

# تحلیل سرعت برانبارش با استفاده از نشانگرهای روش مبتنی بر مدل سطح پراش مشترک

هاشم شاهسونی

گروه معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۹۷/۵/۲۰

## چکیده

تحلیل سرعت برانبارش یکی از مراحل مهم در فرآیند پردازش داده‌های لرزه‌نگاری انعکاسی است. سرعت برانبارش را می‌توان با استفاده از دو نشانگر روش سطح بازتاب مشترک یعنی شعاع موج عمود در نقطه برخورد و زاویه خروج موج محاسبه کرد. اما نشانگر شعاع موج عمود در نقطه برخورد به‌دست آمده از این روش متأثر از نشانگر شعاع موج عمود است. روش سطح پراش مشترک توسعه داده شده روش سطح بازتاب مشترک است. نشانگرهای این روش را می‌توان به‌صورت مبتنی بر مدل با استفاده از تکنیک دنبال کردن پرتو بر روی یک مدل صاف شده نه‌چندان دقیق هم به‌دست آورد. در این روش نشانگر موج عمود در نقطه برخورد دیگر متأثر از نشانگر موج عمود نیست. در نتیجه سرعت برانبارش به‌دست آمده دقیق‌تر و قابل اعتمادتر است. در این مطالعه پیشنهاد شده‌است روش سطح پراش مشترک مبتنی بر مدل بر روی یک مدل سرعت ثابت پیاده‌سازی شود. سپس مقدار سرعت در مدل سرعت ثابت اندکی افزایش داده شود و روش سطح پراش مشترک بر روی مدل سرعت ثابت جدید پیاده‌سازی گردد و این فرآیند بر روی مدل‌های سرعت ثابت تکرار شود. با انتخاب سرعت‌های برانبارشی که در مقطع همدوسی دارای بیشترین مقدار هستند، مقطع سرعت برانبارش نهایی به‌دست آورده می‌شود. روش پیشنهادی بر روی یک مدل مصنوعی شش لایه‌ای پیاده‌سازی شده است و نتایج آن با سرعت برانبارش به‌دست آمده با استفاده از نشانگرهای روش سطح بازتاب مشترک مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد دقت روش پیشنهادی در تعیین سرعت برانبارش به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است.

**کلمات کلیدی:** سطح بازتاب مشترک، سطح پراش مشترک، آنالیز سرعت، سرعت برانبارش، پردازش داده‌های لرزه‌نگاری انعکاسی

## مقدمه

[۱]. در آرایش نقطه میانی مشترک می‌توان با استفاده از داده‌های موجود در دسته داده‌های دارای همپوشانی چندگانه<sup>۲</sup> مقطع دور افت صفر با نسبت سیگنال به نوفه بالاتری را شبیه‌سازی نمود.

با معرفی آرایش نقطه میانی مشترک<sup>۱</sup>، برداشت و پردازش داده‌های لرزه‌ای وارد مرحله جدید شد

1. Common-Mid-Point (CMP)  
2. Multi-Coverage Data Set

محاسبه پنجره بهینه در فرآیند کوچ کیرش‌هف [۱۲] و محاسبه مدل سرعت لایه‌های زیر سطحی به‌روش معکوس‌سازی توموگرافی موج عمود در نقطه برخورد [۱۳] اشاره کرد. همچنین می‌توان از نشانگرهای تولید شده این روش برای به‌دست آوردن سرعت برانبارش نیز استفاده نمود [۱۴]. بر گالر و همکارانش با استفاده از نشانگر جنبشی موج عمود در نقطه برخورد که از روش سطح بازتاب مشترک به‌دست آورده شده بود، سرعت برانبارش را محاسبه نمودند. اما این نشانگر در روش سطح بازتاب مشترک به شیوه مبتنی بر داده محاسبه می‌شود و متأثر از نشانگر موج عمود است. در این مطالعه پیشنهاد شده است به‌جای روش سطح بازتاب مشترک از نشانگر موج عمود در نقطه برخورد روش سطح پراش مشترک مبتنی بر مدل [۱۵] به منظور حاصل آوردن سرعت برانبارش استفاده شود. زیرا در این روش نشانگر موج عمود در نقطه برخورد، دیگر متأثر از نشانگر موج عمود نیست. از این طریق می‌توان سرعت برانبارش دقیق‌تر و قابل اعتمادتری را به‌دست آورد.

### تئوری

روش سطح بازتاب مشترک براساس تقریب تحلیلی از زمان گذر موج تا مرتبه دوم بنا شده است [۶] و [۷]. دو جبهه موج فرضی معرفی شدند [۱۶]. یکی از این جبهه‌های موج، در ارتباط با یک نقطه منفجر شونده است که روی بازتابنده در حوزه عمق قرار دارد، شکل ۱- الف را ببینید. جبهه موج ایجاد شده حاصل از این نقطه منفجر شوند هنگامی که به سطح زمین می‌رسد دارای شعاع انحنای  $R_{NIP}$  می‌باشد. این موج را موج عمود در نقطه برخورد<sup>۴</sup> می‌نامند. جبهه موج فرضی دیگر در ارتباط با سطح انفجار و منطبق بر بازتابنده عمقی است، شکل ۱- ب را ببینید.

به‌دست آوردن چنین مقطعی بدون در اختیار داشتن سرعت برانبارش دقیق و قابل اعتماد امکان‌پذیر نیست. از این منظر فرآیند تحلیل سرعت و به‌دست آوردن طیف سرعت از اهمیت به‌سزایی در پردازش داده‌های لرزه‌نگاری انعکاسی برخوردار است [۲]. به منظور تعیین سرعت برانبارش، بیشترین میزان همدوسی رویداد لرزه‌ای با عملگرهای هذلولی شکل به‌ازای هر بازه‌ای از سرعت‌ها محاسبه می‌شود. پر واضح است که سرعت مطلوب، سرعتی است که به‌ازای آن عملگر هذلولی مربوطه دارای بیشترین همدوسی با رویداد لرزه‌ای باشد [۳]. از آن جایی که تحلیل سرعت بر روی یک گروه از بازتاب‌های دارای نقطه میانی مشترک پیاده‌سازی می‌شود، عملگر این روش نمی‌تواند به شکل مناسبی پاسخ لرزه‌ای بازتابنده زیر سطح را تخمین بزند و از تمام اطلاعات اضافی موجود در دسته داده‌های دارای هم‌پوشانی استفاده کند. از این رو روشی به‌نام روش برانبارش سطح بازتاب مشترک به منظور استفاده از تمام اطلاعات اضافی موجود در دسته داده‌های دارای هم‌پوشانی معرفی شد [۴-۷]. این روش، از روش‌های مستقل از مدل سرعت یا مبتنی بر داده<sup>۱</sup> است [۸]. روش سطح بازتاب مشترک در حوزه عمق به‌جای در نظر گرفتن یک نقطه بازتابنده مشترک<sup>۲</sup> بخشی از یک دایره را به‌عنوان بازتابنده در نظر می‌گیرد. پاسخ لرزه‌ای حاصل از این بخش از دایره در حوزه زمان به جای یک گروه نقطه میانی مشترک، گروه‌های نقطه میانی مشترک مجاور را نیز شامل می‌شود [۹]. به این ترتیب مقطع برانبارش شده دور افت صفر با نسبت سیگنال به نوفه بالاتری را شبیه‌سازی می‌کند. متغیرهایی که شکل عملگر برانبارش را در این روش تعیین می‌کنند نشانگرهای جنبشی میدان موج<sup>۳</sup> نامید می‌شوند [۱۰]. استفاده اصلی این نشانگرها به منظور تعیین شکل عملگر برانبارش است. هر چند در سال‌های بعد استفاده‌های گسترده‌تری از این نشانگرها معرفی شدند. از آن جمله می‌توان به محاسبه ناحیه فرسند [۱۱]،

