

بازسازی ردلرزه‌های از بین رفته با استفاده از تبدیل رادون سهمی

محمدعلی ریاحی^{۱*}، ناصر بنی‌حسن^۲ و نوید امینی^۳

^۱ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشجوی دکتری ژئوفیزیک، آی‌افام-ژئومار-کیل-آلمان

^۳ دانشجوی دکتری ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۵/۶/۲۲، پذیرش نهایی: ۸۷/۱/۱۵)

چکیده

در اثر محدودیت‌ها و یا عوارض طبیعی در برداشت داده‌های لرزه‌ای بازتابی، برخی از ردلرزه‌ها ثبت نمی‌شوند و یا به دلیل داشتن نوفه شدید در مرحله پردازش حذف می‌شوند. این معضل باعث پایین آمدن درصد پوشش و در نتیجه کاهش قدرت تفکیک در مقطع برانبارش می‌شود، از این رو بازسازی ردلرزه‌های معیوب و درون‌یابی و برون‌یابی آنها مسئله‌ای مهم در پردازش داده‌های لرزه‌ای است. یک روش برای بازیابی ردلرزه‌های از بین رفته، تبدیل رادون سهمی است. این روش بر پایه فرض سهمی بودن رخداد‌های لرزه‌ای استوار است. به این منظور ابتدا رخداد‌های لرزه‌ای با تصحیح برون‌راند نرمال جزئی به سهمی تقریب زده می‌شوند. در ادامه با تبدیل رادون سهمی پیشرو به حوزه رادون منتقل می‌شود و پس از تبدیل معکوس، ردلرزه‌های صفر اولیه به طور جزئی بازسازی می‌شوند. پس از تکرار این فرایند، ردلرزه‌ها به صورت کامل بازسازی می‌شوند. در این مقاله پس از مطرح ساختن اصول نظری، کارایی الگوریتم روی داده‌های مصنوعی ارزیابی و نتایج آن در حالت واقعی نیز بررسی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبدیل رادون، بازسازی ردلرزه‌ها، درون‌یابی داده‌ها

Trace reconstruction by Parabolic Radon Transform

Riahi, M. A.¹, Bani hasan, N.² and Amini, N.³

¹Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

² Ph. D. Student of Geophysics, IFM-Geomar, Kiel, Germany

³ Ph. D. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 13 Sep 2006, Accepted: 24 Jan 2009)

Abstract

Due to some difficulties during seismic data acquisition, like natural obstacles (high voltage electricity cable, bad coupling of geophones with the ground) some of the traces cannot be recorded. Since bad traces make the final stack unclear, usually bad traces go mute while processing. The final image of the earth's crust is highly dependent of the quality and resolution of acquired data and muting these traces may cause lack of resolution. In this paper, parabolic radon transform is utilized to restore data. Radon transform is a method in which data is transferred to t-q domain from t-x domain. One of the remarkable features in this domain is that data with irregular spacing can be used as input. If these data transfer to t-q domain and transfer back to t-x domain, they will be partially restored. If we carry out this

process in an iterative algorithm, the entire missed data will be reconstructed. This method uses an interpolation and extrapolation approach so that it predicts the wavelength and amplitude of each missed trace using adjacent traces.

There are some algorithms for which we do not need pre-information in order to make weighted coefficients as these coefficients are defined automatically. The algorithm offered here uses this approach and weighted coefficients metrics are defined using the Haber norm. Based on this method, this equation should be solved for each frequency component, meaning that this method utilizes the iterative least square approach. Our experience shows that solving the equation forward and backward, maximum 10 times restores the missed traces.

Some assumptions have been made in order to simplify the question. We assumed that there is no lateral velocity variation in layers. Moreover, the length of the receiver array is small compared with the depth of the target. With this assumption we can approximate the events to hyperbola. To apply the parabolic transform, we need to approximate the hyperbolic events to parabolic events. Thus, we applied a partially NMO correction on the data. The data will be corrected to the original hyperbolas, the same amount of initial NMO correction right after the reconstruction. The algorithm is run on a couple of synthetic models with various locations missed traces. We modeled parabolic and hyperbolic CMP gathers with 50 traces in which 11 traces are missed in near offset as well as in middle offset. After running the algorithm on the model, the traces were restored very well. However, far offset missing data cannot be extrapolated completely. We applied a white noise in the middle offset; the result was in agreement with the original wiggle synthetic CMP gather. Since the parabolic transform is used, the data is fully restored providing the events are completely parabolic.

The reconstruction algorithm is applied on real marine data afterwards. This CMP gather contains 51 traces irregularly spaced and sampled by 4ms rate. Some of the traces from the middle and near offsets were muted arbitrarily. After applying a set of forward and inverse Radon transform, the data were restored remarkably and concentration of energy in semblance panel became much better.

This method makes no artifact as this is interpolation and/or extrapolation of existing hyperbolic events. Although hyperbolic algorithm is our convention (since the events are hyperbolic), this is not applicable due to computational difficulties. It is possible to perform parabolic Radon transform in frequency domain quite fast. Since the L matrix (inverse radon transform matrix) contains full information about traces and their distribution, lack of a trace or irregular spacing of them does not play an important role.

