وارون سازی بر پایهٔ مدل بر روی داده‌های لرزه‌ای سه بعدی میدان نفتی آب تیمور

نوشته: مازیار حقیقی*، دکتر عبدالرحیم جواهریان* و ایرج عبداللهی فرد**

Model-Based Inversion on 3-D Seismic Data of Ab-Teymur Oilfield

By: M. Haghighi*, Dr. A. Javaherian* & I. Abdollahi Fard**

چکیده

روش بر پایه مدل (model based) با زمین به صورت بلوکهای مقاومت صوتی رفتار می‌کند. این روش از یک مدل اولیه مقاومت صوتی که از اطلاعات نمودارهای چاهها به دست می‌آید، شروع می‌شود. آنگاه داده‌های حاصل از این مدل محاسبه و با داده‌های لرزه‌ای مقایسه شده و از اختلاف بین مدل و داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌شود تا با روش تکرار مدل اولیه بهبود یابد و تا حد امکان به داده‌های لرزه‌ای منطبق شود. مشکل، عدم واحد بودن نتایج وارون سازی از طریق محدود نمودن تعداد لایه‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های ردلرزه در نظر گرفته می‌شود. این روش، نسبت به روشهای بازگشتی به مدل اولیه و موجک حساس‌تر است. در این روش، برخلاف روش وارون سازی اسپایکهای پراکنده(sparse-spike inversion)، اطلاعات مربوط به ضرایب بازتاب، به طور مستقیم از ردلرزه‌ها به دست نمی‌آیند و به همین خاطر، به نوفه موجود در داده‌ها چندان حساس نیست. به دو روش می‌توان از قیدها برای وارون‌سازی در این روش استفاده کرد.

در یکی از این روشها، از اطلاعات اضافی به صورت قید نرم (soft constraint) استفاده می‌شود. به این معنا که مقاومت صوتی اولیه به عنوان یک قسمت جدا از اطلاعات، همراه با داده‌های لرزه‌ای، اما با وزن متفاوت در وارون سازی شرکت داده می‌شود. در روش دوم، از اطلاعات اضافی به صورت قید سخت (hard constraint) استفاده می‌گردد. در روش دوم، یک حد بالا و یک حد پایین مطلق برای مقاومت صوتی مدل نهایی قرار داده می‌شود، به گونه‌ای که مقدار این مدل نهایی نمی‌تواند خارج از محدوده تعریف شده قرار گیرد. در کارهای عملی، روش دوم پاسخ بهتری را به دست می‌دهد. از مهم‌ترین پارامترهای متغیر در روش بر پایهٔ مدل، می‌توان به اندازه بلوک مقاومت صوتی و تعداد تکرار اشاره کرد. هر قدر که اندازه بلوک کوچک‌تر باشد، نتیجه نهایی بر داده‌های لرزه‌ای منطبق‌تر خواهد بود. البته نباید از حضور نوفه و عدم واحد بودن نتایج وارون سازی غافل بود. بنابراین بهتر آن است که اندازه بلوک بزرگ‌تر از فاصله نمونه برداری داده‌های لرزه‌ای انتخاب شود. در مورد تعداد تکرار نیز، هر اندازه این پارامتر بزرگ‌تر انتخاب شود بهتر است. تنها مشکل این کار، افزایش زمان محاسبه است.

با به کارگیری روش وارون سازی بر پایهٔ مدل بر روی داده های لرزه ای سه بعدی آب تیمور، پارامترهای مناسب این روش به صورت حد ۳۵ درصد برای مرز بالا و پایین، ۸ میلی ثانیه اندازهٔ بلوک و تعداد تکرار بالای حداقل ۸ به دست آمد. با انجام وارون سازی با پارامترهای ذکر شده بر روی سازند سروک، دو منطقه با مقاومت صوتی پایین مشخص شد که می‌توانند پتانسیل وجود هیدروکربن را داشته باشند.

کلید واژه ها: وارون سازی بر پایه مدل، مدل اولیه، قید نرم، قید سخت، سازند سروک و آب تیمور

Abstract

In model–based inversion, a geological model is compared to seismic data. Then, the result of comparison between real and modeled data is used to iteratively update the model to have a better match of seismic data. This method is intuitively very appealing since it avoids the direct inversion of the seismic data itself. On the other hand, it may be possible to come up with a model that matches the data very well, but it is incorrect. There are two ways in which constraints may be used.

One way is to consider the additional information as a soft constraint, meaning that the initial impedance is a separate piece of information which is added to the seismic trace with some weighting of two. This approach is called "stochastic". The second method is to consider additional information as a hard constraint that sets absolute boundaries on how far the final answer may

deviate from the initial model. This approach is called “hard constraint”. In the model-based inversion, average block size and the number of iterations are crucial. Using of average block size greater than seismic sample interval is recommended. The main cause of this idea is the fact that there is some noise in the data. If the number of iterations sets to large numbers, the results will be better. The problem here is computational time.
By investigation on Ab-Teymur 3-D seismic data, the following results were obtained: proper values for constraint limit, average block size and number of iterations are 35%, 8 ms and at least 8, respectively. Two low impedance regions were detected that could possibly have the potential of hydrocarbon by using model-based inversion with the mentioned parameters for Sarvak formation.