1. Model-Based

2. Common Reflection Point (CRP)

3. Kinematic Wave Field Attributes

4. Normal Incidence Point (NIP)



شکل ۱ شماتیکی از دو جبهه موج فرضی الف) موج عمود در نقطه برخورد که در ارتباط با یک نقطه منفجر شونده زیر سطحی بر روی بازتابند است و ب) موج عمود که در ارتباط یک سطح منفجر شونده منطبق بر بازتابند است [۷].

به دست آورده می شود. به این ترتیب عملگر مناسب برای برانبارش عملگری است که دارای بیشترین همدوسی با رویدادهای لرزه‌ای است. یک نمونه از چنین تحلیلی برای یک نمونه از مقطع دور افت صفر در شکل ۳ نشان داده شده است. از آن جایی که مقدار  $R_{NIP}$  به شیوه‌ای مبتنی بر داده به شرح فوق به دست آورده می شود مقدار آن متاثر از مقدار  $R_N$  است. در صورتی که بازتابنده زیر سطحی به جای یک سطح یک نقطه باشد، در این صورت به جای یک مقدار  $R_N = R_{NIP} = R_{CDS}$  خواهد بود. در این حالت رابطه ۱ به صورت زیر تبدیل خواهد شد [۱۷]:

$$t^2(x_m, h) = \left[ t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right]^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left[ \frac{(x_m - x_0)}{R_N} - \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (1)$$

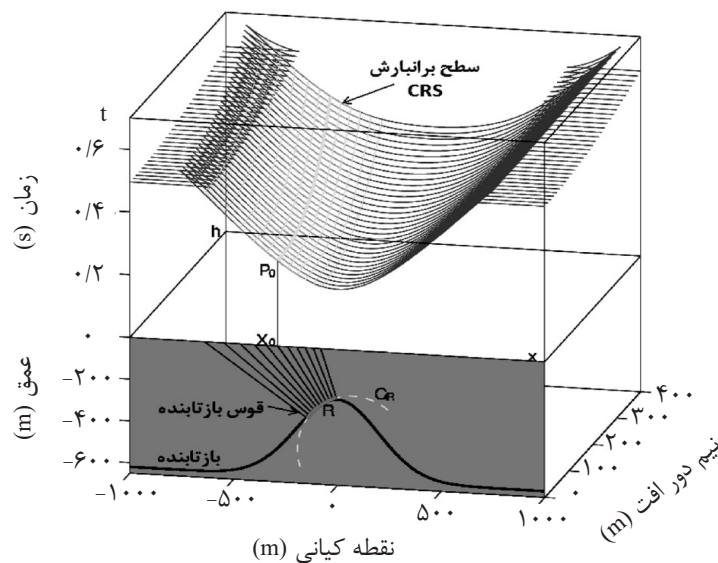
در این رابطه  $h$  دور و افت،  $X_m$  نقطه میانی بین چشمه موج و گیرنده است. تنها پارامتر مورد نیاز سرعت موج در سطح زمین، یعنی  $v_0$ ، است که معمولاً برابر ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ در نظر گرفته می شود. همان طور که در شکل ۲ دیده می شود در حوزه عمق بازتابنده در نظر گرفته شده در این روش بخشی از قطاع یک دایره است که بر بازتابنده زیر سطحی منطبق است. پاسخ لرزه‌ای حاصل از این قطاع در حوزه زمان انطباق بسیار خوبی بر پاسخ واقعی بازتابنده گنبدی شکل دارد. برای هر نمونه از مقطع دور افت صفر یعنی  $(t_0, x_0)$  پارامترهای زاویه خروج امواج  $\alpha$ ، شعاع موج عمود  $R_N$  و شعاع موج عمود در نقطه برخورد  $R_{NIP}$  از طریق تحلیل همدوسی محاسبه می شوند [۳]. برای این منظور برای هر یک از سه نشانگر، بازه‌ای در نظر گرفته می شود. سپس به ازای تمامی مقادیر در نظر گرفته شده مقدار همدوسی در امتداد عملگر مشخص شده کرد [۱۴]:

$$V_{stack} = \sqrt{\frac{2v_0 R_{NIP}}{t_0 \cos^2 \alpha}} \quad (3)$$

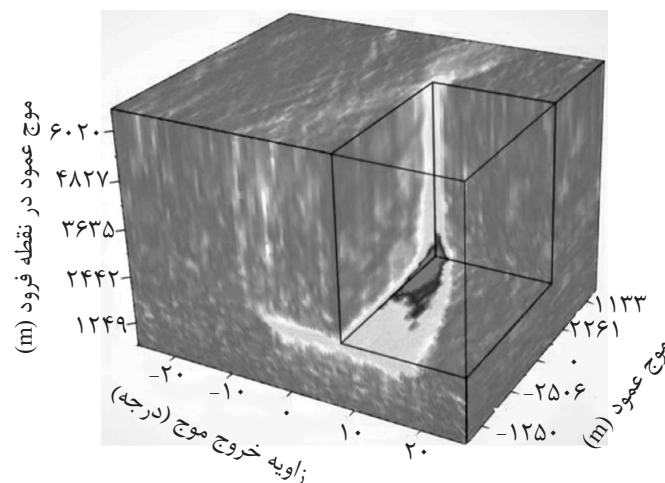
جبهه موج ایجاد شده حاصل از این سطح منفجر شونده هنگامی که به سطح زمین می رسد دارای شعاع انحنای  $R_N$  است. به این موج، موج عمود<sup>۱</sup> می گویند. هر دو جبهه موج فرضی با زاویه خروج یکسان  $\alpha$  از سطح زمین خارج می شوند. براساس این سه متغیر که نشانگرهای جنبشی میدان موج نامیده می شوند، عملگر برانبارش سطح بازتاب مشترک در دو بعد را می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$t^2(x_m, h) = \left[ t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right]^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left[ \frac{(x_m - x_0)}{R_N} - \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (1)$$