Keywords: Radon transform, Trace reconstruction, Data interpolation

۱ مقدمه

ردلرزه‌ها در مرحله پردازش حذف می‌شوند، زیرا بهبود تصویر زیرزمین هدف اساسی این مراحل است و کیفیت این تصاویر وابستگی زیادی به کیفیت داده‌های ورودی دارد. حذف این ردلرزه‌ها مشکلاتی را در بردارد، که از جمله آنها می‌توان به از دست دادن قدرت تفکیک در مقاطع لرزه‌ای

هنگام برداشت داده‌ها در عملیات لرزه‌ای به دلایل متعدد ممکن است که بعضی از ردلرزه‌ها قابل استفاده نباشند، از جمله این دلایل می‌توان به حضور کابل فشار قوی در نزدیکی خط لرزه‌ای، وجود نوفه شدید ناشی از جاده و یا خوب جفت نبودن ژئوفون‌ها با زمین اشاره کرد. معمولاً این

که در اینجا $d(x_j, t)$ برداشت CMP در حیطه $t-x$ ، x_j دورافت و $u(\tau, q_k)$ برداشت CMP در حیطه $\tau-q$ است. N تعداد تریس‌های موجود در برداشت CMP و M تعداد مقادیر گسسته q است. به دلایل محاسباتی بهتر است معادله (۳) را در حیطه بسامد- دورافت نوشت، بدین ترتیب محاسبات به ازای هر مؤلفه بسامدی به صورت مستقل صورت می‌گیرد. می‌توان رابطه تبدیل رادون در حیطه بسامد را به صورت ماتریسی نوشت:

$$\mathbf{d}(f) = \mathbf{L}(f)\mathbf{U}(f) \quad (۴)$$

که در اینجا L عملگر تبدیل رادون معکوس است. عملگر تبدیل رادون پیشرو را می‌توان با وارون‌سازی به دست آورد. یک رهیافت، استفاده از روش کمترین مربعات است:

$$\mathbf{U} = ((\mathbf{L}^T\mathbf{L})^{-1} + \mathbf{L}^T)\mathbf{D} \quad (۵)$$

که در این رابطه L^T ترانهاده ماتریس L است. ماتریس $L^T L$ ساختاری توپلیتس دارد و اجازه استفاده از یک فرایند وارون‌سازی سریع و مؤثر لوینسون را می‌دهد (دارچ، ۱۹۹۰).

۳ تبدیل رادون با قدرت تفکیک زیاد خودکار

الگوریتم‌هایی وجود دارند که در آنها برای ساختن ضرایب وزنی نیازی به اطلاعات قبلی نیست، بلکه این ضرایب به صورت خودکار تعیین می‌شوند. الگوریتمی که در این قسمت مطرح خواهد شد نیز از این نوع الگوریتم‌ها است و ماتریس ضرایب وزنی با نرم هابر تعیین می‌شود. نرم هابر به گونه‌ای ضرایب وزنی را تغییر می‌دهد که تمرکز انرژی در حوزه $\tau-q$ بیشتر می‌شود و بدین صورت قدرت تفکیک بیشتر می‌شود. رابطه تبدیل رادون با قدرت تفکیک زیاد با استفاده از نرم هابر به صورت زیر تعریف می‌شود (ساچی و پورسانی، ۱۹۹۹):

اشاره کرد. در این تحقیق روش تبدیل رادون سهمی به منزله روشی کارا برای بازسازی ردلرزه‌ها به خدمت گرفته شده است. تبدیل رادون، تبدیلی است که براساس آن داده‌ها را می‌توان از حوزه زمان- دورافت $(t-x)$ به حوزه زمان- شبه‌کندی $(\tau-q)$ منتقل کرد. از خواص این حوزه آن است که داده‌ها می‌توانند با فواصل نامساوی نیز به این حوزه وارد شوند (شونویل و دوینچندام، ۲۰۰۱). حال اگر ردلرزه را با استفاده از تبدیل رادون به حوزه $\tau-q$ منتقل کنیم و با یک تبدیل معکوس آنها را به حوزه $t-x$ بازگردانیم، داده‌ها (ردلرزه‌های صفر) به طور جزئی بازسازی می‌شوند (وی هونگ، ۲۰۰۵). با یک فرایند تکراری می‌توان تا حد مطلوب داده‌ها را بازسازی کرد (نارال کبیر و فرشور، ۱۹۹۵).

۲ تبدیل رادون سهمی

در یک CMP می‌توان برابارش را روی یک مسیر سهمی عملی ساخت، به این ترتیب تبدیل رادون پیشرو را می‌توان به صورت زیر نوشت (ییلماز، ۲۰۰۱):

$$u(\tau, q) = \int_{-\infty}^{+\infty} d(t = \tau + qx^2, x) dx \quad (۱)$$

که در این رابطه X دورافت، q شبه‌کندی (پارامتر رادون)، d ، CMP در حیطه $t-x$ و u در حیطه $\tau-q$ هستند، به همین ترتیب می‌توان تبدیل رادون وارون را به صورت زیر نوشت (ییلماز، ۲۰۰۱):

$$d(t, x) = \int_{-\infty}^{+\infty} u(\tau = t - qx^2, q) dq \quad (۲)$$

از آنجا که داده‌های لرزه‌ای گسسته‌اند، به نوع گسسته تبدیل رادون نیازمندیم:

$$d(t, x_j) = \sum_{k=1}^M u(\tau = t - q_k x_j^2, q_k), \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (۳)$$

۴ اعمال الگوریتم روی داده‌های مصنوعی

۴-۱ ایجاد مدل مصنوعی

در این تحقیق از مدل‌های مصنوعی برای بررسی چگونگی کارکرد الگوریتم بازسازی استفاده می‌شود. در این جا هدف ایجاد یک برداشت نقطه میانی مشترک (CMP) است. برای این منظور از یک برنامه مدل‌سازی استفاده می‌شود و برداشت دلخواه را ایجاد می‌کنیم. فرض‌های اساسی این مدل‌سازی عبارت‌اند از:

۱- لایه‌ها تغییر سرعت جانبی ندارند.

۲- طول آرایه گیرنده در مقایسه با عمق اهداف کمتر است.

