

مدل‌سازی لرزه‌ای محیط‌های همسانگرد صوتی و صوتی گرانبرو در حیطه tau-p

ملیحه سادات کاظمی^۱، محمد کمال قاسم‌العسکری^۲ و عبدالرحیم جواهریان^{۳*}

^۱عضو هیأت علمی، دانشکده دکتر شریعتی، تهران، ایران
^۲استادیار، دانشگاه صنعت نفت، دانشکده مهندسی نفت اهواز، اهواز، ایران
^۳استاد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران

mskazemi18@gmail.com, ghassemal@gmail.com, javaheri@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۴/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۶/۲۵)

چکیده

امواج صوتی که در محیط‌های گازی و یا سیال‌های گرانبرو کاملاً میرا نیستند در مقایسه با امواج کشسان حساسیت بیشتری دارند. بدان معنا که حساسیت و قدرت آشکارسازی امواج صوتی نسبت به امواج کشسان در اینگونه محیط‌ها بیشتر است. از طرف دیگر توصیف مخازن هیدروکربوری با روش‌های پردازش داده‌های لرزه‌ای و وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای براساس معادله‌های امواج صوتی استوار است. در این تحقیق به تحلیل داده‌های لرزه‌ای و مدل‌سازی محیط‌های متفاوت برای دو چاه در یکی از میدان‌های جنوب ایران و ناحیه مخزنی آن پرداخته شده است. سپس مدل‌ها با زمان بازتابی و تغییرات دامنه امواج لرزه‌ای قائم VSP در حیطه tau-p مقایسه شده‌اند تا تاثیر ناحیه گازی روی داده‌های لرزه‌ای بهتر مشخص شود. با این روش مشخص شده است که ناحیه گازی می‌تواند تاثیر زیادی روی امواج صوتی بگذارد. ضمناً روشن شده است که امواج صوتی گرانبرو در ناحیه گازی مخزن تطابق بهتری با داده‌ها دارند.

واژه‌های کلیدی: امواج صوتی، داده‌های VSP، محیط‌های گرانبرو، مدل‌سازی در حیطه tau-p

Seismic modeling in acoustic and viscoacoustic isotropic media in the tau-p domain

Malihe Sadat Kazemi¹, Mohammad Kamal Ghassem Alaskari² and Abdolrahim Javaherian^{3*}

¹Dr. Shariaty College, Tehran, Iran

²Department of Petroleum Engineering, Petroleum University of Technology, Ahwaz, Iran

³Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 08 July 2008, accepted: 16 September 2009)

Summary

Acoustic waves propagated in gas and lossy media are less attenuated and more reliable than elastic waves. Accordingly, the detection and measurement of acoustic waves are more precise than for elastic waves. Consequently, reservoir characterization using processing techniques and seismic data inversion are based on propagations of acoustic waves. The wave field in acoustic media is described by a scalar quantity rather than by a vector. The tau-p transformations in the near field for the acoustic and elastic wave

*Corresponding author:

javaheri@ut.ac.ir

*نگارنده رابط:

equations are similar, as they both yield the eikonal equation in isotropic media. The reflection and transmission behaviors of waves, however, differ considerably in each of the two media. In acoustic media, all P-wave energy is conserved and as a result it can be used for near offset tau-p modeling.

Fryer (1980) developed a reflection method for modeling the VSP data in tau-p domain. The main idea of using tau-p domain is to investigate the amplitude variations as a function of near offset, changes of phase, estimation of attenuation factor ($1/Q$) and separation of primary multiples. Laboratory measurements and well log data have shown that the Q factor depends on the type of media and also the percentage of saturation. Therefore, Q is a very strong factor for characterization of reservoir gas zones. Due to its sensitivity, this factor is used in our two different modeling programs.

In this study, the VSP modeling was used in the t-x and the tau-p domains. One of the most important parameters in this modeling is the velocity model. To generate the velocity model and synthetic seismograms, a computer program was developed in t-x and tau-p domains. Then, for two exploration wells, the VSP models were compared using real data. Based on the above algorithm, a software package was developed using a finite difference method in the tau-p domain. The slowness-time reflectivity method was used to calculate tau-p synthetic seismograms with the inclusion of the attenuation factor ($1/Q$) in lossy media. For large acoustic impedance contrasts, the attenuation factor occurs as an amplitude decay and phase rotation for some range of high frequencies. First, the upcoming and downgoing VSP synthetic data for side locations along each well were modeled and compared with the VSP real data. Second, the normal incident seismic sections based on well logs were compared with the tau-p sections derived from the acoustic and viscoacoustic media. The VSP data and seismic modeling techniques were used for the detection of gas zones in two wells in one of the south Iranian reservoir. The models of traveltimes and amplitude changes of VSP data in the tau-p and in the t-x domains proved to be effective techniques for detection of gas zones from the VSP seismic data. Using this technique, gas zones in the reservoir can be very reliably detected using acoustic waves. The aforementioned procedure were applied in verification of different media.

A comparison of the VSP data generated in the tau-p and the t-x procedures can yield valuable results. Results show that modeling in the tau-p domain using a localized slant stack is faster and more reliable than are conventional methods. Additionally, wave energy characteristics and amplitude changes of seismic waves in two different acoustic and viscoacoustic media were investigated using a 2D acoustic wave algorithm in lossy media. By using acoustic, viscoacoustic and anisotropic models in the tau-p domain and comparing them with normal reflections and VSP data, one can detect saturated gas zones. The synthetic VSP in the tau-p domain definitely helped to verify changes in amplitudes and phases in two VSP well data sets investigated here. Using this technique, it was found that reservoir gas zone can be reliably detected by acoustic waves. Furthermore, it was established that these waves can be used for better comparison with real VSP data in the reservoir gas zones.

