

حذف اثر شیب به کمک برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک

اصغر نادری^{*}، عبدالرحیم جواهریان^{**} و علیرضا گل‌زاده^{**}

^{*} دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر

^{**} موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۴۶-۱۴۱۵۵

(دریافت مقاله: ۸۲/۹/۱۶، پذیرش مقاله: ۸۳/۴/۱۶)

چکیده

در روش‌های معمول لرزه‌نگاری بازتابی به منظور افزایش نسبت سیگنال به نوفه و بهبود کیفیت و پیوستگی بازتابنده‌ها مراحل مختلف پردازش در رکوردهای نقطه عمقی مشترک انجام می‌شود. در این رکوردها برای حذف اثر دورافت برای حالتی که بازتابنده‌ها شیب‌دار باشند تصحیح برون‌راند نرمال به دلیل بستگی سرعت برون‌راند نرمال به شیب بازتابنده و همچنین نامشخص بودن محل بازتاب بر روی بازتابنده و وجود بازتابنده‌های متقاطع در ساختارهای زیرسطحی، برون‌راند نرمال ناتوان عمل کرده و لذا علاوه بر آن از مرحله پردازشی دیگری به نام تصحیح برون‌راند شیب استفاده می‌شود. در هنگام بکار بردن همه الگوریتم‌های عملگر برون‌راند شیب غیر از روش‌های انتگرالی نیاز است که داده‌های لرزه‌ای در مقاطع دورافت مشترک مرتب شوند. مرتب کردن داده‌ها در بعضی موارد مشکل و وقت‌گیر است. در مقابل، عملگر برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک را می‌توان مستقیماً برای رکوردهای چشمه مشترک به کار برد و نیازی به مرتب کردن داده‌ها نیست. این عملگر با زمان و مکان متغیر است. اما با تغییر متغیر لگاریتمی، محورهای زمان و مکان این عملگر با زمان و مکان غیر متغیر می‌شود. در این مقاله، ابتدا مبانی ریاضی این تصحیح آورده شده، سپس چگونگی عمل آن را روی داده واقعی یک خط لرزه‌نگاری در ایران مرکزی بررسی شده، نتایج مقاطع لرزه‌ای حاصل از آن با نتایج مقاطع لرزه‌ای پس از تصحیح برون‌راند شیب، با استفاده از تبدیل فوریه مقایسه شده و توانایی این روش در حذف اثر شیب ثابت شده است. پس از به کار بردن این تصحیح، سرعت حاصل از تحلیل، سرعت بهبود یافته است.

کلیدواژه‌ها: تصحیح برون‌راند شیب، تصحیح برون‌راند نرمال، رکوردهای چشمه مشترک، رکوردهای دورافت مشترک، بازتابنده‌های شیب‌دار

۱ مقدمه

عمودی بالای نقطه بازتاب قرار نگیرد. در ضمن بازتاب یک نقطه نخواهد بود بلکه در یک محدوده صورت می‌گیرد (درگوسکی، ۱۹۸۲ و لوین، ۱۹۷۱).

تصحیح برون‌راند نرمال و برابارش در دسته‌های نقطه وسط مشترک نسبت سیگنال به نوفه را در مقاطع لرزه‌نگاری بهبود می‌بخشد ولی اثر غیر مشخص افزایش بازتاب‌ها در برابارش با شیب مشخص بازتابنده و نیز بازتاب در محل تقاطع بازتابنده‌ها با شیب‌های مختلف رخدادها را در برابارش آلوده می‌کند. یعنی تصحیح برون‌راند نرمال برای حذف اثر دورافت بازتابنده‌های شیب‌دار به تنهایی کافی نیست و سرعتی که در مرحله تحلیل سرعت به دست می‌آید، تحت اثر شیب قرار می‌گیرد (دیکس، ۱۹۵۵ و لوین، ۱۹۷۱). در هنگام به کار بردن تصحیح برون‌راند نرمال، شیب بازتابنده‌ها صفر فرض می‌شود، در صورتی که ممکن است شیب بازتابنده تغییر