Keywords: Model-based inversion, Initial model, Soft constraint, Hard constraint, Sarvak formation and Ab-Teymur

۱- مقدمه

وارون سازی در ژئوفیزیک، به نقشه در آوردن خواص فیزیکی و شکل لایه‌های زمین با استفاده از اندازه‌گیریهای سطحی تعریف می‌شود (Russell,1988). این تعریف عمومی برای حالت خاص وارون سازی لرزه‌ای، به صورت بازیابی نمودارهای مقاومت صوتی از ردلرزه‌ها بیان می‌گردد. به عبارت دیگر، وارون سازی روشی است که در آن می‌توان با استفاده از اطلاعات لرزه‌ای به عنوان ورودی، به یک مدل زمین شناسی به عنوان خروجی دست یافت. روشهای مختلفی برای وارون سازی لرزه‌ای وجود دارند که از آن جمله می‌توان به روش بر پایه مدل (model based) اشاره کرد که اولین بار Cooke & Schneider (1983) آن را معرفی نمودند. این روش، برخلاف روشهای وارون سازی بازگشتی (recursive inversion) به نوفه موجود در داده‌ها حساسیت کمتری دارد (Russell,1988). روش بر پایه مدل، با زمین به صورت بلوکهای مقاومت صوتی رفتار می‌کند و مشکل عدم واحد بودن (non-uniqueness) نتایج وارون سازی از راه محدود سازی تعداد لایه‌ها نسبت به تعداد نمونه‌های ردلرزه، در نظر گرفته می‌شود. این روش نسبت به روشهای دیگر، به مدل اولیه و به موجک حساس‌تر است (GEOHORIZONS, 2002).

۲- نظریه وارون سازی بر پایه مدل

اساس وارون سازی به روش بر پایه مدل، بر کمترین مربعها استوار است. به منظور به دست آوردن رابطهٔ ریاضی مربوط به آن، ابتدا باید نحوه ایجاد رد لرزه‌ها معلوم شود که با نمادگذاری ماتریسی عمل هم آمیخت را می‌توان به صورت زیر برای ردلرزهٔ مدل شده نمایش داد:

$$\mathbf{M}=\begin{bmatrix}M(1)\\M(2)\\M(NSAMP)\end{bmatrix}=\mathbf{Wr}\quad,\quad \mathbf{r}=\begin{bmatrix}r(1)\\r(2)\\\vdots\\r(N)\end{bmatrix}\quad,\quad \mathbf{T}=\begin{bmatrix}T(1)\\T(2)\\\vdots\\T(NSAMP)\end{bmatrix} \qquad (۱)$$

که در آن، NSAMP تعداد نمونه‌های موجود در هر ردلرزه، N تعداد لایه‌ها، M ماتریس ردلرزه مصنوعی، W ماتریس موجک، T ماتریس ردلرزه واقعی و r ماتریس ضرایب بازتاب است. در مورد ماتریس موجک، توجه به این نکته ضروری است که هر ستون آن نسبت به ستون قبلی، به اندازه زمان رفت وبرگشت لایه بعدی شیفت می‌یابد. بنابراین، مشکل تعیین تعداد لایه‌ها باقی می‌ماند که مورد بررسی قرار می‌گیرد.

چون در روش کمترین مربعها، هدف کمینه کردن خطاست، بنابراین باید رابطه‌ای برای خطا پیدا شود. این خطا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\mathbf{e}=\begin{bmatrix}e(1)\\e(2)\\\vdots\\e(NSAMP)\end{bmatrix}=\mathbf{T}-\mathbf{M} \qquad (۲)$$

که در آن، M ماتریس ردلرزه مصنوعی و T ماتریس ردلرزه واقعی است.

در این صورت تابع هدف عبارت است از:

$$J=e^Te=(\mathbf{T}-\mathbf{Wr})^T(\mathbf{T}-\mathbf{Wr}) \qquad (۳)$$

حل از طریق کمترین مربعها عبارت است از پیدا نمودن r، به شرطی که J تا حد امکان کمینه شده باشد. برای کمینه کردن تابع هدف، باید از عناصر r مشتق‌گیری کرد و برابر صفر قرار داد.

$$\frac{\partial J}{\partial r(i)}=0 \qquad i=1,N \qquad (۴)$$

نتیجه حاصل از رابطه ۴ به صورت یک دسته معادله خواهد بود که به معادلات نرمال معروف است.

$$\mathbf{W}^T\mathbf{Wr}=\mathbf{W}^T\mathbf{T} \qquad (۵)$$

رابطه ۵ یک دسته معادله با N معادله و N پارامتر ناشناخته است. حل کامل ریاضی معادله ۵ را می‌توان به صورت زیر نشان داد.

$$\mathbf{r}=\left(\mathbf{W}^T\mathbf{W}\right)^{-1}\mathbf{W}^T\mathbf{T} \qquad (۶)$$

به دست آوردن بخش راست رابطه ۶ در مسائل ژئوفیزیکی ساده نیست و به رغم پاسخ سریع نظری آن، در عمل قابل کاربرد نیست. برای پایدار نمودن حل آن فاکتور prewhitening معرفی می‌شود که به صورت زیر در رابطه مربوط به محاسبه پارامترهای ناشناخته وارد می‌شود.

$$\mathbf{r} = \left(\mathbf{W}^T\mathbf{W} + \lambda\mathbf{I}\right)^{-1}\mathbf{W}^T\mathbf{T} \quad (۷)$$

که در آن، λ فاکتور prewhitening و I ماتریس واحد است. رابطه ۷ با پیش فرضهای زیر به دست آمده است:۱) تعداد لایه‌ها معلوم است، ۲) زمان رفت و برگشت هر لایه معلوم است و ۳) موجک چشمه شناخته شده است. ممکن است یک یا چند شرط از شرایط ذکر شده در بالا مهیا نباشد. برای مثال اگر در رابطه ۶ از موجکهای مختلف W استفاده شود، یقیناً پاسخهای متفاوتی برای r (ناشناخته‌ها) به دست می‌آید. نکته مهم‌تر این که، برای محاسبه ضرایب بازتاب لازم است که تعداد لایه‌ها و زمان رفت و برگشت هر لایه معلوم باشد. به این منظور، از روش تکرار استفاده می‌شود که در زیر می‌آید.