Key words: Acoustic waves, VSP data, lossy media, tau-p modeling

۱ مقدمه

کشسان، امواجی مکانیکی هستند که ذرات و یا مولکول‌های محیط را با تغییر شکل بسیار کم (در محدوده قانون هوک) جابه‌جا می‌کنند و رابطه خطی بین تنش و

امواج صوتی امواجی هستند که با انتقال انرژی صوتی ذرات و یا مولکول‌های مجاور را جابه‌جا می‌کنند. امواج

۲ مبانی نظری و حل معادله‌های امواج صوتی
معادله امواج صوتی کروی در مختصات دکارتی به صورت زیر است (آکی و ریچاردز، ۱۹۸۰).

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}. \quad (1)$$

حل معادله فوق در محیط نیم‌صفحه با داشتن شرایط اولیه و مرزی به صورت زیر است:

$$U(t, x, y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \int_{-\infty}^{\infty} dp_x \int_{-\infty}^{\infty} dp_y g(\omega, p_x, p_y) \times \exp\left[-i\omega\left(t - p_x x - p_y y - qz\right)\right]. \quad (2)$$

با داشتن رابطه $(p_x^2 + p_y^2 + q^2) = c^{-2}$ و تابع توانی حل معادله موج مسطحه تعریف می‌شود. در این حالت، حل معادله فوق به صورت برهم‌نهی امواج مسطحه صورت می‌گیرد (هر مؤلفه دارای بسامد ω و پارامتر کندی P است). بنابراین با تبدیل راژن می‌توان نوشت:

$$\psi\left(\tau, P'_x, P'_y\right) = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-\infty}^{\infty} dy U\left(\tau + P'_x x + P'_y y, x, y, 0\right). \quad (3)$$

برای توجیه تبدیل راژن، مسئله به صورت وارون مطرح می‌شود که با داشتن $\psi(\tau, P'_x, P'_y)$ حل معادله موج به دست می‌آید. برای این منظور معادله (۲) در معادله (۳) جایگزین می‌شود.

$$\psi\left(\tau, P'_x, P'_y\right) = 4\pi^2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d\omega}{\omega^2} g\left(\omega, P'_x, P'_y\right) e^{-i\omega\tau}$$

کرش با مدول‌های کشسانی بیان می‌شود که از پدیده‌های فیزیکی و مکانیکی محیط تبعیت می‌کنند. بنابراین تغییرات دامنه در زمان انتشار، از معادله‌های امواج صوتی و کشسان در محیط‌های گوناگون به دست می‌آید (قاسم‌العسکری و هاشمی، ۲۰۰۵).

همچنین می‌توان نشان داد که سرعت ذره‌ای در میدان انتشار مستقیماً با گرادیان دامنه موج ارتباط دارد. لذا امواج صوتی در محیط‌های مایع و یا مایع گرانی و میرایی کمتری نسبت به امواج کشسان در محیط‌های گرانی و یا جامد متخلخل و شکاف‌دار انتشار می‌یابند. در مخازن آب‌ترشده، نفت‌ترشده و یا گازی، توصیف مخازن با روش‌های دقیق پردازش داده‌های لرزه‌ای و مدل‌سازی بر مبنای معادله موج صوتی در محیط‌های متفاوت صورت می‌گیرد.

فرییر (۱۹۸۰) با استفاده از روش بازتابی، مدل‌سازی داده‌های مصنوعی را در حیطه tau-p انجام داد. برای داده‌های VSP در حیطه tau-p مون و همکاران (۱۹۸۶) تقریب جدیدی به مسئله جدایی میدان امواج را مطرح کردند. بوئل و همکاران (۱۹۹۸) داده‌ها را در فضای p -tau با روش حداقل مربعات که با آنالیز قطبش روی یک پنجره متحرک دنبال می‌شد، تحلیل کردند. لینی (۲۰۰۲) یک روش جداسازی میدان امواج برای داده‌های VSP سه‌بعدی را گسترش داد.

در این مقاله بعضی از خصوصیات انرژی موجی و دامنه انتشار امواج لرزه‌ای در محیط‌های گوناگون، مورد بررسی قرار می‌گیرد. حل معادله موج صوتی به صورت دو و سه‌بعدی مطرح و تاثیر عوامل جذب محیطی روی امواج، فرمول‌بندی می‌شود (مارتینز و مک‌مکن ۱۹۸۷؛ ون‌دریان، ۲۰۰۴). سپس با مدل‌سازی داده‌های لرزه‌ای قائم و تهیه مقاطع زمان بازتابی به تحلیل همسانگردی در حیطه tau-p پرداخته خواهد شد.

$$S(\tau, p, z) \quad (۷)$$

$$= \int_0^{\infty} r dr \int_{-\pi}^{\pi} d\varphi U(\tau + pr \cos \varphi, r, \varphi, z).$$

با بسط رابطه (۶) در حالت تقارن محوری، معادله موج صوتی به یک معادله متناظر برای S تبدیل می‌شود. با در نظر گرفتن مختصات کارترین معادله موج صوتی، به صورت زیر نوشته می‌شود که در آن p تابعی از عمق است.

