

## برونراند نرمال بدون کشیدگی با تصحیح برونراند نرمال ثابت

حسام شینی کیماسی<sup>۱</sup>، عبدالرحیم جواهریان<sup>۲\*</sup> و ابوالفضل مسلمی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد شرکت عملیات اکتشاف نفت، ایران

(دریافت: ۸۴۶۱۶، پذیرش نهایی: ۸۶۶۱۷)

### چکیده

اعمال روش‌های تصحیح برونراند نرمال مرسوم، ممکن است تغییر شکل زیادی را در نتایج پردازش داده‌های لرزه‌ای ایجاد کند. این تغییر شکل به صورت کاهش در محتوای بسامدی (کشیدگی NMO) مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد منبع مشکلات ایجاد شده در پردازش، کشیدگی در اثر NMO باشد. در این مقاله، روش تصحیح CNMO (برونراند نرمال ثابت)، که اثرهای کشیدگی تصحیح NMO مرسوم را ندارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش شباهتی به تصحیح NMO مرسوم ندارد و به برونراند نرمال ثابت یک فاصله زمانی محدود یک موج لرزه‌ای اشاره می‌کند. برتری این روش نسبت به روش متداول NMO شامل بسامدهای بالاتر و کاهش تغییر شکل طیفی در دورافت‌های بزرگ است، حذف کشیدگی را بعد از تصحیح NMO کاهش می‌دهد و باعث گسترش طول برانبارش می‌شود. روش CNMO روی داده‌های مصنوعی و واقعی اعمال شده است. این روش، قدرت تفکیک برانبارش CMP را بهبود می‌بخشد. تنها فرض این روش بدون کشیدگی، این است که همه نمونه‌های زمانی یک موج بازتابی در یک دورافت خاص، برونراند نرمال یکسان دارند.

**واژه‌های کلیدی:** تصحیح برونراند نرمال، کشیدگی NMO، تصحیح برونراند نرمال ثابت (CNMO)، دورافت‌های بزرگ، برانبارش CMP

### ۱ مقدمه

تصحیح NMO به وجود می‌آید، مطرح کرد و علت این تغییر شکل را به تصحیح بازتاب‌های متقاطع مرتبط دانست. بیان ایشان، بیانی کیفی بود. می‌باید کشیدگی NMO مورد بررسی قرار گیرد، چرا که باعث کشیده شدن موج و در نتیجه، کاهش یافتن قدرت تفکیک و کیفیت داده‌ها می‌شود.

دنکین و لوین (۱۹۷۳)، حالت ساده‌تر تب (پالس)‌های مجزا را در نظر گرفتند و نهایتاً به بیان کمی و توصیفی کشیدگی NMO مربوط به سیگنال‌های بدون تقاطع رسیدند. آنان همچنین نشان دادند که افزایش در محتوای بسامدی کم که از برانبارش نتیجه می‌شود، بزرگ‌تر از آن چیزی است که پیش‌بینی می‌شد و اثر NMO را روی طیف دامنه امواج باریک و محدود نشان دادند. کوهن (۱۹۸۹)، روشن ساخت که بسامدهای

به دلیل وجود فاصله بین منبع و گیرنده در عملیات لرزه‌ای بازتابی، یک لایه افقی روی ثبت (رکوردر) منبع، به صورت قطعه‌ای از یک هذلولی دیده می‌شود و دیگر سطوح مشترک بین لایه‌ها نیز به صورت واقعی خود دیده نمی‌شوند. لذا داده‌های لرزه‌ای نیازمند تصحیح زمانی‌اند تا اثر فاصله بین منبع و گیرنده برطرف شود. دیکس (۱۹۵۵)، تحلیل سرعت و تصحیح NMO را مورد بررسی قرار داد و روابطی بر آن تعریف کرد. تانر و کهلر (۱۹۶۹)، بسط زمان سیر را مورد بررسی قرار دادند و ضرایب آن را به دست آوردند.

استفاده از تصحیح برونراند نرمال در حکم روشی مؤثر برای تولید شبه ردلرزه‌های دورافت صفر در پردازش نقطه میانی مشترک، شناخته شده است. باخهولتز (۱۹۷۲)، آشفستگی و تغییر شکل سیگنال را که در نتیجه اعمال

$t(x)$  به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$t(x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V^2(t_0)}} \quad (1)$$

که در آن،  $t_0$  زمان سیر در دورافت صفر،  $V(t_0)$  سرعت NMO است. تصحیح برون‌راند نرمال  $\Delta t_{NMO}$  به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$\Delta t_{NMO} = t(x) - t_0 = t(x) - \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V^2(t_0)}} \quad (2)$$

ردلرزه تصحیح شده تقریبی برای ردلرزه با دورافت صفر واقعی است، به عبارت دیگر، با اعمال تصحیح باید انتظار کاهش دقت را داشت (باخولتر، ۱۹۷۲). طیف دامنه یک موجک تصحیح شده، بسامدهای باز هم کمتر و همچنین طول بلندتری از همین موجک با دورافت صفر دارد، تأثیر فیلتر پایین‌گذر تصحیح NMO بر طیف دامنه موجک لرزه‌ای، شبیه اثر میرایی بسامدی است. بنابراین تصحیح NMO، میرایی ظاهری محاسبه شده از داده‌های لرزه‌ای را تغییر می‌دهد. کشیدگی برون‌راند نرمال مشکلی اساسی در پردازش داده‌های لرزه‌ای است (بارنس، ۱۹۹۲). با در نظر گرفتن یک برداشت تصحیح نشده NMO، بعد از تصحیح NMO موجک‌ها در دورافت‌های بزرگ کشیده می‌شوند. اگر این موجک‌ها برانبارش شوند، کاهش قدرت تفکیک در پی خواهند داشت. به عبارت دیگر، کشیدگی NMO پدیده‌ای غیر واقعی و مصنوعی است که با روش تصحیح خاصی (تصحیح برون‌راند نرمال) به وجود آمده است.

شکل ۱، مدل عمومی برون‌راند نرمال را برای دو بازتابنده افقی با زمان‌های  $t_{01}$  و  $t_{02}$  نشان می‌دهد. افزایش معمول سرعت همراه با افزایش عمق، سبب کاهش زمان جدایش بین هذلولی‌های بازتابنده شده است و در نتیجه سبب تلاقی آنها می‌شود (باخولتر، ۱۹۷۲).

لحظه‌ای و تحلیل بسامد-زمان، جنبه و نمای بهتری از کشیدگی NMO را به دست می‌دهد. بارنس (۱۹۹۲)، چگونگی تغییر شکل طیفی با زمان را مورد بررسی قرار داد و اثر کشیدگی NMO را روی بسامد لحظه‌ای، طیف توان لحظه‌ای و طیف دامنه لحظه‌ای نشان داد. دبازلیر (۱۹۸۸)، کاستل (۱۹۹۴) و سان و همکاران (۲۰۰۲)، مرتبه‌های بالاتر معادله زمان سیر را برای تصحیح NMO مورد بررسی قرار دادند، که نهایتاً نتیجه بهتری در دورافت‌های بزرگ به دست آمد.

راپرت و چان (۱۹۷۵) نخستین بار، روش جدید تصحیح NMO براساس مفهوم جمع حرکت بلوک (BMS, block move sum) را پیشنهاد کردند که اساس آن سبب کاهش کشیدگی NMO می‌شود. دبازلیر و ویالیکس (۱۹۹۴) یک پارامتر زمان کانونی را معرفی کردند که تصحیح NMO را با یک انتقال زمانی ثابت (استاتیک) در یک دورافت معین کاهش می‌دهد.

طبق نتایج بالا، روش تصحیحی که باعث کشیدگی ردلرزه نشود و تغییر شکل ردلرزه را کاهش دهد و همچنین قدرت تفکیک قائم را بهبود بخشد، ضروری به نظر می‌رسد. این مقاله به بیان روش تصحیح CNMO (Constant NMO) و اعمال بر داده‌های مصنوعی و واقعی می‌پردازد.

