

## بررسی تصحیح برونراند شیب داده‌های لرزه‌ای دوبعدی با استفاده از تبدیل فوریه در محیط‌هایی با سرعت ثابت و متغیر با عمق

علیرضا گلالزاده\* و عبدالرحیم جواهریان\*

\* مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۴۶-۱۴۱۵۵

دریافت مقاله: ۸۱/۳/۱۳ پذیرش مقاله: ۸۱/۱۱/۲۹

### چکیده

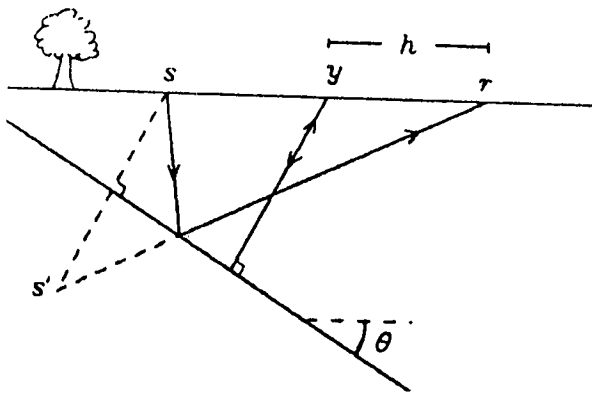
در روش‌های مرسوم لرزه‌بازتابی عملیات لرزه‌نگاری به صورتی انجام می‌شود که از یک نقطه چند بازتاب به وجود آید و این مسئله با افزایش فاصله بین چشمه و گیرنده همراه است. برای از بین بردن اثر دورافت بین چشمه و گیرنده از عملگر پردازشی تصحیح برونراند نرمال استفاده می‌شود. هنگامی که در زیر سطح زمین، بازتابنده‌های شیب‌دار متقاطع با شیب متفاوت وجود دارد، این عملگر پردازشی در حذف اثر دورافت داده‌های لرزه‌ای ناتوان عمل می‌کند. لذا به مراحل پردازشی اضافی نیاز است. عملگر پردازشی تصحیح برونراند شیب می‌تواند به برداشتن اثر شیب از سرعت برانبارش بازتابنده‌ها کمک کند. در این مقاله، با استفاده از تبدیل فوریه دوبعدی، کارایی عملگر پردازشی تصحیح برونراند شیب در برداشتن اثر شیب از سرعت برانبارش داده‌های مصنوعی و دو خط لرزه‌نگاری دو بعدی یکی از مناطق ایران مرکزی مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های مصنوعی مورد مطالعه شامل یک لایه افقی متقاطع با یک لایه شیب‌دار با سرعت ثابت و همچنین لایه‌های شیب‌دار با سرعت‌های متفاوت است. از این بررسی نتایج زیر حاصل شد. ۱- سرعت‌های برانبارش مستقل از شیب بازتابنده‌ها شدند و برای بازتابنده‌های با شیب متقاطع عمل برانبارش بهبود یافت. ۲- سرعت‌های برانبارش و نتایج مهاجرت داده‌ها بهبود یافتند. ۳- پیوستگی بازتابنده‌ها بهبود یافت. ۴- انطباق خطوط در محل بازتابنده‌ها بهبود یافت. ۵- نوبه‌های همدوس شیب‌دار تضعیف شدند. ۶- نسبت سیگنال به نوفه بهبود بخشیده شد.

کلیدواژه: برونراند نرمال، برونراند شیب، دورافت، تبدیل فوریه، سرعت برانبارش

### ۱ مقدمه

در انجام تصحیح برونراند نرمال، بازتابنده‌ها افقی فرض می‌شوند. در صورتی که ممکن است در مقاطع لرزه‌ای چند شیب وجود داشته باشد که یکدیگر را نیز قطع کنند. در این صورت برونراند نرمال به صورت یک پالایه گزینش شیب عمل می‌کند، یک شیب ویژه را تقویت می‌نماید و در مقابل، شیب‌های دیگر را تضعیف می‌کند. این مسئله در مناطقی همانند گنبد نمکی که لایه‌های با شیب ملایم با لایه‌های با شیب زیاد تقاطع پیدا می‌کنند دیده می‌شود. برای دانستن چگونگی عمل کردن این پالایه شیب باید به این مسئله توجه شود که سرعت برونراند نرمال برای بازتابنده‌های شیب‌دار بیشتر از بازتابنده‌های با شیب افقی است. دیکس (۱۹۵۵) و لوین (۱۹۷۱) نشان دادند که برای بازتابنده شیب‌دار زیرسطحی با سرعت ثابت  $V$ ، سرعت برانبارش آن برابر

در آن  $\theta$  شیب بازتابنده در مسیر دورافت چشمه و گیرنده و  $V_{NMO}$  سرعت برونراند نرمال نامیده می‌شود. این رابطه بیانگر آن است که تصحیح برونراند نرمال برای بازتابنده‌های شیب‌دار در حالتی به بهترین شکل انجام می‌شود که  $V_{NMO}$  به کار برده شود و این سرعت بیشتر از سرعت واقعی لایه است. از طرفی در مناطقی که بازتابنده‌های با شیب متفاوت یکدیگر را قطع می‌کنند، تصحیح برونراند نرمال در حذف اثر دورافت بازتابنده‌ها ناتوان عمل می‌کند. از طرفی سرعتی که در مرحله تحلیل سرعت این داده‌ها به دست می‌آید تحت اثر شیب بازتابنده‌ها قرار می‌گیرد و با استفاده آن نمی‌توان سرعت مناسب را که برای مراحل بعدی پردازش از جمله مهاجرت داده‌های لرزه‌ای و تبدیل مقطع زمانی به عمق مورد نیاز



شکل ۱. نمایش مدل زیر سطحی ساده. مشکل از یک بازتابنده شیب دار با سرعت ثابت (هیل، ۱۹۸۴).

$$V^2 t^2 = (\overline{s'r})^2 = (\overline{ss'})^2 + (\overline{sr})^2 - \quad (1)$$

$$2(\overline{ss'}) (\overline{sr}) \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right)$$

$$t = \frac{2}{V} \left[ (y - y_i)^2 \sin^2 \theta + h^2 \cos^2 \theta \right]^{1/2} \quad (2)$$

در این جا،  $V$  سرعت ثابت محیط،  $\theta$  شیب بازتابنده و  $y_i$  مشخصه محل تقاطع بازتابنده و سطح زمین است.

زمان عبور در دورافت صفر،  $t_0$  در حالتی وجود دارد که  $h$  برابر صفر باشد و مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید.

$$t_0 \equiv \frac{2}{V} (y - y_i) \sin \theta \quad (3)$$

در نتیجه معادله ۲ به صورت زیر نوشته می شود.

$$t = \left( t_0^2 + \frac{4h^2 \cos^2 \theta}{V^2} \right)^{1/2} \quad (4)$$

معادله ۴ به عنوان معادله تصحیح برونراند نرمال معرفی می شود که برای بازتابنده های شیب دار با جایگزینی  $V/\cos \theta$  به جای سرعت واقعی لایه بازتابنده تصحیح شده است. معادله ۴ برای از بین بردن اثر دورافت از زمان عبور، برای نگاهت هایی که با دورافت چشمه و گیرنده متفاوت ثبت شده اند به کار می رود. با فرض این که  $P(t, y, h)$  مشخص کننده نگاهت های لرزه ای برای زمان عبور  $t$ ، نقطه میانی  $y$ ، نصف دورافت  $h$  باشد، با استفاده از