با فرض شماره ۲ می‌توانیم بازتاب‌ها را با رخدادهای هذلولی تقریب بزیم. هر هذلولی با دو پارامتر بیان می‌شود، V_{rms} لایه‌های فوقانی و t_0 زمان رفت و برگشت قائم پرتو:

$$t^2 = t_0^2 + \frac{h^2}{V_{rms}^2} \quad (10)$$

که در این رابطه h دورافت و t زمان رسید جبهه موج بازتابی از لایه مورد نظر است. پس برای مدل کردن بازتاب‌ها کافی است عمق و سرعت میانگین مربعی لایه‌ها را بدانیم. با این فرض و استفاده از رابطه (۷) می‌توانیم به ازای هر t ، h را به دست آوریم. در اینجا دو نوع رکورد مصنوعی تولید شد که یکی از آنها شامل دو رخداد سهمی و دیگری شامل دو رخداد هذلولی است. در هر کدام از این دو رکورد، رخداد فوقانی در عمق ۱۰۰۰ متر و با سرعت ۱۵۰۰ متر بر ثانیه و رخداد پایینی در عمق ۳۰۰۰ متری و با سرعت ۲۵۰۰ متر بر ثانیه مدل‌سازی می‌شوند. در این مدل‌ها، فاصله نزدیک‌ترین ردلرزه صفرمتر، فاصله دورترین ردلرزه ۲۵۰۰ متر و ۵۰ ردلرزه با بازه ۵۰ متری در نظر گرفته شد. همچنین نرخ نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه و طول موجک ۴۶ نمونه انتخاب

$$U = (L^T L + \mu Q_H(U))^{-1} L^T D \quad (6)$$

$Q_H(U)$ ماتریسی قطری است که درایه‌های آن وابسته به مقادیر U است و با ضابطه نرم هابر تعیین می‌شود. مشاهده می‌شود که $Q_H(U)$ وابسته به U است از این رو با یک معادله بازگشتی روبه‌رو هستیم که حل آن نیازمند فرایندی تکراری است، به این صورت که در هر مرحله تکرار، مقدار $Q_H(U)$ با استفاده از U محاسبه شده در مرحله قبلی تعدیل می‌شود و در انتهای فرایند تکراری مقدار U بهینه به دست می‌آید. به زبان ریاضی:

$$U_{k+1} = (L^T L + \mu Q_H(U^k))^{-1} L^T D \quad (7)$$

که در اینجا اندیس k نماینده تکرار k ام است.

در حالت غیر تکراری، حل معادله وارون فقط یک‌بار به ازای هر مؤلفه بسامدی کفایت می‌کرد، ولی در این روش می‌بایست به ازای هر مؤلفه بسامدی این معادله چندین مرتبه در یک فرایند تکراری حل شود. به عبارت بهتر این روش از روش کمترین مربعات مکرر استفاده می‌کند. ضابطه نرم هابر نیز به صورت زیر است:

$$Q_{H,ii} = \frac{1}{\sigma^2} \begin{cases} 1 & |U_i| \leq U_c \\ \frac{U_c}{|U_i|} & |U_i| > U_c \end{cases} \quad (8)$$

که،

$$U_c = 0.01 \max(U_i) \quad (9)$$

نرم هابر طوری Q_{ii} را تنظیم می‌کند که U_i مربوط به مدل تقویت و مابقی تضعیف شوند. تجربه نشان داده است که در حدود حداکثر ۱۰ تکرار برای بهینه‌سازی مقدار Q ، کافی است. همچنین مقدار ضریب μ از راه آزمون و خطا تعیین می‌شود.

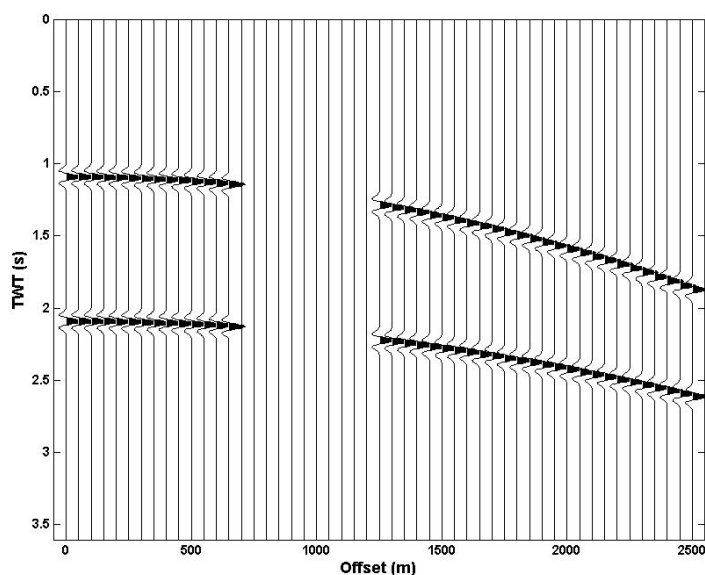
تبدیل رادون سهمی پیشرو و معکوس صورت می‌گیرد. پس از اجرای مجدد الگوریتم، ردلرزه‌ها مقدار بیشتری بازسازی می‌شوند. این عمل به طور تکراری صورت می‌گیرد تا در نهایت ردلرزه‌ها تا حد قابل قبولی بازسازی شوند. در شکل‌های ۱ و ۲ حاصل اعمال تبدیل رادون پیشرو و معکوس که روی رکورد سهمی به انجام رسیده است، مشاهده می‌شود. در این رکورد، دامنه ۱۱ ردلرزه (۱۵ الی ۲۵) برابر صفر قرار داده شده است. این فرایند با ۱۰ مرتبه تکرار صورت گرفته است.

در شکل ۲ نمایش گرافیکی زمان برحسب مقادیر q دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، رخدادها به صورت دو نقطه که کشیدگی کمی دارند دیده می‌شوند و انرژی تقریباً به طور متمرکز و قابل قبول است. در شکل ۳ ردلرزه‌های بازسازی شده در حوزه $t-x$ دیده می‌شوند. همان‌طور که دیده می‌شود، ردلرزه‌ها به‌طور قابل قبولی بازسازی شده‌اند.

