

تلفیق روش‌های کوچ زمانی پیش- برانبارش و برانبارش صفحه‌ای در تصویرسازی لرزه‌ای ساختارهای پیچیده

علی خلیل‌زاده^۱ و مهرداد سلیمانی^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۲. استادیار، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(دریافت: ۹۳/۱۰/۲۸، پذیرش نهایی: ۹۵/۳/۲۵)

چکیده

روش‌های مرسوم در پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی، در مواجهه با ساختارهای پیچیده و یا حضور تغییرات شدید جانبی سرعت، معمولاً نتایج مطلوبی به دست نمی‌دهد. بدین ترتیب در روش‌های نوین تصویرسازی لرزه‌ای، الگوریتم‌های مورد استفاده به گونه‌ای طراحی می‌شوند که بتوان تصاویر لرزه‌ای را مستقل از مدل سرعت تهیه کرد. روش سطح بازتاب مشترک، درحکم روشی مستقل از مدل سرعت در ساختارهای با هندسه پیچیده، تصویر لرزه‌ای قابل قبولی به دست می‌دهد. در این تحقیق، سعی شده است با استفاده از مزیت‌های روش سطح بازتاب مشترک و حساس نبودن زیاد روش کوچ زمانی پیش- برانبارش کیرشهوف به مدل سرعت، و با تلفیق این دو روش، بتوان با برخی از مشکلات تصویرسازی در ساختارهای پیچیده، مقابله کرد. بدین ترتیب پس از تعیین راهبرد تلفیق و تعیین معادله‌های لازم، داده لرزه‌ای مربوط به منطقه‌ای در غرب ایران مورد پردازش قرار گرفت. همچنین نتایج با روش مرسوم کوچ زمانی پیش از برانبارش نیز مقایسه شد. با مقایسه نتایج به دست آمده از هر دو روش، مشاهده شد که تصویر لرزه‌ای به دست آمده از تلفیق روش سطح بازتاب مشترک و کوچ زمانی پیش از برانبارش، قادر به آشکارسازی بیشتر و بهتر ساختارهای مورد جست‌وجو است. از دیگر مزیت‌های تلفیق این دو روش، استفاده از یک مدل سرعت بسیار ساده به منظور تهیه مقطع نهایی بود که این مسئله در روش‌های مرسوم کوچ بسیار حائز اهمیت است. بنابراین روشن شد که در مناطق با ساختارهای پیچیده، می‌توان با استفاده از تلفیق این دو روش، تصویر لرزه‌ای با کیفیت قابل قبول تهیه کرد.

واژه‌های کلیدی: تصویرسازی لرزه‌ای، سطح بازتاب مشترک، سطح پراش مشترک، کوچ زمانی پیش از برانبارش، تداخل شیب‌ها، ساختار پیچیده زمین‌شناسی.

۱. مقدمه

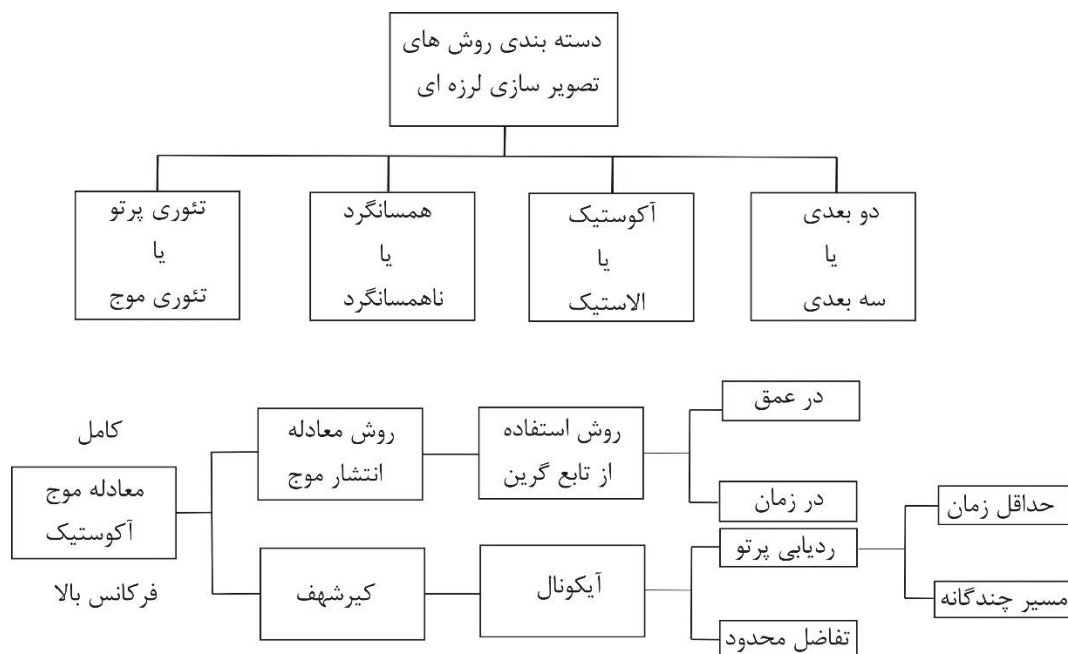
تصویرسازی در صنعت، براساس فرض‌هایی که هر یک از این روش‌ها استوار شده‌اند، حوزه کاربرد آنها و برقراری شرایط تصویرسازی تعیین می‌شود (ساوا و فومل ۲۰۰۶). در شکل ۱، نمودار خلاصه شده‌ای از این روش‌ها براساس معیارهای بیان شده، نشان داده شده است (ساوا و هیل، ۲۰۰۹). در همه محیط‌های زمین‌شناسی، حتی ساده‌ترین آنها، فرایند تصویرسازی لرزه‌ای با سه مسئله اساسی روبه‌رو است: تصویر به دست آمده در بیشتر موارد دارای کیفیت و قدرت تفکیک لازم نیست، گاهی رخدادهای بازتابی با هندسه اصلی ساختار در زیر سطح، ب متفاوت است و علاوه بر آن در بیشتر موارد جابه‌جایی مکانی در تصویر لرزه‌ای نیز وجود دارد (ایلماز، ۲۰۰۱). این مشکلات، به