است به دست آورد. برای رفع این مشکلات، محققان روش تصحیح برونراند شیب را پیشنهاد کرده اند. تصحیح برونراند شیب در سال ۱۹۷۸ توسط جادسون و همکاران معرفی شد. آنها روش خود را DEVILISH نامیدند. روش پیشنهادی با توجه به کاربرد تقریب های عددی معین، تنها برای دورافت های کم و بازتابنده های با شیب کم قابل استفاده است. ایلماز و کلیربوت (۱۹۸۰) روش دیگری از برونراند شیب را معرفی کردند و آن را مهاجرت جزئی قبل از برانبارش نامیدند. درگوسکی و روکا (۱۹۸۱) پاسخ ضربه ای عملگر برونراند شیب را به همراه تبدیل فوریه آن ارائه دادند. بالوندی و همکاران (۱۹۸۲) روش تفاضل متناهی را در برونراند شیب به کار بردند که به پیوستگی دورافت معروف شد. روش برونراند شیب با استفاده از تبدیل فوریه به وسیله هیل (۱۹۸۳) معرفی شد. محققین زیادی در خصوص روش برونراند شیب در بهبود سرعت استخراج شده از داده های لرزه ای بازتابی و همچنین پوشش آن ارائه طریق نموده اند که از آن جمله می توان به فاربر (۲۰۰۰)، رنن و لاینر (۲۰۰۰) و کانینگ و گاردنر (۲۰۰۱) اشاره نمود. در این مقاله به بررسی تصحیح برونراند شیب با استفاده از تبدیل فوریه پرداخته می شود.

## ۲ برونراند شیب با استفاده از تبدیل فوریه

### ۱-۲ سرعت ثابت محیط

شکل ۱ ساخت زیر سطحی شیب دار را در حالتی که سرعت محیط ثابت است، نشان می دهد. دیکس (۱۹۵۵) نشان داد که زمان عبور  $t$  از موقعیت چشمه  $s$  تا موقعیت گیرنده  $r$  در شکل ۱ با استفاده از تحلیل مثلث  $s'sr$  و به کار بردن قوانین مثلثاتی به دست می آید. در مثلث  $s'sr$  زمان عبور  $t$  از چشمه  $s$  تا گیرنده  $r$  براساس زمان دورافت صفر  $t_0$  و نصف دورافت  $h$  و سرعت محیط  $V$  و شیب بازتابنده  $\theta$  با استفاده از روش های مثلثاتی ساده و برخی ساده سازی های جبری برحسب فاصله میان چشمه و گیرنده می توان طبق معادله ۲ به دست آورد.

معادله ۴ می‌توان نوشت

$$P_0(t_0, y, h=0) \equiv P\left(\sqrt{t_0^2 + \frac{4h^2 \cos^2 \theta}{V^2}}, y, h\right) \quad (5)$$

که در آن،  $P_0(t_0, y, h=0)$  بیانگر نگاشت لرزه‌ای با دورافت صفر است. تصحیح شیب برونراند نرمال را به صورت دو مرحله جدا از هم نیز می‌توان انجام داد. برای انجام این منظور ابتدا معادله ۴ به صورت زیر نوشته می‌شود

$$t = \left(t_0^2 + \frac{4h^2}{V^2} - \frac{4h^2 \sin^2 \theta}{V^2}\right)^{1/2} \quad (6)$$

زمان برونراند نرمال  $t_n$  در حالتی که هنوز تصحیح شیب روی آن انجام نشده است به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$t \equiv \left(t_n^2 + \frac{4h^2}{V^2}\right)^{1/2} \quad (7)$$

معادلات ۶ و ۷ معادل هم هستند به شرطی که

$$t_n = \left(t_0^2 - \frac{4h^2 \sin^2 \theta}{V^2}\right)^{1/2} \quad (8)$$

باشد. معادلات ۷ و ۸ نشان می‌دهند که تصحیح شیب برونراند نرمال به صورت دو مرحله جدا از هم قابل انجام است. با استفاده از معادله ۷ نگاشت لرزه‌ای پس از تصحیح برونراند نرمال به صورت زیر تعریف می‌شود.

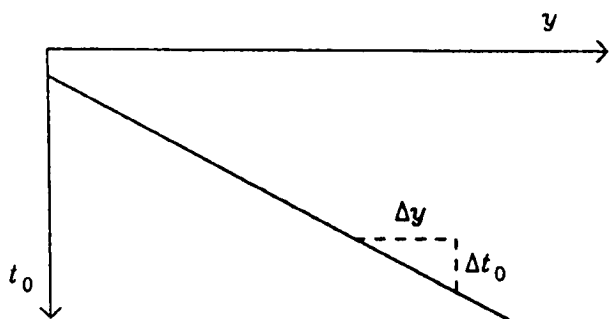
$$\text{NMO} \quad P_n(t_n, y, h) \equiv P\left(\sqrt{t_n^2 + \frac{4h^2}{V^2}}, y, h\right) \quad (9)$$

با استفاده از معادله ۸ تصحیح برونراند شیب را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\text{DMO} \quad P_0(t_0, y, h=0) \equiv P_n\left(\sqrt{t_0^2 - \frac{4h^2 \sin^2 \theta}{V^2}}, y, h\right) \quad (10)$$

تصحیح برونراند شیب، زمان برونراند نرمال  $t_n$  را به زمان دورافت صفر  $t_0$  تبدیل می‌کند. برای مدل زیر سطحی شکل ۱، مقطع دورافت صفر به صورت شکل ۲ است. با استفاده از معادله ۳ شیب یک بازتابنده در مقطع لرزه‌ای

$P_0(t_0, y, h)$

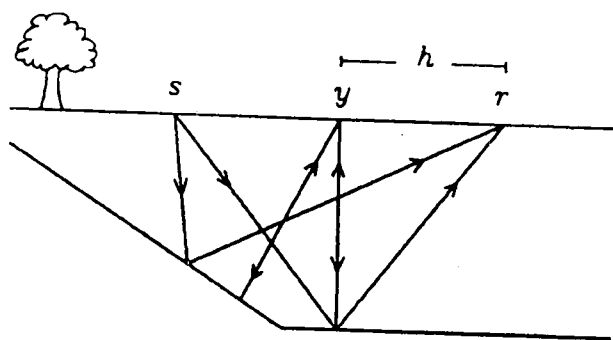


شکل ۲. مقطع دورافت صفر مدل زیر سطحی شکل ۱ (هیل، ۱۹۸۴).

مهاجرت داده نشده برابر است با  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y} = \frac{2 \sin \theta}{V}$ . به همین دلیل تصحیح برونراند شیب از معادله ۱۰ به صورت زیر بیان می‌شود.