۱) تقسیم محدودهٔ زمانی مورد نظر برای وارون‌سازی به لایه‌های با ستبرای مساوی که این ستبرا به عنوان یک پارامتر متغیر است(اندازه میانگین بلوک).
۲) ضریب بازتاب تقریبی برای هر مرز لایه در قسمت (۱) از طریق مدل اولیه به دست می‌آید. بنابراین، اگر مثلاً مرز بالا و مرز پایین یک بلوک به ترتیب $\tau(i)$ و $\tau(i+1)$ باشد، مقدار مقاومت صوتی برای هر بلوک از میانگین گیری مقاومتهای صوتی در طول این بلوک به دست می‌آید . اثر این مرحله، ایجاد یک مدل اولیهٔ بلوک‌بندی شده می‌باشد که همهٔ بلوکها دارای ستبرای یکسان هستند و ضریب بازتاب برای هر مرز بلوکها قابل محاسبه است.

۳) زمان برای هر مرز مشترک، از طریق همبستگی متقابل بین ردلرزه حاصل از ضرایب بازتاب به دست آمده از مرحلهٔ (۲) با ردلرزه واقعی، قابل بازیافت است. مرز لایه‌ها می‌توانند حداکثر به اندازهٔ نصف اندازهٔ بلوکها تغییر کنند. اگر ضرایب بازتاب حاصل از این مرحله نزدیک به مقادیر واقعی باشند، نتیجه قابل قبول است. نتیجهٔ این مرحله، ایجاد یک مدل با لایه‌های غیریکسان از نظر ستبرا خواهد بود. اکنون می‌توان دامنه‌ها را با استفاده از رابطهٔ ۷ به دست آورد.

می توان اظهار داشت که مدل کردن زمین به صورت بلوکهای مقاومت صوتی، در واقع مقابله با مسئله عدم واحد بودن نتایج وارون سازی لرزه‌ای است. عدم واحد بودن پاسخ حاصل از وارون سازی، از آنجا می‌آید که ترکیبهای مختلفی از ضرایب بازتاب، ردلرزه‌های مختلفی ایجاد می‌کنند که همگی منطبق با ردلرزه‌های واقعی هستند. به همین منظور، می‌توان از قیدها استفاده کرد. قیدها قسمتی از داده‌ها هستند که مستقل از داده‌های لرزه‌ای بوده و به شناسایی هر چه بهتر ضرایب بازتاب نامعلوم کمک می‌کنند. برای وارون سازی، باید برای هر ردلرزه، یک مدل اولیه مهیا شود. بهترین راه برای به دست آوردن مدل اولیه، استفاده از داده‌های نمودارهای چاه است. با استفاده از درونیابی بین چاهها، می‌توان یک مدل مقاومت صوتی اولیه برای هر ردلرزه به دست آورد. به دو روش می‌توان از قیدها برای وارون‌سازی استفاده کرد. روش اول این است که از اطلاعات اضافی به صورت قید نرم استفاده شود. به این معنا که مقاومت صوتی اولیه به عنوان بخشی جدا از اطلاعات همراه با داده‌های لرزه‌ای اما با وزن متفاوت، در وارون سازی شرکت داده شود. این روش را وارون سازی با مرز نرم می‌نامند. در روش دوم، از اطلاعات اضافی به صورت قید سخت استفاده می‌شود. در این روش، یک حد بالا و یک حد پایین مطلق برای مدل نهایی قرار داده می‌شود. به گونه‌ای که مقدار این مدل نهایی نمی‌تواند خارج از محدوده تعریف شده قرار گیرد که به روش وارون سازی با مرز سخت معروف است. در زیر این دو روش مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۱ وارون سازی با مرز نرم

در این روش ردلرزه و مدل اولیه مقاومت صوتی به صورت دو قسمت از داده‌ها با یکدیگر به درون تابع هدف آورده می‌شوند. به منظور ایجاد تابع هدف لازم است کلیه اطلاعات به صورت ماتریسی درآیند. بنابراین می‌بایست مدل اولیه به صورت ماتریسی درآید که آن را می‌توان به صورت زیر نوشت (Geoview Documentation, 1999):

$$\mathbf{L} \cong \mathbf{Hr} \quad (۹)$$

که در آن، L ماتریس به دست آمده از لگاریتم مقاومت صوتی و H به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & \cdots \\ 2 & 2 & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & 2 & \cdots \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

رابطه (۹) در واقع یک سیستم ازمعادلات و بسیار شبیه رابطه ۱ است که می‌توان گفت که بردار L شبیه ردلرزه و H همانند موجک عمل می‌کند. اعضای ماتریس H عدد دو است زیرا می‌توان ثابت کرد که برای ضرایب بازتاب کوچک، لگاریتم مقاومت صوتی هر لایه به طور تقریبی، معادل دو برابر مجموع ضرایب بازتاب لایه‌های بالای آن لایه است. حال، بردار خطا به صورت زیر خواهد شد.

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} e(1) \\ e(2) \\ \vdots \\ e(NSAMP) \end{bmatrix} = \mathbf{L} - \mathbf{Hr} \quad (۱۱)$$

که می‌توان تابع هدف مربوط به آن را به صورت زیر نوشت.

$$J = e^T e = (\mathbf{T} - \mathbf{Lr})^T (\mathbf{T} - \mathbf{Lr}) \quad (۱۲)$$

با کمینه کردن رابطهٔ ۱۲ می‌توان به مجموعه معادلات نرمال زیر دست یافت.

$$\mathbf{H}^T\mathbf{Hr} = \mathbf{H}^T\mathbf{L} \quad (۱۳)$$

حل رابطه ۱۳، بدون اضافه کردن فاکتور نوفه، به صورت زیر می‌شود.

$$\mathbf{r} = (\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{L} \qquad (۱۴)$$