هدف نهایی از برداشت داده‌های لرزه‌ای و اجرای مراحل پردازش روی این داده‌ها، به دست آوردن تصاویر دقیق تر و واقعی‌تر از زیر سطح زمین است که در دو حوزه زمان و عمق به مفسر تحویل می‌شوند. امروزه روش‌های فراوانی در فرایندهای پردازش کوچ و تصویرسازی لرزه‌ای معرفی شده که دسته‌بندی آنها و تعیین شرایط استفاده از هر روش، رده‌های متفاوتی از روش‌های تصویرسازی را به دست می‌دهد (لیو و گو، ۲۰۱۲). به منظور انتخاب یک روش مناسب کوچ و یا تصویرسازی لرزه‌ای در داده‌هایی که تحت پردازش قرار دارند، ابتدا لازم است که نقطه‌های مشترک و تفاوت‌های آنها شناخته شود (ژائو و همکاران، ۲۰۱۱). دسته‌بندی الگوریتم‌های کوچ و روش‌های

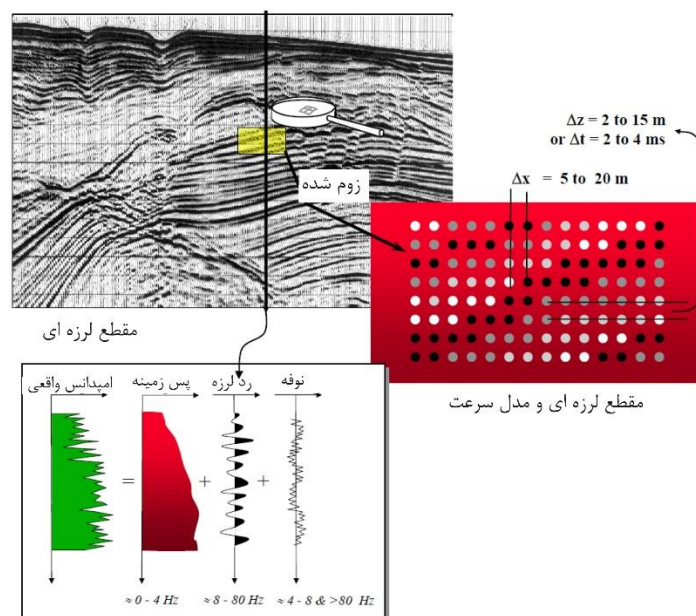
تصویرسازی و یا کوچ عمقی را به پیش می‌راند که در واقع همان مدل سرعت کلان تهیه شده است (علایی، ۲۰۰۶). این مدل سرعت، توصیفی عددی از محیط انتشار موج در مقیاس چند صد متر است که زمان سیر دوطرفه و یا مسافت طی شده موج از سطح تا بازتابنده را شامل می‌شود. نمونه‌ای از این مدل در شکل ۲ آورده شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ نیز دیده می‌شود، در تصویرسازی لرزه‌ای داده‌ها به شکل پیکسل‌هایی به نمایش در می‌آیند که رنگ هر پیکسل، شدت دامنه و رنگ زمینه، مدل سرعت را بیان می‌کند. در قسمت پایین شکل ۲ دیده می‌شود که میزان مقاومت صوتی واقعی، مجموع ردلرزه، نوفه و سرعت میدان موج است که بسامدهای بسیار کم درحکم اثر جانبی تصویرسازی در آن دخیل شده‌اند (روبین، ۲۰۰۳). لازم به ذکر نیست که بسامدهای زیاد نیز در محیط انتشار، جذب شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود، در واقع این بسامدهای بسیار کم هستند که اساس سری مقاومت صوتی را تشکیل می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت که در اصل، این مدل سرعت انتشار موج است که مبنای تهیه سری مقاومت صوتی است (کانالس و همکاران، ۲۰۰۴).

