateeva, A. Gentry, C. Jorgensen, P and Lopez, J., 2007, Estimation of seismic anisotropy from P-wave VSP data, *The Leading Edge*. Society of Exploration Geophysicists, **26(6)**, pp. 756–759.

Horne, S. and Leaney, S., 2000, Short note: Polarization and slowness component inversion for TI anisotropy, *Geophysical Prospecting*, **48(4)**, pp. 779–788.

Tamimi. N, Tsvankin. I, D. L., 2015, Estimation of VTI Parameters using Slowness-Polarization Inversion of P- and SV-Waves, pp. 455–474.

White, J. E., Martineau-Nicoletis, L. and Monash, C., 1983, Measured anisotropy in Pierre shale, *Geophysical Prospecting*, **31(5)**, pp. 709–725.