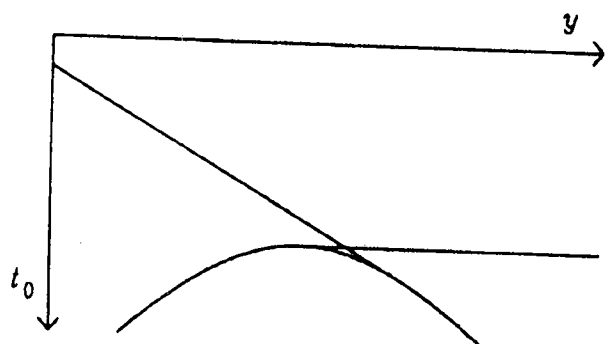
$$P_0(t_0, y, h=0) = P_n\left(\sqrt{t_0^2 - \left(\frac{\Delta t_0}{\Delta y}\right)^2 h^2}, y, h\right) \quad (11)$$

برونراند شیب از طریق معادله ۱۱ نیاز به دانستن سرعت و شیب ندارد. از آنجایی که این پارامترها به طور مشخص ناشناخته هستند، معادله ۱۱ به صورت معادله‌ای عملی‌تر از معادله ۱۰ خود را نشان می‌دهد. ولی محاسبه تصحیح برونراند شیب از طریق معادله ۱۱ به دو دلیل غیر عملی است. اولاً شیب  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$  برای معادله ۱۱ مورد نیاز است و این در حالتی قابل محاسبه است که مقطع با دورافت صفر موجود باشد. ولی از آنجایی که مقطع با دورافت صفر به طور مشخص ثبت نشده و خود این مقطع باید از طریق معادلات ۹ و ۱۱ محاسبه شود، لذا مقدار  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$  را نمی‌توان محاسبه کرد. ثانیاً ممکن است برای یک  $P_0(t_0, y, h=0)$  بیش از یک شیب وجود داشته باشد، در صورتی که در مدل زیر سطحی ساده شکل ۱ تنها یک شیب وجود خواهد داشت. برای بررسی این مطلب مدل پیچیده‌تر شکل ۳ را بررسی می‌کنیم. در این مدل شیب بازتابنده به‌طور ناگهانی افقی می‌شود. مقطع دورافت صفر مربوط به مدل زیر سطحی شکل ۳ در شکل ۴ نشان



شکل ۳. نمایش مدل زیر سطحی دوم (هیل، ۱۹۸۴).

$$P_0(t_0, y, h)$$



شکل ۴. مقطع دورافت صفر مدل شکل ۳. این شکل مشکل تضاد شیبها را بیان

می کند شیب بازتابنده ها  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$  می باشد که با تغییر  $t_0$  و  $y$  تغییر می کند (هیل، ۱۹۸۴).

$$\frac{k}{\omega_0} = \frac{\Delta t_0}{\Delta y} = \frac{2 \sin \theta}{V} \quad (12)$$

تبدیل فوریه دوبعدی روی  $P_0(t_0, y, h=0)$  به صورت زیر است.

$$P_0(\omega_0, k, h=0) = \int dt_0 e^{i\omega_0 t_0} \int dy e^{-iky} P_0(t_0, y, h=0)$$

از طرفی با استفاده از معادله ۸ داریم.

$$t_0 = \left[ t_n^2 + \frac{4h^2 \sin^2 \theta}{V^2} \right]^{1/2} = \left[ t_n^2 + \left( \frac{\Delta t_0}{\Delta y} \right)^2 h^2 \right]^{1/2}$$

A به صورت زیر تعریف می شود.

$$A \equiv \frac{dt_n}{dt_0} = \left[ 1 + \left( \frac{\Delta t_0}{\Delta y} \right)^2 \frac{h^2}{t_n^2} \right]^{1/2} = \frac{t_0}{t_n}$$

داده شده است. بعد از انجام تصحیح برونراند نرمال، اعمال کردن معادله ۱۱ روی مقطع با دورافت غیر صفر در حالتی که  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$  مساوی صفر باشد، موجب می شود که بازتابنده های افقی به طور صحیحی در یک ردیف قرار گیرند، در حالی که بازتابنده های شیب دار به طور صحیحی در یک ردیف قرار نمی گیرند و برابارش لرزه نگاشت با نقطه میانی مشترک باعث تضعیف بازتابنده های شیب دار نسبت به بازتابنده های افقی می شود. در حالتی که در معادله ۱۱، مخالف صفر قرار داده شود، بازتابنده های شیب دار به طور صحیحی در یک ردیف قرار می گیرند، در صورتی که بازتابنده های افقی به صورت درستی در یک ردیف قرار نمی گیرند. در نتیجه هنگام برابارش لرزه نگاشت با نقطه میانی مشترک بازتابنده افقی نسبت به بازتابنده شیب دار تضعیف می شود.

هنگامی که دو شیب متفاوت در نقطه ای موجود باشد، مراحل متداول برابارش و انجام تصحیح برونراند نرمال و تصحیح برونراند شیب با استفاده از معادله ۵ و یا معادلات ۹ و ۱۱ تنها می تواند یک شیب را بازسازی کند و در مقابل شیب های دیگر را تضعیف می کند. برای حل این مشکل در ابتدا فرض می شود که در هر نقطه  $P_0(t_0, y, h=0)$  تمام شیب های ممکن وجود دارد. معادله ۱۱ بیانگر آن است که برای هر شیب در مقطع دورافت صفر  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$ ، تصحیح برونراند شیب متفاوتی لازم است و در نتیجه برونراند شیب مرحله پردازشی وابسته به شیب است. تبدیل فوریه دوبعدی روی  $t_0$  و  $y$  این امکان را فراهم می کند که به توان مراحل پردازشی برونراند شیب وابسته به شیب را در حوزه بسامد - عدد موج انجام داد. می دانیم که همه بازتابنده های دارای یک شیب ویژه در حوزه  $P_0(t_0, y, h=0)$  به یک خط شعاعی در حوزه  $(\omega_0, k)$  تبدیل می شوند که روابط آن به صورت زیر است.

ایجاد می‌شود، به‌طور مشخصی کم‌تر از خطاهایی است که در پردازش داده‌های لرزه‌ای ایجاد می‌شود (هیل و آرتلی، ۱۹۹۳). علاوه بر این، لین و همکاران (۱۹۹۱) پیشنهاد کردند که خطاهایی که در فرضیات مراحل پردازشی برونراند شیب با سرعت ثابت وارد می‌شود در بعضی نواحی با خطاهای ایجاد شده بر اثر فرض همگن بودن مسیر مهاجرت امواج لرزه‌ای، جبران می‌شود. در این مقاله روشی که توسط هیل و آرتلی (۱۹۹۳) برای وارد کردن تغییرات تدریجی سرعت با عمق معرفی شده است ارائه می‌شود.

### ۲-۲-۱ به هم فشردن عملگر برونراند شیب

اثر برونراند شیب با سرعت ثابت روی زمان بازتابنده‌ها توسط درگوسکی (۱۹۸۶) و درگوسکی و روکا (۱۹۸۱) به‌صورت زیر آورده شده است.

$$t_0 = t_n \left( 1 - \frac{y^2}{h^2} \right)^{1/2} \quad (14)$$

برای وارد کردن تقریبی تغییرات سرعت با عمق در مراحل تصحیح برونراند شیب، از روش به هم فشردن عملگر برونراند شیب رابطه زیر معرفی شده است (هیل و آرتلی، ۱۹۹۳).

$$t_0 = t_n (1-S) + t_n S \left[ 1 - \frac{y^2}{S\gamma(t_n)h^2} \right]^{1/2} \quad (15)$$

هیل (۱۹۸۳ و ۱۹۸۸) و هیل و آرتلی (۱۹۹۳) تابع  $y(t)$  را که یک تابع به هم فشارش متغیر با زمان است طبق رابطه زیر به‌دست آورده‌اند.

$$\gamma(t) \equiv \frac{3}{2} \frac{V_4^4(t)}{V_2^4(t)} - \frac{1}{2} - \frac{t}{V_2(t)} \frac{dV_2}{dt} \quad (16)$$

$$V_2(t) \equiv \left[ \frac{1}{t} \int_0^t ds V^2(s) \right]^{1/2}$$

$$V_4(t) \equiv \left[ \frac{1}{t} \int_0^t ds V^4(s) \right]^{1/4}$$

که در آن،  $V_2(t)$  و  $V_4(t)$  میانگین سرعت بین لایه‌ای از تابع متغیر با زمان  $V(t)$  و  $S$  ضریب ثابت به هم فشارش برونراند شیب

با استفاده از معادله ۱۱ و جایگزینی

$$P_0 \left( \sqrt{t_n^2 + \left( \frac{\Delta t_0}{\Delta y} \right)^2} h^2, y, h = 0 \right) = P_n(t_n, y, h)$$

تبدیل فوریه به صورت زیر تبدیل می‌شود.