در مراحل مختلف پردازش داده‌های لرزه‌ای با انجام عملیات پردازش روی گردآوردهای نقطه وسط مشترک از بازتابنده‌ها تصویر مطلوب‌تری به دست می‌آید و نسبت سیگنال به نوفه افزایش می‌یابد. با انجام تصحیح برون‌راند نرمال (NMO) روی گردآوردهای نقطه وسط مشترک و برابارش آنها ردلرزه‌های موجود در این گردآوردها به صورت یک ردلرزه در می‌آیند و در موقعیت گردآورد با نقطه عمقی مشترک قرار می‌گیرند. منظور از تصحیح برون‌راند نرمال، حذف اثر دورافت چشمه و گیرنده، یعنی از بین بردن زمان گذر موج است که به واسطه دورافت چشمه و گیرنده به دست آمده. اگر تصحیح برون‌راند نرمال به درستی انجام شود، بازتابنده‌های افقی برای همه دورافت‌ها در یک زمان قرار می‌گیرند. مشکل اصلی در اعمال تصحیح برون‌راند نرمال وقتی پدید می‌آید که بازتابنده شیب‌دار باشد و در نتیجه نقطه میانی به‌طور

$$p_0(\omega_0, k_f) = \iint dt_0 df e^{i\omega_0 t_0} e^{-ik_f f} p_0(t_0, f) \quad (7)$$

با تغییر متغیر انتگرال از t_0 به

$$t_0(t_n, f) = \sqrt{t_n^2 + \left(\frac{fk_f}{\omega_0}\right)^2}$$

خواهد بود.

$$p_0(\omega_0, k_f) = \iint dt_n df \frac{\partial(t_0, f)}{\partial(t_n, f)} e^{i\omega_0 t_0(t_n, f)} \times \quad (8)$$

$$e^{-ik_f f} p_n(t_n, f)$$

اگر A به صورت زیر تعریف شود:

$$A = \sqrt{1 + \frac{f^2 k_f^2}{t_n^2 \omega_0^2}} \quad (9)$$

در نتیجه $t_0 = t_n A$ و از ژاکوبین این تبدیل (تبدیل t_0 به t_n) داریم:

$$\frac{\partial(t_0, f)}{\partial(t_n, f)} = A^{-1} = \frac{dt_0}{dt_n} \quad (10)$$

از رابطه (۸) و (۱۰) رابطه زیر به دست می آید:

$$p_0(\omega_0, k_f) = \iint dt_n df A^{-1} e^{i\omega_0 t_n A} \times \quad (11)$$

$$e^{-ik_f f} p_n(t_n, f)$$

دورافت‌های صفر رکوردهای چشمه مشترک با به انجام رساندن عکس تبدیل فوریه به صورت زیر خواهند بود،

$$p_0(t_0, f) = \iint d\omega_0 dk_f e^{-i\omega_0 t_0} e^{-ik_f f} \times \quad (12)$$

$$p_0(\omega_0, k_f)$$

با تقریب ثابت بودن فاز در عکس تبدیل فوریه در رابطه (۱۲)، پاسخ ضربه عملگر برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک یک بیضی است (بیوندی و رونن، ۱۹۸۷).

$$\left(\frac{t}{t_i}\right)^2 + \left(\frac{f-f_i}{f_i}\right)^2 = 1 \quad (13)$$

این رابطه، فرمول یک بیضی با مبدأ $(f_i, 0)$ و شعاع‌های f_i ، t_i است، و در آن، t_i زمان ضربه و f_i

که در آن t_0 و t به ترتیب زمان دورافت صفر و زمان گذر موج هستند. رابطه زیر در زمان دورافت صفر (t_0) و مختصات نقطه وسط چشمه و گیرنده ($y = s + f/2$) به دست می آید.