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} - \frac{d \ln \rho(z)}{dz} \frac{\partial U}{\partial z} \quad (۸)$$

$$= \frac{1}{c^2(z)} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

و در نتیجه می‌توان نوشت (بریسک و مککوان، ۱۹۸۶):

$$\frac{\partial^2 S}{\partial z^2} - \frac{d \ln \rho(z)}{dz} \frac{\partial S}{\partial z} \quad (۹)$$

$$= \left[\frac{1}{c^2(z)} - P^2 \right] \frac{\partial^2 S}{\partial \tau^2}.$$

حل این معادله در حیطه tau-p با بسط کلی روی صفحه عمود بر مؤلفه z (در جهت عمق)، به روش برانبارش مایل موضعی مشهور است (قاسم‌العسکری، ۱۳۷۳).

به این علت که مدل لایه‌بندی زمین به استناد حل معادله موج در حیطه tau-p براساس پارامتر کندی سریع‌تر صورت می‌گیرد، در اینجا به حل معادله موج صوتی در حیطه tau-p پرداخته می‌شود و جابه‌جایی موج تابشی، موج بازتابی و موج عبوری در مختصات استوانه‌ای با بسط انتگرال سمرفلد (Sommerfeld) به دست می‌آید.

$$g(\omega, P_x, P_y)$$

$$= \frac{\omega^2}{8\pi^3} \int_{-\infty}^{\infty} d\tau \Psi(t, p_x, p_y) e^{i\omega\tau}$$

(۴)

$$G(t, p_x, p_y)$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\omega g(\omega, p_x, p_y) e^{-i\omega t}.$$

در نتیجه می‌توان نوشت (چاپمن، ۱۹۸۱؛ بریسک و مککوان، ۱۹۸۶).

$$U(t, x, y, z) = \quad (۵)$$

$$2\pi \int_{-\infty}^{\infty} dp_x \int_{-\infty}^{\infty} dp_y G$$

$$\left(t - P_x x - P_y y - qz, P_x, P_y \right)$$

با انتقال معادله‌های (۳) و (۵) به مختصات استوانه‌ای با تبدیل $(x, y) = (r \cos \varphi, r \sin \varphi)$ و می‌توان نوشت $(p_x, p_y) = (p \cos \alpha, p \sin \alpha)$

نوشت:

$$\psi(\tau, p, \alpha) \quad (۶)$$

$$= \int_0^{\infty} r dr \int_{-\pi}^{\pi} d\varphi U(\tau + pr \cos(\varphi - \alpha), r, \varphi, 0).$$

بنابراین با روش تبدیل راژن این نتیجه حاصل می‌شود که برانبارش مایل از صفحه ($z=0$) شروع می‌شود و برحسب عمق ($z > 0$) می‌توان به حل معادله موج صوتی دست یافت. بسط تبدیل راژن برحسب عمق در این حالت به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$S_{trans} = \frac{2\pi i}{\omega} (c_1^{-2} - p^2)^{-1/2} C(p) e^{-i\omega\tau} \quad (15)$$

$$\times \exp \left\{ -i\omega \left[(c_1^{-2} - p^2)^{1/2} z_0 - (c_2^{-2} - p^2)^{1/2} z \right] \right\}.$$

رابطه‌های (۱۳) تا (۱۵) برای حل دقیق معادله موج مسطحه در حیطه tau-p بکار می‌روند. ضرایب $B(p)$ و $C(p)$ در رابطه‌های فوق مربوط به شرایط مرزی می‌باشند (آکی و ریچاردز، ۱۹۸۰). ضمناً ضرایب بازتابی در حیطه tau-p همان ضرایب بازتابی در حیطه (t-x) است (ضرایب زوپریتز). فازهای انتشار امواج لرزه‌ای (PP, PS) به ترتیب برای زمان انتشار به τ و برای سرعت انتشار به P تبدیل می‌شوند.

در حل معادله صوتی گرانرو رابطه بین c و Q به صورت زیر مطرح است.

$$c = \frac{\omega}{2Q \hat{K}_2(\omega)} \quad (16)$$

که تابع $\hat{K}(\omega)$ یک تابع مختلط است.

$$\hat{K}(\omega) = K_1(\omega) - jK_2(\omega)$$

۳ مدل‌سازی و مقایسه با داده‌ها

در این مقاله مدل‌سازی داده‌های VSP در دو حیطه t-x و tau-p صورت گرفته است. مزیت انتخاب حیطه tau-p برای بررسی تغییرات دامنه با دورافت، تغییرات فاز، تعیین فاکتور تضعیف از راه بررسی موج صوتی و تفکیک بازتاب‌های اولیه از چندگانه‌ها بوده است (مون و همکاران، ۱۹۸۶). به علاوه با استفاده از مزایایی همچون محاسبه تغییرات دامنه و فاز با دورافت دقت بیشتری حاصل می‌شود. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و استخراج اطلاعات از نمودارهای چاه روشن ساخته است که Q با نوع شاره و درجه اشباع شاره مرتبط است و در نتیجه پتانسیلی قوی برای توصیف مخازن گازی نیز بشمار

$$U_{inc} \quad (10)$$

$$= i\omega e^{-i\omega\tau} \int_0^\infty p' dp' (c_1^{-2} - p'^2)^{-1/2} J_0(\omega p' r)$$