چون داده‌های مربوط به نمودارهای چاهها دقیق نیستند، نباید انتظار داشت که انطباق کامل صورت پذیرد، زیرا همانند نوفه موجود در ردلرزه، بردار L دارای نوفه است. برای به دست آوردن نتیجه مطلوب باید یک تابع هدف طراحی شود که شامل اطلاعات لرزه‌ای و اطلاعات چاه باشـــــد. به همین منظور دو تابع هدف جداگانه که برای اطلاعات چاه و اطلاعات لرزه‌ای به دست آمده را ترکیب کرده و یک تابع هدف ساخته می‌شود که ترکیبی از هر دو باشد.

$$J = \mathrm{w}_1(\mathbf{L}-\mathbf{Hr})^{\mathrm{T}}(\mathbf{L}-\mathbf{Hr}) + (1-\mathrm{w}_1)(\mathbf{T}-\mathbf{Wr})^{\mathrm{T}}(\mathbf{T}-\mathbf{Wr}) \qquad (۱۵)$$

که در آن، w_1 فاکتور وزنی بین صفر و یک و بیانگر میزان اعتماد به هر یک از دو نوع دادهٔ مختلف، L (داده‌های نمودارهای چاه) و T (ردلرزه) می‌باشد. اگر w_1 صفر در نظر گرفته شود، منظور این خواهد بود که ردلرزه بی‌نهایت قابل اعتماد است و جمله دوم رابطه ۱۵ کاملاً غالب می‌شود. اگر w_1 برابر یک باشد، اثر معکوس خواهد داشت. رابطه ۱۵ هنوز مناسب نمی‌باشد، زیرا دو جملهٔ آن واحدهای مختلفی دارند و به همین دلیل ممکن است یکی بر دیگری کاملاً غالب شود. برای حل این مسئله، مجذور میانگین تراز سیگنالها به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$LMS = \frac{1}{NSAMP}\sum_i L(i)^2$$
$$TMS = \frac{1}{NSAMP}\sum_i T(i)^2 \qquad (۱۶)$$

در این صورت، تابع هدف جدید عبارت است از:

$$\mathbf{J} = \frac{\mathrm{w}_1(\mathbf{L}-\mathbf{Hr})^{\mathrm{T}}(\mathbf{L}-\mathbf{Hr})}{\mathrm{LMS}} + \frac{(1-\mathrm{w}_1)(\mathbf{T}-\mathbf{Wr})^{\mathrm{T}}(\mathbf{T}-\mathbf{Wr})}{\mathrm{TMS}} \qquad (۱۷)$$

۲-۲ وارون سازی با مرز سخت

در این روش از مدل اولیه مقاومت صوتی به عنوان نقطه شروع استفاده می‌شود و با استفاده از میانگین دامنه‌های آن مرزهای سختی ایجاد می‌شوند که مشخص می‌کنند هر پارامتر چه اندازه می‌تواند از مدل اولیه فاصله گیرد. اگر مدل اولیه به صورت $I_0(i),\ i = 1,\ NSAMP$ تعریف شود، می‌توان لگاریتم مقاومتهای صوتی را به صورت $L(i) = \log[I_0(i)]$ تعریف کرد. چنانچه ضرایب بازتاب کوچک باشند، همانند قبل می‌توان نوشت (Geoview Documentation, 1999):

$$L(i) \cong L(0) + \sum_{j=1}^{i} 2r(j) \qquad (۱۹)$$

با فرض یک مدل زمین که دارای $m+1$ لایه باشد و مقاومتهای صوتی مربوط به این لایه‌ها برابر: $L(0), L(1), \ldots, L(m)$ باشند، می‌توان بردار مقاومت صوتی را با طول $m+1$ به صورت زیر تعریف کرد.

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} L(0) \\ L(1) \\ \vdots \\ L(m) \end{bmatrix} \qquad (۲۰)$$

با استفاده از روابط قبلی می‌توان یک تابع هدف ساخت که به جای حل مستقیم از طریق گرادیان مزدوج آن را حل کرد. برای استفاده از روش گرادیان مزدوج، سه بردار زیر تعریف می‌شوند.

$$\mathbf{L_L} = \begin{bmatrix} L_L(0) \\ L_L(1) \\ \vdots \\ L_L(m) \end{bmatrix} \quad \mathbf{L_0} = \begin{bmatrix} L_0(0) \\ L_0(1) \\ \vdots \\ L_0(m) \end{bmatrix} \quad \mathbf{L_U} = \begin{bmatrix} L_U(0) \\ L_U(1) \\ \vdots \\ L_U(m) \end{bmatrix} \qquad (۲۱)$$

که در آن، بردار L_L حد پایینی مقاومت صوتی، بردار L_0 مقاومت صوتی اولیه (مدل اولیه) و بردار L_U حد بالایی مقاومت صوتی می‌باشد. نتیجه حاصل از گرادیان مزدوج برای هر لایه L(i) خواهد بود که همیشه در رابطهٔ زیر صدق می‌کند.

$$\mathbf{L_L}(i) \le \mathbf{L}(i) \le \mathbf{L_U}(i) \qquad (۲۲)$$

۳- وارون‌سازی بر پایهٔ مدل بر روی داده‌های سه بعدی آب تیمور

پارامترهای مهم مربوط به وارون‌سازی بر پایهٔ مدل عبارتند از: اندازهٔ میانگین بلوک و تعداد تکرار. راجع به اندازهٔ میانگین بلوک برای پیدا کردن مرز لایه‌ها در بخش قبل توضیح داده شد. اندازهٔ بلوک نمی‌تواند کمتر از نمونه‌برداری داده‌های لرزه‌ای انتخاب شود، بلکه باید مضرب صحیحی از آن باشد. نکته مهم‌تر آنکه، روش بر پایه مدل با مدل کردن بلوکی لایه‌های زمین می‌کوشد که تعداد پارامترهای ناشناخته را کمتر کند تا حل مشکل عدم جواب واحد راحت‌تر شود. بنابراین بهتر آن است که اندازه بلوک بزرگ‌تر از زمان نمونه برداری اطلاعات لرزه‌ای باشد. برای به دست آوردن مقدار مناسب این پارامتر، باید اندازهٔ آن به صورت آزمایشی ۲ تا ۳ برابر زمان نمونه‌برداری انتخاب شود. قابل ذکر است که با افزایش اندازه بلوک، خطا بین ردلرزه مدل شده با ردلرزه واقعی افزایش می‌یابد.