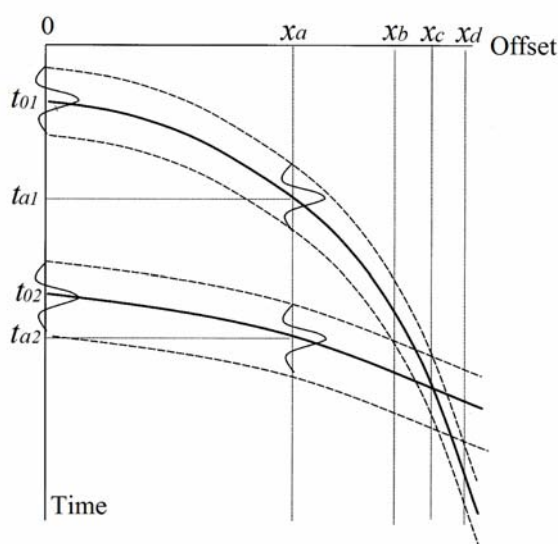
## ۲ تصحیح برون‌راند نرمال

یکی از مهم‌ترین تصحیحات متداول اعمال شده بر داده‌های لرزه‌ای، تصحیح برون‌راند نرمال است. این تصحیح شرطی اصلی برای برانبارش CMP، تحلیل سرعت برانبارش و دیگر مراحل پردازش لرزه‌ای است. این تصحیح، ردلرزه‌هایی با دورافت  $x$  را به موقعیت دورافت صفر (در غیاب شیب) با استفاده از سرعت معین و مشخص شده انتقال می‌دهد. تصحیح NMO با فرض یک بازتاب‌کننده افقی، برون‌راند هذلولی‌گون (یا زمان سیر)

حذف نمونه‌هایی در قسمت‌های نخستین ردلرزه‌ها است که دچار کشیدگی NMO شده‌اند. در این روش به جای داده‌ها، صفر قرار می‌دهند (میلر، ۱۹۹۲). این روش مشکلاتی در بردارد: نخست، حذف قسمت‌های کم‌عمق دورافت‌های بزرگ برداشت CMP، که معمولاً برای کاهش تأثیرات کشیدگی NMO از آن استفاده می‌شود و طول مؤثر گسترش را کاهش می‌دهد. بنابراین، پوشش عمقی را برای زمان‌های کم، بسیار کوچک می‌کند و این باعث کاهش تضعیف نوفه با برانبارش می‌شود. مخصوصاً برای مقادیر سه‌بعدی، حذف موجک‌های کشیده شده در زمان‌های کم برای همه برداشت‌های CMP، باعث پوشش عمقی صفر می‌شود و به همین علت در برانبارش شکاف به وجود می‌آید. دوم، حذف موجک‌های کشیده شده و رفع کشیدگی در دورافت‌های بزرگ، باعث کاهش تضعیف چندگانه‌ها با برانبارش CMP می‌شود. سوم، حفظ و نگهداری اطلاعات دورافت‌های بزرگ برای تحلیل AVO، لازم است. چهارم، انتخاب حذف صحیح موجک‌های کشیده شده، مشکل و زمان‌بر است.

تصحیح NMO مرسوم، موقعیت زمانی واحدی را به هر نمونه یک ردلرزه اولیه نسبت می‌دهد. در نتیجه، تصحیح یک ردلرزه با دورافت  $X_a$  در فاصله‌های زمانی  $t_{a1}$  و  $t_{a2}$ ، سبب کشیدگی NMO متناسب با نسبت  $(t_{02} - t_{01}) / (t_{a2} - t_{a1})$  خواهد شد. برای رویدادهای متقاطع که در شکل ۱ نشان داده شده است، برای دورافت بیش از  $X_c$  تصحیح NMO مرسوم غیر ممکن است. البته باید یادآوری شد که این مشکل با کاهش مقدار نمونه‌گیری یا طول موجک به دلیل طبیعت تداخلی، حل نخواهد شد. در واقع، رویدادهای بازتابی بین دورافت‌های  $X_b$  و  $X_d$  تداخل می‌کنند. به عبارت دیگر، یک نمونه زمانی از یک ردلرزه تصحیح نشده، امکان برازش بر چند هذلولی بازتابی را دارد. بنابراین هر نمونه زمانی اولیه، امکان دارد به موقعیت‌های چندگانه‌ای روی ردلرزه تصحیح شده مربوط به رویدادهای همپوشانی شده متفاوت نسبت داده شود.

کوشش‌های بسیاری برای حل مشکل کشیدگی NMO صورت گرفته است. عمده‌ترین این راه‌حل‌ها،



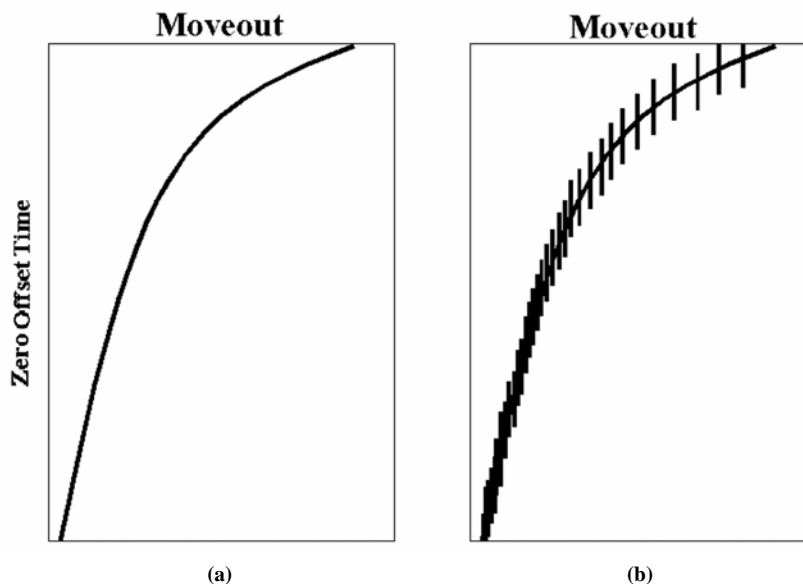
شکل ۱. طرحی ساده از دو هذلولی‌گون بازتابی متقاطع (شاتیلو و امین‌زاده، ۲۰۰۰).

### ۳ روش تصحیح CNMO

برای معرفی این روش، ابتدا برخی از خواص NMO، مورد بررسی قرار می‌گیرد. تصحیح NMO از محاسبه زمان برون‌راند به‌مثابه تابعی از زمان دورافت صفر تلقی می‌شود (شکل ۲-۲a). مشکل این است که فرض می‌شود رویدادها آنی اتفاق می‌افتند، در حالی که این‌گونه نیست. رویدادهای بازتابی (موجک‌ها) دارای طول زمانی محدود و معینی هستند، در نتیجه در تصحیح NMO مرسوم، برای نمونه‌های متفاوت یک موجک لرزه‌ای، مقادیر متفاوت  $\Delta t_{NMO}$  در نظر می‌گیرند. این مسئله باعث پدید آمدن کشیدگی NMO شده، موجک لرزه‌ای کشیده می‌شود. از جهت دیگر، موجک بازتاب شده در یک دورافت ویژه دارای برون‌راند ثابتی است. بنابراین تصحیح NMO برای همه نمونه‌های همان موجک، باید ثابت باشد. راپرت و چان (۱۹۷۵) نخستین راه‌حل را برپایه تصحیح NMO ثابت در یک موجک معرفی کردند و آن را جمع حرکت بلوک (BMS) نامیدند. ردلرزه‌ها، نخست به بلوک‌هایی از

داده‌ها که همپوشانی دارند تقسیم می‌شوند. هر بلوک با انتقال ثابت، تصحیح NMO می‌شود. بلوک‌ها به شکل ورداشت تصحیح شده NMO، با یکدیگر جمع وزنی می‌شوند. این روش در اساس سبب کاهش کشیدگی NMO می‌شود. حال یک برون‌راند ثابت نگه داشته شده برای مدت زمانی به کوچکی موجک لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲-۲b) به‌طوری‌که برون‌راند ثابت بر یک رویداد کامل اعمال شود. پس روش CNMO به‌صورت زیر نشان داده می‌شود.

روش CNMO با استفاده از اعمال انتقال  $\Delta t_{NMO}$  ثابت در یک بازه زمانی، تصحیح NMO را عملی می‌سازد. پیرو نکات ذکر شده در بالا، این روش اجازه می‌دهد که یک نمونه زمانی ویژه، بتواند به موجک‌های بازتابیده متفاوتی مربوط باشد. به این روش NMO، برون‌راند نرمال ثابت (CNMO) گفته می‌شود. تصحیح برون‌راند نرمال  $\Delta t_{NMO}$  در نقطه مرکزی رویدادی بازتابی با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود.



شکل ۲. (a) یک تابع برون‌راند استاندارد برای یک ردلرزه مشخص، (b) تابع برون‌راند ثابت نگه داشته شده برای طول موجک لرزه‌ای در همه نقاط زمانی (تریکت، ۲۰۰۳).