$$t_0 = \frac{2(s + f/2)}{v} \sin \alpha = \frac{2y \sin \alpha}{v} \quad (3)$$

تصحیح برون‌راند شیب را در دو مرحله جدا از هم می توان انجام داد. این دو مرحله شامل مراحل زیر است: مرحله اول تصحیح برون‌راند نرمال و مرحله دوم پردازش وابسته به شیب. اگر $p(t, f)$ رکورد ثبت شده در رکوردهای چشمه مشترک باشد، آنگاه رکورد تصحیح شده برون‌راند نرمال آن به صورت زیر خواهد بود:

$$p_n(t_n, f) = p\left(\sqrt{t_n^2 + \frac{f^2}{v^2}}, f\right) \quad (4)$$

رکورد چشمه مشترک تبدیل شده به لرزه‌نگاشت دورافت صفر به صورت زیر خواهد بود،

$$p_0(t_0, f) = p_n\left(\sqrt{t_0^2 - f \frac{\sin^2 \alpha}{v^2}}, f\right) \quad (5)$$

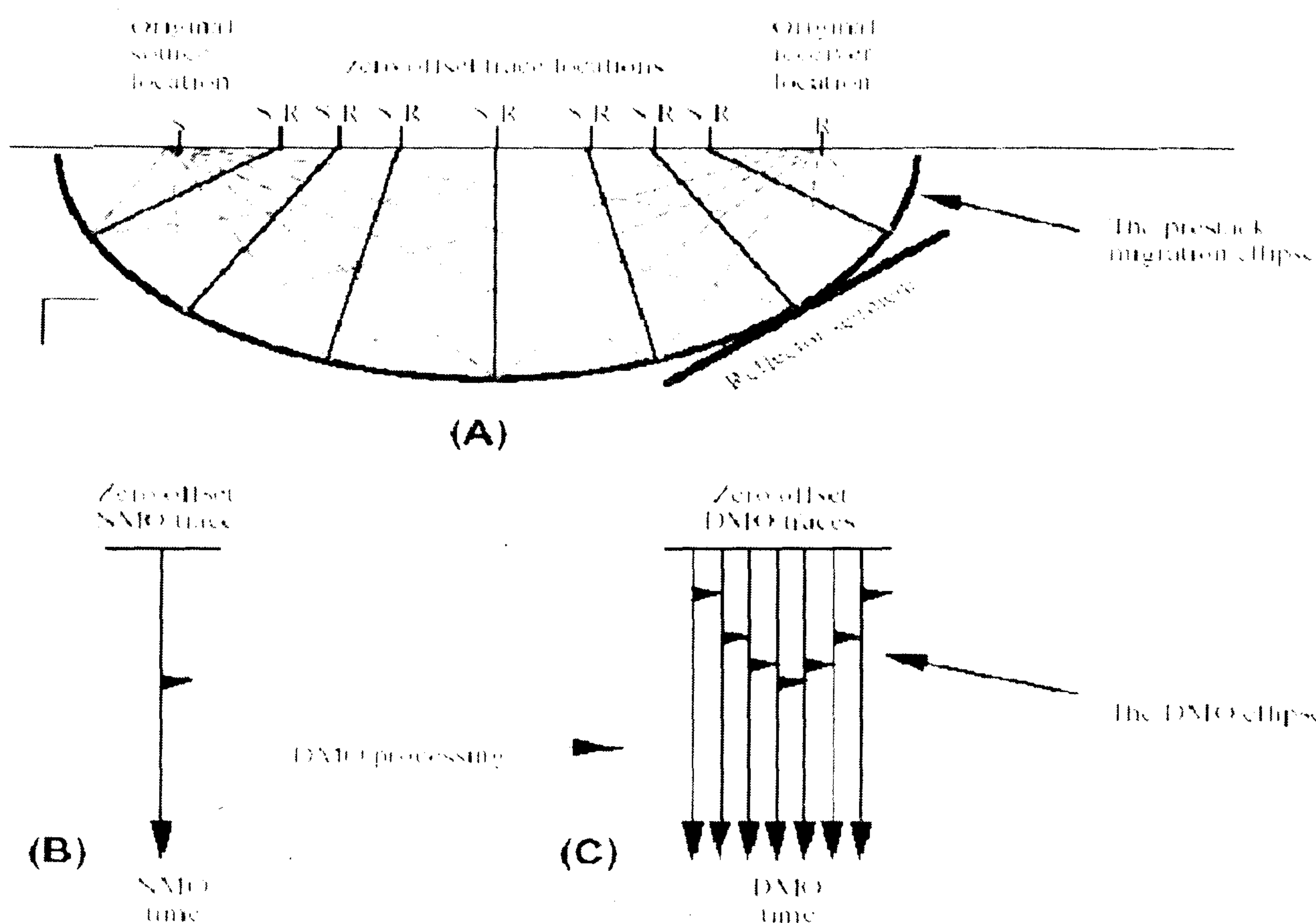
مشکل وقتی به وجود می آید که رابطه (۵) برای داده‌ها با شیب‌های متقاطع در زمان گذر یکسان به کار برده شود. این مشکل را می توان با به انجام رساندن محاسبات در حوضه بسامد-عدد موج بر طرف کرد. از رابطه (۳) شیب بازتابنده برحسب شیب $\Delta t_0 / \Delta f$ در مقاطع دورافت صفر بیان شده و در حیطة فوریه، به صورت زیر است (ایلماز، ۲۰۰۱).