وارون سازی برپایه مدل بر روی داده‌های سه بعدی آب تیمور با استفاده از نرم افزار Hampson-Russel صورت گرفت که نتایج آن در محل چاه شماره ۱ در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا به بررسی پارامتر اندازه بلوک پرداخته می‌شود. قابل ذکر است که انتخاب مقادیر کوچک برای این پارامتر قدرت تفکیک را بالا می‌برد اما تعداد پارامترهای ناشناخته بیشتر می‌شود.

برای داده‌های سه بعدی آب تیمور نتایج اعمال این پارامتر با مقادیر ۴ ، ۸ و ۱۶ میلی ثانیه در شکلهای ۱ و۲ آمده است که در نهایت مقدار ۸ میلی ثانیه به عنوان مقدار نهایی انتخاب شد. به دلیل اینکه مدلهای فراوانی وجود دارند که ردلرزه‌های یکسانی به وجود می‌آورند، بنابراین تنها کم بودن خطا بین ردلرزه حاصل از وارون سازی و ردلرزه واقعی کافی نمی‌باشد بلکه باید مدل مقاومت صوتی به دست آمده از وارون سازی با مدل واقعی در محل چاهها همخوانی داشته باشد. پارامتر دیگر تعداد تکرار است. به دلیل اینکه برای حل ماتریسهای بزرگ باید از روش گرادیان مزدوج استفاده شود، بنابراین نیاز به تکرار محرز به نظر می‌رسد. معمولاً نرم افزار بعد از ۴ تا ۵ تکرار نتایج قابل اطمینانی را به دست می‌دهد. اما همیشه این گونه نیست و ممکن است به تکرارهای بالاتر نیاز باشد. برای روشن شدن این موضوع، وارون سازی با دو تکرار متفاوت ۲ و ۳۰۰ در محل چاه ۱ در شکل ۳ نشان داده شده است. چنانکه دیده می‌شود، تعداد تکرار بیشتر جواب بهتری را به دست داده است که همیشه این گونه است. تنها مشکل در این میان، طولانی شدن زمان انجام محاسبات می‌باشد.

انجام وارون‌سازی به روش با مرز نرم نسبت به روش با مرز سخت متفاوت است زیرا در این روش، بسته به میزان اعتماد به داده‌های نمودارهای چاه و داده‌های لرزه‌ای می‌بایست ضریب وزنی مناسب به هر یک از آنها تعلق گیرد. چنانچه این ضریب نزدیک یک باشد، داده‌های نمودارهای چاه از اعتماد بیشتری برخوردارند وبالعکس. درشکلهای ۴ و ۵ ، مقدار وزن به مدل اولیه ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۸ انتخاب شده است. آنچه مسلم است اینکه اگر پدیده‌ای در داده‌های لرزه‌ای موجود باشد و وزن زیادی به مدل اولیه داده شود، بسته به میزان وزن این پدیده ضعیف یا ممکن است دیده نشود.

حال به بررسی روش با مرز سخت پرداخته می‌شود. شکل ۶ مدل نهایی حاصل از وارون سازی بر پایه مدل به روش مرز سخت برای in-line ۷۶۷ را نشان می‌دهد. پارامترهای مورد استفاده در این شکل در زیر آن آمده است. در سمت چپ در محدوده crossline از ۳۲۳ تا ۳۷۳ و در زمان تقریبی ۲۳۰۰ میلی ثانیه دو پدیده با افت مقاومت صوتی مشخص شده‌اند که این دو پدیده در اطلاعات لرزه‌ای وجود دارند و چاهی بر روی آنها حفر نشده است. بنابراین از این روش می‌توان به عنوان یک روش مناسب جهت تصمیم گیری در حفاریهای آینده استفاده کرد.

۴- نتیجه گیری

۱- در روش بر پایهٔ مدل، روش با مرز سخت معمولاً جواب قابل اعتمادتری نسبت به روش با مرز نرم به دست می‌دهد. علت این امر به الگوریتم و نحوهٔ به دست آوردن پارامترهای ناشناخته مدل برمی‌گردد.

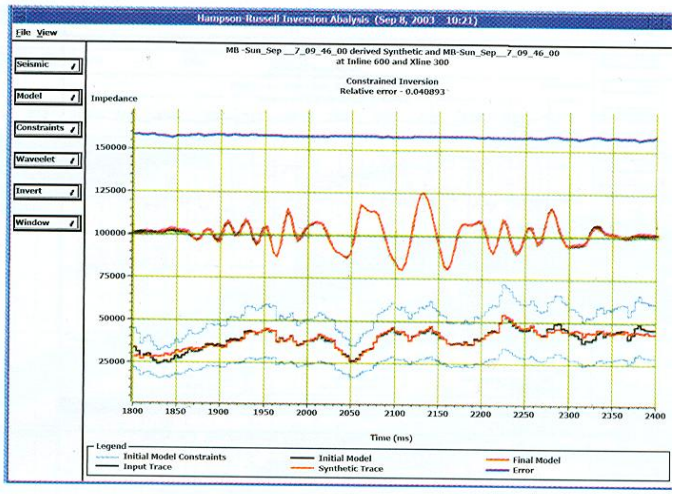
۲- در روش بر پایه مدل، بهتر آن است که اندازه بلوک بزرگ‌تر از فاصله بین نمونه‌های ردلرزه‌ها باشد، زیرا در این حالت نوفه کمتری در گیر وارون سازی می‌شود و مبارزه با مشکل عدم واحد بودن نتایج وارون سازی ساده‌تر است.

