

برآورد تک مرحله‌ای تخلخل با استفاده از الگوریتم وارون‌سازی تصادفی در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب غرب ایران

مصطفی عباسی^{۱*} و محمدعلی ریاحی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۷/۱۶، پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۴)

چکیده

در لرزه‌شناسی، تبدیل داده‌های لرزه‌ای به پارامترهای کشسان را با عنوان مسائل وارون دسته‌بندی می‌کنند. در حال حاضر، از جمله رایج‌ترین روش‌های وارون‌سازی، روش‌های مبتنی بر مدل و روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی است. این روش‌ها که معمولاً آنها را روش‌های قطعی می‌نامند، دارای دو مشکل اساسی هستند؛ اول اینکه تفکیک‌پذیری آنها کم و در حد تفکیک‌پذیری داده‌های لرزه‌ای است و دوم اینکه برآوردی از میزان عدم قطعیت در وارون‌سازی به‌دست نمی‌دهد. خروجی روش‌های قطعی معمولاً یک برآورد نسبتاً هموار از مقاومت صوتی است. برای رفع این مشکلات از روش جدیدی در وارون‌سازی استفاده شد که با نام روش‌های تصادفی شناخته می‌شوند. مزیت روش‌های تصادفی این است که نه تنها بسامدهای کمتر و بیشتر از طیف بسامدی لرزه‌ای را در خود جای می‌دهد، بلکه با تولید مجموعه‌ای از رخدادها (Realizations) امکان بررسی عدم قطعیت در محاسبات و برآوردها را نیز فراهم می‌آورد. اما در این تحقیق با اعمال تغییراتی در الگوریتم روش موردنظر، از این روش برای محاسبه تک‌مرحله‌ای تخلخل استفاده شده است که نتایج حاصل از آن، انطباق قابل‌قبولی با داده‌های تخلخل نگارهای چاه دارد.

واژه‌های کلیدی: وارون‌سازی لرزه‌ای، وارون‌سازی تصادفی، شبیه‌سازی زمین‌آماري، مقاومت صوتی، تخلخل

Single-step estimation of porosity using stochastic inversion algorithm in a south-western oil field of Iran

Abbasi, M.¹ and Riahi, M. A.²

¹M.Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 07 Oct 2012, Accepted: 14 May 2013)

Summary

In exploration seismology, estimation of elastic parameters of rocks using seismic amplitudes is considered as inverse problems. Nowadays, model-based and more generally optimization-based algorithms are of the most common methods of seismic inversion. These algorithms which are known as deterministic methods, are suffering from two main problems;

First, vertical resolution of outputs is very low. The estimated outputs of these methods contain the same frequency content as the seismic bandwidth. So the resolution of estimates will be same as that of seismic data.

Second, these methods are not able to prepare any estimation of uncertainty in calculation of output model. That because the deterministic methods generate only one realization of acoustic impedance that is considered as the most probable model.

In addition to these problems, the output model of deterministic methods is very smooth estimation of acoustic impedance which makes it inappropriate for continuity evaluation of events and volumetric calculations.

In order to solve these shortcomings of deterministic methods, a new algorithm known as stochastic inversion has been proposed which in most common situations, uses Sequential Gaussian Simulation (SGS) of acoustic impedance logs to prepare multiple realizations of acoustic impedance, in such a way that all these realizations are compatible to seismic data.

According to this method, first of all a random path is selected through the seismic path. In each grid node of the selected path a pseudo-acoustic impedance log is simulated by SGS method. This pseudo-log is then convolved with the extracted wavelet to produce a synthetic seismogram. In the next stage the synthetic seismogram is compared with the real one to measure the misfit. If the calculated misfit is less than a threshold value, the simulated impedance log will be selected and added to the data set to be used for simulation of future nodes. On the other hand, if the simulated log does not satisfy the maximum allowable misfit, then a new pseudo-impedance log will be simulated until an allowable impedance log is created. This procedure is repeated for all grid nodes of the selected path until the seismic grid is filled with acoustic impedance logs.

The above procedure is then repeated using different random paths. As a result, multiple realizations of acoustic impedance will be created that all of them are compatible with original seismic data.

Since the output realizations of stochastic inversion are fundamentally simulated models of well logs, it would be obvious that the resolution of these models will be controlled by well logs which are highly more resolvable than seismic data. The ability of stochastic inversion in generation of multiple realizations, make it possible to evaluate uncertainties in estimations.

In the current study, the algorithm of stochastic inversion is modified to estimate the porosity instead of acoustic impedance. According to this algorithm, neutron porosity logs have been used to prepare local realizations of pseudo-porosity log. These pseudo-porosity logs are then converted to acoustic impedance to be able to setup synthetic seismograms. The synthetic seismograms will be compared with real ones and then using an accept-reject command, the best local realization will be selected at each grid nodes. This procedure is repeated for all the grid nodes to prepare a 3D estimated model (realization) of porosity.