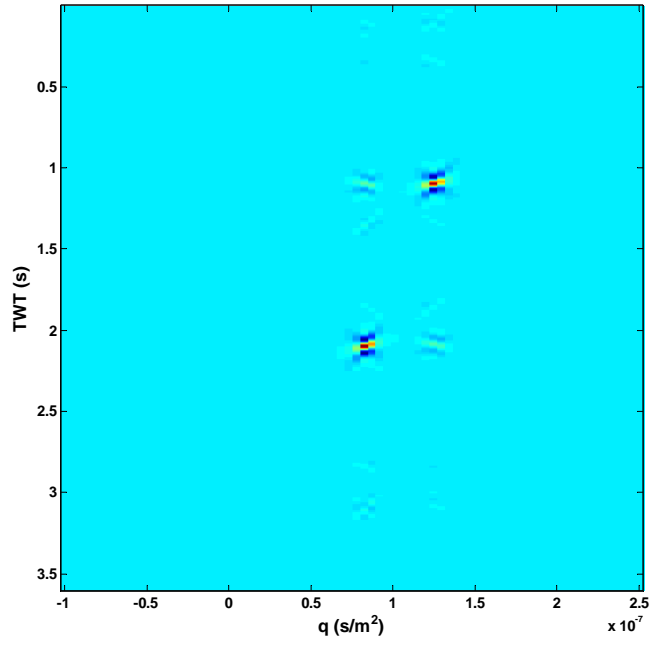
شد. برای نمایش و اعمال الگوریتم روی رخدادهای با انرژی‌های متفاوت، رخداد پایینی با دامنه ۰٫۷ رخداد فوقانی مدل‌سازی شد.

۲-۴ آزمایش الگوریتم روی رکورد مصنوعی سهمی

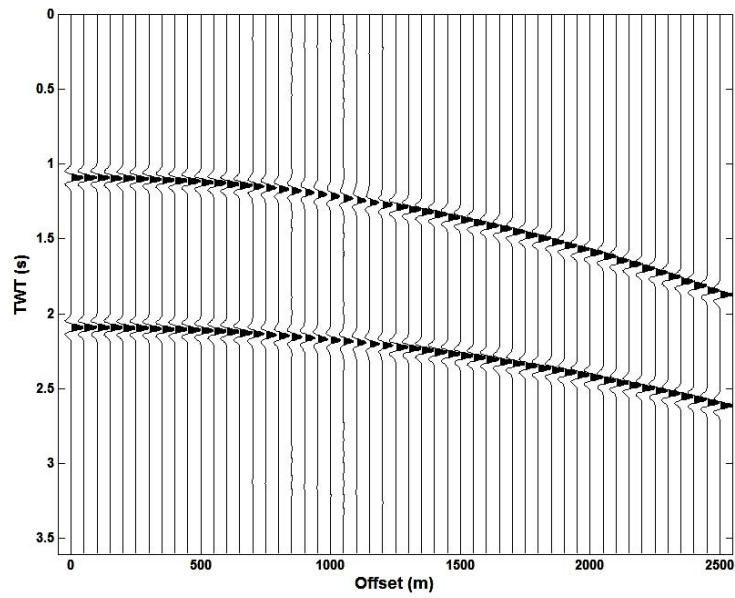
در ابتدا این الگوریتم را روی رکورد حاوی رخدادهای سهمی به کار می‌بریم. از آنجا که رخدادها سهمی هستند به تصحیح برون‌راند نرمال نیاز نخواهد بود. برای انتقال داده‌ها به حوزه رادون از الگوریتم رادون پیشرو استفاده می‌شود، در این فرایند بازه مقادیر q از ۰٫۵- تا ۰٫۵+ در نظر گرفته شد. تعداد مقادیر q نیز برای جلوگیری از دگرنامی ۱٫۵ برابر تعداد ردلرزه‌ها در نظر گرفته شد. برای انتقال داده‌ها از حوزه $t-q$ به حوزه $t-x$ نیز از الگوریتم رادون معکوس استفاده شد. در طی اعمال تبدیل رادون پیشرو و معکوس ردلرزه‌های آر بین رفته اندکی بازسازی می‌شوند. در ادامه ردلرزه‌های سالم از رکورد اولیه جای‌گذاری می‌شود و سپس فرایند اعمال



شکل ۱. رکورد مصنوعی سهمی شامل دو رخداد با ۱۱ ردلرزه میانی که دامنه آنها صفر است.



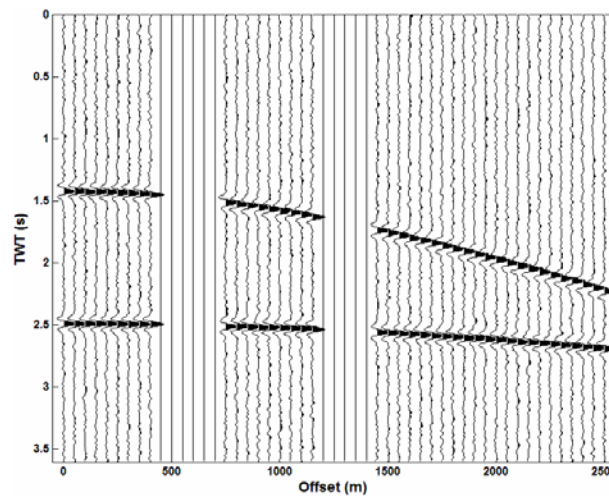
شکل ۲. داده‌های CMP شکل ۱ در حیطه τ - q .



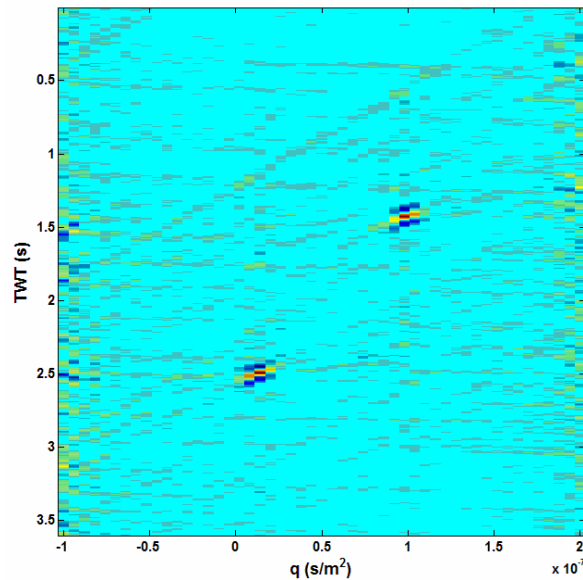
شکل ۳. بازسازی ردلرزه‌ها در اثر اعمال تبدیل رادون پیشرو و معکوس پس از ۱۰ مرتبه تکرار.