۳- برای داده‌های سه بعدی آب تیمور استفاده از پارامترهای اندازه بلوک ۸ میلی ثانیه، حد بالا و پایین ۳۵ درصد و تعداد تکرار حداقل ۸ توصیه می‌شود.

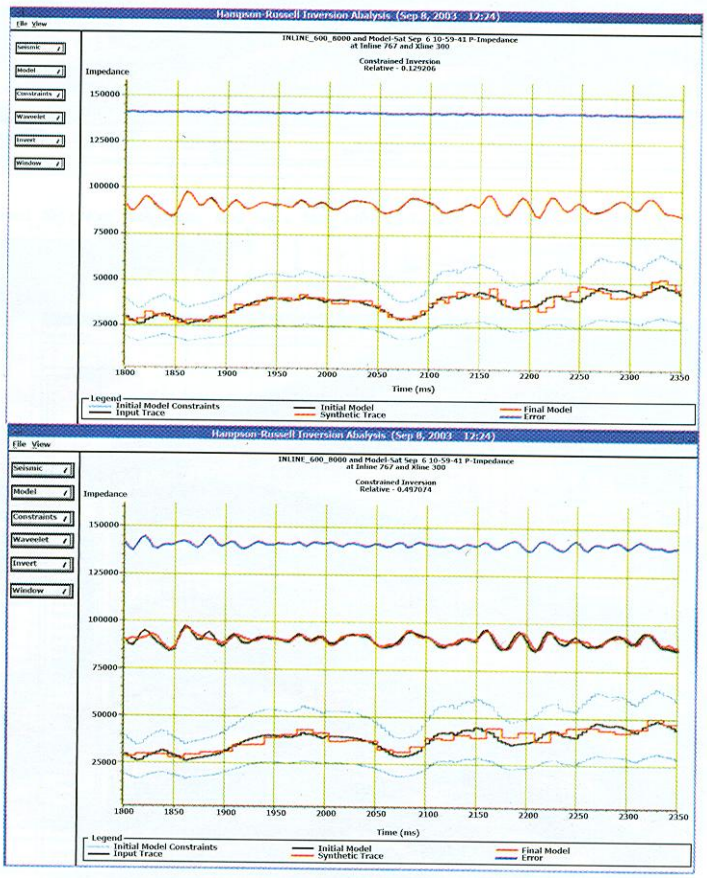
٤- در سازند سروک، دو منطقه با مقاومت صوتی پایین مشخص شدند که می‌توانند پتانسیل وجود هیدروکربن را داشته باشند.

تشکر و قدردانی

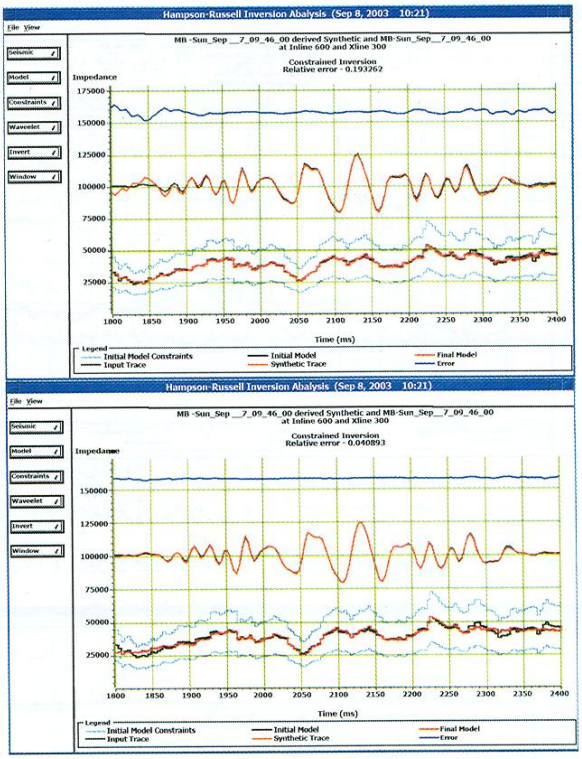
از شورای پژوهشی دانشگاه تهران و مؤسسه ژئوفیزیک به لحاظ حمایت مالی این مطالعه در قالب طرح تحقیقاتی "بررسی روشهای وارون سازی لرزه‌ای model based و sparse spike "به شماره ۶۵۲/۲/۱۰۵۳ سپاسگزاری می‌شود. از اداره کل ژئوفیزیک شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف، به دلیل در اختیار گذاشتن امکانات سخت افزاری و نرم افزاری کمال تشکر وقدردانی را دارد.



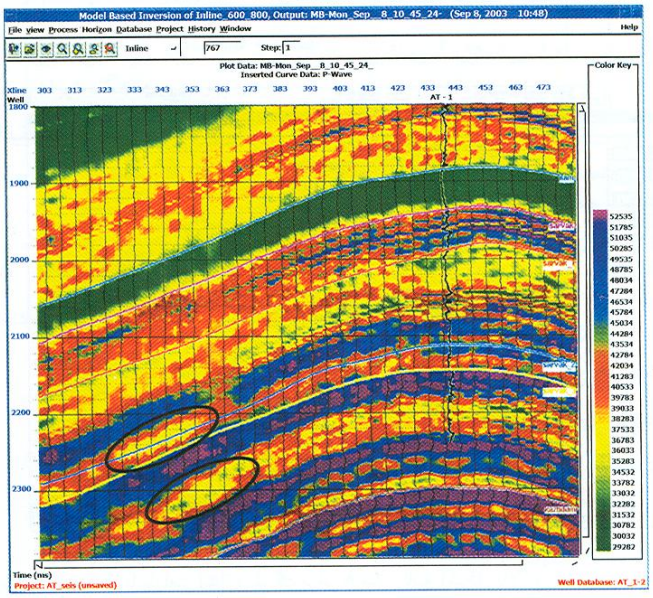
شکل ۱- انجام وارون سازی به روش بر پایه مدل با پارامتر اندازه بلوک برابر ۴ میلی ثانیه در محل چاه شماره ۱ آب تیمور. سایر پارامترها عبارتند از: ۳۵ درصد برای مرز سخت و ۳۰۰ برای تکرار (حقیقی، ۱۳۸۲).