(۱۳الف)

$$P_0(\omega_0, k, h = 0) = \int dt_n A^{-1} e^{i\omega_0 t_n} \int dy e^{-iky} P_n(t_n, y, h)$$

این انتگرال به شیب دورافت صفر  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$  وابسته است که ممکن است به نظر برسد در عمل کاربردی ندارد. اما با استفاده از معادله ۱۲ و با جایگزینی  $\frac{k}{\omega_0}$  به جای شیب ناشناخته  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$  در این معادله تغییرات زیر صورت می‌گیرد.

$$A = A(t_n, \omega_0, k, h) \equiv \left( 1 + \frac{k^2 h^2}{\omega_0^2 t_n^2} \right)^{1/2} \quad (13ب)$$

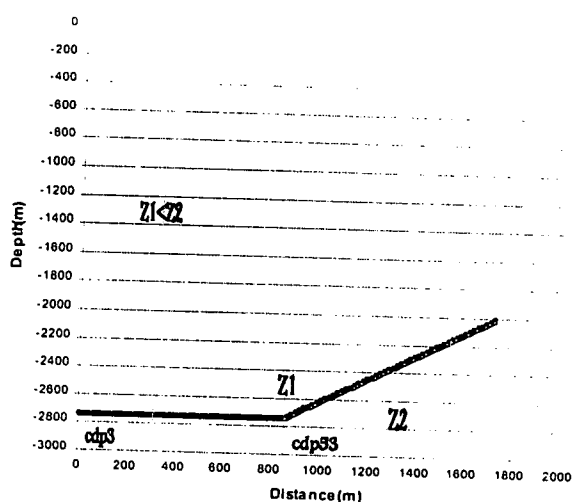
در اینجا همان‌طور که دیده می‌شود، مشکل ناشناخته بودن  $\frac{\Delta t_0}{\Delta y}$  حل شده است. در پایان با انجام معکوس تبدیل فوریه دوبعدی روی  $P_0(\omega_0, k, h = 0)$  مقطع دورافت صفر یعنی  $P_0(t_0, y, h = 0)$  به‌دست می‌آید.

(۱۳ج)

$$P_0(t_0, y, h = 0) = \frac{1}{4\pi^2} \int d\omega_0 e^{-i\omega_0 t_0} \int dk e^{iky} P_0(\omega_0, k, h = 0)$$

### ۲-۲ تغییرات تدریجی سرعت با عمق

گرچه تغییرات سرعت به‌طور معمول در تصحیح برونراند نرمال و کوچ داده‌های لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شود، ولی غالباً از تغییرات سرعت در مراحل پردازش برونراند شیب صرف‌نظر می‌شود. یکی از دلایل به‌کارگیری سرعت ثابت در تصحیح برونراند شیب این است که روش‌های دقیقی که تغییرات سرعت را در مراحل پردازش برونراند شیب وارد می‌کنند از نظر محاسباتی غیر موثرند یا در کاربرد با مشکل مواجه می‌شوند. علت دیگر این است که خطاهایی که در مراحل پردازش برونراند شیب با سرعت ثابت



شکل ۵. مدل اول لایه افقی متقاطع با لایه شیب‌دار.

ساخته شد، هندسه عملیات لرزه‌ای روی داده‌ها انجام شد. لازم به ذکر است در اینجا سطح زمین افقی فرض شده است. با توجه به این که داده‌ها مصنوعی‌اند از انجام بعضی مراحل پردازش که در داده‌های واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد صرف‌نظر شده است. داده‌های ساخته شده آماده انجام مرحله تحلیل سرعت‌اند. از آنجایی که بازتابنده‌ها در یک محیط همگن با سرعت ثابت قرار دارند. لذا هرگونه تغییری که در سرعت برانبارش این بازتابنده‌ها مشاهده شود ناشی از وجود شیب در این ساخت زیر سطحی است.

شکل ۶ انجام تحلیل سرعت روی مدل اول در موقعیت نقاط عمقی مشترک ۲ و ۵۲ را در حالتی که تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازش اعمال نشده نشان می‌دهد. انتظار می‌رود با توجه به عدم اعمال تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازش بازتابنده شیب‌دار، سرعت برانبارش را بیش از ۳۰۰۰ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. انتظار می‌رود با انجام تصحیح برونراند شیب روی داده‌ها، هردو بازتابنده سرعت برانبارش را ۳۰۰۰ متر بر ثانیه نشان دهند. این مسئله در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود سرعت برانبارش نشان داده شده در شکل با مقادیر مورد

است. قابل ذکر است که اگر سرعت ثابت باشد  $y(t) = S = 1$  می‌شود.

۲-۲-۲ به هم فشردن عملگر برونراند شیب با استفاده از تبدیل فوریه

با وارد کردن تغییرات زیر در انتگرال فوریه، برونراند شیب با سرعت ثابت عملگر برونراند شیب به هم فشرده شده با استفاده از تبدیل فوریه به دست می‌آید. برای تبدیل زمان برونراند نرمال به زمان دورافت صفراز رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$t_0 = t_n \left( 1 + \frac{k^2 h^2}{\omega_0^2 t_n^2} \right)^{1/2}$$

که در آن،  $k$  عدد موج و  $\omega_0$  بسامد (فرکانس) در دورافت صفر است (نسبت  $\frac{k}{\omega_0}$  معادل شیب بازتابنده در مقطع دورافت صفر است). برای وارد کردن تغییرات سرعت با عمق رابطه ۱۵ به صورت زیر در می‌آید.

$$t_0 = t_n (1-S) + t_n S \left[ 1 + \frac{\gamma(t_n) k^2 h^2}{S \omega_0^2 t_n^2} \right]^{1/2} \quad (17)$$

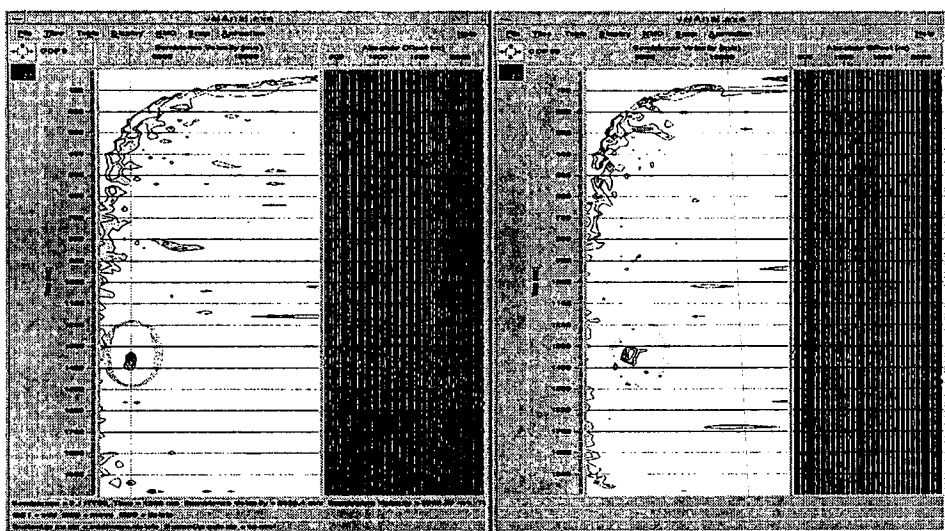
با کاربرد برونراند شیب بهم فشرده، شکل برونراند شیب در زمان کشیده می‌شود. ضرب به هم فشارش  $S$  برای یک مقطع لرزه‌ای با مقادیر متفاوتی به کار برده می‌شود تا بهترین حالت آن به دست آید.