NMO جزئی اعمال شود تا بازتاب‌های هذلولی تبدیل به بازتاب‌های سهمی شوند. لازم به ذکر است که پس از بازسازی، داده‌ها به همان میزان به‌طور معکوس NMO می‌شوند تا بازتاب‌های سهمی دوباره به بازتاب‌های هذلولی تبدیل شوند.

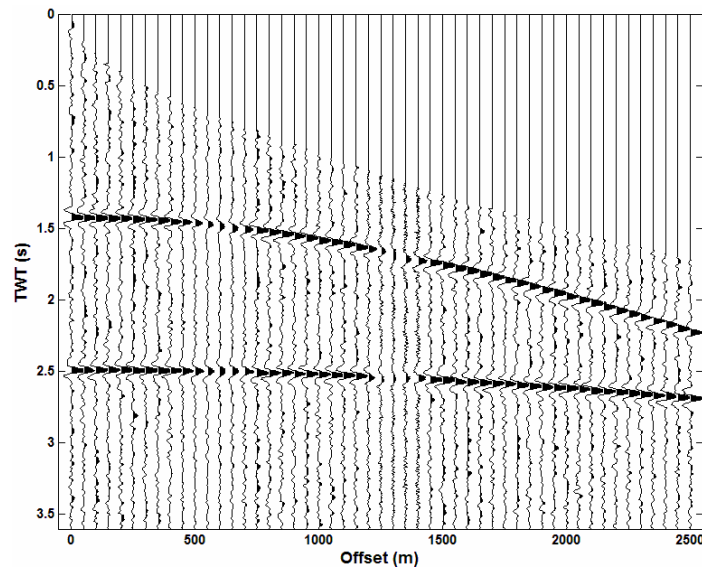
۳-۴ آزمایش الگوریتم روی رکورد مصنوعی هذلولی در دورافت میانی حال الگوریتم مطرح شده را روی رخدادهای هذلولی در حضور ۱۰٪ نوفه اتفاقی آزمایش می‌کنیم. نتیجه آزمایش در شکل‌های ۴ تا ۶ دیده می‌شود. ابتدا باید روی داده‌ها یک



شکل ۴. رکورد مصنوعی هذلولی در حضور ۱۰٪ نوفه اتفاقی شامل دو رخداد با ۱۱ ردلرزه میانی که دامنه آنها صفر است.



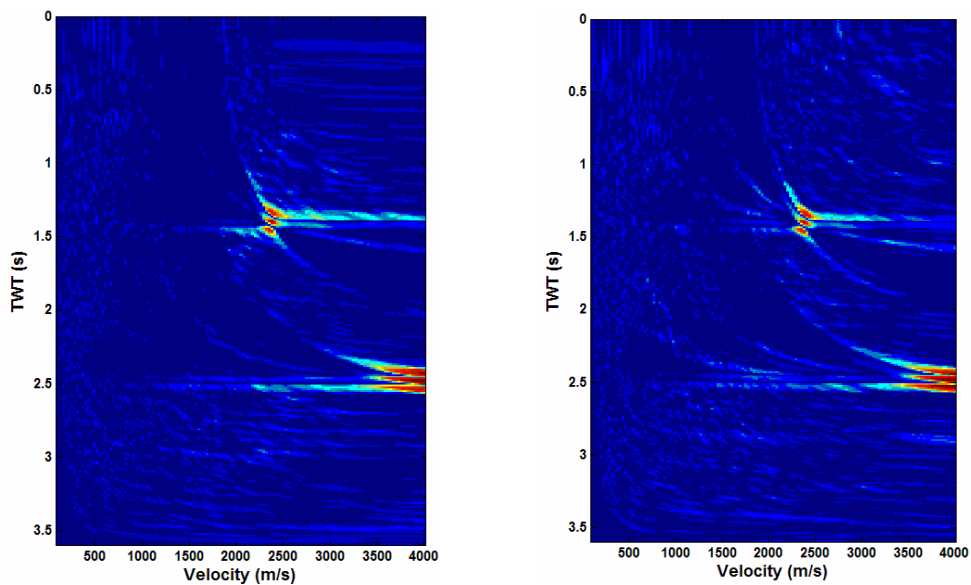
شکل ۵. داده‌های شکل ۴ در حضور ۱۰٪ نوفه اتفاقی در حیطه T-Q.



شکل ۶. بازسازی ردلرزه‌ها در اثر اعمال تبدیل رادون پیشرو و معکوس پس از ۱۰ مرتبه تکرار.

شکل ۷ سمت چپ تمرکز انرژی در اثر بازسازی افزایش یافته است.

با توجه به شکل ۷ می‌توان تاثیر بازسازی را در تحلیل سرعت مشاهده کرد. شکل ۷ پنجره آنالیز سرعت را قبل و بعد از بازسازی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در



شکل ۷. سمت راست: پنجره آنالیز سرعت قبل از بازسازی ردلرزه‌های میانی با دامنه صفر در برداشت مصنوعی هذلولی در حضور ۱۰٪ نوفه اتفاقی. سمت چپ: پنجره آنالیز سرعت پس از بازسازی ردلرزه‌های میانی با دامنه صفر در برداشت مصنوعی هذلولی در حضور ۱۰٪ نوفه اتفاقی.