Therefore, the workflow for the single-step inversion of porosity data will be expressed as follows:

- A random path is selected through the seismic grid.
- At each node, using the original and previously inverted porosity logs, a pseudo-porosity log is simulated
- The simulated porosity log is converted into a impedance log by means of relations that has been previously established between porosity and acoustic impedances at well locations.
- The converted impedance log is convolved with the extracted wavelet to produce a synthetic seismogram.
- The synthetic seismogram is compared with the original seismogram to measure the misfit.
- If the calculated misfit is less than a threshold value, the simulated porosity log will be selected and added to the data set to be used for simulation of future nodes. On the other hand, if the simulated log does not satisfy the maximum allowable misfit, then a new pseudo-porosity log will be simulated until an allowable porosity log is created.

- The above procedure is repeated for all grid nodes of the selected path until the seismic grid is filled with acoustic impedance logs.

The results of application of the above procedure to create 3D realizations of porosity exhibit an acceptable match with real porosity logs.

Keywords: Seismic inversion, Stochastic inversion, Geostatistical simulation, Acoustic impedance, Porosity

۱ مقدمه

لرزه‌ای دارای باندهای بسامدی محدود هستند، نمی‌توان عملگرهای پیدا کرد که بتواند یک خار دیراک با طیف دامنه سفید و پهنای باندهای نامحدود تولید کند (اولدنبرگ و همکاران، ۱۹۸۳)، بلکه در اثر هم‌میخت آن با موجک ورودی، یک تابع میانگین‌گیر با باندهای محدود تولید خواهد شد که دارای یک پهنای باندهای محدود است. در چنین تابعی، بسامدهای پایین‌تر و بالاتر از پهنای باندهای بسامدی وجود نخواهد داشت. این بدین معنا خواهد بود که وارون‌سازی قطعی لرزه‌ای محدود می‌شود به برآورد مجموعه‌ای از بازتاب‌های تنگ‌متناظر با میانگین مقاومت صوتی، روی بلوک‌هایی به پهنایی که عملگر وارون‌سازی می‌تواند تفکیک کند. در وارون‌سازی قطعی، روش برآورد می‌باید بین میزان تفکیک‌پذیری و دقت اندازه‌گیری تعادل برقرار کند.

محدودیت دیگر روش‌های قطعی، وجود نوفه در لرزه‌نگاشت‌ها و موجک برآورد شده است. نوفه در بسامدهای بالا و پایین نزدیک به کناره‌های باندهای بسامدی لرزه‌ای بیشتر است. در بسامدهای زیاد طیف لرزه‌ای، انتخاب تعداد زیاد ضرایب بازتاب می‌تواند به اشتباه به مدل‌سازی نوفه‌ها درحکم ضرایب بازتاب منجر شود. از طرف دیگر، بسامدهای کم، اطلاعات ضروری مرتبط با مقدار مطلق مقاومت صوتی را در خود دارند. بنابراین می‌توان گفت به‌هیچ‌وجه نمی‌توان مقدار مطلق مقاومت صوتی را از لرزه‌نگاشت‌ها به‌دست آورد، زیرا لرزه‌نگاشت‌ها به علت محدودیت باندهای خود، بسامدهای

روش‌های وارون‌سازی را می‌توان در دو دسته کلی، روش‌های قطعی و زمین‌آماری بررسی کرد. روش‌های معمول وارون‌سازی لرزه‌ای اغلب درحکم روش‌های قطعی شناخته می‌شوند. این روش‌ها بسته به الگوریتم‌شان و با به حداقل رساندن خطا، بهینه‌ترین برآورد را برای مدل وارون عرضه می‌کنند. واژه قطعی برای مدل‌هایی به کاربرده می‌شود که در آن برآوردها براساس یک رابطه فیزیکی و فرمول معلوم تولید می‌شود (فرانسیس، ۲۰۰۶a). یکی از بهترین روش‌های قطعی که اغلب به‌منظور مطالعات کمی خصوصیات مخزنی از آن استفاده می‌شود، روش‌های قطعی مبتنی بر مدل هستند که از مدل زمین‌شناسی به‌منظور مقید ساختن مدل خروجی مقاومت صوتی استفاده می‌کنند. این روش در وهله اول ممکن است بسیار با ارزش به نظر برسد، چرا که از وارون‌سازی مستقیم خود داده‌های لرزه‌ای استفاده نمی‌کند. اما باید در نظر داشت که ممکن است با این روش مدل‌هایی تولید شود که علی‌رغم انطباق خوبشان با داده‌های لرزه‌ای، مدل صحیحی نباشند. این مشکل تحت عنوان مسئله یکتا نبودن شناخته می‌شود (راسل، ۱۹۸۸).

وارون‌سازی قطعی لرزه‌ای دارای محدودیت‌هایی است که همگی از محدودیت در پهنای باندهای بسامدی لرزه‌ای ناشی می‌شود. طبق مدل هم‌میخت، هدف از وارون‌سازی لرزه‌ای، پیدا کردن عملگر معکوسی است که هم‌میخت آن با موجک، یک خار دیراک (Dirac Spike) تولید کند. اما از آنجا که موجک‌های

کم را در خود ندارند. برای بازیابی مقادیر مطلق مقاومت صوتی به اطلاعاتی اضافی نیاز داریم. معمولاً این اطلاعات از مدل‌های هموار درونیابی شده مقاومت صوتی چاه‌ها که با افق‌های لرزه‌ای مقید شده‌اند به دست می‌آید (فرانسیس، ۲۰۰۶b).