تیره شده، اندازه پهنای موجک داده لرزه‌ای را مشخص می‌کند. با اعمال تصحیح برونراند نرمال مرسوم بر این ثبت، شکل ۵-b نتیجه می‌شود. پهنای تب (پالس) بعد از NMO دوباره به صورت منطقه تیره نشان داده شده است. طبق روش CNMO، در یک دورافت معین  $t_x$ ،  $X$ ، درحکم تابعی از  $t_0$  محاسبه می‌شود، سپس یک بلوک لرزه‌ای به مرکزیت  $t_x$ ، به صورت استاتیکی به یک موقعیت جدید به مرکزیت  $t_0$  انتقال داده می‌شود (شکل ۵-c و ۵-d). این فرایند برای زمان رسیدهای گسسته  $t_{0,i} = i\Delta t_0$ ، که  $\Delta t_0$  فاصله زمانی بین مدخل‌های برونراند متوالی است، اعمال می‌شود. پهنای بلوک (طول پنجره)  $\Delta t_w$ ، معمولاً به اندازه پهنای موجک داده لرزه‌ای است (در شکل ۵ موقعیت و پهنای پنجره، طوری انتخاب شده است تا شکل به صورت ساده نشان داده شود). همان‌طور که در بالا شرح داده شد، چون پنجره‌های زمانی انتخاب شده در دورافت صفر در مجاورت یکدیگر قرار دارند، با افزایش سرعت با عمق، بلوک‌هایی از داده در دورافت‌های خاص به صورت جزئی همپوشانی خواهند داشت که بعد از تصحیح، پدیده غیر واقعی تکرار سازی (duplication) رویداد به وجود می‌آید (بروور، ۲۰۰۲). این رویداد در ناحیه‌ای از زمان- دورافت که در آن کشیدگی NMO قابل توجهی رخ می‌دهد، ایجاد می‌شود. این مسئله در ناحیه مربوط، در ردلرزه برانبارش شده ایجاد نوفه ناچیزی می‌کند، اما بهبود بسامدی در رویدادهای کم عمق، اهمیت بیشتری دارد. در نهایت، ردلرزه برانبارش شده بدون کشیدگی خواهد بود.

#### ۴ اعمال CNMO بر داده‌های مصنوعی

شکل ۶-a یک برداشت CMP را که شامل رویدادی بازتابی با سرعت  $1800 \text{ ms}^{-1}$  در زمان  $t_0$  برابر  $0.8$  ثانیه است، نشان می‌دهد. در این برداشت از موجک ریکر با بسامد غالب  $30 \text{ Hz}$  استفاده شده و از تغییر شکل موجک

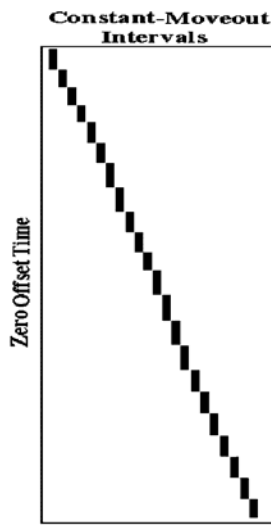
این تصحیح درون رویداد (فاصله بین خطوط خط‌چین) در یک دورافت خاص ثابت است. این روش از هرگونه اثر کشیدگی تصحیح NMO مرسوم، جلوگیری می‌کند. از نمونه‌های مربوط به فواصل همپوشانی شده، همچون نمونه‌های بین دورافت‌های  $X_a$  و  $X_b$  (شکل ۱) دو بار در مدت تصحیح استفاده می‌شود. در این روش، به تصحیح دامنه نمونه‌ها در فاصله‌های همپوشانی شده پرداخته نمی‌شود. بنابراین ممکن است روش CNMO چندین تغییر شکل و پیچیدگی دامنه مشابه‌ای در چنین بازه‌هایی، ایجاد کند.

تحلیل دقیق سرعت، مهم‌ترین بخش اعمال و کاربرد نتیجه‌بخش روش CNMO است، به طور ایدئال می‌بایست تحلیل سرعت با استفاده از این روش صورت گیرد اما می‌توان از تحلیل سرعت مرسوم استفاده کرد که نتیجه قابل قبولی می‌دهد. نکته دیگر، اثرگذاری طول پنجره زمانی و موقعیت آن، بر دقت تصحیح است. پنجره‌های زمانی روی ردلرزه با دورافت صفر در مجاورت یکدیگر قرار دارند (شکل ۳). معمولاً طول آنها با زمان تغییر می‌کند، اما با دورافت، ثابت باقی می‌ماند. پنجره باید به اندازه کافی کوچک باشد تا تغییرات سرعت درون پنجره نادیده گرفته شود. تجربه نشان می‌دهد، که طول پنجره باید مرتبه‌ای از تناوب غالب داده باشد ( $40 \text{ ms}$  تا  $100 \text{ ms}$ ) (شاتیلو و امین‌زاده، ۲۰۰۰؛ شینی‌کیماسی، ۱۳۸۴). به عبارت دیگر می‌توان گفت، موقعیت پنجره و طول و پهنای آن، به زمان رسیدهای واقعی و میانگین پهنای تب (پالس) بازتاب‌ها در یک ثبت مرتبط است (بروور، ۲۰۰۲). مطابق شکل ۴، موقعیت پنجره زمانی طوری است که منحنی NMO در سراسر برداشت در وسط قرار می‌گیرد.

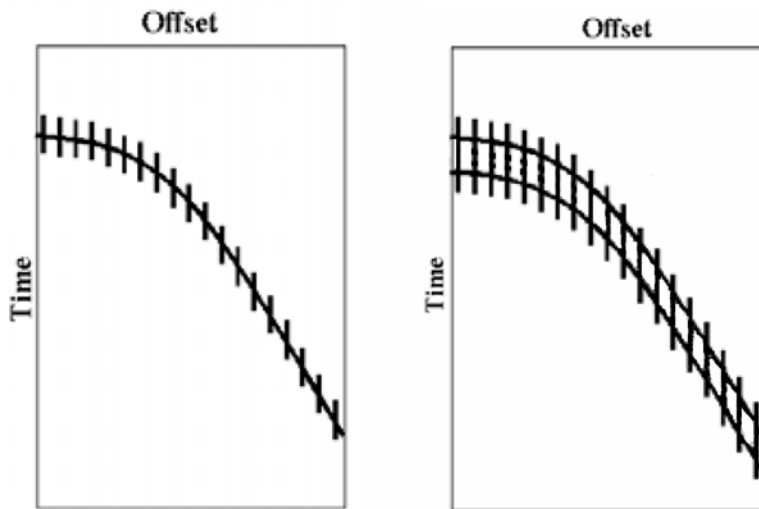
شکل ۵-a یک ثبت لرزه‌ای ساده را بیان می‌کند. رویدادها با سرعت‌های  $100 \text{ ms}^{-1}$  و  $200 \text{ ms}^{-1}$  به ترتیب در زمان‌های  $t_0$ ،  $100 \text{ ms}$  و  $200 \text{ ms}$  قرار دارند. منطقه

نشان داده شده است. شکل ۶-d روش CNMO را نشان می‌دهد. با انتخاب صحیح طول و مکان پنجره، کشیدگی NMO در دورافت‌های بزرگ دیده نمی‌شود (طبق روش ارائه شده، طول پنجره به اندازه مضربی از زمان تناوب موجک لرزه‌های (به اندازه طول موجک لرزه‌ای) در نظر گرفته شده است (۸۰ ms) و پنجره‌ها در دورافت صفر در مجاورت یکدیگر قرار دارند).

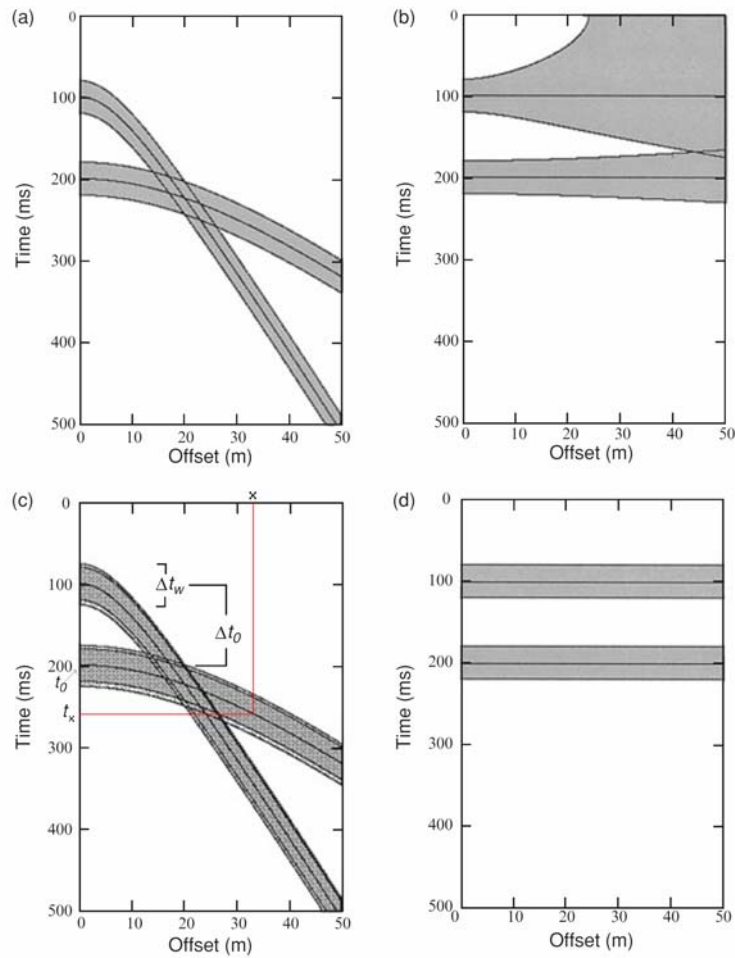
با عمق و دورافت صرف‌نظر شده است. شکل ۶-b برداشت CMP تصحیح شده به روش NMO مرسوم را نشان می‌دهد. در این شکل، تغییر شکل موجک در دورافت‌های بزرگ کاملاً مشخص است. برای آنکه اثر کشیدگی روی ردلرزه برانبارش شده کاهش یابد و همین‌طور دامنه موجک حفظ شود، از حذف و برش ۸۰ درصد کشیدگی استفاده شده است. این حذف در شکل ۶-c