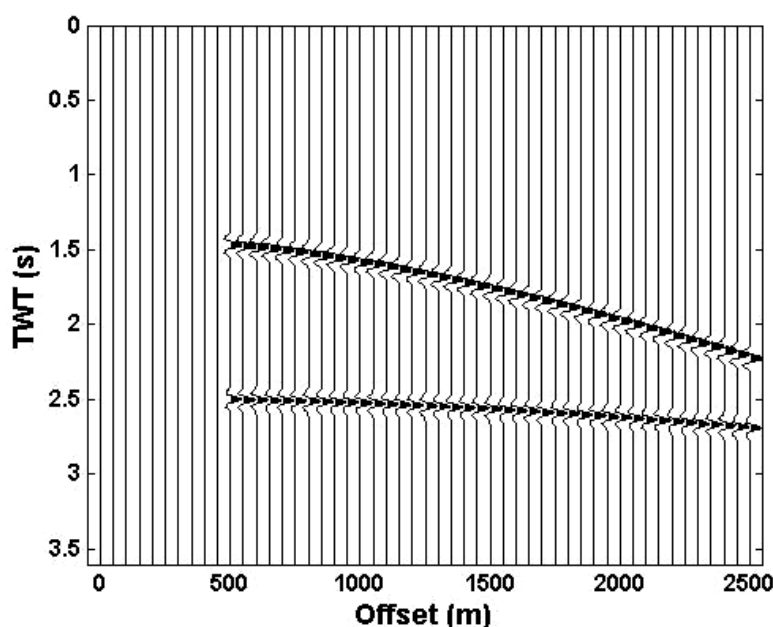
۴-۴ اعمال الگوریتم روی داده‌های دورافت نزدیک

یکی از مشکلات عمده در هنگام عملیات داده‌برداری لرزه‌ای بازتابی امکان نیاز به تغییر دورافت نزدیک به لحاظ موانع طبیعی در ابتدای خط لرزه نگاری است. در این حالت باید با استفاده از داده‌های مجاور، عمل برون‌یابی روی داده‌ها صورت پذیرد. برای نشان‌دادن تأثیر الگوریتم روی داده‌های دورافت نزدیک، ۱۰ ردلرزه از ابتدای رکورد مصنوعی حذف شد (شکل ۸)، نتیجه عمل بازسازی در شکل ۱۰ دیده می‌شود.

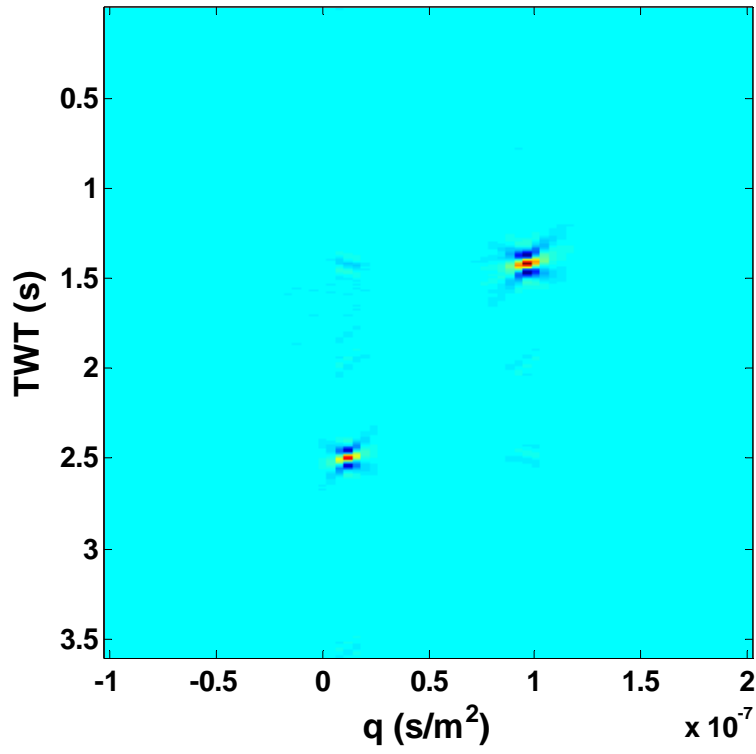
در این فرایند، تعداد تکرار ۱۰ مرتبه و بازه مقادیر q از ۱- تا ۲ در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۹ دیده می‌شود، رخدادها به صورت دو نقطه نسبتاً خوب متمرکز در پنجره رادون قرار گرفتند و پس از بازسازی همان‌گونه که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، نتیجه بسیار خوبی از اعمال الگوریتم حاصل شد.

۵ بازسازی ردلرزه‌ها در داده‌های حقیقی

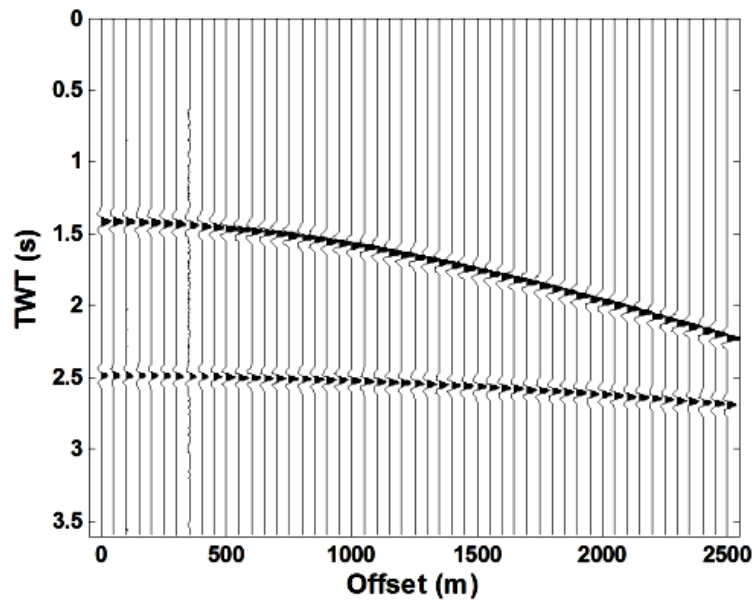
در این تحقیق از یک برداشت نقطه میانی مشترک (CMP) دریایی استفاده شد. این برداشت شامل ۵۱ ردلرزه و فاصله تریس‌ها نامنظم است. در این داده، ردلرزه‌ها از دورافت ۲۷۹ متر تا دورافت ۴۰۸۳ متر گسترش دارند. همچنین، نرخ نمونه‌برداری برابر ۴ میلی‌ثانیه است. همان‌گونه که قبلاً نیز ذکر شد، به علت اینکه رخدادها هذلولی هستند، باید یک تصحیح برون‌راند نرمال جزئی به آنها اعمال شود تا بتوان آنها را به سهمی تقریب زد. برای این کار پس از تحلیل سرعت و اعمال تصحیح NMO داده‌ها به سهمی تقریب زده می‌شوند. باید توجه داشت که در اینجا نیز بعد از بازسازی داده‌ها، باید بر آنها NMO معکوس به همان اندازه اعمال شود تا داده‌ها به حالت اولیه بازگردند. در شکل ۱۱ پنجره آنالیز سرعت و تابع سرعت انتخابی دیده می‌شود.