$$\frac{\sin \alpha}{v} = \frac{\Delta t_0}{\Delta f} = \frac{k_f}{\omega_0} \quad (6)$$

که در آن، ω_0 بسامد زاویه‌ای مترادف t_0 و k_f عدد موج مترادف کل دورافت f است. تبدیل فوریه رکوردهای دورافت صفر به صورت رابطه (۷) است.

C-۳ چگونگی عملکرد تصحیح برون‌راند شیب روی یک رخداد که تصحیح برون‌راند نرمال روی آن اعمال شده است را نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود بعد از انجام برون‌راند شیب رخداد اولیه به صورت چند رخداد که روی ردلرزه‌های مجاور پخش شده‌اند دیده می‌شود. شکل ۴ تأثیر تصحیح برون‌راند نرمال را روی سه اسپایک نشان می‌دهد. شکل ۴-A قبل از اعمال تصحیح برون‌راند نرمال روی سه اسپایک و شکل ۴-B پس از اعمال تصحیح برون‌راند نرمال روی سه اسپایک را نشان می‌دهند. شکل ۴-B نشان می‌دهد که پس از اعمال تصحیح برون‌راند نرمال فقط رخداد در جهت محور زمان جابه‌جا شده است. شکل ۵ تأثیر تصحیح برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک را روی

احتمالی حرکت موج برای ردلرزه با دورافت صفر را نشان می‌دهد. موقعیت چشمه و گیرنده اولیه با S و R نشان داده شده‌اند. هر جا که علامت گذاری شده است می‌تواند محل یک ردلرزه با دورافت صفر باشد. برون‌راند نرمال فرض می‌کند بازتابنده زیر سطحی افقی است، لذا رخداد لرزه‌ای را فقط در جهت بالا حرکت می‌دهد. در صورتی که برون‌راند شیب نقطه بازتابش را روی یک بیضی فرض می‌کند و در نتیجه همه مسیرهای عبوری ممکن را بازسازی می‌کند (حرکت رخداد فقط در جهت قائم صورت نمی‌گیرد). شکل ۳-B رخداد اولیه واقع در مرکز بیضی پس از اعمال تصحیح برون‌راند نرمال را نشان می‌دهد. شکل C-۳ چگونگی عملکرد تصحیح برون‌راند شیب روی رخداد اولیه را نشان می‌دهد. شکل‌های ۳-B و