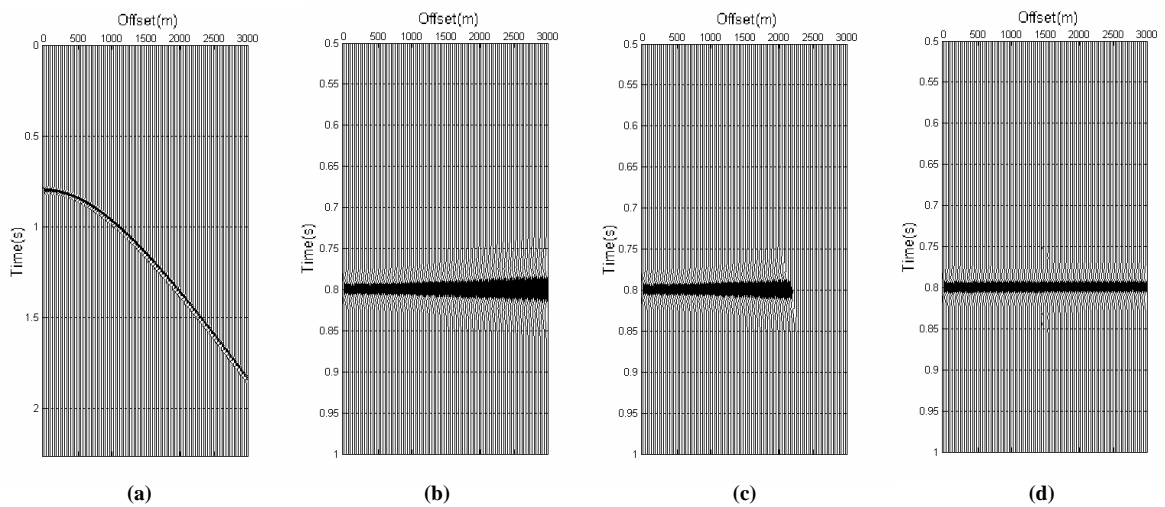
شکل ۳. طول و پهنای پنجره تعریف شده در سراسر طول ردلرزه در دورافت صفر (شیننی کیماسی، ۱۳۸۴).



شکل ۴. شکل سمت چپ، یک تک‌پنجره در امتداد منحنی برون‌راند در سراسر برداشت (تریکت، ۲۰۰۳). شکل سمت راست، دو پنجره که در سراسر برداشت حرکت می‌کند (شیننی کیماسی، ۱۳۸۴).



شکل ۵. (a) ثبت لرزه‌ای ساده شده نشان‌دهنده دو رویداد متقاطع و ناحیه تیره بیان‌کننده پهنای مؤثر موجک لرزه‌ای است. (b) تصحیح NMO مرسوم بر دو رویداد متقاطع (a) اعمال شده است. (c) بلوک‌های برونراند به مرکزیت رویدادهای بازتابی در ۱۰۰ ms و ۲۰۰ ms (خاکستری روشن، به اندازه پهنای تپ (پالس)، (d) تصحیح CNMO بر بلوک‌های نشان داده شده در (c) اعمال شده است (بروور، ۲۰۰۲).



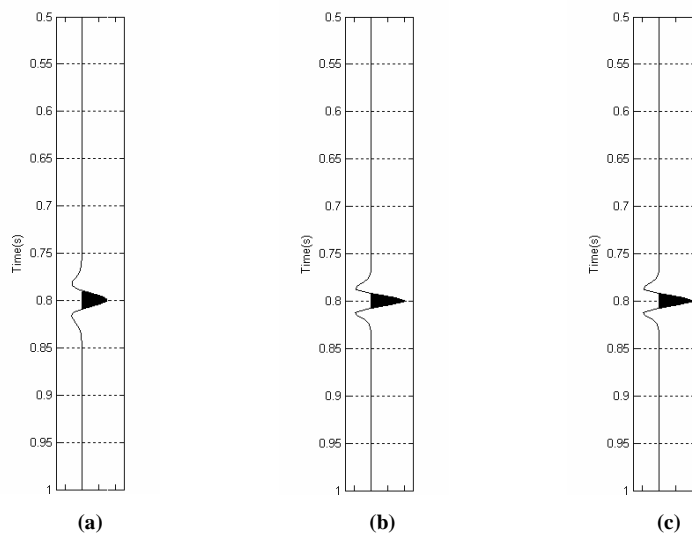
شکل ۶. (a) برداشت CMP با یک رویداد بازتابی در زمان ۰/۸ s با سرعت  $1800 \text{ ms}^{-1}$ . (b) برداشت CMP تصحیح شده با روش NMO مرسوم. (c) برداشت CMP تصحیح شده با حذف ۸۰ درصد کشیدگی. (d) برداشت CMP تصحیح شده با روش CNMO.

تصحیح CNMO با طیف دامنه ردلرزه برانبارش شده دورافت صفر، مربوط به کامل به خط نشدن موجک‌ها در نتیجه اعمال تصحیح CNMO است.

مدل بعدی که در شکل ۹-a نشان داده شده است، برداشت CMP دو رویداد بازتابی با سرعت‌های  $2100 \text{ ms}^{-1}$  و  $2550 \text{ ms}^{-1}$  به ترتیب در زمان‌های  $t_0$ ،  $1000 \text{ ms}$  و  $1500 \text{ ms}$  قرار دارند، بیان می‌کند. شکل ۹-b برداشت تصحیح شده به روش NMO مرسوم و شکل ۹-c برداشت تصحیح شده به روش CNMO را نشان می‌دهد. امتیاز این روش نسبت به روش مرسوم، با اعمال ایدئال روش پیشنهادی (CNMO) بر رویدادهای بازتابی در شکل ۹ دیده می‌شود. در شکل ۹-b به علت تداخل بین دو رویداد در برداشت CMP، پیش رویدادها و پس رویدادهایی در ناحیه تداخل به وجود می‌آید.

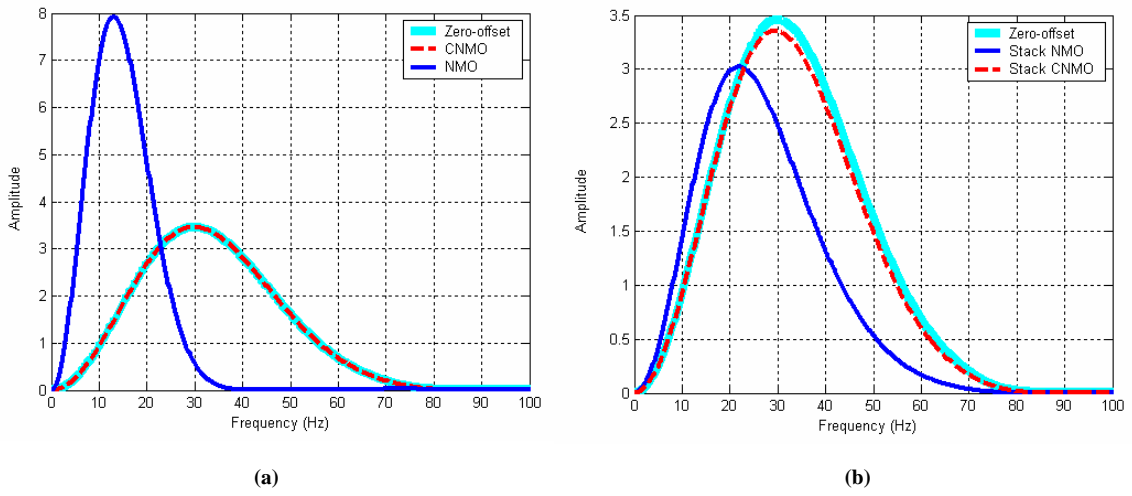
در شکل ۷ سه ردلرزه برانبارش شده به روش برون‌راند نرمال مرسوم، روش برون‌راند نرمال ثابت و دورافت صفر نشان داده شده است. تفاوت در دامنه موجک و بسامد غالب آن کاملاً مشهود است. برای مقایسه این دو روش تصحیح، از طیف دامنه استفاده شده است.