$$\times \exp \left[i\omega (c_1^{-2} - p'^2)^{1/2} |z - z_0| \right].$$

$$U_{refl} = i\omega e^{-i\omega\tau} \quad (11)$$

$$\int_0^\infty B(p') p' dp' (c_1^{-2} - p'^2)^{-1/2} J_0(\omega p' r)$$

$$\times \exp \left[-i\omega (c_1^{-2} - p'^2)^{1/2} (z + z_0) \right].$$

$$U_{trans} = i\omega e^{-i\omega\tau} \quad (12)$$

$$\int_0^\infty C(p') p' dp' (c_1^{-2} - p'^2)^{-1/2} J_0(\omega p' r)$$

$$\times \exp \left\{ -i\omega \left[(c_1^{-2} - p'^2)^{1/2} z_0 - (c_2^{-2} - p'^2)^{1/2} z \right] \right\}$$

که با تبدیل راژن معادله‌های (۱۰) تا (۱۲) معادله‌های زیر در حیطه tau-p به دست می‌آیند (بریسک و مککوان، ۱۹۸۶).

$$S_{inc} = \frac{2\pi i}{\omega} (c_1^{-2} - p^2)^{-1/2} e^{-i\omega\tau} \quad (13)$$

$$\times \exp \left[i\omega (c_1^{-2} - p^2)^{1/2} |z - z_0| \right].$$

$$S_{refl} = \frac{2\pi i}{\omega} (c_1^{-2} - p^2)^{-1/2} B(p) e^{-i\omega\tau} \quad (14)$$

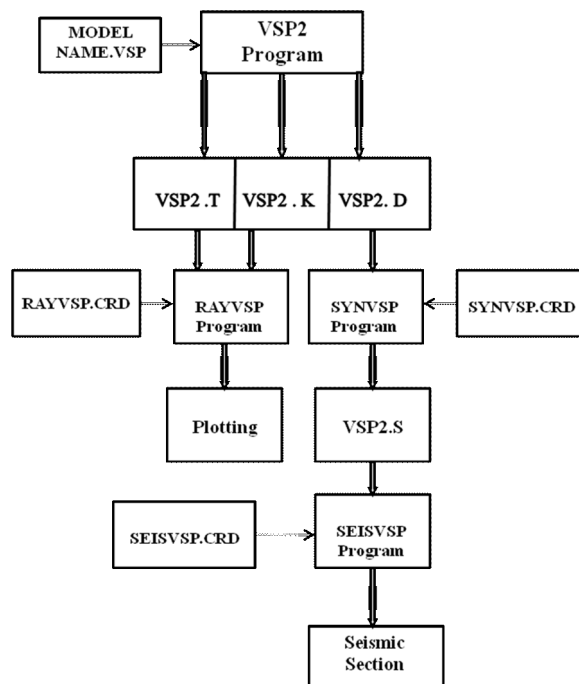
$$\times \exp \left[-i\omega (c_1^{-2} - p^2)^{1/2} (z + z_0) \right].$$

VSP برای دو چاه I و II مقایسه شده‌اند.

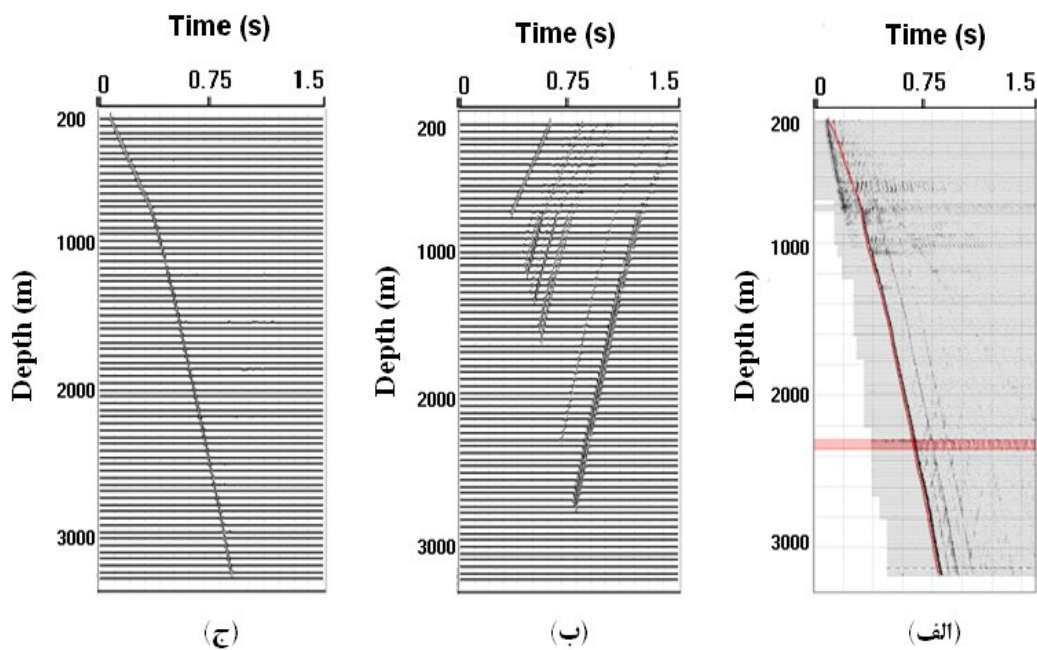
برای ساخت لرزه‌نگاشت‌ها در حیطه τ - p نیز از چند برنامه رایانه‌ای استفاده شده‌است که طرحواره آن در شکل ۴ آورده شده‌است. براساس الگوریتم مطرح شده در فوق، نرم‌افزاری نوشته شد که معادله امواج را به روش تفاضل‌های محدود حل می‌کند. برای ساخت لرزه‌نگاشت‌ها در حیطه τ - p ، ابتدا حل معادله‌های موج صوتی به روش برانبارش مایل موضعی با روش بازتابی (فریر، ۱۹۸۰) در حیطه τ - p مقایسه شده‌است. ابتدا یک مدل با پنج لایه (جدول ۱) در نظر گرفته شد. مدل‌سازی در حیطه τ - p با روش برانبارش مایل موضعی با سرعت و دقت بیشتری صورت می‌گیرد. در شکل ۵ مدل به‌دست آمده فریر (شکل ۵-الف) با مدل به‌دست آمده در این مقاله (شکل ۵-ب) مقایسه شده‌اند. نتایج به‌دست آمده در حیطه τ - p مشابهت بسیاری با یکدیگر دارند.