۲ وارون‌سازی تصادفی

هاس و دوپرل (۱۹۹۴) از شبیه‌سازی گاوسی متناوب (SGS) برای وارون‌سازی تصادفی داده‌های لرزه‌ای استفاده نمودند. آنها در الگوریتم خود دو تغییر نسبت به روش‌های معمول SGS اعمال کردند. اگرچه الگوریتم‌های متنوعی برای وارون‌سازی تصادفی ارائه شده‌اند، اما همگی آنها در یک روند کلی مشترک هستند. این الگوریتم کلی را می‌توان به صورت زیر بیان

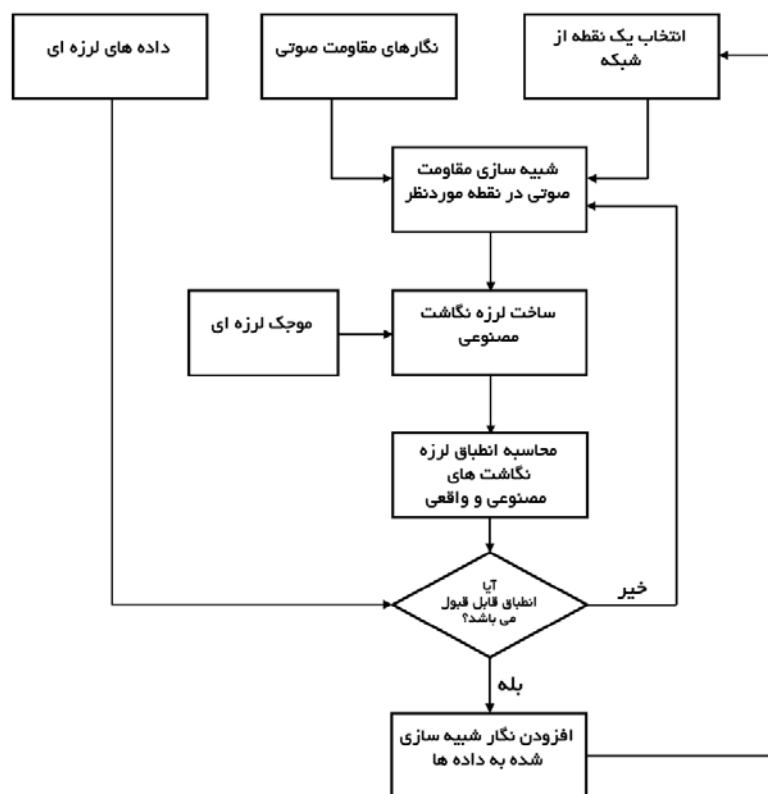
نمود (شکل ۱).

- انتخاب یک مسیر تصادفی از بین نقاط شبکه (این مسیر تصادفی برای هر رخداد فرق می‌کند)

- شبیه‌سازی یک نگار مقاومت صوتی با استفاده از نگارهای چاه

- با هم‌میخت کردن موجک در نگار شبیه‌سازی شده، یک لرزه‌نگاشت مصنوعی ساخته می‌شود.

- در صورتی که انطباق بین این لرزه‌نگاشت مصنوعی و لرزه‌نگاشت واقعی موجود در نقطه موردنظر قابل قبول باشد، نگار مقاومت صوتی شبیه‌سازی شده به عنوان یک نگار واقعی به داده‌ها افزوده می‌شود. اما در صورتی که انطباق قابل قبول نباشد، مجدداً شبیه‌سازی مقاومت صوتی در همان نقطه آنقدر تکرار می‌شود تا انطباق کافی بین لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی و واقعی برقرار شود.



شکل ۱. الگوریتم وارون‌سازی تصادفی.

۳ وارون‌سازی تک مرحله‌ای تخلخل

وارون‌سازی لرزه‌ای برای مدل سازی تخلخل، این فرایند به دو مرحله تقسیم می‌شود. مرحله اول، وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای به منظور ساخت مدل مقاومت صوتی، و مرحله دوم، وارون‌سازی پتروفیزیکی مقاومت صوتی به منظور برآورد مدل تخلخل از آن. اما در این مطالعه روشی جدید برای وارون‌سازی تخلخل با استفاده از داده‌های لرزه‌ای ارائه شده است که با بکارگیری الگوریتم تصادفی، این دو مرحله را ادغام می‌کند. روند کلی کار در این روش به این صورت است که ابتدا یک مسیر تصادفی از بین نقاط شبکه لرزه‌نگاری انتخاب می‌شود. سپس در محل هر یک از نقاط شبکه، با استفاده از نگارهای تخلخل موجود و روش شبیه‌سازی گاوسی متناوب یک شبه نگار تخلخل تولید می‌شود. این نگار سپس براساس رابطه به دست آمده بین تخلخل و مقاومت صوتی، به یک نگار مقاومت صوتی تبدیل می‌شود. این نگار نیز در مرحله بعد با هم‌امیخت کردن موجک چشمه، به یک لرزه‌نگاشت مصنوعی تبدیل شده و با لرزه‌نگاشت واقعی در محل مورد نظر مقایسه می‌شود. در صورت پذیرش انطباق بین دو لرزه‌نگاشت مصنوعی و واقعی، شبه‌نگار شبیه‌سازی شده تخلخل به عنوان یک رخداد محلی پذیرفته شده و به داده‌ها افزوده می‌شود. در صورت عدم پذیرش انطباق نیز شبیه‌سازی آنقدر تکرار می‌شود تا یک نگار تخلخل قابل قبول تولید شود (اسپایکس و همکاران، ۲۰۰۸).