علت شکست، یعنی خم شدن پرتوها و همچنین پراش انرژی لرزه‌ای هنگام عبور از لایه‌های زیرسطحی با سرعت‌ها، شکل‌ها و ضخامت‌های متفاوت رخ می‌دهد. هرچه این سه مشکل بهتر حل شود، می‌توان با اطمینان بیشتری، از صحت تهیه تصویر لرزه‌ای صحبت کرد (کارازینجیر و جرارد، ۲۰۰۶). در روش‌های مرسوم تصویرسازی و انواع الگوریتم‌های معرفی شده کوچ، قابلیت مقابله با این مشکلات در فرایند تهیه مقطع لرزه‌ای تا اندازه‌ای وجود دارد (شولتز و شروود، ۱۹۸۰). اغلب این روش‌ها، با حل معادله‌ای که انتشار موج در محیط را برآورد می‌کند، تصویر لرزه‌ای را به دست می‌دهند (هینش و همکاران، ۲۰۰۲). بدین ترتیب با در دست داشتن اطلاعاتی از سرعت انتشار موج و تغییرات فشار که به صورت تابعی از زمان در ردلرزه‌ها ثبت شده است، می‌توان تصویر لرزه‌ای از ساختارهای محیط انتشار موج را به دست آورد (بونگاجوم و همکاران، ۲۰۱۲).

با این حال، انتخاب نوع روش تصویرسازی و یا الگوریتم کوچ، فقط نیمی از فرایند تصویرسازی را دربر می‌گیرد، که احتمالاً اهمیت کمتری هم دارد. نگرانی اصلی در تصویرسازی لرزه‌ای، موتوری است که الگوریتم



شکل ۱. دسته‌بندی انواع روش‌های تصویرسازی لرزه‌ای (با اعمال تغییرات از ساوا و هیل، ۲۰۰۹)



شکل ۲. مقطع لرزه‌ای مرسوم که در تصویرسازی لرزه‌ای به شکل پیکسل‌هایی (بیانگر شدت دامنه) روی پس‌زمینه‌ای از مدل سرعت نشان داده می‌شود (با اعمال تغییرات از روبین، ۲۰۰۳).

الگوریتم استفاده شده تا چه میزان دقیق باشد، در صورتی که مدل سرعت به کاررفته، قادر به تشریح دقیق انتشار موج در زیر سطح در حالت واقعی نباشد، نتایج تصویرسازی امیدوارکننده نخواهد بود. بنابراین یونیدی (۲۰۰۶) عنوان می‌کند که تنها راهکار تهیه تصویر دقیق از ساختارهای زیرسطحی با هندسه پیچیده، ترکیب مناسبی از الگوریتم‌های کوچ و یا تصویرسازی با روش‌های تهیه مدل سرعت دقیق است.

با این حال با وجود پیشرفت در روش‌های تهیه مدل سرعت دقیق، همچنان دستیابی به یک مدل سرعت صحیح و دقیق به‌ویژه در ساختارهای با هندسه پیچیده، همچنان مورد بحث است (لاندا و همکاران، ۲۰۰۶). بدین علت فومل (۲۰۰۳) پیشنهاد کرد که استفاده از روش‌های تصویرسازی مستقل از مدل سرعت، می‌تواند راهگشا باشد. یون و همکاران (۲۰۰۹) روشن ساختند که روش‌های تصویرسازی مستقل از مدل سرعت، را می‌توان در تهیه تصویر دقیق از ساختارهای زیر سطح، که در روش‌های مرسوم با مشکل روبه‌رو است، مورد استفاده قرار داد. بایکولوف و همکاران (۲۰۰۹)، برنت (۲۰۱۱)، بونا (۲۰۱۱)، کیدر و همکاران (۲۰۱۳) و سلیمانی و همکاران (۱۳۹۲)، روشن ساختند که با استفاده از روش‌های