می‌رود (چاپرا و الکسیو، ۲۰۰۴)، این فاکتور در مقاله حاضر مورد استفاده قرار گرفته‌است.

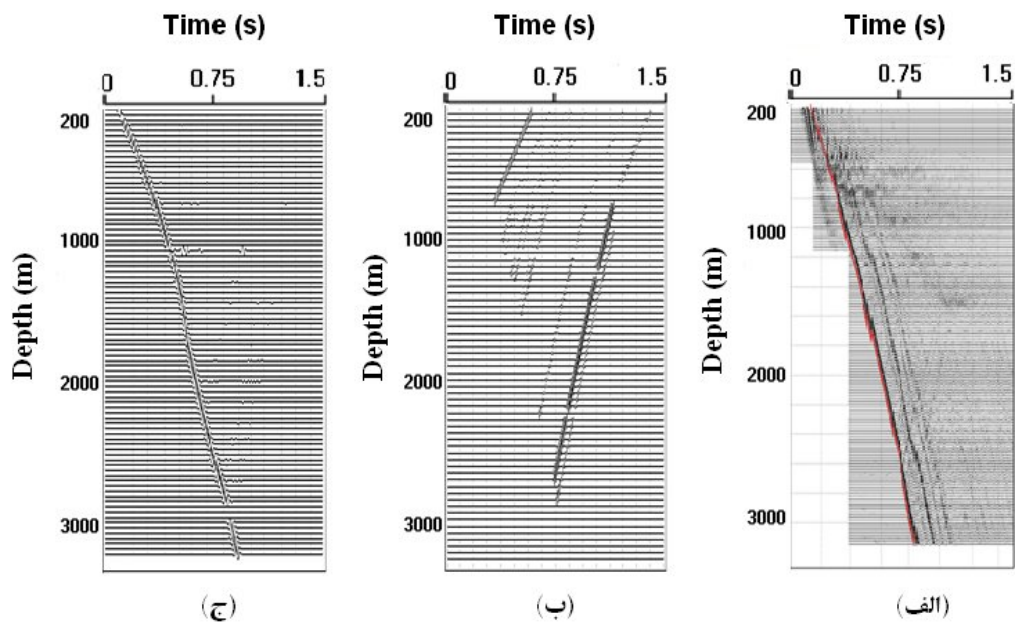
یکی از مواردی که طی مدل‌سازی صورت گرفته، برآورد سرعت‌های بین لایه‌ای است. برای ساخت لرزه‌نگاشت‌ها در حیطه t - X از چند برنامه رایانه‌ای استفاده شده‌است که طرحواره آن در شکل ۱ آورده شده‌است. هدف از مدل‌سازی در حیطه t - X برآورد مقادیر سرعت بین لایه‌ای و سپس مقایسه لرزه‌نگاشت‌های واقعی و مصنوعی است. لرزه‌نگاشت‌های VSP مصنوعی دو چاه اکتشافی محاسبه و آورده شده‌اند. در مدل‌سازی صورت گرفته، مدل‌ها، ۱۹ لایه‌ای در نظر گرفته شده‌اند. مدل‌ها در هر مورد شامل ناحیه مخزنی‌اند. لرزه‌نگاشت‌های VSP مصنوعی، با تغییر سرعت لایه‌ها به‌طور متوالی و انتخاب سرعت‌های بهینه برای هر لایه، ساخته می‌شوند. در شکل‌های ۲ و ۳ مقطع‌های لرزه‌ای VSP محاسبه شده برای امواج پایین‌رو و امواج بازتابی در مدل با داده‌های لرزه‌ای