۴ اعمال روش

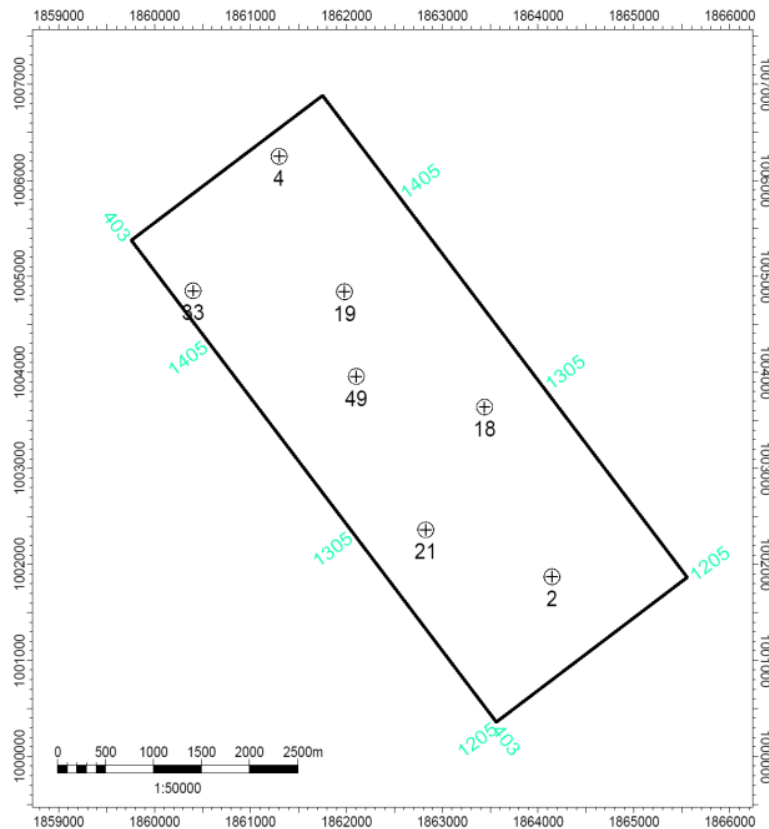
به منظور مطالعه الگوریتم مورد نظر، این الگوریتم روی سازند مخزنی آسماری در یکی از میدانی نفتی جنوب غرب ایران اعمال شد. بر اساس تغییرات لیتولوژی و تخلخل، سازند آسماری در میدان نفتی مورد نظر به طور قائم به هشت بخش متمایز شامل سنگ‌های آهکی، ماسه‌سنگی و رسی تقسیم شده است که لایه‌های ماسه‌سنگی و آهکی موجود در سه بخش اول آن به دلیل تخلخل و نفوذپذیری بیشتر و اشباع آب کمتر، قسمت اعظم نفت موجود در مخزن را در خود نگهداری می‌کنند.

در اعمال این روش، از بخشی از داده‌های لرزه‌ای استفاده شد که در آن تعداد چاه‌ها برای ساخت مدل اولیه، کافی و افق‌های لرزه‌ای در آن دارای پوشش کامل بودند. جدول ۱ محدوده‌ای از داده‌های لرزه‌ای را که در نهایت که برای این منظور انتخاب شده‌اند را نشان می‌دهد.

در محدوده انتخاب شده از داده‌های لرزه‌ای میدان منصوری، جمعاً هفت چاه به شماره‌های ۲، ۴، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۳۳ و ۴۹ انتخاب شدند که همگی در محدوده مخزنی سازند آسماری دارای اطلاعات کامل از نگارهای صوتی، چگالی و تخلخل نوترون می‌باشند (شکل ۲). از این بین، بجز دو چاه ۲ و ۱۸ که به منظور ارزیابی صحت خروجی وارون‌سازی، از داده‌ها کنار گذاشته شدند، از سایر چاه‌ها در ساخت مدل استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات بخش بریده شده از داده‌های لرزه‌ای به منظور اعمال وارون‌سازی.

	Min	Max	Increment
Inline	1200	1504	1
Crossline	403	502	1
Time	1200	1732	4ms



شکل ۲. موقعیت چاه‌های مورد استفاده در مطالعه نسبت به داده‌های لرزه‌ای سه بعدی.