در این رابطه  $h$  دور و افت،  $X_m$  نقطه میانی بین چشمه موج و گیرنده است. تنها پارامتر مورد نیاز سرعت موج در سطح زمین، یعنی  $v_0$ ، است که معمولاً برابر ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ در نظر گرفته می شود. همان طور که در شکل ۲ دیده می شود در حوزه عمق بازتابنده در نظر گرفته شده در این روش بخشی از قطاع یک دایره است که بر بازتابنده زیر سطحی منطبق است. پاسخ لرزه‌ای حاصل از این قطاع در حوزه زمان انطباق بسیار خوبی بر پاسخ واقعی بازتابنده گنبدی شکل دارد. برای هر نمونه از مقطع دور افت صفر یعنی  $(t_0, x_0)$  پارامترهای زاویه خروج امواج  $\alpha$ ، شعاع موج عمود  $R_N$  و شعاع موج عمود در نقطه برخورد  $R_{NIP}$  از طریق تحلیل همدوسی محاسبه می شوند [۳]. برای این منظور برای هر یک از سه نشانگر، بازه‌ای در نظر گرفته می شود. سپس به ازای تمامی مقادیر در نظر گرفته شده مقدار همدوسی در امتداد عملگر مشخص شده



شکل ۲ در روش برانبارش سطح بازتاب مشترک نقطه عمقی بازتابنده به جای یک نقطه بخشی از یک دایره است و پاسخ حاصله در حوزه زمان انطباق خوبی با پاسخ واقعی بازتابنده گنبدی شکل زیر سطحی دارد [۴].



شکل ۳ به منظور تحلیل همدوسی برای یک نمونه از مقطع دور افت صفر مقدار همدوسی عملگر به‌زای نشانگرهای جنبشی میدان موج که هر کدام در یک بازه در نظر گرفته شده قرار دارند، تعیین می‌شوند [۹].

### پیاده‌سازی روش پیشنهادی

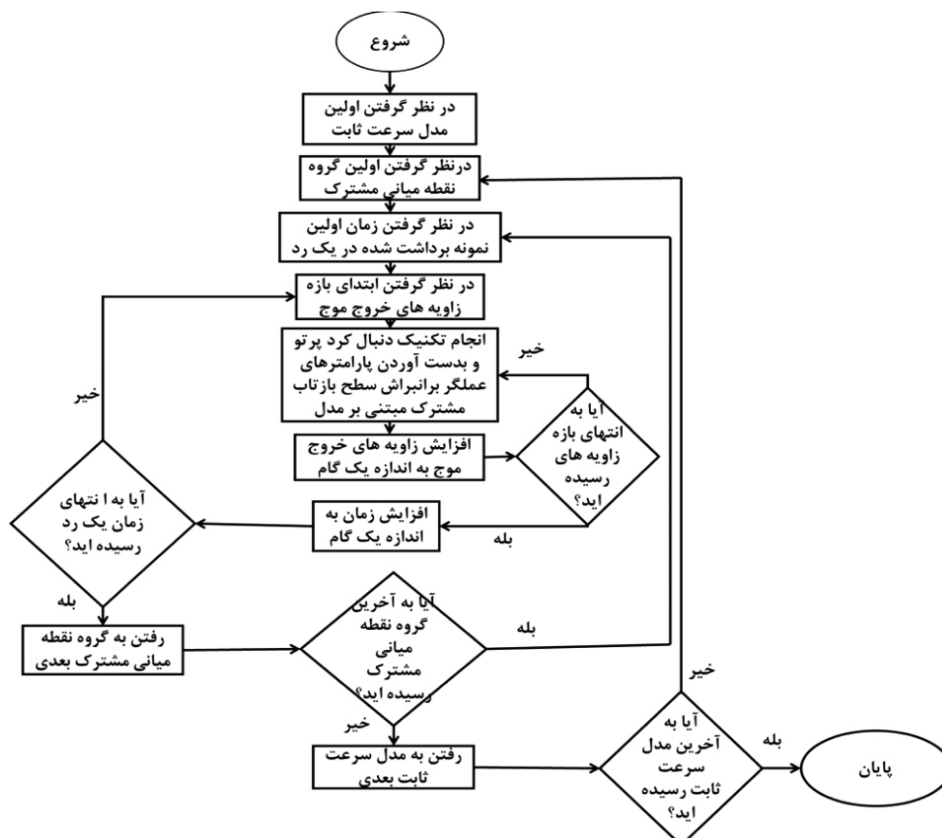
در روش سطح پراش مشترک دو نشانگر  $R_{CDS}$  و زاویه خروج موج نامعلوم‌اند. این دو پارامتر در روش مبتنی بر مدل براساس تکنیک دنبال کردن پرتو در یک مدل صاف شده تعیین می‌شوند. در روش پیشنهادی تعدادی مدل سرعت ثابت<sup>۱</sup> ایجاد می‌شود. سپس روش برانبارش سطح پراش مشترک بر روی تک تک این مدل‌ها پیاده‌سازی می‌شود.

با توجه به رابطه ۳ و با داشتن مقدار  $\alpha$  و  $R_{NIP}$  که از روش سطح بازتاب مشترک به‌دست آورده شده است می‌توان مقدار سرعت برانبارش را برای هر  $t_0$  تعیین نمود. همچنین در رابطه ۳ می‌توان به‌جای  $R_{NIP}$  از  $R_{CDS}$  به‌دست آمده از روش سطح پراش مشترک مقدار سرعت برانبارش را محاسبه کرد. در این حالت به این دلیل که  $R_{CDS}$  متاثر از مقدار  $R_N$  نیست، بنابراین سرعت به‌دست آمده دقیق‌تر و قابل اعتمادتر است.