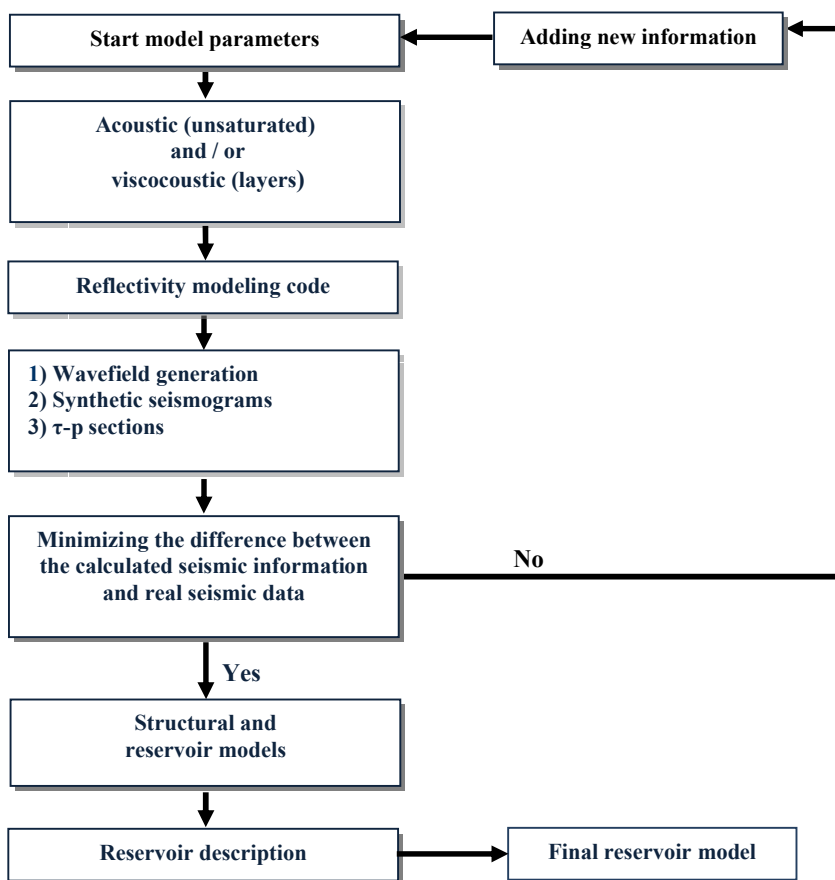
شکل ۱. طرحواره برنامه‌های مدل‌ساز VSP (یک برنامه برای ساخت مدل و سه برنامه برای ساخت و چاپ کردن لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی).



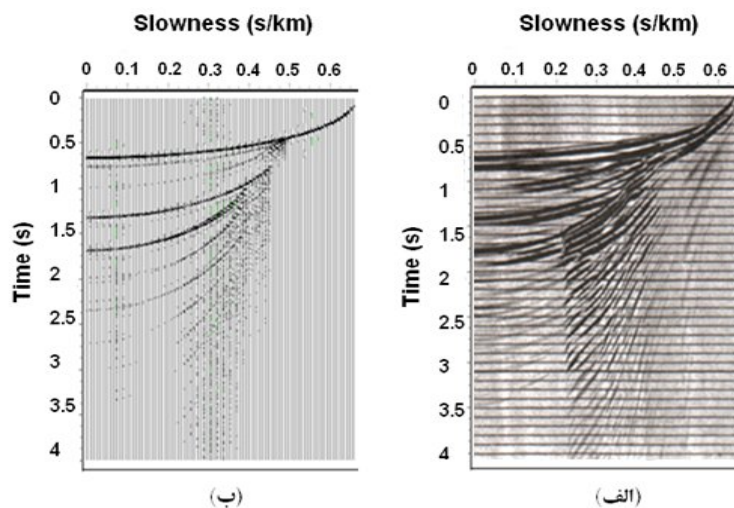
شکل ۲. همبستگی بین داده‌های لرزه‌ای VSP (بالارو و پایین‌رو) در چاه شماره I، طرحواره ساخت مدل‌ها در شکل ۱ آورده شده است: (الف) داده‌های لرزه‌ای VSP، (ب) مقایسه داده‌های لرزه‌ای VSP با مدل بالارو (upgoing) و (ج) مقایسه داده‌های لرزه‌ای با مدل پایین‌رو (downgoing).



شکل ۳. همبستگی بین داده‌های لرزه‌ای VSP (بالارو و پایین‌رو) در چاه شماره II، طرحواره ساخت مدل‌ها در شکل ۱ آورده شده است: (الف) داده‌های لرزه‌ای VSP، (ب) مقایسه داده‌های لرزه‌ای VSP با مدل بالارو (upgoing) و (ج) مقایسه داده‌های لرزه‌ای با مدل پایین‌رو (downgoing).



شکل ۴. طرحواره برنامه‌های مدل‌ساز tau-p.



شکل ۵. مقایسه یک مدل صوتی گرانرو (مدل جدول ۱): (الف) به روش بازتابی (فرییر، ۱۹۸۰) و (ب) مدل‌ساز عرضه‌شده در حیطه tau-p.

برای دو چاه اکتشافی در ناحیه گازی مقایسه شده‌اند. با توجه به زمان‌های بازتابی و تغییرات مدل‌سازی امواج لرزه‌ای قائم برای تشخیص زون‌های دامنه در حیطه tau-p، روشن شده است که گازی آغشته به سیال در ناحیه مورد بررسی، با داده‌ها، تطابق بهتری نشان می‌دهند. با این روش مشخص شده است که ناحیه گازی می‌تواند تاثیر زیادی روی امواج صوتی بگذارد. ضمناً روشن شده است که امواج صوتی گرانرو در ناحیه مخزنی تطابق بهتری با داده‌ها دارند. از طرف دیگر تغییر رفتار دامنه در این ناحیه و مقایسه اینگونه تغییرات در مقاطع لرزه‌ای VSP و حساسیت امواج صوتی به سیال گازی در منطقه را تایید می‌کند.