۱-۴ مدل سه بعدی اولیه

اولین مرحله در اجرای کلیه روش‌های وارون‌سازی مبتنی بر مدل، ساخت یک مدل اولیه از مقاومت صوتی است که از درون‌یابی نگارهای مقاومت صوتی چاه‌ها به روش کریجینگ به دست می‌آید. نگارهای مقاومت صوتی در این روش نیز از حاصل ضرب نگارهای صوتی و چگالی حاصل می‌شوند. به این ترتیب، مدل نهایی دارای چهار زون خواهد بود که دو زون میانی آن دربردارنده سازند مخزنی آسماری می‌باشند (شکل ۳).

۲-۴ وارون‌سازی به روش قطعی بر مبنای مدل

پس از ساخت مدل سه بعدی مقاومت صوتی، کلیه اطلاعات لازم برای وارون‌سازی قطعی فراهم خواهد آمد. برای انجام این کار، علاوه بر نگارهای صوتی و چگالی و

افقی‌ها که در ساخت مدل اولیه مورد استفاده قرار گرفتند، به موجک لرزه‌ای استخراج شده و مهم‌تر از همه به داده‌های لرزه‌ای نیز احتیاج خواهیم داشت. با داشتن این اطلاعات وارون‌سازی قطعی مبتنی بر مدل روی داده‌ها انجام شد. نتایج این وارون‌سازی در یک مقطع عرضی تصادفی از داده‌های لرزه‌ای در شکل ۴ نشان داده شده است.

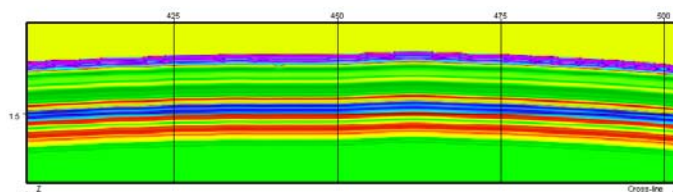
۳-۴ برآورد موجک

برآورد موجک در این مطالعه طی یک روش دو مرحله ای انجام شده است. در مرحله اول، ابتدا با استفاده از روش آماری (Statistical wavelet estimation) و به کمک داده‌های لرزه‌ای و با علم به صفر بودن فاز موجک موجود در داده‌های لرزه‌ای، یک موجک اولیه

که به این ترتیب برای هر یک از چهار زون موجود در مدل، واریوگرام‌هایی طبق جدول ۲ به دست آمد. پس از محاسبه واریوگرام‌ها در راستای افقی (موازی چین‌بندی)، واریوگرام قائم نیز محاسبه شد که از نگار مقاومت صوتی به دست می‌آید. دامنه تأثیر و سقف مدل برازش یافته بر واریوگرام قائم که آن نیز یک مدل نمایی انتخاب شد، به ترتیب برابر با ۸ میلی ثانیه و ۰/۴۵ به دست آمدند. این مقادیر به کلیه زون‌ها تعمیم داده شد.

۲-۵ وارون‌سازی تصادفی

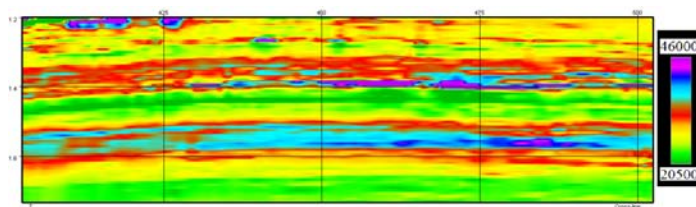
در این مطالعه اولاً به دلیل محدودیت سخت‌افزاری و ثانیاً بدلیل اینکه توزیع احتمال موضوع مورد بحث ناست، تعداد ۱۰ رخداد کافی خواهد بود. شکل ۵ تعدادی از این رخدادها را در یک مقطع عرضی تصادفی نشان می‌دهد.



شکل ۳. مدل سه بعدی آمده از نگارهای چاه و افق‌های لرزه‌ای.

جدول ۲. مشخصات واریوگرام‌های برازش یافته در زون‌های ساخته شده در مدل سه بعدی.

اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تأثیر	تا	از	زون یک
صفر	۰,۳۲	۱۷۰۰	سرسازند آسماری	ابتدای مدل	زون دو
صفر	۰,۲۸	۱۱۰۰	ابتدای زون سه	سرسازند آسماری	زون سه
صفر	۰,۲۵	۱۱۰۰	سرسازند پایده	ابتدای زون سه	زون چهار
صفر	۰,۳۱	۸۰۰	انتهای مدل	سرسازند پایده	