### ۳ مدل‌های مصنوعی

داده‌های مصنوعی لرزه‌ای که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرند با استفاده از نرم‌افزار پروماکس ساخته شده‌اند.

#### ۱-۳ مدل اول؛ لایه افقی متقاطع با لایه شیب‌دار

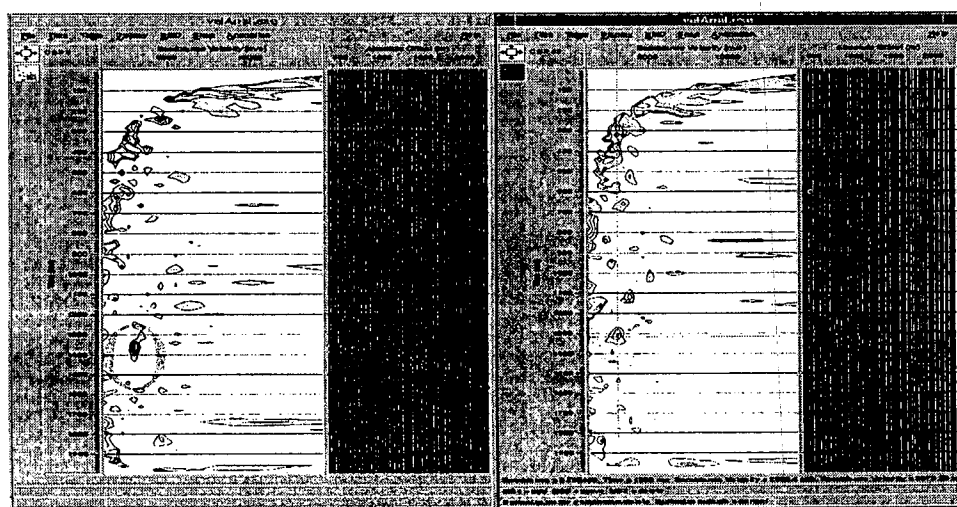
این مدل در شکل ۵ نشان داده شده است. این ساخت زیر سطحی در محیطی همگن با سرعت لرزه‌ای ۳۰۰۰ متر بر ثانیه قرار دارد. پس از این که لرزه‌نگاشت‌های مختلف با نقطه میانی مشترک



الف

ب

شکل ۶. تحلیل سرعت مدل اول. تصحیح پروتراند شیب در مراحل پردازشی اعمال نشده است. الف- نقطه عمقی مشترک دوم. ب- نقطه عمقی مشترک پنجاه و دوم. بازتابنده افقی سرعت برانبارش ۳۰۰۰ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد ولی بازتابنده شیب‌دار سرعت برانبارش حدود ۴۰۰۰ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد.



الف

ب

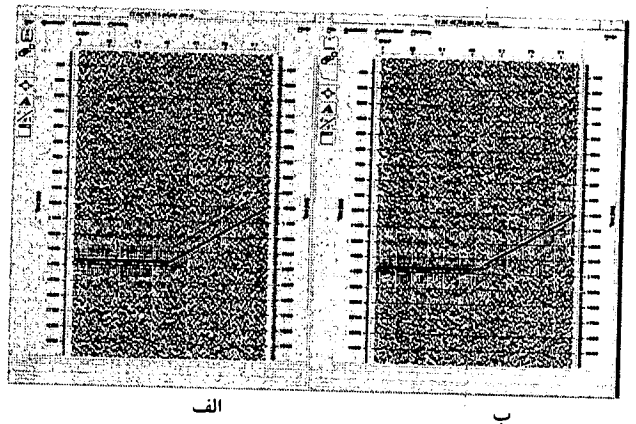
شکل ۷. تحلیل سرعت مدل اول. تصحیح پروتراند شیب در مراحل پردازشی اعمال شده است. الف- نقطه عمقی مشترک دوم. ب- نقطه عمقی مشترک پنجاه و دوم. هر دو بازتابنده سرعت برانبارش ۳۰۰۰ متر بر ثانیه را نشان می‌دهند.

خوبی را از خود نشان نمی‌دهد. شکل ۸ ب مقطع برانبارش مدل اول را در حالتی که تصحیح پروتراند شیب در مراحل پردازشی اعمال شده است نشان می‌دهد. سرعت پروتراند نرمال ۳۰۰۰ متر بر ثانیه اعمال شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، هر دو

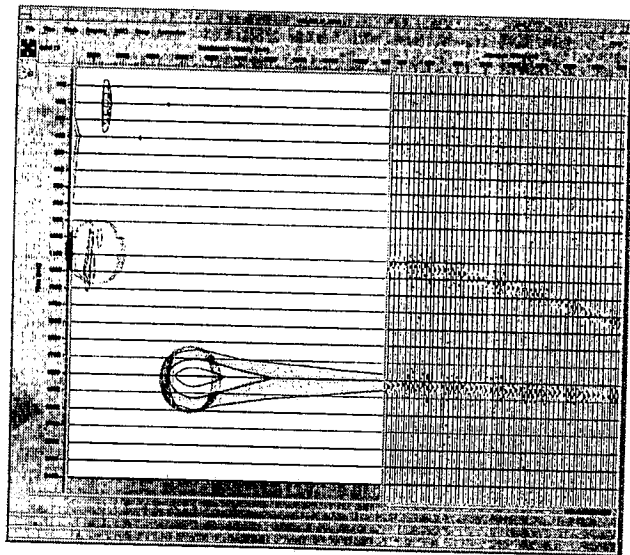
انتظار تطابق دارد. شکل ۸ الف مقطع برانبارش مدل سوم را در حالتی که تصحیح پروتراند شیب در مراحل پردازشی اعمال نشده است نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، بازتابنده افقی به‌خوبی برانبارش شده است ولی بازتابنده شیب‌دار برانبارش

دوم پرداخته می‌شود. این مدل در شکل ۹ نشان داده شده است. این ساخت زیرسطحی در محیطی متشکل از سه لایه با سرعت‌های لرزه‌ای متفاوت قرار دارد. لایه اول دارای شیب ۲۰ درجه و سرعت ۲۰۰۰ متر بر ثانیه است. سرعت لایه دوم به شکلی فرض شده که همواره میانگین کم‌ترین مربعات سرعت ( $V_{rms}$ ) آن لایه برابر ۴۰۰۰ متر بر ثانیه باشد و این لایه دارای شیب ۴۰ درجه است.

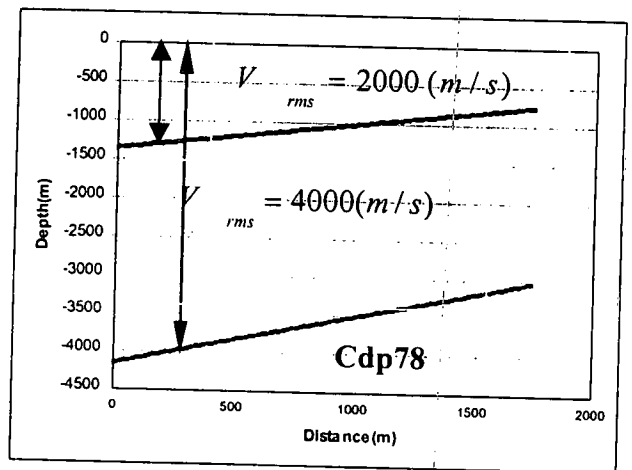
بازتابنده به خوبی برانبارش شده‌اند و در نتیجه تصویر مطلوبی را نشان می‌دهند.