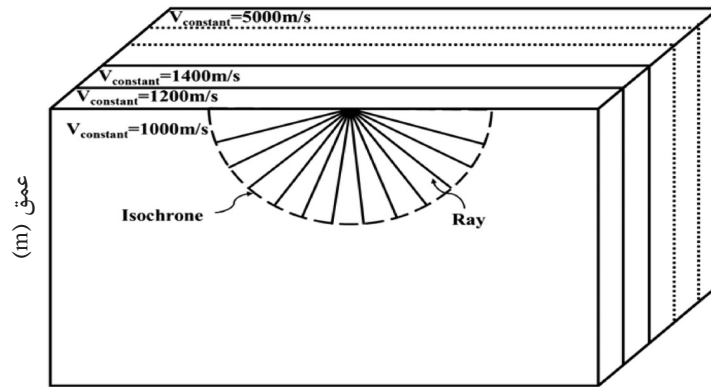
1. Constant Velocity Model

می‌شود. به این ترتیب همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است برای هر نمونه از مقطع دور افت صفر  $t_0$ ، سرعتی که بیشینه همدوسی در آن سرعت اتفاق افتاده است تعیین شده و سپس مقدار سرعت برانبارش با توجه به این سرعت از مقاطع برانباش سرعت انتخاب شده و به‌عنوان سرعت برانبارش در نقطه  $t_0$  در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال در شکل ۷ برای نقطه  $t_0$  بیشینه همدوسی در سرعت  $1400 \text{ m/s}$  اتفاق افتاده است. بنابراین سرعت برانبارش از مقطعی که مرتبط با سرعت  $1400 \text{ m/s}$  (با پیاده‌سازی روش سطح پراش مشترک بر روی مدل سرعت ثابت  $1400 \text{ m/s}$  به‌دست آمده است) است انتخاب شده و به‌عنوان سرعت برانباش در نقطه  $t_0$  اختصاص می‌یابد. این فرآیند برای تمامی نمونه‌های مقطع دور افت صفر تکرار می‌شود تا مقطع سرعت برانبارش نهایی محاسبه شود.

به این ترتیب به‌ازای هر مدل سرعت ثابت مقاطع همدوسی و سرعت برانبارش، که با توجه به رابطه ۳ محاسبه شده است، به‌دست آورده می‌شود. در شکل ۴ نمودار گردشی فرآیند پیشنهادی آورده شده است. با انجام تکنیک دنبال کردن پرتو برای یک نمونه از مقطع دور افت صفر  $t_0$ ، از آن جایی که مدل‌های سرعت دارای سرعت ثابتی هستند، مکان هندسی انتهای پرتوها یک دایره خواهد بود. پر واضح است که در یک مدل با سرعت ثابت خاص، شعاع این دایره با افزایش زمان افزایش می‌یابد و برای یک زمان معین با در نظر گرفتن مدل‌هایی با سرعت ثابت بیشتر شعاع دایره کاهش می‌یابد. در شکل ۵ بازه‌ای از سرعت‌های ثابت نشان داده شده است. با پیاده‌سازی روش سطح پراش مشترک، میتنی بر مدل بر روی تمامی مدل‌های سرعت، به‌ازای هر مدل سرعت، مقاطع برانبارش سرعت، با توجه به رابطه ۳ و مقاطع همدوسی به‌دست آورده

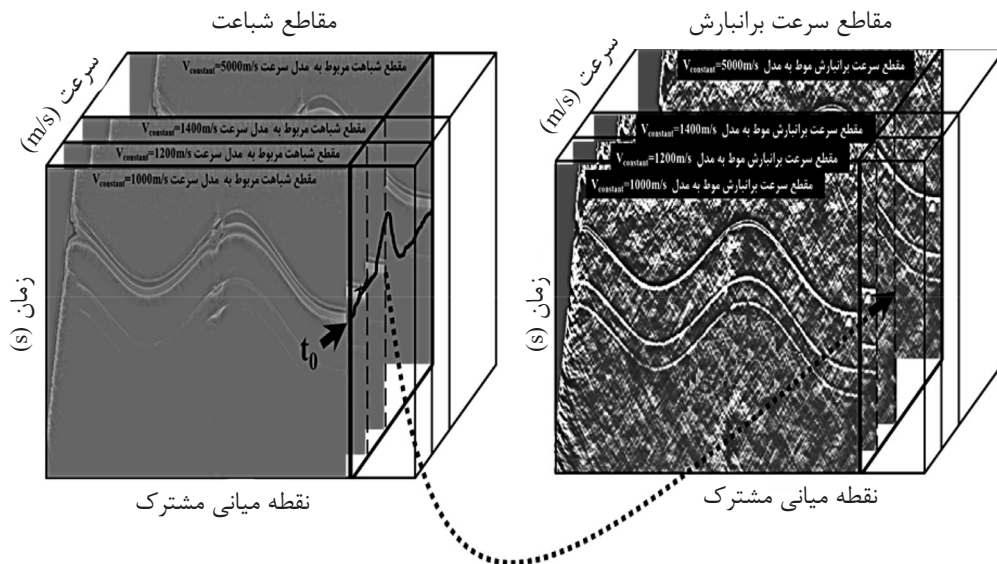


شکل ۴ نمودار گردشی روش پیشنهادی به منظور محاسبه مقاطع سرعت برانبارش و مقاطع همدوسی.

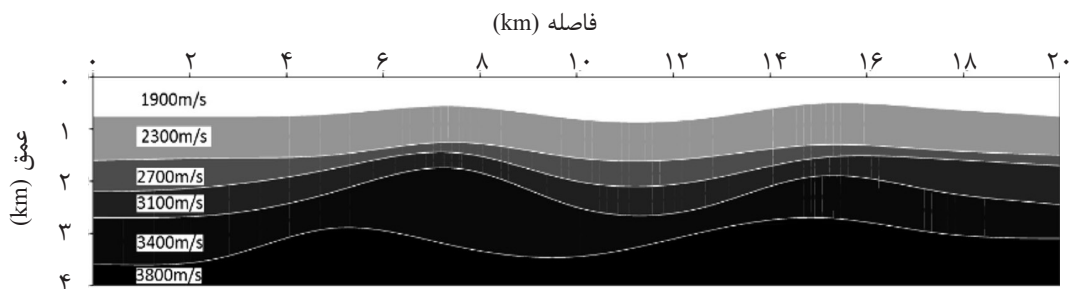


فاصله (نقطه میانی مشترک)

شکل ۵ مکان هندسی انتهای پرتوهایی که روی یک مدل سرعت ثابت برای زوایای خروج متفاوت پیاده‌سازی شده‌اند، یک دایره را تشکیل می‌دهند



شکل ۶ شماتیکی از نحوه تعیین سرعت برآیند با استفاده از مقاطع هم‌دوسی نشان داده شده است