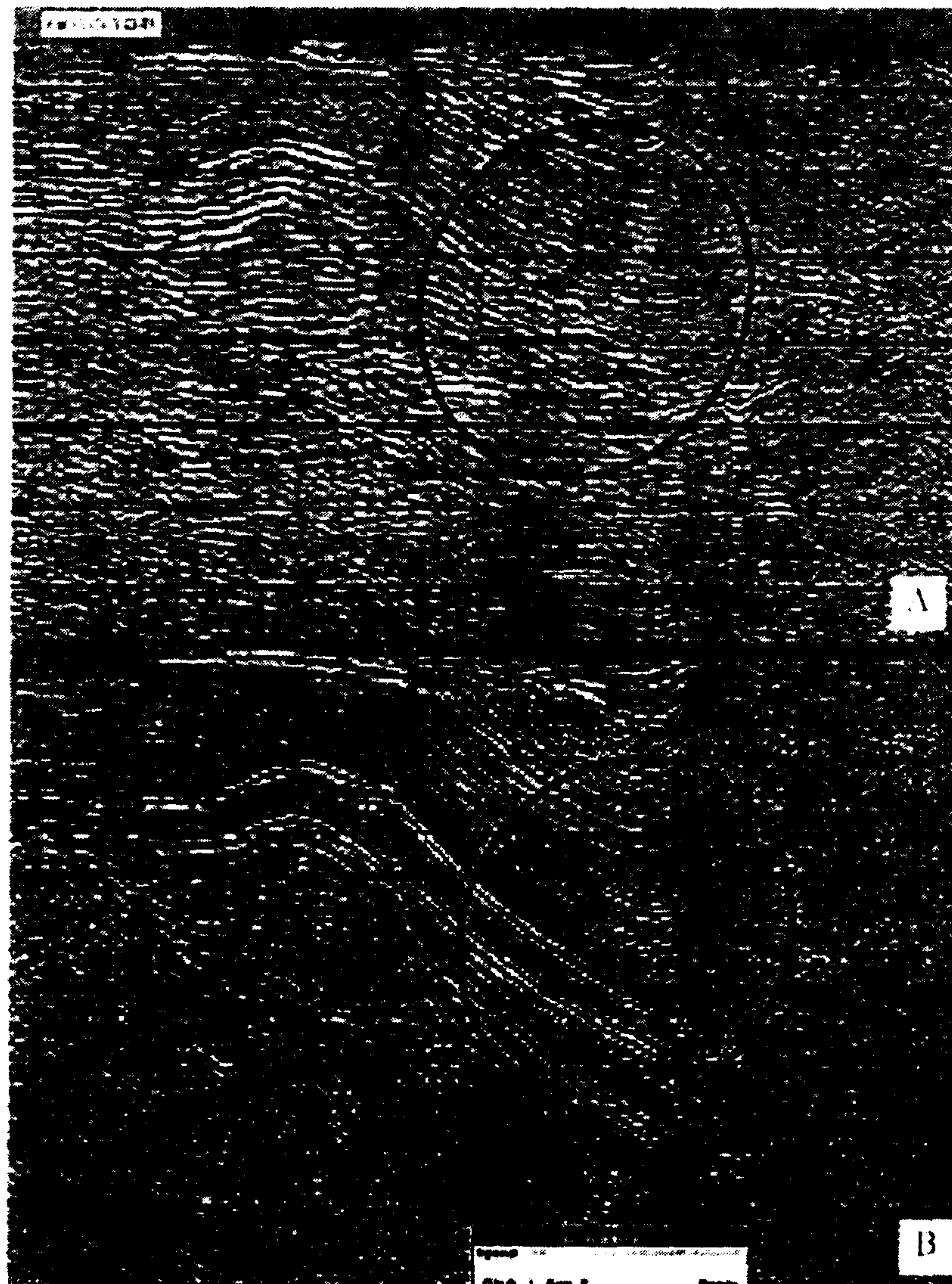


شکل ۳. نمایش چگونگی عملکرد تصحیح برون‌راند شیب روی رخداد لرزه ای (لینر، ۱۹۹۹).