شکل ۸. مقطع برانبارش مدل اول. تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۳۰۰۰ متر بر ثانیه اعمال شده است. الف- تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال نشده است. بازتابنده افقی به خوبی برانبارش شده ولی بازتابنده شیب‌دار به خوبی برانبارش نشده است. ب- تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال شده است. بازتابنده افقی و بازتابنده شیب‌دار به خوبی برانبارش شده‌اند.



شکل ۹. مدل پنجم لایه‌های شیب‌دار با سرعت‌های متفاوت. تحلیل سرعت مدل دوم در نقطه عمقی مشترک ۷۸. تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال نشده است. بازتابنده‌های شیب‌دار سرعت برانبارش بیشتر از ۲۰۰۰ متر بر ثانیه برای بازتابنده بالایی و بیشتر ۴۰۰۰ متر بر ثانیه برای بازتابنده پایینی را نشان می‌دهند.

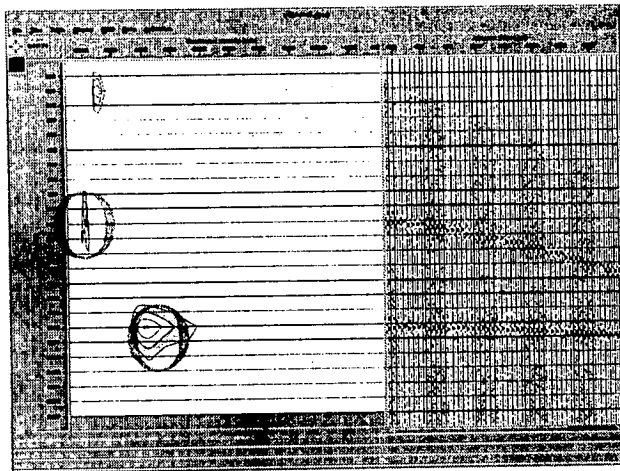


شکل ۱۰. انجام تحلیل سرعت روی مدل دوم را، در حالتی که تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال نشده است در موقعیت نقطه عمقی مشترک ۷۸ نشان می‌دهد. انتظار می‌رود با توجه به این که تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال نشده است، بازتابنده‌های شیب‌دار سرعت برانبارش بیشتر از ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ متر بر ثانیه را به ترتیب برای بازتابنده اول و دوم نشان دهند. با انجام تصحیح برونراند شیب روی داده‌ها، انتظار می‌رود که بازتابنده اول، سرعت برانبارش ۲۰۰۰ متر بر ثانیه و بازتابنده دوم سرعت ۴۰۰۰ متر بر ثانیه را نشان دهد. این مسئله در شکل ۱۱

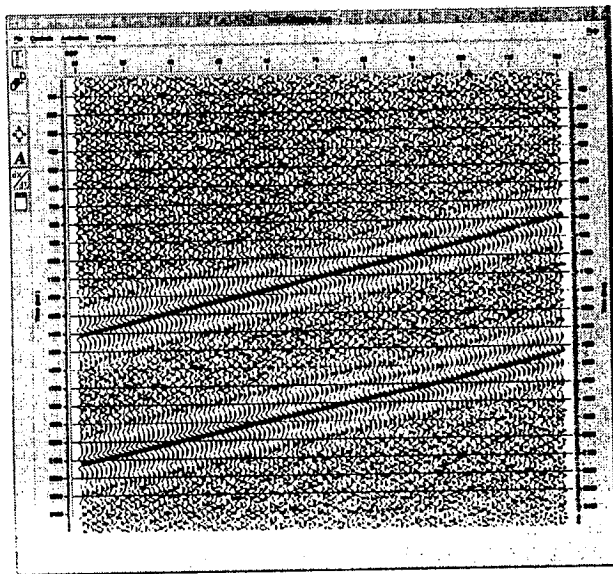
شکل ۱۰. مدل پنجم لایه‌های شیب‌دار با سرعت‌های متفاوت.

۲-۳ مدل دوم، لایه‌های شیب‌دار با سرعت‌های متفاوت پس از بررسی چگونگی عملکرد تصحیح برونراند شیب روی مدل‌های اول، در اینجا به بررسی چگونگی عملکرد آن روی مدل





شکل ۱۱. تحلیل سرعت مدل دوم. تصحیح برونراند شیب با استفاده از نرم‌افزار پروماکس اعمال شده است. بازتابنده‌های شیب‌دار سرعت برانبارش ۲۰۰۰ متر بر ثانیه برای بازتابنده بالایی و ۴۰۰۰ متر بر ثانیه برای بازتابنده پایینی را نشان می‌دهند.



شکل ۱۲. مقطع برانبارش مدل دوم. تصحیح برونراند نرمال با سرعت ۲۰۰۰ متر بر ثانیه برای بازتابنده بالایی و با سرعت ۴۰۰۰ متر بر ثانیه برای بازتابنده پایینی اعمال شده است. تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال شده است. هر دو بازتابنده به خوبی برانبارش شده‌اند.

یک رشته نوفه خطی مشاهده شده در شکل ۱۴-الف در شکل ۱۴-ب به مقدار زیادی تضعیف شده است. از طرفی در مقطع این خط لرزه‌نگاری بازتابنده‌های با شیب متفاوت در اکثر نقاط مقطع

نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود سرعت‌های بازتابنده اول و دوم با مقادیر مورد انتظار تطابق دارد. شکل ۱۲ مقطع برانبارش مدل دوم را در حالتی که تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازش اعمال شده است نشان می‌دهد.

#### ۴ داده‌های واقعی

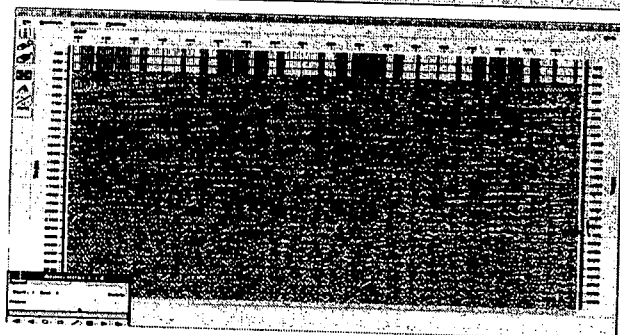
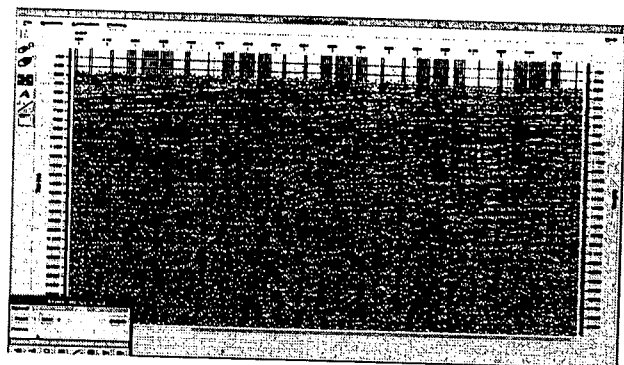
داده‌های لرزه‌ای واقعی که مورد بررسی قرار گرفت از دو خط لرزه‌نگاری تشکیل شده که در اینجا عملکرد تصحیح برونراند شیب روی آنها نشان داده می‌شود.