از طرف دیگر، مدل سرعت کلان، الگوریتم کوچ و یا تصویرسازی، مشخص می‌کند که بازتابنده‌ها، چه مقدار و در چه جهت جابه‌جا شوند. لذا نبود اطلاعات کافی و دقیق از سرعت انتشار موج، باعث می‌شود که تصویر لرزه‌ای کمتر یا بیشتر کوچ داده و یا در محل نادرست تصویر شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۶). بدین ترتیب حتی پیشرفته‌ترین الگوریتم‌های تصویرسازی نیز در صورت راهنمایی شدن با یک مدل کلان ناقص، در متمرکز کردن تصویر در محل واقعی، نادقیق عمل خواهند کرد. روش‌های تهیه مدل کلان سرعت، در معرض رشد و پیشرفت سریع است و تمرکز روی روش‌های پیچیده برای مدل‌سازی، روزآمد کردن و تایید مدل به‌منظور تصویرسازی روز به روز افزایش می‌یابد (دروژونین و همکاران، ۱۹۹۹، کامرون و همکاران، ۲۰۰۸، گارابیتو و کروز، ۲۰۱۱، سانتوز و همکاران، ۲۰۱۳، گارابیتو، ۲۰۱۴). ذکر این نکته نیز لازم است که هزینه و زمان محاسباتی این روش‌ها با افزایش قابلیت آنها برای برآمدن از عهده تغییرات شدید و سریع سرعت، افزوده می‌شود (فلر و هوانگ، ۲۰۰۲).

منیولی و همکاران (۲۰۰۴) بیان می‌دارند که در تصویرسازی ساختارهای با هندسه پیچیده، اهمیتی ندارد که

آنها در استفاده از همه داده‌های سهیم در بازتاب از یک نقطه است. این توانایی به‌ویژه در مواجهه با بازتابنده‌های پُرشیب، بازتابنده‌های با شیب متداخل و یا تغییرات جانبی سرعت در محیط انتشار موج، مورد توجه است (ویریو و اوپرتو، ۲۰۰۹). بررسی‌های قبلی روشن ساخته است که با افزودن اطلاعات دیگری از شکل بازتابنده‌های زیرسطحی مانند شیب و خمیدگی لایه‌ها به عملگر پردازش، می‌توان مدل دقیق‌تری از ساختارهای زیرسطحی بدون نیاز به مدل سرعت دقیق، به‌دست آورد. روش برانبارش سطح بازتاب مشترک (CRS) با اضافه کردن این اطلاعات و تهیه یک عملگر تصویرسازی، نشان داده‌است که توانایی تهیه تصویر لرزه‌ای قابل قبول در ساختارهای پیچیده هندسی را دارد (پروسمان و همکاران، ۲۰۰۸، لایته و همکاران، ۲۰۱۰، دونگ و همکاران، ۲۰۱۰، یانگ و همکاران، ۲۰۱۲، توماس و گالو، ۲۰۱۴، گلیوس و تیگل، ۲۰۱۵).

روش پردازش برانبارش سطح بازتاب مشترک، به شکل تحلیل سرعت‌های برانبارش با استفاده از تقریب مرتبه دوم معادله زمان سیر موج بازتابی است که پارامترهای برانبارش در آن به کمک تحلیل همدوسی مشخص می‌شود (مولر، ۱۹۹۹؛ من و همکاران، ۱۹۹۹). بایکولوف (۲۰۰۹) روش CRS را به‌منظور تصویرسازی ساختارهای پیچیده با تقسیم صفحه CRS به دورافت‌های مشترک به کار بردند که درنهایت به معرفی روش CRS بخشی (Partial CRS) انجامید. سپس، گارایتو و همکاران (۲۰۱۱) روش CRS را مبنی بر دورافت محدود پایه ریزی کردند که این روش نیز به نام CRS با دورافت محدود (Finite offset CRS) شناخته شد. در واقع همگی این تحقیقات روشن ساخت که روش سطح بازتاب مشترک، قابلیت انتخاب به‌منظور تلفیق با روش کوچ پیش از برانبارش کیرشهوف را دارد.