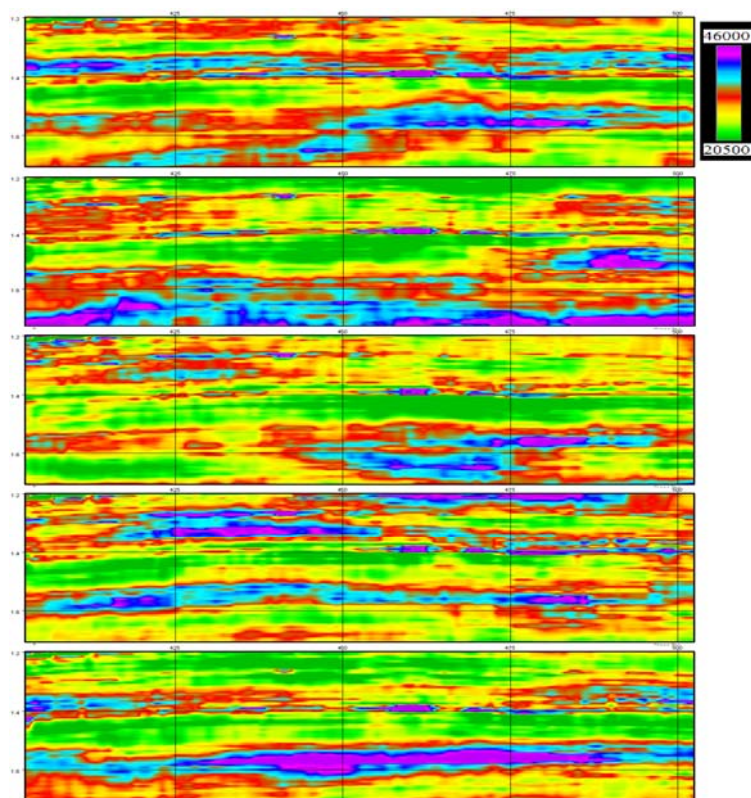
شکل ۴. مدل به دست آمده به روش وارون‌سازی قطعی در یک مقطع عرضی تصادفی. ناحیه سبز رنگ میانی نشان دهنده زون‌های یک تا سه سازند آسماری می‌باشد که تقریباً به صورت همواری برآورد زده شده است.

برآورد زده شد (پیوست). اما در مرحله دوم از موجک استخراج شده در مرحله اول استفاده شده و پهنا و بسامد‌های موجود در این موجک (طبق یک روش آزمون و خطا) آنقدر دستکاری شد تا بهترین انطباق (tie) بین نگارهای امیدانس و داده‌های لرزه‌ای ایجاد شود. موجکی که در نهایت از این روش به دست آمد، موجک نهایی استخراجی می‌باشد.

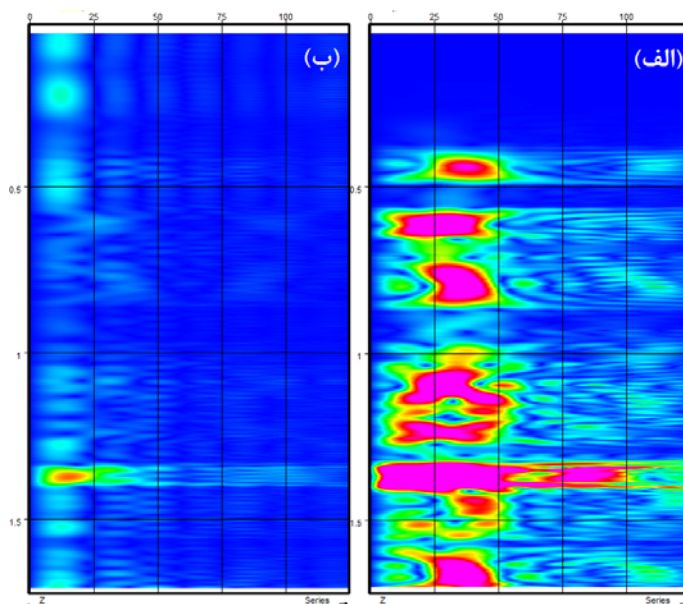
۵ وارون‌سازی تصادفی

۱-۵ محاسبه واریوگرام

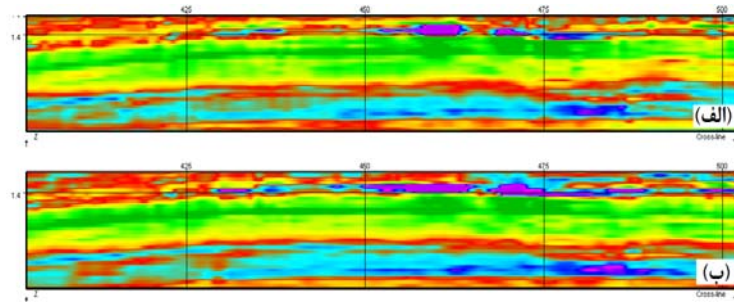
خروجی مقاومت صوتی به دست آمده از روش قطعی به عنوان ابزاری برای تعیین پارامترهای زمین‌آماري مورد نیاز در وارون‌سازی تصادفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پس از ساخت واریوگرام‌های افقی و قائم، از مدل نمایی برای برازش بر کلیه واریوگرام‌ها استفاده شد



شکل ۵. نتایج به دست آمده از پنج رخداد متمایز از وارون‌سازی تصادفی در یک مقطع عرضی تصادفی. همگی این رخدادها، علی‌رغم تفاوت‌های موجود در آنها، لرزه نگاشت‌هایی مصنوعی تولید می‌کنند که با داده‌های لرزه‌ای انطباق دارند. (مقیاس قائم کلیه تصاویر ثانیه و مقیاس افقی شماره لاین می‌باشد).