در این مقاله با استفاده از الگوریتم فوق، لرزه‌نگاشت‌ها در حیطه tau-p مدل‌سازی شده‌اند. برای محاسبه مدل صوتی گرانرو، مقادیر Q در زون‌های حاوی شاره، با استفاده از داده‌های VSP برآورد شد (کاظمی و همکاران، ۱۳۸۷). همچنین پس از تهیه لرزه‌نگاشت‌های VSP در حیطه t-x، مقادیر سرعت به‌دست آمده از مدل‌سازی برای ساخت لرزه‌نگاشت‌ها در حیطه tau-p استفاده شد.

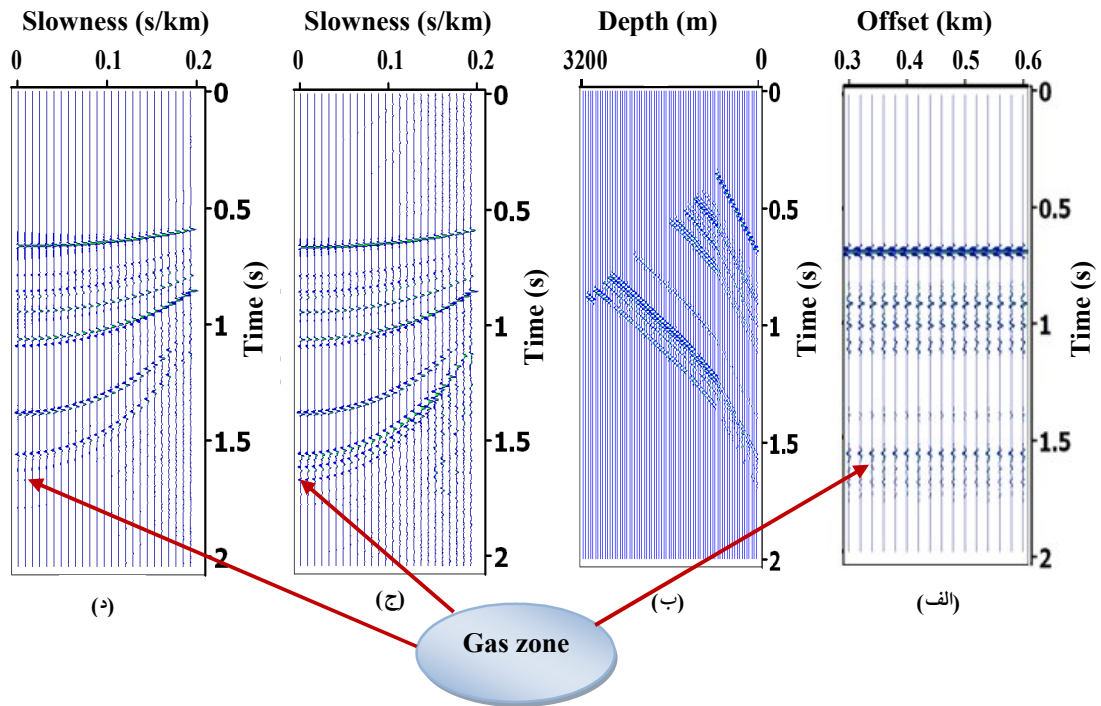
برای مدل‌سازی داده‌های VSP در حیطه tau-p، مدل اولیه با ۱۹ لایه در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۶ و ۷ با استفاده از مدل‌سازی لرزه‌ای صوتی در حیطه p-tau و همبستگی بین زمان بازتابی نرمال برای مدل‌های همسانگرد و همسانگرد گرانرو در دو چاه I و II مقایسه صورت گرفته است. برای ساخت مدل‌های صوتی گرانرو از مقادیر فاکتور کیفیت استفاده شده است. دو زون گازی که در شکل‌های ۶ و ۷ مشخص شده‌اند، با مدل‌سازی از داده‌های لرزه‌ای VSP و مقایسه آنها با مدل‌های tau-p توصیف شده‌اند. تغییر رفتار دامنه در این ناحیه و مقایسه اینگونه تغییرات در مقاطع لرزه‌ای VSP حساسیت امواج صوتی به سیال گازی در منطقه را تایید می‌کند.