شکل ۸، طیف دامنه سه ردلرزه برانبارش شده روش برون‌راند نرمال مرسوم، روش برون‌راند نرمال ثابت و دورافت صفر مربوط به شکل‌های ۶ و ۷ را نشان می‌دهد. در این شکل تفاوت‌های نتایج دو روش قابل مشاهده است. کاهش بسامد که به علت اعمال تصحیح برون‌راند نرمال مرسوم و همین‌طور کاهش طیف دامنه موجک که به علت حذف یا برش به وجود آمده، در طیف دامنه ردلرزه برانبارش شده تصحیح NMO در شکل مشخص است. تفاوت بسیار جزئی در طیف دامنه ردلرزه برانبارش شده

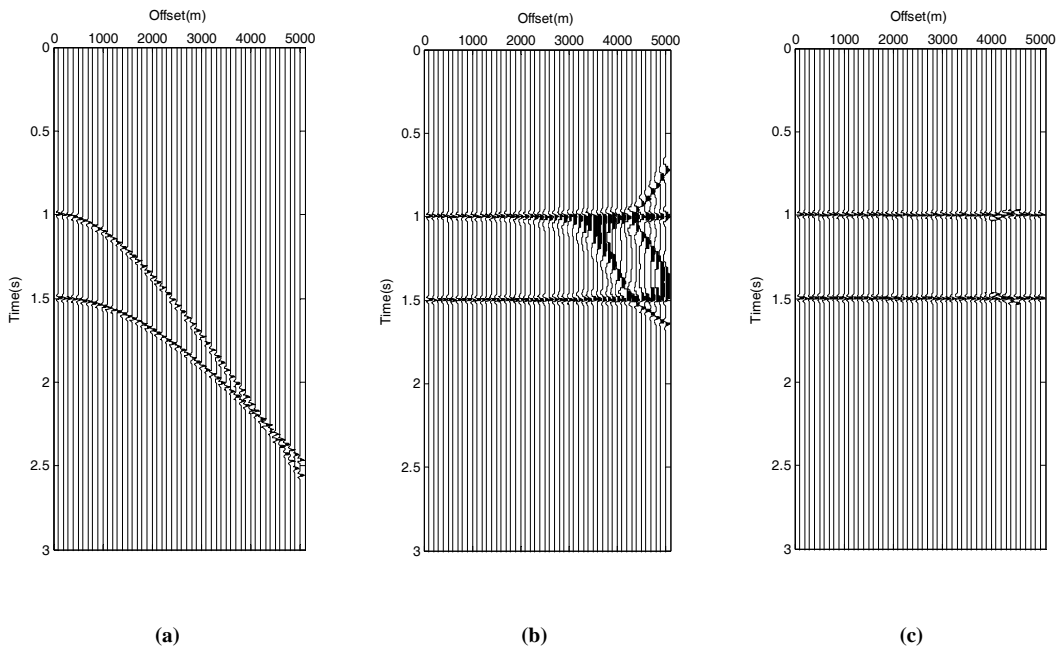


شکل ۷. (a) ردلرزه برانبارش شده برداشت تصحیح شده شکل ۶-c، (روش تصحیح برون‌راند نرمال مرسوم). (b) ردلرزه برانبارش شده برداشت تصحیح شده شکل ۶-d، (روش تصحیح برون‌راند نرمال ثابت). (c) ردلرزه دورافت صفر.





شکل ۸. (a) طیف دامنه موجک در بزرگ‌ترین دورافت و برداشت شکل ۶ برای دو روش تصحیح NMO و CNMO، و مقایسه آنها با طیف دامنه موجک مربوط به دورافت صفر. (b) طیف دامنه ردلرزه برانبارش شده شکل ۷ برای دو روش تصحیح NMO و CNMO، و مقایسه آنها با طیف دامنه ردلرزه مربوط به دورافت صفر.



شکل ۹. (a) برداشت CMP با دو رویداد بازتابی در زمان‌های ۱ s و ۱/۵ s به ترتیب با سرعت‌های ۲۱۰۰ ms<sup>-1</sup> و ۲۵۵۰ ms<sup>-1</sup> برداشت CMP تصحیح شده شکل ۹-ا. (c) برداشت CMP تصحیح شده با روش CNMO.

مربوط به روش‌های تصحیح برون‌راند نرمال مرسوم و تصحیح برون‌راند نرمال ثابت را نشان می‌دهد. کاهش دامنه در رویدادهای کم‌عمق به علت کشیدگی، در شکل ۱۳-a کاملاً مشهود است. به علت پدیده تکرارسازی رویداد، ردلرزه برانبارش شده به مربوط به روش تصحیح برون‌راند نرمال ثابت دارای نوفه بیشتری نسبت به ردلرزه برانبارش شده مربوط به روش تصحیح برون‌راند نرمال مرسوم است. اما بهبود بسامدی آن ردلرزه اهمیت بیشتری نسبت به نوفه دارد. شکل ۱۴، طیف دامنه موجک‌های دو ردلرزه شکل ۱۳ را نشان می‌دهد. در شکل ۱۴-a، طیف دامنه مربوط به رویداد زمان ۱ s برای دو ردلرزه شکل ۱۳ نشان داده شده است که به علت حذف کشیدگی در برداشت CMP مربوط به روش NMO مرسوم، دامنه طیف کاهش پیدا کرده است. همچنین به علت کشیدگی NMO، کاهش در بسامد غالب مشاهده می‌شود. در شکل ۱۴-b، طیف دامنه مربوط به رویداد زمان ۱/۵ s نشان داده شده است، که مانند شکل ۱۴-a کاهش دامنه طیف و بسامد غالب در طیف دامنه مربوط به ردلرزه تصحیح شده به روش NMO مرسوم مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۱۴-c و ۱۴-d، به علت حذف نشدن کشیدگی، کاهش بسامد با افزایش دامنه طیف همراه است. با نگاه اجمالی به شکل ۱۴، حفظ بسامد غالب با روش CNMO مشخص است. در مورد لایه‌های شیب‌دار در برداشت CMP، نیز این روش می‌تواند کارآمد باشد (شین کی‌ماسی، ۱۳۸۴).

##### ۵ اعمال CNMO بر داده‌های واقعی

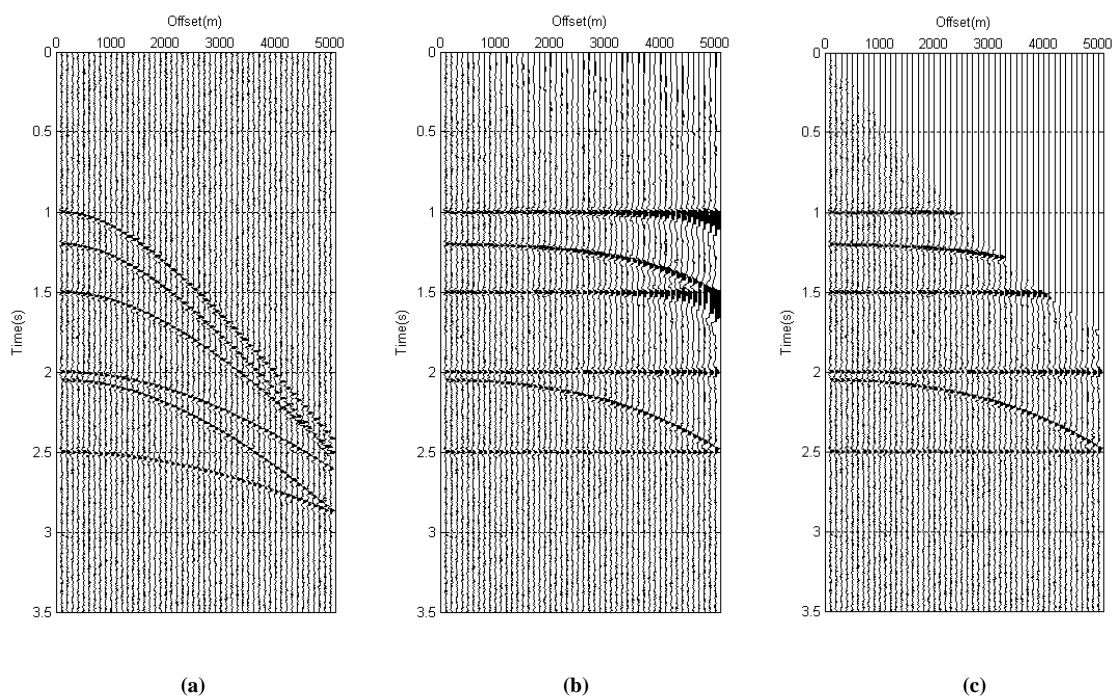
شکل ۱۵-a یک برداشت CMP واقعی خشکی را نشان می‌دهد. شکل ۱۵-b برداشت تصحیح شده به روش NMO مرسوم و شکل ۱۵-c برداشت تصحیح شده به روش CNMO را نشان می‌دهد. شکل‌های ۱۵-d و ۱۶-e مقاطعی را نشان می‌دهند که به ترتیب با روش‌های NMO