#### ۴-۱ خط لرزه‌نگاری اول

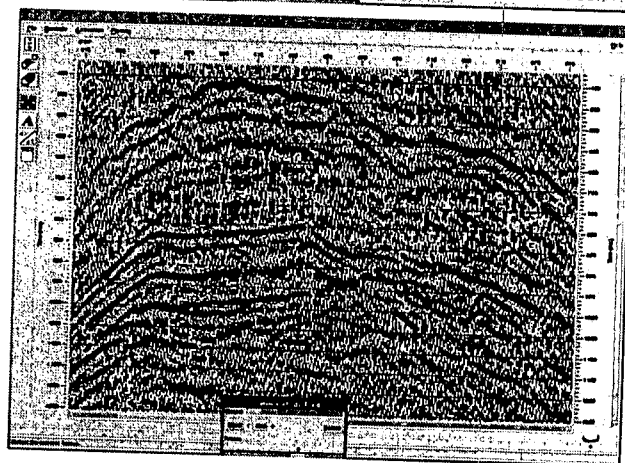
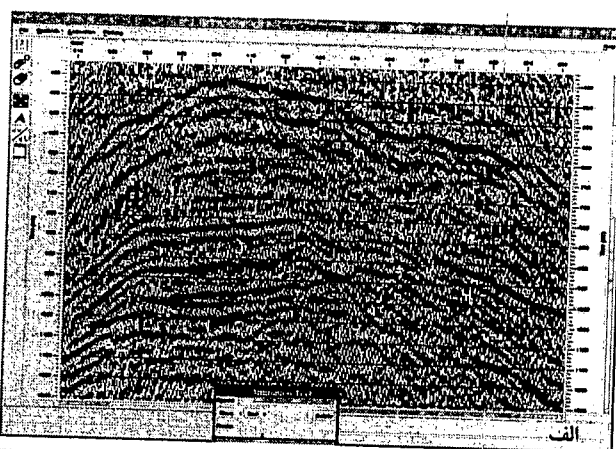
شکل ۱۳-الف قسمتی از مقطع برانبارش شده خط لرزه‌نگاری اول را در حالتی که تصحیح برونراند شیب، جزء مراحل پردازش نبوده است نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در موقعیت نقاط عمقی مشترک ۳۷۵ الی ۵۵۵ و زمان‌های ۷۵۰ الی ۱۰۵۰، یک رشته بازتابنده با شیب کم وجود دارد که با بازتابنده‌های با شیب بیشتر تقاطع پیدا می‌کنند و انتظار می‌رود در محل تقاطع آنها، مراحل متداول پردازش در برانبارش درست هر دو بازتابنده ناتوان عمل کند. همان‌طور که دیده می‌شود، پیوستگی بازتابنده‌ها در این موقعیت از کیفیت مطلوبی برخوردار نیست. شکل ۱۳-ب مقطع برانبارش شده این خط لرزه‌نگاری را در حالتی که تصحیح برونراند شیب جزء مراحل پردازش بوده است، نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، در موقعیت‌های ذکر شده، بازتابنده‌ها با سرعت برانبارش مناسب خود برانبارش شده‌اند و در نتیجه پیوستگی آنها بهبود یافته است.

#### ۴-۲ خط لرزه‌نگاری دوم

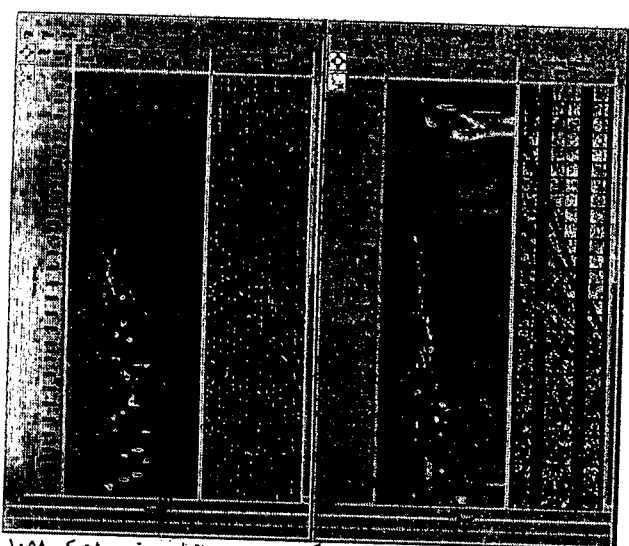
قسمتی از مقطع برانبارش خط لرزه‌نگاری دوم را در حالتی که تصحیح برونراند شیب روی داده‌ها اعمال نشده (شکل ۱۴-الف) و در حالتی که تصحیح برونراند شیب روی داده‌ها اعمال شده (شکل ۱۴-ب)، نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود،



دیده می‌شوند که یکدیگر را نیز قطع می‌کنند. این مسئله تحلیلگر را برای انتخاب سرعت مناسب دچار مشکل می‌کند. حال با اعمال تصحیح برونراند شیب، انتظار می‌رود که برجستگی‌های تحلیل سرعت، سرعت یکنواخت‌تری را نشان دهد. این مسئله در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، شکل ۱۵-الف یکنواختی بهتری از شکل ۱۵-ب برای برجستگی‌های سرعت را نشان می‌دهد و این مسئله به سبب کاربرد تصحیح برونراند شیب در طی مراحل پردازش شکل ۱۵-الف است. همانطوری که در مباحث نظری ذکر گردید هنگامی که تصحیح

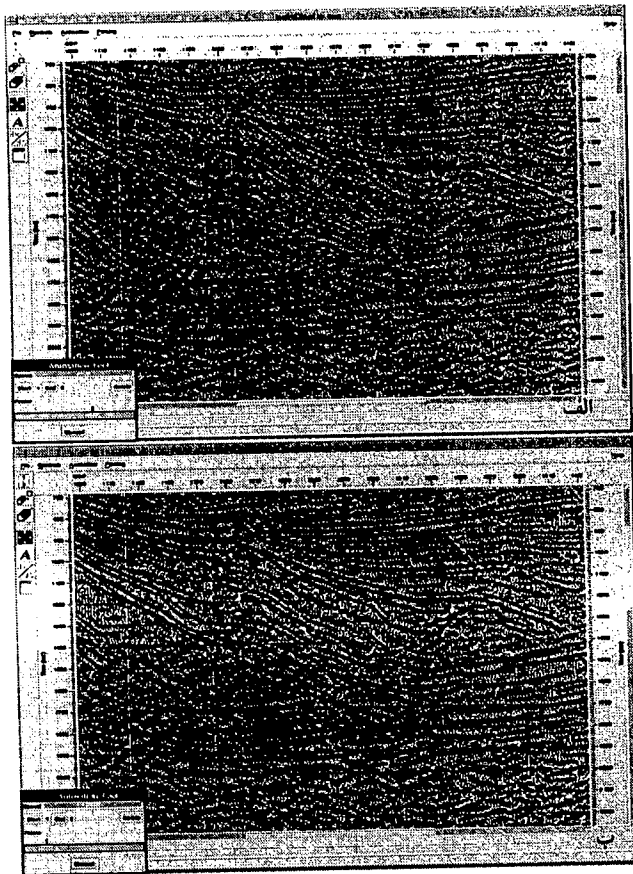


شکل ۱۴. قسمتی از مقطع برآیند خط لرزه‌نگاری دوم. الف- تصحیح برونراند شیب اعمال نشده است. ب- تصحیح برونراند شیب اعمال شده است. در این شکل نوفه‌های خطی مشاهده شده در شکل الف تضعیف شده‌اند که این امر باعث پیوستگی بهتر بازتابنده‌ها در شکل ب شده است.