شکل ۷ مدل شش لایه مصنوعی از داده‌های زیر سطحی



## مطالعه موردی

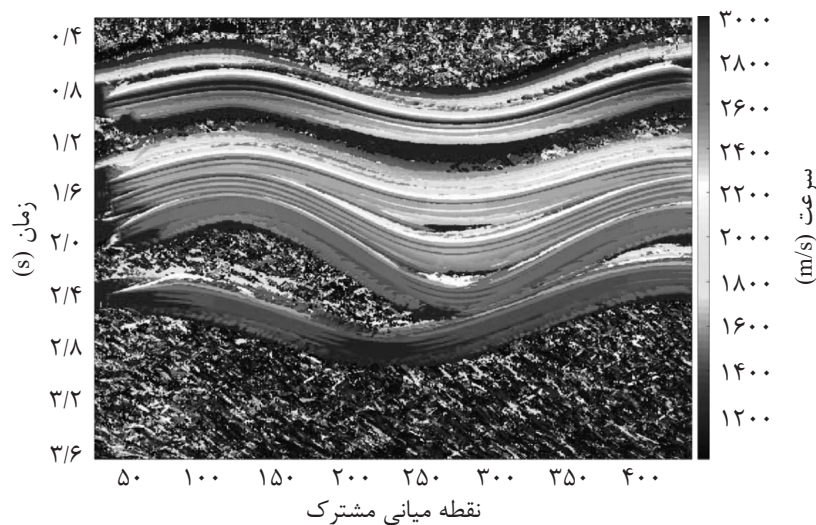
و با فاصله  $200 \text{ m/s}$  است. به این ترتیب ۱۶ بار روش سطح پراش مشترک بر روی داده‌ها با توجه به مدل‌های سرعت ثابت پیاده‌سازی شده است. در نتیجه ۱۶ مقطع همدوسی و ۱۶ مقطع سرعت برانبارش به دست آمده است.

حال که مقاطع همدوسی و مقاطع سرعت برانبارش به‌زای سرعت‌های مختلف در اختیار است، برای هر نمونه از مقطع دور افت صفر سرعتی که دارای بیشترین همدوسی است تعیین شده است. با توجه به این مقدار و با استفاده از مقاطع سرعت برانبارش، سرعت برانبارش نهایی برای نمونه مقطع دور افت صفر به دست آورده می‌شود. در شکل ۸ مقطع سرعت برانبارش محاسبه شده از روش پیشنهادی نشان داده شده است. به منظور مقایسه داده‌های حاصل از روش پیشنهادی با روش پیشین یعنی روش سطح بازتاب مشترک، این روش نیز بر روی داده‌های مورد نظر پیاده‌سازی شده است.

به منظور پیاده‌سازی روش پیشنهادی ابتدا یک مدل سرعت از لایه‌های زیرسطحی با استفاده از نرم‌افزار سائزیمیک یونیکس<sup>۱</sup> [۲۰] ساخته شده است. این مدل که دارای عمق و طول به ترتیب ۴ و ۲۰ km است و در شکل ۷ نشان داده است. این مدل از شش لایه تشکیل شده که سرعت‌ها از لایه اول تا ششم به ترتیب برابر ۱۹۰۰، ۲۳۰۰، ۲۷۰۰، ۳۱۰۰، ۳۴۰۰ و  $3800 \text{ m/s}$  هستند. در مرحله بعد بر روی مدل ساخته شده برداشت لرزه‌ای انجام شده است. پارامترهای برداشت در جدول ۱ خلاصه شده است. در قدم بعدی برای شباهت بیشتر داده‌ها با واقعیت مقداری نوفه به آن اضافه شده است. سپس روش مبتنی بر مدل سطح پراش مشترک بر روی داده‌های تولید شده با استفاده از یک سری از مدل‌های سرعت ثابت پیاده‌سازی شده است. سرعت انتخاب شده برای این مدل‌ها، در بازه ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰

جدول ۱ پارامترهای برداشت داده

عنوان	مقدار
فاصله انفجارها	۲۵ m
فاصله ژئوفون‌ها	۲۵ m
تعداد انفجارها	۴۰۹ عدد
تعداد ژئوفون‌ها در هر انفجار	۹۶ عدد
تعداد کل لرزه نگاشت‌ها	۳۹۲۶۴ عدد
تعداد گروه‌های نقطه میانی مشترک	۵۰۲ عدد
فاصله بین گروه‌های نقطه میانی مشترک	۲۵ m
مختصات اولی انفجار	(۰، ۰، ۵۰۰۰) m
مختصات آخرین انفجار	(۰، ۰، ۱۵۲۲۵) m
مختصات اولی ژئوفون	(۰، ۰، ۰) m
مختصات آخرین ژئوفون	(۰، ۰، ۲۰۰۰۰) m
نرخ نمونه‌برداری	۴ ms
تعداد نمونه‌ها در یک لرزه نگاشت	۹۰۰ عدد



شکل ۸ مقطع سرعت برانبارش محاسبه شده با استفاده از نشانگرهای روش سطح پراش مشترک مبتنی بر مدل

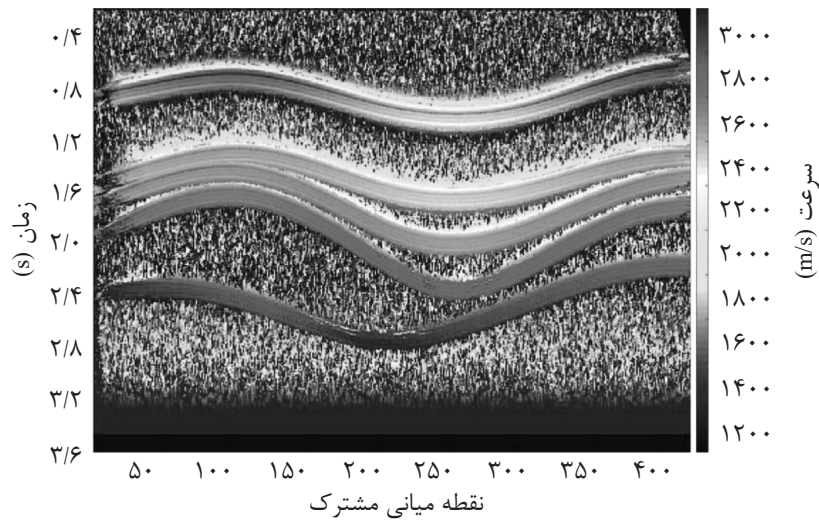
مربعیات سرعت‌های مدل، نزدیک‌تر است. همچنین انحراف معیار و ریشه میانگین مربعات خطاها برای سرعت‌های برانبارش محاسبه شده در امتداد لایه‌های مختلف در جدول ۳ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به این که در جدول ۳ در تمامی موارد انحراف استاندارد و ریشه میانگین مربعات خطای سرعت برانبارش به دست آمده به روش پیشنهادی، کمتر از انحراف استاندارد و ریشه میانگین مربعات خطای سرعت برانبارش به دست آمده از روش سطح بازتاب مشترک است که نشان‌دهنده توانایی روش پیشنهادی در تعیین سرعت برانبارش با دقت بالاتری است.