در ادامه بحث، یک برداشت CMP چهار لایه با امواج تکراری مربوط به آن، به همراه نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱۰، در شکل ۱۰-a نشان داده شده است (نوفه با روش ذکر شده در ونگ و مندل (۱۹۹۲) ایجاد شده است). در این مدل، کاهش بسامد و دامنه با عمق به صورت حالتی اختیاری نشان داده شده است (در زمان  $t_0$  ۱ s، بسامد غالب موجک ۳۰ Hz، در زمان  $t_0$  ۱/۵ s، بسامد غالب موجک ۲۷ Hz، در زمان  $t_0$  ۲ s، بسامد غالب موجک ۲۴ Hz و در زمان  $t_0$  ۲/۵ s، بسامد غالب موجک ۱۹ Hz است). در دو شکل ۱۰-b و ۱۰-c، برداشت CMP شکل ۱۰-a، به روش برون‌راند نرمال مرسوم تصحیح شده و با کشیدگی ۵۰٪ حذف شده است. کشیدگی برون‌راند نرمال مرسوم در شکل ۱۰-b کاملاً مشخص است. در شکل ۱۱، برداشت CMP شکل ۱۰-a که به روش CNMO تصحیح شده نشان داده شده است. در این شکل پدیده غیر واقعی تکرارسازی رویدادها کاملاً مشخص است. شکل ۱۲، طیف دامنه موجک‌های بزرگ‌ترین دورافت را در شکل‌های ۱۰-b و ۱۱ در زمان‌های  $t_0$  متفاوت را نشان می‌دهد و مقایسه می‌کند. در دو شکل ۱۲-a و ۱۲-b به علت کشیدگی NMO زیاد در زمان‌های ۱ s و ۱/۵ s که در روش NMO مرسوم به وجود آمده است، کاملاً با نتیجه روش CNMO متفاوت است. در دو شکل ۱۲-c و ۱۲-d طیف دامنه موجک تصحیح شده به روش NMO مرسوم، نسبت به دو شکل قبل کشیدگی کمتری دارد ولی هنوز نسبت به موجک تصحیح شده به روش CNMO، بسامد غالب کمتری دارد. در چهار شکل ۱۲-a، b، c و d موجک تصحیح شده به روش CNMO دارای همان بسامد غالب موجک دورافت صفر است.

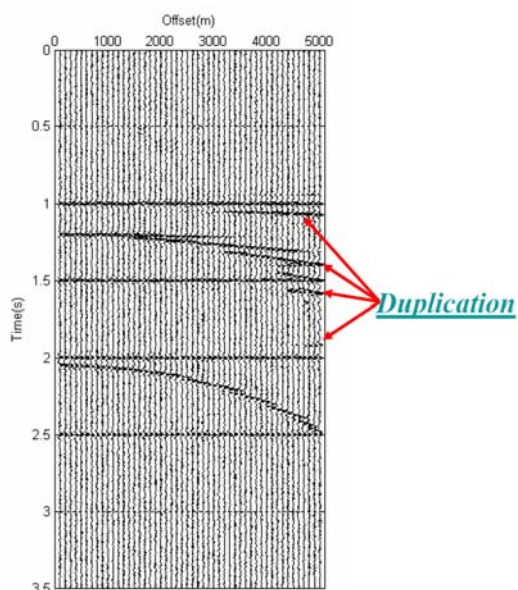
شکل ۱۳ دو ردلرزه برانبارش شده برداشت‌های CMP تصحیح شده شکل‌های ۱۰-c و ۱۱، به ترتیب

معمول‌اند (شکل ۱۶-ب). علت اینکه در بعضی از بسامدها در شکل ۱۶، بالا آمدگی و پایین رفتگی طیف دامنه در دو روش یکسان نیست، پنجره، پنجره تصحیح شدن در روش CNMO است و همین‌طور به علت پهنای زمانی انتخاب شده برای به دست آوردن طیف دامنه، شکل آن نوسان‌های بیشتری دارد. روش CNMO می‌تواند برانبارش CMP را با قدرت تفکیک بیشتری تهیه کند. در شکل ۱۷، برانبارش دو برداشت تصحیح شده شکل‌های ۱۵-ب و ۱۵-ج نشان داده شده است. بهبود قدرت تفکیک برانبارش بازتاب در ۱۵۰۰ ms روش CNMO نسبت به روش NMO در این شکل مشخص است.

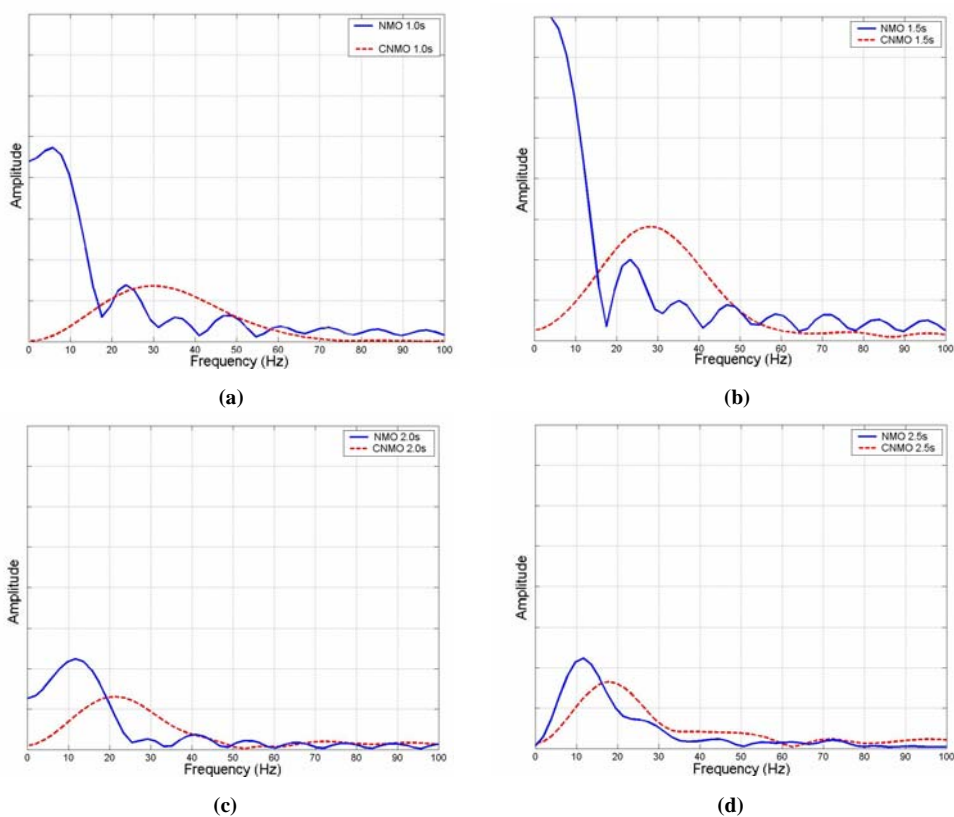
و CNMO تصحیح شده‌اند و فقط محدوده بازتاب از زمان ۱/۲ ثانیه تا ۱/۸ ثانیه را مشخص می‌سازند. در شکل ۱۶ طیف دامنه مربوط به دورافت بزرگ (۳۰۰۰ متر) و دورافت کوچک (۵۰ متر) و برداشت تصحیح شده به دو روش NMO مرسوم و شکل ۱۵ را برای رویداد ۱۵۰۰ میلی ثانیه نشان می‌دهد. تصحیح NMO در دورافت‌های کوچک چندان قابل توجه نیست، بنابراین ردلرزه‌های تصحیح شده (یا طیف‌ها) با دورافت کوچک، در هر دو روش منطبق‌اند (شکل ۱۶-ا). تفاوت اصلی در دورافت‌های بزرگ مشاهده می‌شود، به نحوی که در روش CNMO داده‌ها دارای بسامد بالاتری نسبت به روش



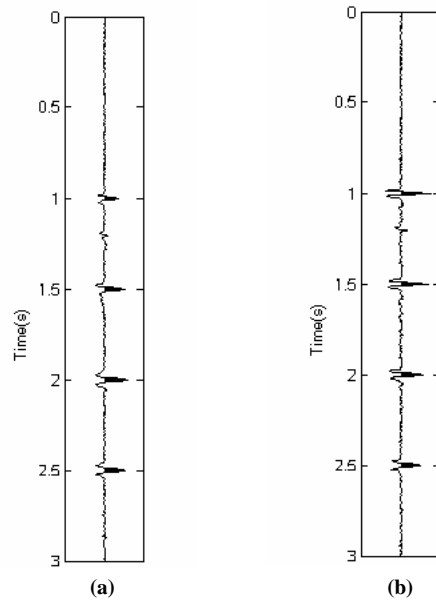
شکل ۱۰. (a) یک برداشت CMP با چهار رویداد در زمان‌های  $t_0$ ، ۱ s، ۱/۵ s، ۲ s و ۲/۵ s که به ترتیب دارای سرعت‌های  $2275 \text{ ms}^{-1}$ ،  $2500 \text{ ms}^{-1}$ ،  $3000 \text{ ms}^{-1}$  و  $3500 \text{ ms}^{-1}$  می‌باشند. این مدل دارای دو موج تکراری مربوط به بازتاب‌های اصلی زمان‌های ۱ s و ۱/۵ s است. نسبت سیگنال به بوفه این مدل ۱۰ است. (b) برداشت CMP تصحیح شده به روش NMO مرسوم. (c) برداشت CMP تصحیح شده به روش NMO مرسوم با حذف کشیدگی ۵۰٪.