شکل A نمایش مسیرهای احتمالی حرکت موج برای ردلرزه با دورافت صفر. موقعیت چشمه و گیرنده اولیه با S و R نشان داده شده‌اند. هر جا که علامت گذاری شده است، می‌تواند محل یک ردلرزه با دورافت صفر باشد. برون‌راند نرمال فرض می‌کند که بازتابنده زیر سطحی افقی است و لذا رخداد لرزه‌ای را فقط در جهت بالا حرکت می‌دهد. این در حالی است که برون‌راند شیب نقطه بازتابش را روی یک بیضی فرض می‌کند و در نتیجه همه مسیرهای عبوری ممکن را بازسازی می‌کند (حرکت رخداد فقط در جهت قائم صورت نمی‌گیرد). شکل B رخداد اولیه، شکل C نمایش عملکرد تصحیح برون‌راند شیب روی رخداد اولیه. شکل‌های B و C چگونگی عملکرد تصحیح برون‌راند شیب روی رخدادی که تصحیح برون‌راند نرمال روی آن اعمال شده است را نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود، بعد از تصحیح برون‌راند شیب رخداد اولیه به صورت چند رخداد که روی ردلرزه‌های مجاور پخش شده دیده می‌شود.

صورت یک پالاینده تضعیف نوفه‌های خطی عمل کرده است. شکل ۷، مقطع برانبارش قسمتی از همان خط لرزه‌نگاری بعد از shot-DMO (شکل V-B) و بعد از f-k DMO (شکل V-A) را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل‌ها مشخص است مقطع برانبارش پس از shot-DMO تا حدودی بهتر از مقطع برانبارش پس از f-k DMO است. شکل ۸ تحلیل سرعت این خط لرزه‌ای را نشان می‌دهد. در این شکل منحنی A تحلیل سرعت قبل از اعمال shot-DMO و منحنی B تحلیل سرعت پس از اعمال عملگر shot-DMO هستند. همان‌طور که از این شکل مشخص است، منحنی تحلیل سرعت، بعد از اعمال عملگر shot-DMO سرعت کمتری از منحنی قبل از به کار بردن این تصحیح نشان می‌دهد. سرعت بعد از اعمال shot-DMO به شیب بازتابنده بستگی ندارد.

اسپایک‌های شکل A-۴ نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که تصحیح برون‌راند شیب باعث جابه‌جایی رخداد در جهت محور زمان و محور مکان می‌شود. برای بررسی چگونگی عملکرد تصحیح برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک، یک خط لرزه‌نگاری از ناحیه ایران مرکزی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آنها با نتایج عملگر برون‌راند شیب در رکوردهای دورافت مشترک (با استفاده از تبدیل فوریه) مقایسه شد. شکل ۶ مقطع برانبارش قسمتی از یک خط لرزه‌نگاری واقعی را قبل و بعد از shot-DMO را نشان می‌دهد. کیفیت و پیوستگی بازتابنده‌ها بعد از اعمال عملگر shot-DMO (شکل B-۶) به مراتب از حالت قبل از تصحیح shot-DMO بهتر شده است. در این مقطع نوفه‌های خطی مشاهده شده در شکل A-۶ به خوبی تضعیف شده‌اند. در نتیجه می‌توان گفت که تصحیح shot-DMO نیز به



شکل ۶. مقطع برانبارش قبل و بعد از اعمال تصحیح برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک روی داده‌های واقعی یک خط لرزه‌نگاری واقع در سراجه قم. شکل A مقطع قبل از اعمال تصحیح برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک و شکل B مقطع برانبارش بعد از اعمال تصحیح برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک است.

محتره پژوهشی دانشگاه تهران و مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به لحاظ کمک مالی در قالب طرح تحقیقاتی تصحیح برون‌راند شیب در بهبود کیفیت تحلیل سرعت داده‌های لرزه‌ای دو بعدی به شماره ۶۵۲۲۷۵۶ سپاسگزار می‌شود.