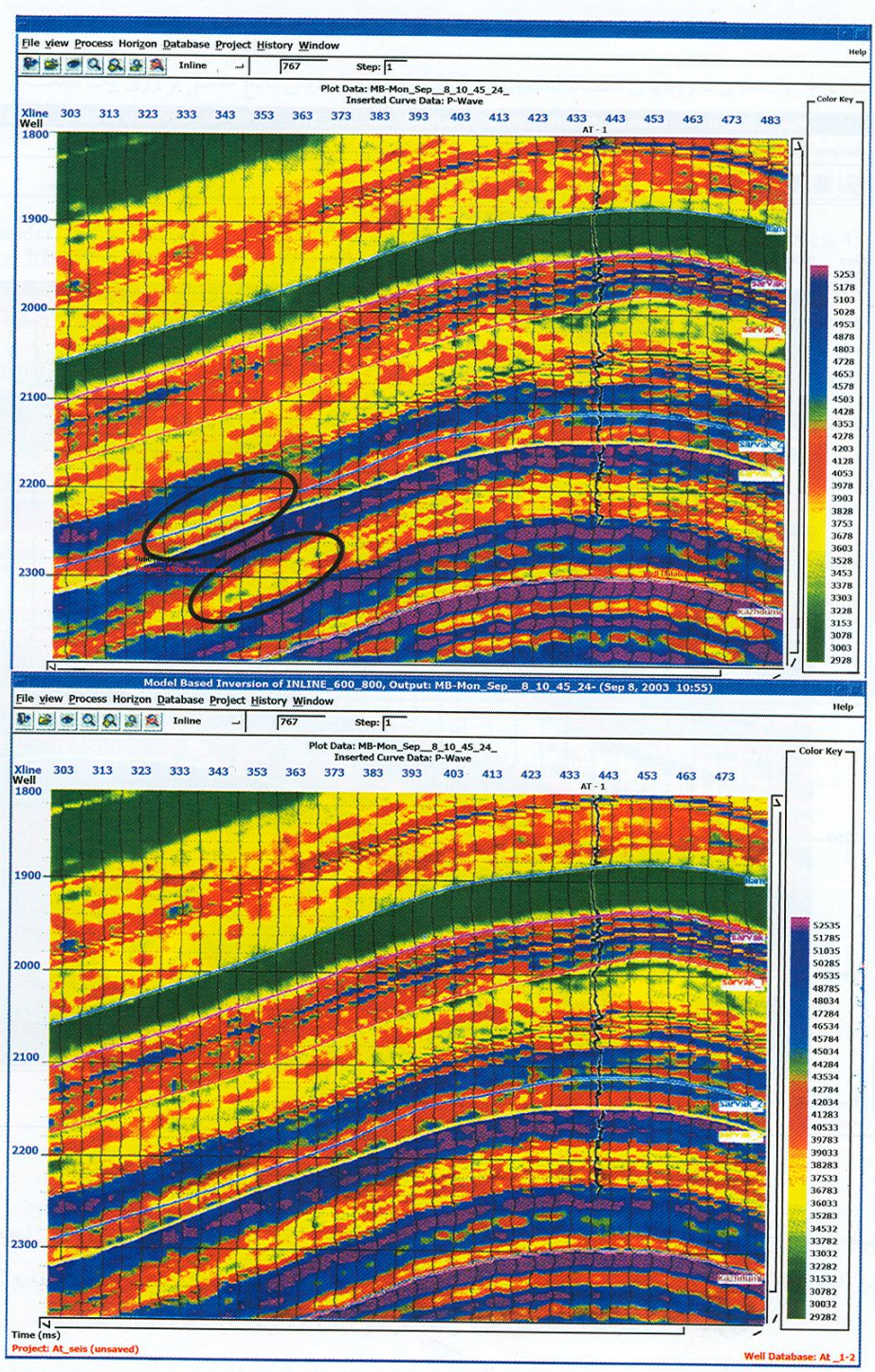
شکل ۲- انجام وارون سازی به روش بر پایه مدل با پارامتر اندازه بلوک برابر ۸ میلی ثانیه (شکل بالا) و ۱۶ میلی ثانیه (شکل پایین) در محل چاه شماره ۱ آب تیمور. سایر پارامترها عبارتند از: ۳۵ درصد برای مرز سخت و ۳۰۰ برای تکرار. دیده می شود که بزرگ‌تر شدن اندازهٔ بلوک باعث افزایش خطا (نمودار بالایی هر شکل) می‌شود.