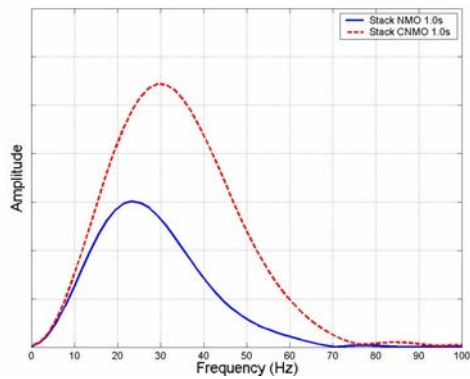
شکل ۱۱. برداشت CMP شکل ۱۰-a، تصحیح شده به روش CNMO. در این شکل، پدیده غیر واقعی تکرار سازی رویداد که به علت همپوشانی جزئی بلوکها در دورافت‌های بزرگ به وجود آمده، نشان داده شده است.



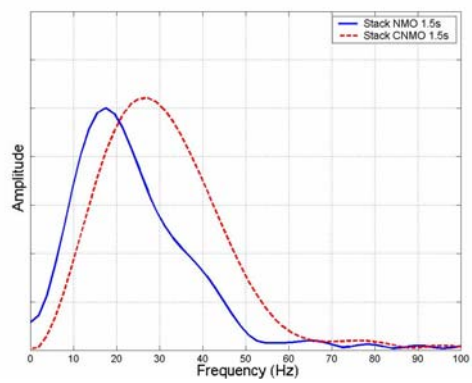
شکل ۱۲. (a) طیف‌های دامنه مربوط به رویداد زمان ۱ s در بزرگ‌ترین دورافت برداشت CMP تصحیح شده شکل ۱۰-b و ۱۱. (b) طیف‌های دامنه مربوط به رویداد زمان ۱/۵ s در بزرگ‌ترین دورافت برداشت CMP تصحیح شده شکل ۱۰-b و ۱۱. (c) طیف‌های دامنه مربوط به رویداد زمان ۲ s در بزرگ‌ترین دورافت برداشت CMP تصحیح شده شکل ۱۰-b و ۱۱. (d) طیف‌های دامنه مربوط به رویداد زمان ۲/۵ s در بزرگ‌ترین دورافت برداشت CMP تصحیح شده شکل ۱۰-b و ۱۱.



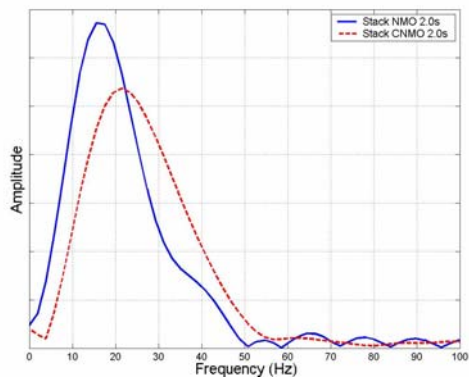
شکل ۱۳. (a) ردلرزه برانبارش شده ورداشت CMP شکل ۱۰- c. (b) ردلرزه برانبارش شده ورداشت CMP شکل ۱۱.



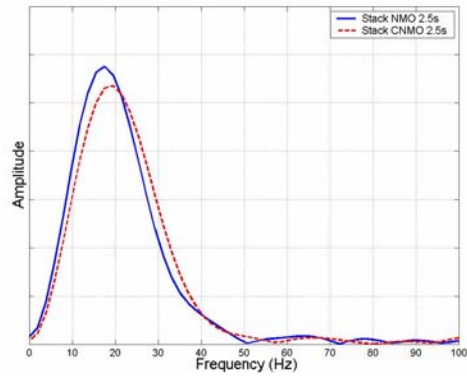
(a)



(b)

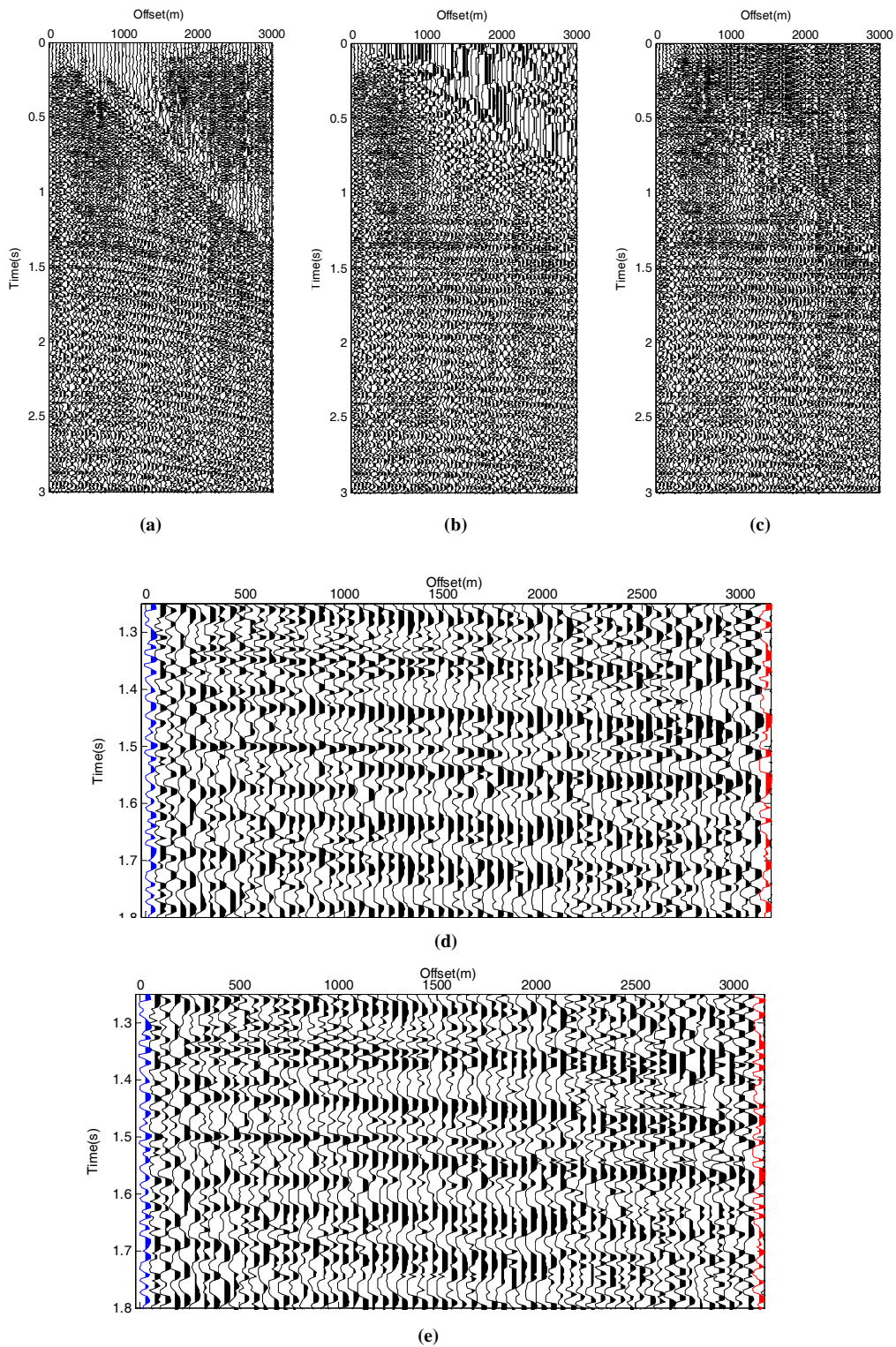


(c)