منابع

نادری، .. ۱۳۸۲. تصحیح برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
نادری، .. جوهریان، ع. ۱۳۸۲. تصحیح برون‌راند شیب در رکوردهای چشمه مشترک. یازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. آذر ۱۳۸۲. تهران.

- Biondi, B., and Ronen, S., 1987. Dip move out in shot profile: *Geophysics*, **52**, 1473-1482.
Bolondi, G., Loiger, E., and Rocca, F., 1982, Offset continuation of seismic sections: *Geophys. Prosp.*, **30**, 813-826.
Cabrea, J., and Levy, S., 1989. Shot dip move out with logarithmic transform: *Geophysics*, **54**, 1038-1041.
Deregowski, S., M., 1982. Dip move out and reflector point dispersal: *Geophys. Prosp.*, **30**, 318-322.
Dix, C.H., 1955. Seismic velocities from surface measurements: *Geophysics*, **20**, 68-86.
Granser, H., 1994, Shot gather DMO in double log domain: *Geophysics*, **59**, 1305-1307.
Hale, D., 1984, Dip move out by Fourier transform: *Geophysics*, **49**, 741-757.
Hale, D., 1991, A nonaliased integral method for DMO: *Geophysics*, **56**, 795-805.
Levin, F., K., 1971, Apparent velocity from dipping interface reflector: *Geophysics*, **36**, 510-516.
Liner, C. L., 1999, Concept of normal and dip move out: *Geophysics*, **64**, 1637-1647.
Notfors, C., and Godfrey, R., 1987. Dip move out in the frequency wave number domain: *Geophysics*, **52**, 1718-1721.
Yilmaz, O., 2001, *Seismic data analysis*, 2nd volume, published by Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK.

۴ نتیجه‌گیری

در این مطالعه توانایی دو روش shot-DMO و f-k DMO در انجام تصحیح برون‌راند شیب روی داده‌های واقعی بررسی و نتایج زیر حاصل شده است:

۱. روش shot-DMO به روش f-k DMO مزیت دارد و آن مزیت، نبود نیاز به مرتب کردن داده‌ها در گردآوردهای دورافت مشترک در بین روش است.
۲. روش shot-DMO از روش f-k DMO سریع‌تر است.
۳. در نمونه خط لرزه‌نگاری واقعی، کیفیت و پیوستگی بازتابنده‌ها پس از shot-DMO بهتر از کیفیت و پیوستگی بازتابنده‌ها پس از f-k DMO است.
۴. سرعت به دست آمده در تحلیل سرعت پس از اعمال تصحیح برون‌راند شیب (با هر دو روش) غیر وابسته به شیب بازتابنده‌ها است و این سرعت به v_{rms} محیط نزدیک‌تر است.
۵. کیفیت و پیوستگی بازتابنده‌ها پس از اعمال تصحیح برون‌راند شیب (با هر دو روش) بهبود می‌یابد.
۶. تصحیح برون‌راند نرمال باعث فقط جابه‌جایی رخداد در جهت محور زمان می‌شود، در صورتی که تصحیح برون‌راند شیب باعث جابه‌جایی رخداد در هر دو محور زمان و مکان می‌شود.

تشکر و قدردانی

از آقای محمدباقر فرشیدنسب رئیس محترم مرکز بازرگانی شرکت خدمات اکتشاف، به خاطر فراهم آوردن امکانات مورد استفاده در این مطالعه، از آقای مهندس مجتبی محمدو خراسانی - رئیس محترم اداره کل ژئوفیزیک مدیریت اکتشاف نفت شرکت ملی نفت ایران به لحاظ در اختیار قرار دادن داده‌های لرزه‌ای، از آقایان ابوالفضل مسلمی و مهندس فریدون لواسانی به خاطر همکاری در به کارگیری نرم‌افزار پروماکس و از آقای مهندس رفیق به لحاظ همکاری در تبدیل فرمت‌های مورد نیاز در این مطالعه، تشکر و قدردانی می‌شود. از معاونت