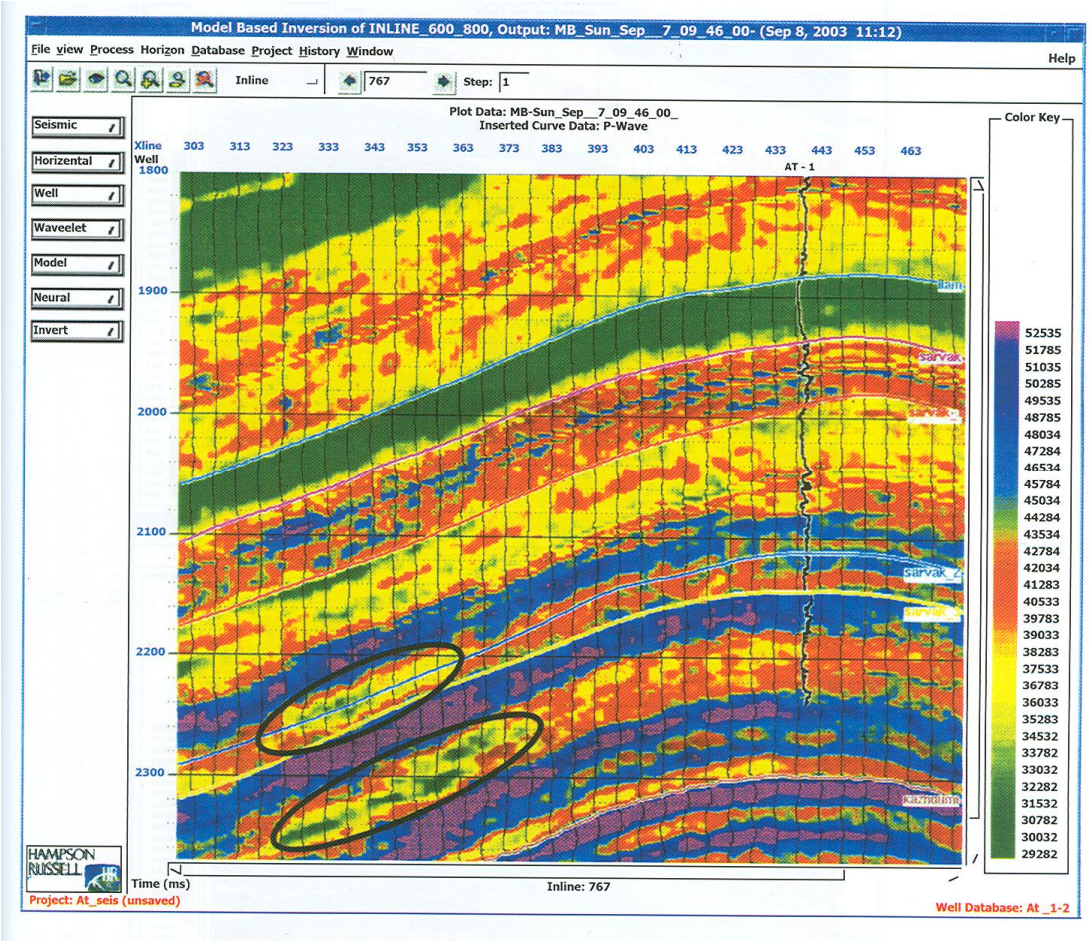
شکل ۳- اثر تعداد تکرار بر نتیجه حاصل از وارون سازی در محل چاه شماره ۱ آب تیمور. شکل بالا به ازای تکرار ۲ و شکل پایین به ازای تکرار ۳۰۰ است. سایر پارامترها عبارتند از: ۳۵ درصد برای مرز سخت و ۴ میلی‌ثانیه برای انداز بلوک است.



شکل ۴- وارون سازی بر پایه مدل به روش مرز نرم برای in-line شماره۷۶۷ آب تیمور با دادن ضریب وزنی ۰/۳ به داده‌های نمودارهای چاه. سایر پارامترها عبارتند از ۴ میلی ثانیه برای انداره بلوک و ۱۰۰ تکرار. در این حالت دو پدیده با مقاومت صوتی پایین در سمت چپ مقطع قابل مشاهده است.



شکل ۵- وارون سازی بر پایه مدل به روش مرز نرم برای in-line شماره۷۶۷ آب تیمـــور با دادن ضریب وزنی ۰/۵ (شکل بالا) و ۰/۸ (شکل پایین) به داده‌های نمودارهای چاه. سایر پارامتـــرها عبارتند از ۸ میلی ثانیه برای اندازه بلوک و ۱۰۰ تکرار. در این حالت دو پدیده با مقاومت صوتی پایین در سمت چپ مقطع با وضوح کمتری بخصوص در شکل پایینی مشاهده می‌شود.



شکل ۶- مدل نهایی حاصل از وارون سازی بر پایه مدل به روش مرز سخت برای in-line شماره۷۶۷ آب تیمورآمده است. در سمت چپ در محدوده crossline از ۳۲۳ تا ۳۷۳ و در زمان تقریبی ۲۳۰۰ میلی ثانیه دو پدیده با افت مقاومت صوتی مشخص شده‌اند. پارامترهای مربوط به انجام این وارون سازی عبارتند از ۳۵ درصد برای مرز بالا و مرز پایین، ۸ میلی ثانیه برای اندازه بلوک و ۱۰۰ تکرار.

کتابنگاری

حقیقی، م.، ۱۳۸۲- تئوری وارون سازی به روشهای model based و sparse spike و آزمایش نتایج حاصل بر روی یک مکعب از داده های سه بعدی آب تیمور، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک.

References

Cooke, D. A. & Schneider, W. A.,1983- Generalized linear inversion of reflection seismic data: Geophysics, 48, 665-676.
GEOHORIZONS Oct. 2002 /2, www.spgindia.org/geohorizon/oct2002/11_15.pdf.
Geoview Documentation ,1999- Hampson-Russell Software Ltd.
Lines, L. R. & Treitel,S.,1984- A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems: Geoph. Prosp., 32, 159-186.
Oldenburg,D.W., Scheuer,T. & Levy, S.,1983- Recovery of the acoustic impedance from reflection seismograms: Geophysics, 48, 1318-1337.
Russell, B. ,1988- Introduction to seismic inversion methods, The SEG course notes series, 2.
Scales, J. A. & Smith, M. L.,1994- Introductory geophysical inverse theory, Samizdat Press. Golden, CO.
Yilmaz, O.,1987- Seismic data processing, Soc. Expl. Geophys., Tulsa, OK.

*مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران
**شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف، اداره کل ژئوفیزیک

*Institute of Geophysics, Tehran University
**Geophysics Dept., NIOC Exploration Directorate, Tehran