۴ نتیجه‌گیری

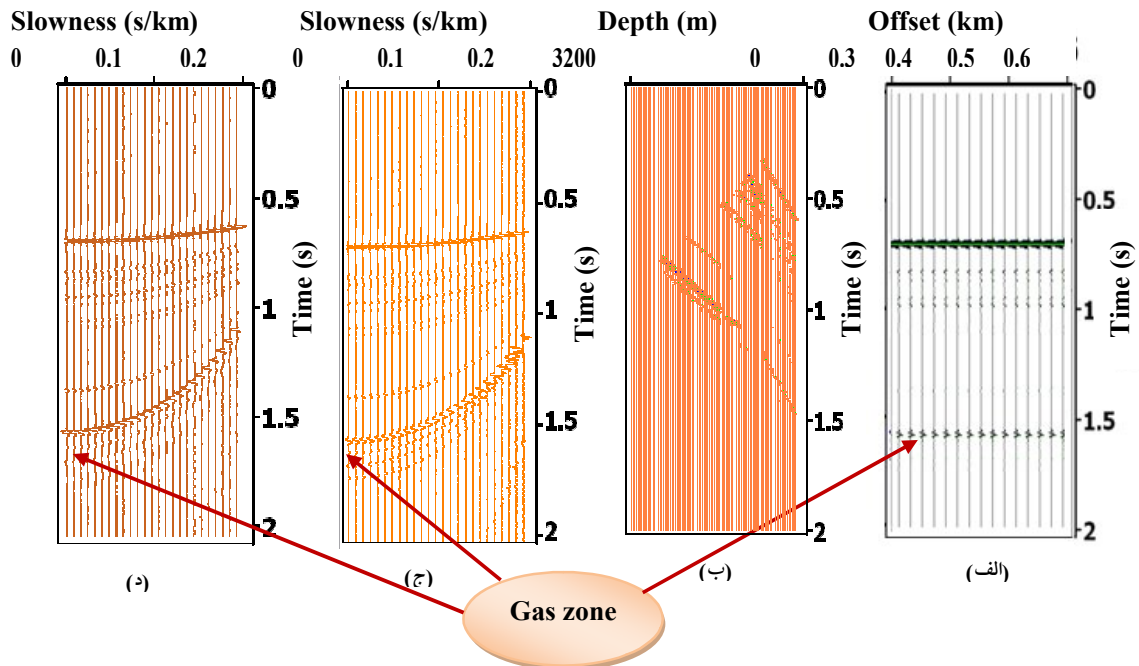
در این مقاله امواج لرزه‌ای با کد امواج صوتی و امواج صوتی گرانرو مدل‌سازی و در حیطه tau-p با بازتابی‌های امواج لرزه‌ای نرمال مقایسه شده‌اند. با مدل‌سازی لرزه‌نگاشت‌ها در محیط‌های همسانگرد و ناهمسانگرد آغشته به سیال، مدل داده‌های لرزه‌ای قائم تایید شده است. همچنین لرزه‌نگاشت‌های ساخته شده با داده‌های VSP

جدول ۱. مدل به‌کار رفته در ساخت لرزه‌نگاشت‌های شکل ۵.

Thickness (m)	P-wave velocity (m/s)	S-wave velocity (m/s)	Density (g/cc)	Qp	Qs	Two way time (ms)
500	1500	0	1.0	∞	0	0
100	2000	1300	1.7	200	20	667
250	2200	2000	1.9	250	25	767
300	1800	1400	2.2	300	30	994
450	2500	1800	2.9	500	345	1327
∞	4200	3000	2.9	500	340	1687



شکل ۶. همبستگی و مدل‌سازی در حیطه tau-p در چاه شماره I، طرحواره ساخت مدل‌ها در شکل ۴ آورده شده است: (الف) مقطع زمان بازتاب نرمال، (ب) لرزه‌نگاشت VSP مصنوعی، (ج) مقطع بازتاب صوتی در حیطه tau-p و (د) مقطع بازتاب صوتی گراندرو در حیطه tau-p.



شکل ۷. همبستگی و مدل‌سازی در حیطه tau-p در چاه شماره II، طرحواره ساخت مدل‌ها در شکل ۴ آورده شده است: (الف) مقطع زمان بازتاب نرمال، (ب) لرزه‌نگاشت VSP مصنوعی، (ج) مقطع بازتاب صوتی در حیطه tau-p و (د) مقطع بازتاب صوتی گراندرو در حیطه tau-p.

- Brysk, H., and McCowan, H. W., 1986, A slant-stack procedure for point-source data: *Geophysics*, **51**, 1370-1386.
- Chapman, C. H., 1981, Generalized radon transforms and slant stack: *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, **66**, 445-453.
- Chopra, S., and Alexeev, V., 2004, A new approach to enhancement of frequency bandwidth of surface seismic data: *First Break*, **22**, 31-42.
- Fryer, G. J., 1980, A slowness approach to the reflectivity method seismogram synthesis: *Geophys. Roy. Astr. Soc.*, **63**, 747-758.
- Ghassem Alaskari, M. K., and Hashemi, S. J., 2005, An efficient algorithm for general 3D seismic waves (SSP and VSP): *International J. of Eng.*, **18**, 401-412.
- Leaney, W. S., 2002, Anisotropic vector wavefield decomposition for 3D VSP data: 72nd Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 2369-2372.
- Martinez, R. D., and McMechan, G. A., 1987, Analysis of absorption and dispersion effects in synthetic τ -p seismograms: *Geophysics*, **52**, 1033-1047.
- Moon, W., Carswell, A., Tang, R., and Dilliston, C., 1986, Radon transform wave field separation for vertical seismic profiling data: *Geophysics*, **51**, 940-947.
- منابع
 قاسم‌العسکری، م.ک.، ۱۳۷۳، پردازش داده‌های لرزه‌ای با روش برگردان تصویری p-x، مجله فیزیک زمین و فضا، ۲۱، ۹۱-۱۱۲.
- کاظمی، م.، جواهریان، ع.، و قاسم‌العسکری، م.ک.، ۱۳۸۷، برآورد فاکتور کیفیت با استفاده از داده‌های نیم‌رخ لرزه‌ای قائم در یکی از میدان‌های هیدروکربوری جنوب ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، ۲، (۱)، ۷۹-۹۰.
- Aki, K., and Richards, P. G., 1980, Quantitative seismology, Theory and methods: W.H. Freeman.
- Baan, M. V. D., 2004, Processing of anisotropic data in the τ -p domain: Geometric spreading and moveout corrections: *Geophysics*, **69**, 719-730.
- Boelle, J. L., Canadas, G., and Hugonnet, P., 1998, Wavefield separation in borehole seismic by linear Radon decomposition: 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 272-275.