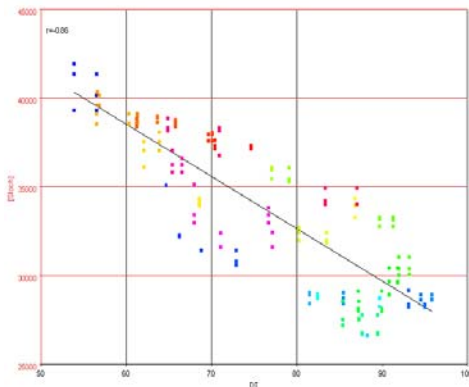


شکل ۶. طیف زمان - بسامد نتایج به دست آمده از (الف) وارون‌سازی قطعی، (ب) وارون‌سازی تصادفی. همانگونه که مشخص است خروجی وارون‌سازی تصادفی به دلیل افزوده شدن بسامد‌های بالا و پایین، دارای طیف بسیار هموارتری می‌باشد (مقیاس قائم ثانیه و مقیاس افقی هرترز می‌باشد).

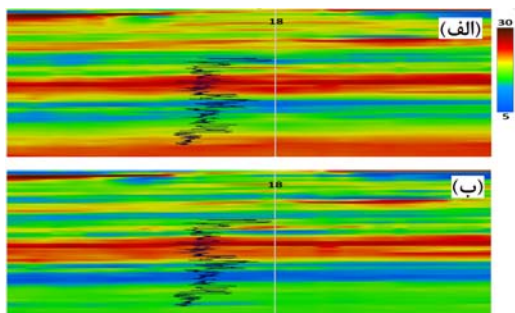


شکل ۷. مقایسه کیفی بین (الف) میانگین ده رخداد به‌دست آمده از روش وارون‌سازی تصادفی و (ب) خروجی روش وارون‌سازی قطعی در زون‌های مخزنی سازند آسماری.

شماره ۱۸ نشان می‌دهد. همانگونه که از این شکل پیداست، ضریب همبستگی به‌دست آمده برابر ۷۲ درصد است که ۶ درصد از تخلخل به‌دست آمده از شبیه‌سازی توأم تخلخل با استفاده از روش قطعی کمتر است.



شکل ۸. نمودار متقابل خروجی وارون‌سازی تصادفی و نگار صوتی. نتایج به‌دست آمده یک همبستگی ۸۶ درصدی را نشان می‌دهد.



شکل ۹. مقایسه کیفی مدل تخلخل به‌دست آمده از (الف) روش قطعی و (ب) روش تک‌مرحله‌ای در یک مقطع عرضی گذرنده از چاه ۱۸.

میانگین کل رخدادهای وارون‌سازی شده به روش تصادفی تقریباً برآوردی از خروجی وارون‌سازی قطعی را نشان می‌دهد. این مسئله را نیز می‌توان در شکل ۷ مشاهده نمود.

پیش از این نیز گفته شد که وارون‌سازی تصادفی طیف بسامدی مقاومت صوتی وارون‌سازی شده را بهبود می‌بخشد به طوری که با افزودن بسامدهای بالا و پایین به طیف بسامدی لرزه‌ای، این طیف بسامدی را بسیار هموار می‌سازد. این نکته را می‌توان در شکل ۶ به وضوح مشاهده کرد.

تحلیل کمی نتایج وارون‌سازی تصادفی در چاه شماره ۱۸، ضریب همبستگی ۰/۸۴ را بین خروجی این روش و نگار صوتی نشان می‌دهد. (شکل ۸)

۶ برآورد تخلخل

شکل ۹ نتایج به‌دست آمده از برآورد تخلخل به روش تک‌مرحله‌ای را در یک مقطع عرضی گذرنده از چاه شماره ۱۸، در کنار نگار تخلخل نوترون در این چاه نشان داده و این مقطع را با مقطع تخلخل به‌دست آمده از روش قبل (شکل ۹) مقایسه می‌کند.

شکل ۱۰ نیز نمودار متقابل بین تخلخل به‌دست آمده از روش تک-مرحله‌ای و نگار تخلخل نوترون در چاه

پیوست

از پارامتر آماری کشیدگی یا کورتوزیس می‌توان به عنوان روشی برای به‌دست آوردن سری بازتاب استفاده نمود. پارامتر کشیدگی یک پارامتر آماری مرتبه چهارم می‌باشد که می‌تواند اطلاعات فاز را بازیابی نماید (برخلاف الگوریتم‌های مبتنی بر هم آمیخت که بر مبنای آمار مرتبه دوم استوار هستند). طبق این روش، فاز بهینه موجک را می‌توان با اعمال یک سری دوران‌های با فاز ثابت روی داده‌ها به‌دست آورد به گونه‌ای که زاویه متناظر با بیشترین مقدار کورتوزیس بیانگر محتمل‌ترین فاز برای موجک می‌باشد.

رابطه کشیدگی ماکزیمم از رابطه (۱) به‌دست می‌آید،

$$kurt(x) = n \frac{\sum x^4(t)}{[\sum x^2(t)]^2} - 3 \quad (1)$$

که در آن n تعداد نمونه‌های زمانی می‌باشد.