با وجود مزایایی که در مورد روش پیشنهادی اشاره شد، اما از آنجایی که زمان پردازش برای هر بار پیاده‌سازی روش سطح پراش مشترک در حدود ۴ hr، با استفاده از یک سیستم پردازشگر معمول امروزی، زمان نیاز دارد. بنابراین طولانی بودن زمان پردازش یکی از معایب روش پیشنهادی است که می‌توان با استفاده از مراکز محاسبات سریع به منظور پردازش داده‌ها این مشکل را مرتفع نمود.

با توجه به نشانگرهای به دست آمده و رابطه ۳ سرعت برانبارش برای مقطع لرزه‌ای مورد نظر حاصل شده است. این مقطع در شکل ۹ نشان داده شده است. به منظور مقایسه دقیق‌تر سرعت‌های به دست آمده مقدار سرعت در امتداد بازتابنده اول در محل گروه‌های نقطه میانی مشترک شماره ۵۰ تا ۴۰۰ با فاصله ۱۰ تایی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به اینکه برای بازتابنده اول سرعت برابر ۱۹۰۰ m/s است واضح است که نتایج روش پیشنهادی با این مقدار انطباق بیشتر دارد. در جدول ۲ میانگین سرعت در امتداد لایه‌های مختلف با ریشه میانگین مربعات سرعت لایه‌ها مقایسه شده است.

به منظور مقایسه بهتر داده‌های جدول ۲ مقادیر ریشه میانگین مربعات سرعت لایه‌های مختلف با سرعت به دست آمده از روش سطح بازتاب مشترک و روش سطح پراش مشترک در شکل ۱۱ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در جدول ۲ و شکل ۱۱ نشان داده شده است سرعت محاسبه شده از روش پیشنهادی به ریشه میانگین

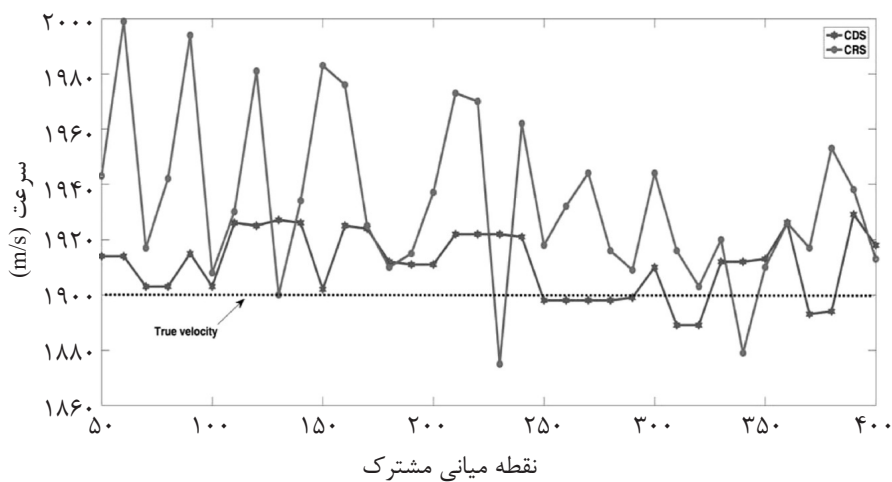




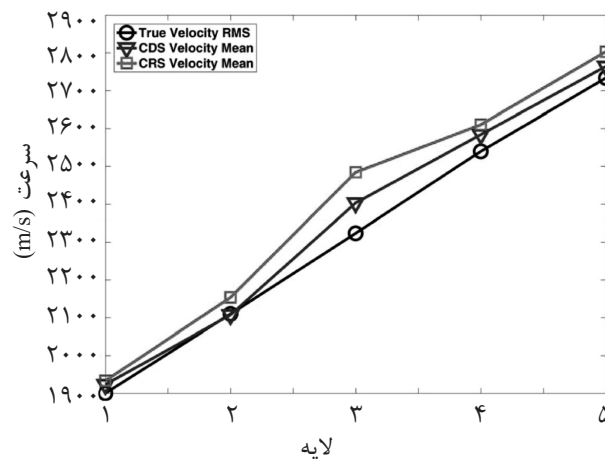
شکل ۹ مقطع سرعت برانبارش محاسبه شده با استفاده از نشانگرهای روش سطح بازتاب مشترک

جدول ۲ مقایسه میانگین سرعت برانبارش محاسبه شده از روش‌های سطح بازتاب مشترک و سطح پراش مشترک در امتداد لایه‌های مختلف

	سطح پراش مشترک	سطح بازتاب مشترک	ریشه میانگین مربعات سرعت لایه‌ها
لایه اول	۱۹۲۳	۱۹۳۳	۱۹۰۰
لایه دوم	۲۱۰۷	۲۱۵۳	۲۱۰۹/۵۰
لایه سوم	۲۴۰۳	۲۴۸۴	۲۳۲۳/۰۷
لایه چهارم	۲۵۸۴	۲۶۱۰	۲۵۳۹/۶۸
لایه پنجم	۲۷۶۴	۲۸۰۳	۲۷۳۳/۴۹



شکل ۱۰ مقایسه سرعت برانبارش محاسبه شده با استفاده از نشانگرهای سطح بازتاب مشترک و نشانگرهای سطح پراش مشترک



شکل ۱۱ مقایسه ریشه میانگین مربعات سرعت لایه‌های مختلف مدل مورد نظر با میانگین سرعت در امتداد لایه‌های مختلف که با استفاده از روش سطح بازتاب مشترک و روش سطح پراش مشترک به دست آورده شده است

جدول ۳ مقایسه انحراف معیار و میانگین مربعات خطاهای سرعت برانبارش محاسبه شده از روش‌های سطح بازتاب مشترک و سطح پراش مشترک در امتداد لایه‌های مختلف

	انحراف معیار		ریشه میانگین مربعات خطاها	
	روش سطح پراش مشترک	روش سطح بازتاب مشترک	روش سطح پراش مشترک	روش سطح بازتاب مشترک
لایه اول	۱۲/۰۰۲۶	۳۰/۳۵۴۱	۱۷/۳۶۸۶	۳۷/۲۵۴۵
لایه دوم	۱۶/۰۵۰۸	۳۲/۹۸۹۶	۲۱/۸۴۲۳	۳۹/۲۵۴۳
لایه سوم	۱۷/۵۱۶۸	۳۳/۲۵۹۶	۲۲/۸۴۱۲	۴۰/۵۲۷۵
لایه چهارم	۱۹/۶۴۸۶	۳۵/۲۷۱۹	۲۴/۶۵۸۴	۴۱/۴۱۲۶
لایه پنجم	۲۳/۲۷۹۱	۴۸/۸۵۳۷	۲۷/۵۴۱۲	۴۴/۸۷۴۳