شکل ۸. رکورد مصنوعی هذلولی شامل دو رخداد با ۱۱ ردلرزه نزدیک که دامنه آنها صفر است.



شکل ۹. داده‌های شکل ۱۰ در حیطه τ - q .



شکل ۱۰. بازسازی ردلرزه‌ها در اثر اعمال تبدیل رادون پیشرو و معکوس پس از ۱۰ مرتبه تکرار.

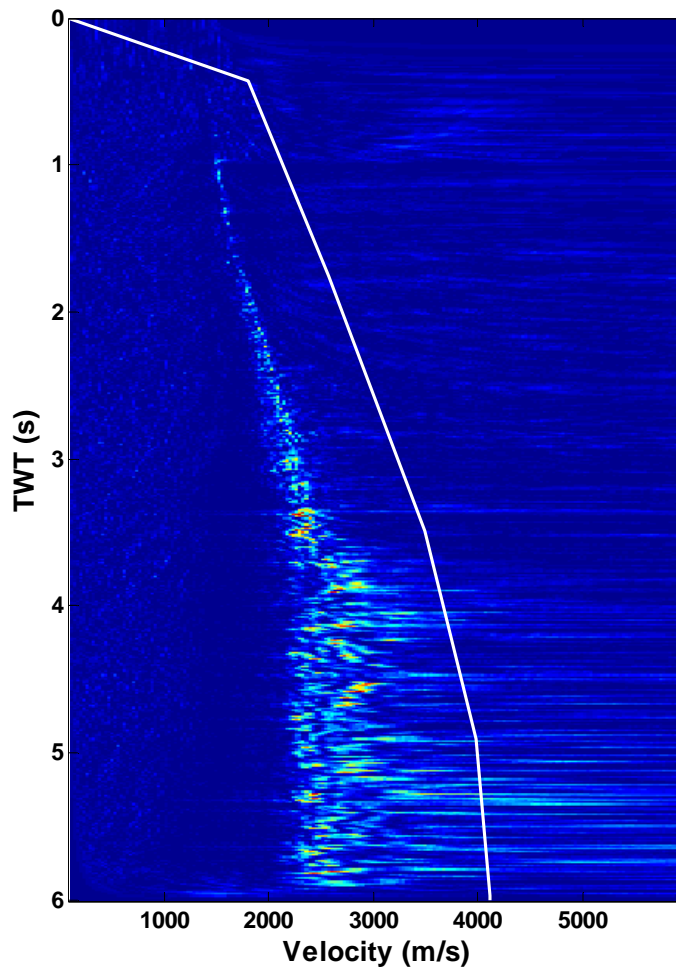
تا ۴۷ از دورافت‌های متفاوت انتخاب شده و دامنه آنها را برابر صفر قرار می‌دهیم (شکل ۱۲). نتیجه آزمایش پس از بازسازی در شکل ۱۴ دیده می‌شود. داده‌ها در حیطه τ - q در شکل ۱۳ دیده می‌شود.

همان‌گونه که دیده می‌شود، در شکل ۱۴ داده‌ها به خوبی بازسازی شده‌اند و بازتاب‌ها در برداشت بازسازی شده کاملاً قابل پیگیری‌اند.

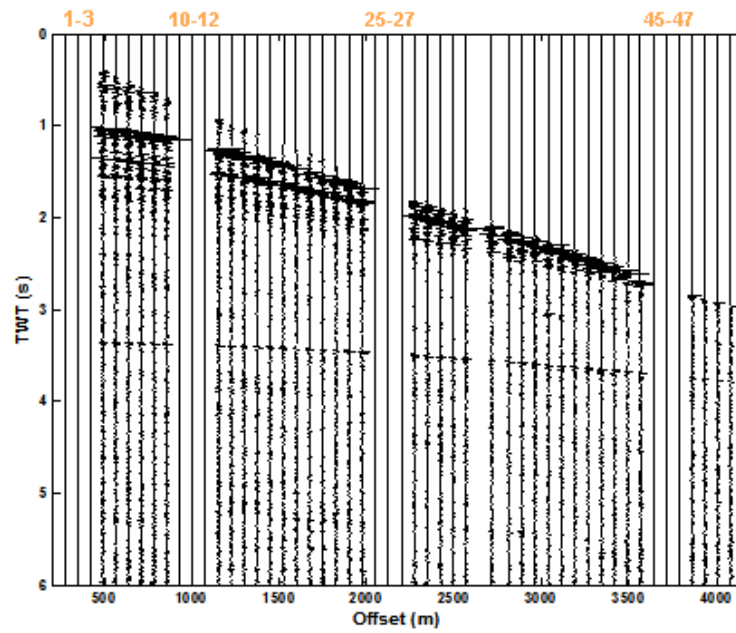
در شکل ۱۱ بازه سرعت‌ها تا حد ۶۰۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. همان‌طور که دیده می‌شود، تابع سرعتی طوری تعریف شده است که به طور جزئی بتوان اعمال تصحیح برون‌راند نرمال را عملی ساخت.