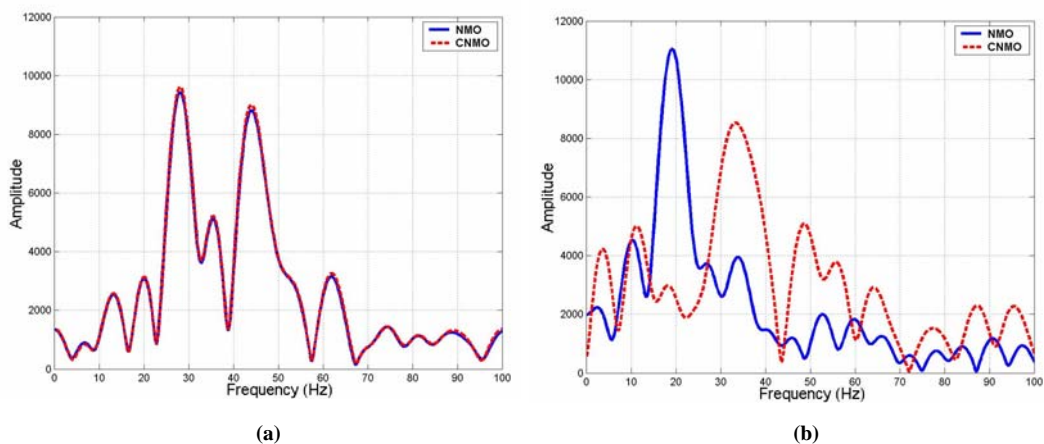


(d)

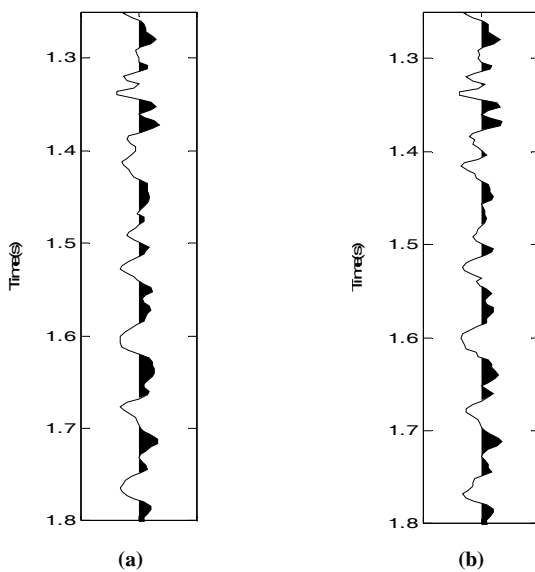
شکل ۱۴. طیف‌های دامنه مربوط به دو ردلرزه شکل ۱۳ در رویدادهای زمانی: (a) برای ۱ s، (b) برای ۱/۵ s، (c) برای ۲ s و (d) برای ۲/۵ s.



شکل ۱۵. (a) یک ورداشت CMP واقعی خشکی. (b) نتیجه تصحیح ورداشت CMP به روش NMO مرسوم. (c) نتیجه تصحیح ورداشت CMP به روش CNMO. (d) نتیجه تصحیح ورداشت CMP به روش NMO مرسوم مربوط به بازتاب در زمان ۱۵۰۰ ms. (e) نتیجه تصحیح ورداشت CMP به روش CNMO مربوط به بازتاب در زمان ۱۵۰۰ ms. (ردلرزه سمت راست که با رنگ سرخ مشخص شده، مربوط به دورافت ۳۰۰۰ متر و ردلرزه سمت چپ که با رنگ آبی مشخص شده، مربوط به دورافت ۵۰ متر است که طیف دامنه آنها در شکل ۱۶ نشان داده شده است).



شکل ۱۶. طیف‌های دامنه داده‌های تصحیح شده شکل ۱۵. (a) ردلرزه‌هایی با دورافت کوچک ۵۰ متر و (b) ردلرزه‌هایی با دورافت بزرگ ۳۰۰۰ متر. پهنای زمانی انتخاب شده برای به‌دست آوردن طیف دامنه ۲۰۰ میلی ثانیه و مرکز آن در ۱۵۰۰ میلی ثانیه است.



شکل ۱۷. (a) ردلرزه برانبارش شده و درداشت تصحیح NMO شده شکل ۱۵-d. (b) ردلرزه برانبارش شده و درداشت تصحیح CNMO شده شکل ۱۵-c (بهبود قدرت تفکیک برانبارش بازتاب در ۱۵۰۰ ms روش CNMO به روش NMO در این شکل مشخص است).

## ۶ نتیجه گیری

قرار دادن داده‌های لرزه‌نگاری واقعی، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

شینبی کیماسی، ح.، ۱۳۸۴، کمینه‌سازی کشیدگی ناشی از تصحیح برون‌راند نرمال به تصحیح برون‌راند نرمال ثابت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

- Barnes, A. E., 1992, Another look at NMO stretch: *Geophysics*, **57**, 749-751.
- Brouwer, J. H., 2002, Improved NMO correction with a specific application to shallow-seismic data: *Geophys. Prospect*, **50**, 225-237.
- Buchholtz, H., 1972, A note on signal distortion due to dynamic (NMO) corrections: *Geophys. Prospect*, **20**, 395-402.
- Castle, R. J., 1994, Theory of normal moveout: *Geophysics*, **59**, 983-999.
- Cohen, L., 1989, Time-frequency distributions-A review: *Proc. IEEE*, **77**, 941-981.
- De Bazelaire, E., 1988, Normal moveout revisited: Inhomogeneous media and curved interfaces: *Geophysics*, **42**, 477-499.
- De Bazelaire, E., and Viallix, J. R., 1994, Normal moveout in focus: *Geophys. Prospect*, **42**, 477-499.
- Dix, C. H., 1955, Seismic velocity from surface measurements: *Geophysics*, **20**, 68-86.
- Dunkin, J. W., and Levin, F. K., 1973, Effect of normal moveout on a seismic pulse: *Geophysics*, **38**, 635-642.
- Miller, R. D., 1992, Normal moveout stretch mute on shallow-reflection data: *Geophysics*, **57**, 1502-1507.
- Rupert, G. B., and Chun, J. H., 1975, The block move sum normal moveout correction: *Geophysics*, **40**, 17-24.
- Shatilo, A., and Aminzadeh, F., 2000, Constant normal moveout (CNMO) correction: a technique and test results: *Geophys. Prospect*, **48**, 473-488.
- Sun, C., Wang, H., and Martinez, R. D., 2002, Optimized 6th order NMO correction for long-offset seismic data: 72nd Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 2313-2316., October 6-11, Salt Lake City, Utah.
- Taner, M. T., and Koehler, F., 1969, Velocity spectra-digital computer derivation and

تصحیح برون‌راند نرمال ثابت (CNMO) از اثرهای کشیدگی تصحیح برون‌راند نرمال مرسوم تا حدی جلوگیری می‌کند. این تصحیح، بازتاب‌های کم عمق با دورافت بزرگ را با توجه طیف دامنه موجک‌ها در دورافت‌های بزرگ و همین‌طور طیف دامنه ردلرزه برانبارش شده برای ورداشت‌های مصنوعی و واقعی، شامل بسامدهای طیفی بالاتر و تغییر شکل طیفی کمتر را نتیجه می‌دهد. با توجه به ورداشت‌های تصحیح شده داده‌های واقعی، خروجی روش CNMO دارای بسامدهای بالاتری نسبت به خروجی روش NMO مرسوم در دورافت‌های بزرگ است. با توجه به اینکه، تصحیح NMO در دورافت‌های کوچک، چندان قابل توجه نیست، بنابراین ردلرزه‌های تصحیح شده (یا طیف‌ها) با دورافت کوچک، در هر دو روش منطبق‌اند. تفاوت اصلی، در دورافت‌های بزرگ مشاهده شده است، در روش CNMO داده‌ها دارای بسامدهای بالاتری نسبت به روش معمول است و کاملاً مشخص است که این روش می‌تواند برانبارش CMP را با دقت بیشتری تهیه کند. پیرو این تصحیح، حذف و برش، کاهش قابل توجهی نسبت به برون‌راند نرمال مرسوم پیدا می‌کند. بنابراین، از طول گسترش بزرگ‌تر داده‌ها برای برانبارش CMP استفاده می‌شود و قدرت تفکیک را بهبود می‌بخشد. با توجه به پدیده تکرارسازی رویدادها که به علت اعمال این روش در نواحی خاصی از ورداشت CMP به وجود می‌آید، نوفه ناچیزی در ردلرزه برانبارش شده، ایجاد می‌شود. نتیجه این روش تحت هر شرایطی دارای فرکانس بالاتری نسبت به برانبارش مربوط به NMO مرسوم است.

## تشکر و قدردانی

از آقای محمد باقر فرشید نسب رئیس محترم مرکز باخوانی شرکت عملیات اکتشاف نفت به خاطر در اختیار



- applications of velocity functions: Geophysics, **34**, 859-881.
- Trickett, S. R., 2003, Stretch free stacking: 73ndAnn. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 100-104., Dallas, TX.
- Wang, L. X., and Mendel, J. M., 1992, Adaptive minimum prediction-error deconvolution and source wavelet estimation using Hopfield neural networks: Geophysics, **57**, 670-679.