امتداد لایه اول به ترتیب برابر ۱۹۳۳ و ۱۹۲۳ m/s است. به همین ترتیب میزان انحراف استاندارد در تخمین میزان سرعت در امتداد لایه‌های مختلف برای روش سطح پراش مشترک برای تمامی لایه‌ها کمتر از روش سطح بازتاب مشترک است. به عنوان مثال میزان انحراف استاندارد تخمین سرعت در امتداد لایه اول برای روش‌های سطح بازتاب مشترک و روش سطح پراش مشترک به ترتیب ۳۰/۳۵۴۱ و ۱۲/۰۰۲۶ است. این نتایج نشان می‌دهند سرعت برانبارش حاصل شده از روش سطح پراش مشترک به مقدار سرعت واقعی نزدیک‌تر است و نیز پراکندگی کمتری نسبت به سرعت برانبارش محاسبه شده با استفاده از روش سطح بازتاب مشترک دارند. به عبارت دیگر روش پیشنهادی از دقت و صحت بیشتری نسبت به روش پیشین در تخمین سرعت برانبارش برخوردار است.

### نتیجه‌گیری

نشانگرهای جنبشی میدان موج در روش برانبارش سطح پراش مشترک که توسعه داده شده روش سطح بازتاب مشترک می‌باشد متاثر از یکدیگر نیستند. در نتیجه سرعت برانبارش محاسبه شده با استفاده از این نشانگرها دقیق‌تر و قابل اعتمادتر هستند. در این مطالعه روش برانبارش سطح پراش مشترک چندین بار بر روی مدل‌های سرعت ثابت پیاده‌سازی شده است. سپس سرعت مطلوب با توجه به مقطع بیشینه همدوسی انتخاب شده است. به این ترتیب سرعت برانبارش انتخاب شده مطلوب تری به دست آورده شده است. به عنوان مثال سرعت برانبارش مطلوب برای لایه اول برابر ۱۹۰۰ m/s است. مقدار میانگین سرعت محاسبه شده با استفاده از نشانگرهای روش سطح بازتاب مشترک و روش سطح پراش مشترک در

## مراجع

- [1]. Mayne W. H., "Common reflection point horizontal data stacking techniques," *Geophysics*, Vol. 27, pp. 927–938, 1963
- [2]. Yilmaz Ö., "Seismic data analysis," Soc. Expl. Geophys., Tulsa, 2001.
- [3]. Taner M. T. and Koehler F., "Velocity spectra digital computer derivation and applications of velocity functions," *Geophysics*, Vol. 346, pp. 859-881, 1969.
- [4]. Müller T., "Common reflection surface stack vs. NMO/STACK and NMO/DMO/STACK," 60<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, 1998.
- [5]. Müller T., Jäger R. and Höcht G. "Common reflection surface stacking method - imaging with an unknown velocity model," 68<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, 1998.
- [6]. Jäger R., "The Common reflection surface stack-introduction and application," MSc. Thesis, University of Karlsruhe. Germany, 1999.
- [7]. Mann J., Höcht G., Jäger R. and Hubral P., "Common reflection surface stack — an attribute analysis," 61<sup>st</sup> EAGE Conference and Exhibition, 1999.
- [8]. Hubral P., "Common-reflection- surface stack - a real data example," *J. Appl. Geophysics*, Vol. 42, pp. 301-318, 1999.
- [9]. Mann J., "Extensions and applications of the common-reflection-surface stack method," Logos Verlag, Berlin, 2002.
- [10]. Hubral P., "Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth," *Geophysics*, Vol. 48, pp. 1051-1062, 1983
- [11]. Majer P., "Inversion of seismic parameters: determination of the 2-D iso-velocity layer model," MSc. Thesis, University of Karlsruhe, Germany, 2000.
- [12]. Jäger C., "Minimum-aperture Kirchhoff migration by means of CRS attributes," 67<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, 2005.
- [13]. Duvenek E., "Tomographic determination of seismic velocity models with kinematics wave field attributes," Ph. D. Thesis, University of Karlsruhe, Germany, 2004.
- [14]. Bergler S., Chira P., Mann J., Vieth K. and Hubral P., "Stacking velocity analysis with CRS Stack attributes," 64<sup>th</sup> EAGE Conference, 2002.
- [15]. Shahsavani H., Mann J., Piruz I. and Hubral P., "A model-based approach to the common- diffraction- surface stack—theory and synthetic case study," *Journal of Seismic Exploration*, Vol. 20, pp. 289–308, 2011.
- [16]. Hubral P., "Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth," *Geophysics*, Vol. 48, pp. 1051-1062, 1983.
- [۱۷]. سلیمانی منفرد م، "برانبارش سطح پیراش مشترک، ارائه یک روش نوین در حل مسئله تداخل شیب‌ها"، پایان نامه دکتری، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، ۱۳۸۸.
- [18]. Shahsavani H., Mann J., Piruz I. and Hubral P., "A model-based approach to the Common- Diffraction- Sur face

*Stack—theory and synthetic case study*,” Journal of Seismic Exploration, Vol. 20, pp. 289–308, 2011.

[۱۹]. شاهسونی ه.، پیروز الف.، مان ی. و پیتر ه. “معرفی روش مبتنی بر مدل سطح پراش مشترک». مجله ژئوفیزیک ایران، شماره ۴، صفحه ۱-۱۸، ۱۳۹۴.

[20]. Cohen J. K. and Stockwell J. J. W., “CWP/SU: Seismic Unix release 34: a free package for seismic research and processing. Center for Wave Phenomena,” Colorado School of Mines, Issue 9, November 2017.



# Stacking Velocity Analysis with Model-based Common-Diffraction-Surface (CDS) Stack Attributes

Hashem Shahsavani

Department of Mining, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

[h.shahsavani@uok.ac.ir](mailto:h.shahsavani@uok.ac.ir)

DOI: 10.22078/pr.2018.3191.2472

Received: February/24/2018

Accepted: August/11/2018

## INTRODUCTION

As the velocity analysis is applied on a common-mid-point (CMP) gather, the operator of CMP method cannot estimate the reflector event properly and does not use the data redundancy in multi-coverage data set. Hence, the common-reflection-surface (CRS) stack method has been introduced [1-4].