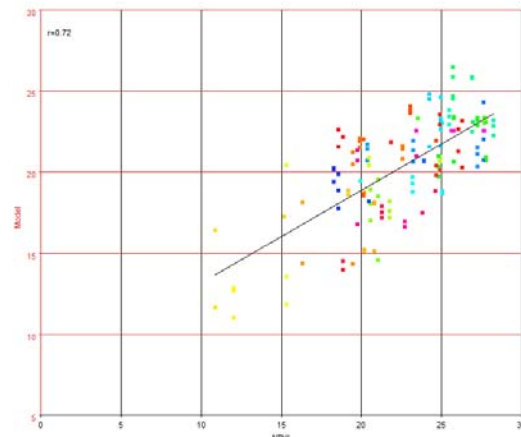
دوران‌های گفته شده با فاز ثابت در حوزه زمان طبق رابطه (۲) اعمال می‌شود.

$$x_{rot}(t) = \cos \varphi x(t) + \sin \varphi H[x(t)] \quad (2)$$

که در آن، φ زاویه دوران فاز و $H[.]$ بیانگر تبدیل هیلبرت می‌باشد.

محتمل‌ترین زاویه فاز، φ_{kurt} ، متناظر است با بیشترین مقدار پارامتر کورتوزیس. این کار روی تعداد زیادی از لرزه نگاشت‌ها تکرار می‌شود تا نتیجه کار بهبود یابد.

پس از برآورد فاز موجک به روش بالا، با برآورد دامنه موجک، براحتی می‌توان موجک برآورد زده شده را معرفی نمود. این کار طبق این مراحل قابل محاسبه خواهد بود که (۱) در هر پنجره زمانی، میانگینی از طیف دامنه کلیه لرزه نگاشت‌ها به‌دست می‌آید و (۲) پنجره میانگین گیری شده در حوزه زمان در پنجره هائینگ ضرب می‌شود، به گونه‌ای که (۳) دامنه فاز مربوط به بسامد نایکوئیست برابر صفر باشد. این روش منجر به ارائه یک



شکل ۱۰. نمودار متقابل بین نگار تخلخل و مدل تخلخل به‌دست آمده از روش تک‌مرحله‌ای. تخلخل به‌دست آمده از این روش، به میزان ۶ درصد کمتر، با نگار تخلخل نوترن، همبستگی نشان می‌دهد.

۷ نتیجه‌گیری

در این مطالعه به منظور وارون‌سازی تخلخل با استفاده از داده‌های لرزه‌ای از دو روش قطعی و تصادفی (تک‌مرحله‌ای) استفاده شد. مدل به دست آمده از روش وارون‌سازی قطعی دارای دو مشکل عمده می‌باشد، اول اینکه تفکیک‌پذیری آنها پایین و در حد تفکیک‌پذیری داده‌های لرزه‌ای است و دوم اینکه برآوردی از میزان عدم قطعیت در وارون‌سازی ارائه نمی‌دهد. بعلاوه خروجی حاصل از این روش معمولاً برآورد نسبتاً همواری از مقاومت صوتی ارائه می‌دهد. برای رفع این مشکلات از روش تصادفی به منظور وارون‌سازی تخلخل استفاده شد. در روش مورد نظر با اعمال تغییراتی در الگوریتم وارون‌سازی تصادفی، مدل تخلخل به صورت مستقیم از داده‌های لرزه‌ای استخراج شد که نتایج حاصل از آن انطباق قابل قبولی را با داده‌های تخلخل نگارهای چاه نشان داد. یکی از مزایای روش ارائه شده، تولید تعداد زیادی رخداد تخلخل می‌باشد که امکان مطالعه عدم قطعیت در محاسبه مدل‌های تخلخل را فراهم می‌آورد.

- Haas, A. and Dubrule, O., 1994, Geostatistical inversion –a sequential method for stochastic reservoir modeling constrained by seismic data, *First Break*, **12**(11), 561-569.
- Oldenburg, D.W., Scheuer, T. and Levy, S., 1983, Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms, *Geophysics*, **48**(10), 1318-1337.
- Russell, B., H., 1988, Introduction to seismic inversion methods, Society of Exploration Geophysicist,
- Spikes, K., Dvorkin, J., and Schneider, M., 2008, from seismic traces to reservoir properties: Physics-driven inversion, *The Leading Edge*, **27**, 456-459

موجک متقارن با فاز صفر خواهد شد. موجک نهایی در حوزه بسامد طبق رابطه (۳) به دست خواهد آمد،

$$W_j(f) = |W_{ave,j}(f)| \exp\{i\varphi_{kurt,j} \text{sgn}(f)\} \quad (۳)$$

که در آن، $|W_{ave,j}|$ طیف دامنه میانگین و φ_{kurt} زاویه فاز به دست آمده از روش کورتوزیس در پنجره j ام می‌باشد.

مراجع

- Francis, A., 2006 a, Understanding stochastic inversion: Part 1: *First Break*, 24, 69-77.
- Francis, A., 2006 b, Understanding stochastic inversion: Part 2: *First Break*, 24, 79-84.