شکل ۱۵. تحلیل سرعت خط لرزه‌نگاری دوم در نقطه عمقی مشترک ۱۰۵۸. الف- تصحیح برونراند شیب اعمال نشده است. ب- تصحیح برونراند شیب اعمال شده است. در شکل ب یکنواختی بهتری از برجستگی‌های سرعت دیده می‌شود که نشان از عملکرد صحیح عملگر پردازشی برونراند شیب روی داده‌ها دارد.

شکل ۱۳. قسمتی از مقطع خط لرزه‌نگاری اول. الف- تصحیح برونراند شیب جزء مراحل پردازشی نبوده است. ب- تصحیح برونراند شیب جزء مراحل پردازشی بزرده است. در موقعیت نقاط عمقی مشترک ۳۷۵ الی ۵۵۵ و زمان‌های ۷۵۰ الی ۱۰۵۰ یک رشته بازتابنده با شیب متفاوت وجود دارد که در شکل ب نسبت به شکل الف پیوستگی بهتری دارند.



شکل ۱۶. قسمتی از مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده خط لرزه‌نگاری دوم. الف تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال نشده است. ب- تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازشی اعمال شده است. پیوستگی بازتابنده‌ها در شکل ۱۶-ب نسبت به شکل ۱۶-الف بهبود یافته است.

#### تشکر و قدردانی

از آقای محمدباقر فرشیدنسب ریاست محترم مرکز بازخوانی شرکت خدمات اکتشاف نفت به خاطر فراهم آوردن امکانات مورد استفاده در این مطالعه، از آقای مهندس مجتبی محمدوخراسانی ریاست محترم اداره کل ژئوفیزیک مدیریت اکتشاف نفت شرکت ملی نفت ایران به لحاظ در اختیار قرار دادن داده‌های لرزه‌نگاری، از آقای مهندس حسن معصوم‌زاده به لحاظ همکاری در به کارگیری نرم‌افزار پروماکس و از آقای مهندس محمد رفیق به لحاظ همکاری در تدوین نرم‌افزار تبدیل فرمت‌های مورد نیاز در این مطالعه تشکر و قدردانی می‌شود. از شورای

برونراند شیب در مراحل پردازش اعمال شود انتظار داریم در مراحل پردازش نهایی از جمله کوچ داده‌های لرزه‌ای، کیفیت بهتری از مقطع لرزه‌ای بوجود آید. این مسئله در شکل ۱۶-ب نشان داده شده است. شکل ۱۶-ب قسمتی از مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده خط لرزه‌نگاری دوم را در حالت عدم اعمال تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازش (شکل ۱۶-الف) و حالت اعمال تصحیح برونراند شیب در مراحل پردازش (شکل ۱۶-ب) نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، پیوستگی بازتابنده‌ها در شکل ۱۶-ب بهتر شده است.

#### ۵ نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده، نتیجه‌گیری می‌شود که تصحیح برونراند شیب با استفاده از تبدیل فوری یک عملگر پردازش توانا در بهبود پردازش داده‌های لرزه‌ای است. از جمله ویژگی‌های عملگر پردازش تصحیح برونراند شیب با استفاده از تبدیل فوری می‌توان موارد زیر را ذکر کرد.

- ۱- در نواحی که بازتابنده‌های با شیب مختلف همدیگر را قطع می‌کنند قادر است تمام بازتابنده‌ها را با سرعت مناسب خود برانبارش نموده و تصویر مطلوبی از بازتابنده‌ها در محل تقاطع‌شان به وجود آورد.
- ۲- تحلیل سرعت داده‌های لرزه‌ای بهبود می‌یابد و استفاده از سرعت به دست آمده در مهاجرت و برانبارش داده‌های لرزه‌ای مناسب‌تر خواهد بود.
- ۳- پیوستگی بازتابنده‌ها بهبود خواهد یافت.
- ۴- باعث می‌شود تا در محل تقاطع خطوط لرزه‌نگاری، تطابق بهتری میان خطوط لرزه‌نگاری به وجود آید.
- ۵- نوفه‌های همدوس موجود در مقاطع لرزه‌ای به مقدار زیادی تضعیف می‌شوند.
- ۶- نسبت علامت به نوفه افزایش خواهد یافت.

- Hale, D., 1984, Dip moveout by Fourier transform: *Geophysics*, **49**, 741-757.
- Hale, D., 1988, Dip-moveout processing, in Domenico, S. N., Ed., *Course notes series, 4: Soc. Expl. Geophys.*
- Hale, D., and Artley, C., 1993, Squeezing dip moveout for depth-variable velocity: *Geophysics*, **58**, 257-264.
- Judson, D. R., Schultz, P. S., and Sherwood, J. W. C., 1978, Equalizing the stacking velocities of dipping events via DEVILISH: Presented at the 48th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys. (brochure published by Digicon Geophysical Corp.).
- Levin, F. K., 1971, Apparent velocity from dipping interfaces: *Geophysics*, **36**, 510-516.
- Liner, C. L., 1999, Concepts of normal and dip moveout: *Geophysics*, **64**, 1637-1647.
- Lynn, W., Gonzalez, A., and MacKay, S., 1991, Where are the fault-plane reflections: 61st Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1151-1154.
- Meinardus, H. A., and Schleicher, K., 1991, 3-D time-variant dip-moveout by the f-k method: 61st Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1208-1210.
- Ronen, S., and Liner, C. L., 2000, Least squares DMO and Migration: *Geophysics*, **65**, 1364-1371.
- Witte, D., 1991, Dip moveout in vertically varying media: 61st Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1181-1183.
- Yilmaz, O., and Claerbout, J. F., 1980, Prestack partial migration: *Geophysics*, **45**, 1753-1779.
- پژوهشی دانشگاه تهران و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران  
بدلحاظ کمک مالی در قالب طرح تحقیقاتی تصحیح برونراند  
شیب در بهبود کیفیت تحلیل سرعت داده‌های لرزه‌ای دو بعدی به  
شماره ۶۵۲/۲/۷۵۶ سپاسگزاری می‌شود.
- منابع  
گل‌زاده، غ.، ۱۳۸۱، تصحیح برونراند شیب داده‌های لرزه‌ای  
دو بعدی با استفاده از تبدیل فوریه: پایان‌نامه کارشناسی ارشد،  
موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- Artley, C. T., 1991, Dip-moveout processing for depth-variable velocity: 61st Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1204-1207.
- Bolondi, G., Loinger, E., and Rocca, F., 1982, Offset continuation of seismic sections: *Geophys. Prosp.*, **30**, 813-828.
- Canning, A., and Gardner, G. H. F., 2001, Reducing 3-D acquisition footprint for 3-D DMO and 3-D prestack migration, 3-D Seismic Exploration, Soc. of Expl. Geophys., 449-455.
- Deregowski, S. M., and Rocca, F., 1981, Geometrical optic and wave theory of constant-offset section in layered media: *Geoph. Prosp.*, **29**, 374-406.
- Dix, C. H., 1955, Seismic velocities from surface measurements: *Geophysics*, **20**, 68-86.
- Ferber, R., 2000, What is DMO coverage?: *Geophys. Prosp.*, **48**, 995-1008.
- Hale, D., 1983, Dip moveout by Fourier transform: Ph.D. thesis, Stanford University.