The CRS method in depth domain instead of a point on the reflector considers a part of the circle. The seismic response of this part of the circle, in time domain, in addition to one CMP considers the neighboring CMPs [5]. Consequently, the CRS method uses the data redundancy in multi coverage data set and simulate a zero offset (ZO) stack section with high signal to noise ratio. Moreover, the attribute which control the shape of operator so called wave field attributes [6]. The Normal-Incidence-Point (NIP) wave,

which is one of these attributes, has been used to calculate the stacking velocity [7]. But this attribute in CRS obtains in data driven manner. As results, the NIP wave is influenced by Normal wave. In this research,  $R_{NIP}$  has been applied by us. Moreover,  $R_{NIP}$  is obtained by model based Common-Diffraction-Surface (CDS) stack. In addition, it is so important that the NIP wave in model-base CDS stack method not be influenced by N waves [8].

## THEORY

Based on the second order approximation of travel time, it is possible to obtain the travel time, which is read as:

$$t^2(x_m, h) = \left[ t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right]^2 + \frac{2t_0 \cos^2 \alpha}{v_0} \left[ \frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} - \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (1)$$

Here,  $x_0$  is the location of the point which is considered for the stacking,  $x_m$  is the distance to the  $x_0$ ,  $t_0$  is the time which considered for the stacking,  $v_0$  velocity at the surface,  $\alpha$  is the emergence angle,  $h$  is offset,  $R_{NIP}$  is the radius of NIP wave front, and  $R_N$  is the radius of N wave. For an underground diffractor, the wavefront when reaches to the surface the  $R_N=R_{NIP}=R_{CDS}$ , so the Equation 1 is simplified to CDS equation (as seen in Equation 2):

$$t^2(x_m, h) = \left[ t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{v_0} (x_m - x_0) \right]^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \alpha}{R_{CDS} v_0} \left[ (x_m - x_0) - h^2 \right] \quad (2)$$

As for a CMP,  $x_m$  and  $x_0$  is equal; therefore, it is possible to obtain stacking velocity from Equations 1 and 2. By substituting  $x_m=x_0$  the stacking velocity is read as:

$$V_{stack} = \sqrt{\frac{2v_0 R_{NIP}}{t_0 \cos^2 \alpha}} \quad (3)$$

All parameters in Equation 3 is ready by applying CRS on a seismic data. In this research, the  $R_{CDS}$  which is not affected by  $R_N$ , instead of  $R_{NIP}$  has been applied.

## IMPLEMENTATION

In order to test the proposed method, a synthetic velocity mode with five reflectors is generated by Seismic Unix [9]. This model is shown in Fig. 1.

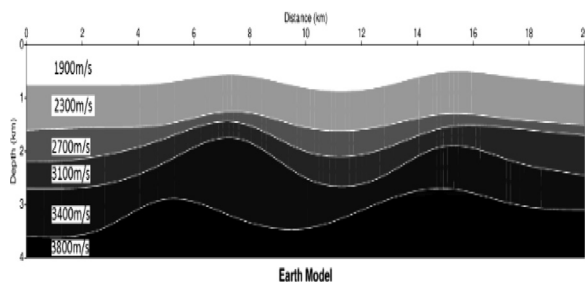


Figure 1: Synthetic velocity model with 6 layers.

The stacking velocities are obtained by CRS and CDS attribute along the first reflector are shown in Fig. 2.

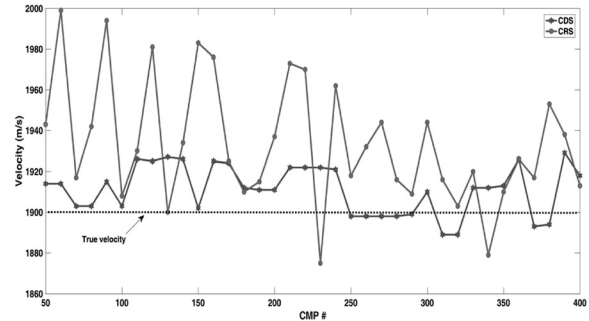


Figure 2: The stacking velocities are obtained along the first reflector.

For a better comparison, the RMS and the standard deviation of the calculated stacking velocity along all reflectors are presented in Table 1.

Table 1: RMS and standard deviation of stacking velocity along layers.

	Standard deviation		RMS Error	
	CDS	CRS	CDS	CRS
reflector1	1.00262	3.35410	1.36867	3.25457
Reflector2	16.508	32.9896	2.84231	3.25439
Reflector3	1.51678	3.25963	2.84122	4.52750
Reflector4	1.64869	3.27195	2.65844	4.41261
Reflector5	2.27913	4.85378	2.54127	4.87434

As presented in Table 1. Along all profiles, the RMS error and the Standard deviation of the calculated stacking velocity decrease for the proposed method.

## CONCLUSION

The wave field attribute of CDS stack method are not affected from each other. Hence, the velocity stacking which obtain by this method is more reliable than the CRS method. For instance, for the first reflector the true velocity is equal to 1900 m/s. The mean of stacking velocity a long



this reflector which calculated by CRS and CDS method is 1933 m/s and 1923 m/s, respectively. In addition, the standard deviation of the estimated stacking velocity along all profiles for CDS method is less than CRS method. For example, the standard deviation of velocity staking estimation along the first reflector are 30.3541 and 12.0026 for the CRS and CDS method, respectively. Finally, these results show that the stacking velocity which is obtained by the proposed method is more accurate and precise in comparison with CRS.

## REFERENCES

- [4]. Müller T., "Common reflection surface stack vs. NMO/STACK and NMO/DMO/STACK," 60<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, 1998.
- [5]. Müller T., Jäger R. and Höcht G. "Common reflection surface stacking method - imaging with an unknown velocity model," 68<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, 1998.
- [6]. Jäger R., "The Common reflection surface stack-introduction and application," Ms thesis, University of Karlsruhe. Germany, 1999.
- [7]. Mann J., Höcht G., Jäger R. and Hubral P., "Common reflection surface stack — an attribute analysis," 61<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, 1999.
- [14]. Bergler S., Chira P., Mann J., Vieth K. and Hubral P., "Stacking velocity analysis with CRS Stack attributes," 64<sup>th</sup> EAGE Conference, 2002.
- [15]. Shahsavani H., Mann J., Piruz I. and Hubral P., "A model-based approach to the common-diffraction- surface stack—theory and synthetic case study," Journal of Seismic Exploration, Vol. 20, pp. 289–308, 2011.
- [20]. Cohen J. K. and Stockwell J. J. W., "CWP/SU: Seismic Unix release 34: a free package for seismic research and processing. Center for Wave Phenomena," Colorado School of Mines, Issue 9, November 2017.