۶ بازسازی ردلرزه‌ها در دورافت‌های متفاوت

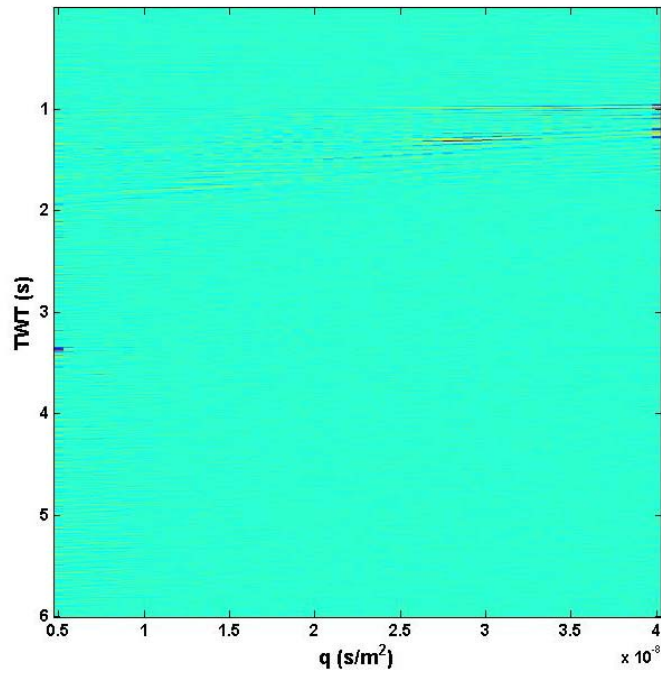
در این آزمایش ردلرزه‌های ۱ تا ۳، ۱۰ تا ۱۲، ۲۵ تا ۲۷ و ۴۵



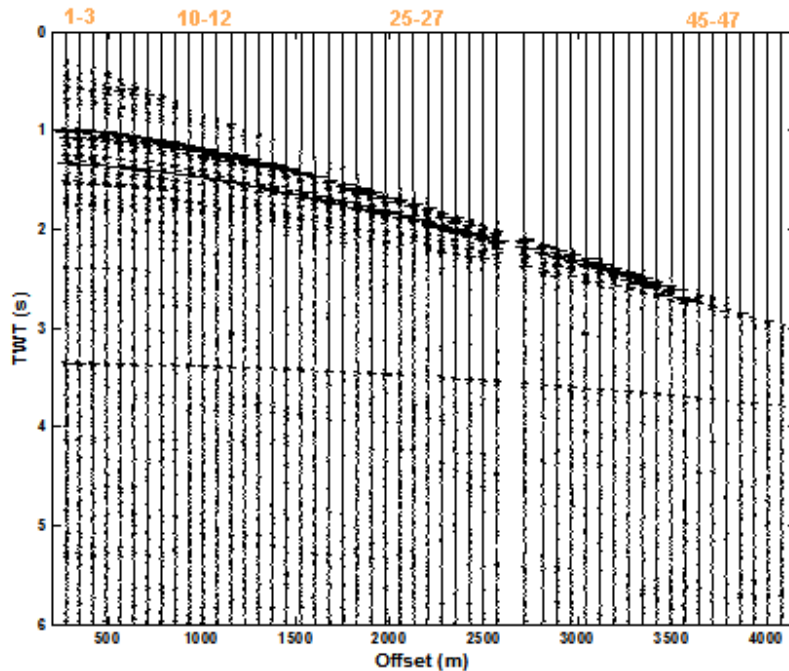
شکل ۱۱. پنجره آنالیز سرعت و تابع سرعت انتخابی.



شکل ۱۲. رکورد لرزه‌ای دریایی با ردلرزه‌های صفر در ردلرزه‌های متفاوت ۱ تا ۳، ۱۰ تا ۱۲، ۲۵ تا ۲۷ و ۴۵ تا ۴۷ قبل از بازسازی.



شکل ۱۳. رکورد لرزه‌ای دریایی در حیطه q - τ .



شکل ۱۴. بازسازی ردلرزه‌های با دامنه صفر در ردلرزه‌های متفاوت ۱ تا ۳، ۱۰ تا ۱۲، ۲۵ تا ۲۷ و ۴۵ تا ۴۷ با ۱۰ مرتبه تکرار الگوریتم بازسازی رادون.

۷ نتیجه‌گیری

در این تحقیق بازسازی داده‌های لرزه‌ای بازتابی به روش تبدیل رادون سهمی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج رضایت بخشی به همراه داشت. بازیابی دورافت‌های از بین رفته با استفاده از تبدیل رادون سهمی، می‌تواند به شکل یک حل کارا برای مشکلات درون‌یابی و برون‌یابی داده‌های لرزه‌ای دیده شود. این روش، هیچ رخداد نامناسب قابل توجهی نمی‌سازد. الگوریتم تبدیل رادون مورد استفاده در این تحقیق از نوع سهمی است. هرچند الگوریتم هذلولی ایدئال‌ترین نوع است، اما به دلیل مشکلات محاسباتی عملی نیست و به اجبار به نوع سهمی روی می‌آوریم. می‌توان الگوریتم تبدیل سهمی را در حوزه بسامدی با سرعت بسیار خوبی اجرا کرد. یکی از خواص بسیار خوب تبدیل رادون

این است که ماتریس L در مبحث رادون حاوی اطلاعات کاملی در مورد تعداد ردلرزه‌ها و نحوه توزیع آنها است، به همین دلیل نبود یک ردلرزه و یا فواصل نامنظم ردلرزه‌ها مشکلی در الگوریتم ایجاد نمی‌کند.

منابع

- Darce, G., 1990, Spatial interpolation using a fast parabolic transform, 60th SEG meeting, San Francisco, Expanded Abstract, 1647-1650.
- Nurul Kabirr, M. M. and Verschuur, D. J., 1995, Restoration of missing offsets by parabolic Radon transform, *Geophys. Prospect*, **43**, 347-368.
- Sacchi, M. D. and Porsani, M., 1999, Fast high-resolution parabolic Radon transform, Presented at the 69th Ann. Internat Mtg, Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, SPRO P1-1.
- Schonewille, M. A., Duijndam, A. J. W., 2001, Parabolic Radon Transform, Sampling and

- Efficiency, *Geophysics*, **66**, 667-78.
- Wei-hong, W., 2005, Seismic Trace Reconstruction by Trace Equalization Parabolic Radon Transform, *Oil Geophys. Prospect.*, **5**, 518-522.
- Yilmaz, O., 2001, *Seismic data analysis*, SEG, Tulsa, Oklahoma.