۳. مقایسه روش PSTM و روش CRS

از نظر ریاضی، فرایند کوچ با عرضه راه حل‌های گوناگون برای معادله موجی که عبور موج‌های را از درون زمین توصیف می‌کند، صورت می‌گیرد. هریک از انواع روش‌های

تصویرسازی مستقل از مدل سرعت، می‌توان تصویر لرزه‌ای دقیق‌تری از ساختارهای پیچیده زیرسطحی به‌دست آورد. با توجه به پیشرفت سریع روش‌های تصویرسازی لرزه‌ای مستقل از مدل سرعت، خوشنواز و اووروسیچ (۲۰۱۳) انواع این روش‌ها و شرایط کاربرد آنها را مورد بررسی قرار دادند و روشن ساختند که در استفاده از مفهوم تلفیق روش‌های مدل سرعت و الگوریتم‌های کوچ (معرفی شده بیوندی، ۲۰۰۶)، می‌توان از تلفیق الگوریتم‌های کوچ و تصویر تهیه شده از روش‌های مستقل از مدل سرعت استفاده کرد.

بنابراین در این تحقیق، تلفیق یکی از روش‌های تصویرسازی مستقل از مدل سرعت و الگوریتم کوچ پیش از برانبارش کیرشهوف، در تهیه تصویر لرزه‌ای از یکی از ساختارهای پیچیده غرب کشور، هدف قرار گرفت. بنابراین در ادامه، پس از معرفی روش تصویرسازی مستقل از مدل سرعت استفاده شده، چگونگی تلفیق آن با روش کوچ پیش از برانبارش کیرشهوف، بیان می‌شود و سپس روی داده واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲. روش‌های تصویرسازی مستقل از مدل سرعت

اوتولینی (۱۹۸۳) بیان کرد که با استفاده از اطلاعاتی مانند شیب زمانی بازتابنده‌ها در هر نقطه، می‌توان بدون نیاز به دست‌چین کردن اطلاعات سرعت، به تصویرسازی ساختارهای زیرسطحی پرداخت. سپس فومل (۲۰۰۳) نشان داد که می‌توان با تعیین شیب محلی رخدادهای لرزه‌ای در داده‌های پیش از برانبارش، نیاز به استفاده از مدل سرعت در کوچ پیش از برانبارش را از بین برد. بدین ترتیب با معرفی شرایط تصویرسازی (روبین، ۲۰۰۳)، مجموعه‌ای از روش‌های تصویرسازی مستقل از مدل سرعت معرفی شد. روش‌هایی مانند تمرکز چندگانه (Multi Focusing, MF)، کوچ وارون زمانی (Reverse Time Migration, RTM)، وارون‌سازی شکل کامل موج (Full Waveform Inversion, FWI) و برانبارش سطح بازتاب مشترک (Common Reflection Surface, CRS) از جمله این روش‌ها هستند (روبین، ۲۰۱۰). قدرت این روش‌ها در توانایی

صحت مدل سرعت، همهٔ برداشت‌های تصویری مشترک تحت تحلیل تصحیح برون‌راند نرمال قرار داده خواهد شد (شکل ۳). روش کوچ زمانی پیش از برانبارش (PSTM) این امکان را می‌دهد که بتوان تحلیل سرعت کوچ را روی مقطع کوچ داده شده نیز عملی ساخت. همچنین دقت آن را می‌توان با تهیهٔ برداشت تصویر مشترک، مورد ارزیابی قرار داد (ماتسوشیما و همکاران، ۲۰۰۳). از طرف دیگر، افقی بودن رخدادها در برداشت‌های تصویری مشترک، شرط لازم در صحیح بودن جواب نهایی است، اما شرط کافی نیست (سیلیکی و همکاران، ۲۰۰۷). در برخی موارد رخدادهای افقی با تحلیل سرعت اشتباه نیز حاصل می‌شود که این اتفاق حتی در هنگامی که تغییرات سرعت جانبی در محیط وجود نداشته باشد نیز رخ خواهد داد (الیجیا، ۱۹۸۹).

بنابراین مدل سرعتی که از تحلیل سرعت در این روش به‌دست می‌آید، دارای خطا است و لازم است که در استفاده آن در مقاصد بعدی، از جمله تفسیر زمین‌شناسی و انتقال آن به حوزهٔ عمق، دقت کرد. همچنین روش PSTM بازتابنده‌های موجود در زیر ساختارهای پیچیده را به‌خوبی تصویر نمی‌کند (کامرون و همکاران، ۲۰۰۸).

روش برانبارش سطح بازتاب مشترک یا CRS از مفهوم نظری پرتو در تهیهٔ تصویر لرزه‌ای استفاده می‌کند. بدین ترتیب این روش دارای برتری قابل توجهی نسبت به روش‌های انتگرال‌گیری کیرشهوف و کوچ به دورافت صفر، خواهد بود (هویرال، ۱۹۹۹). روش CRS در محیط‌های با بازتابنده‌های خم شکل که محیط آنها ناهمگن است (جایی که سایر روش‌ها در آن مشکل دارند) جواب قابل قبولی به‌دست خواهد داد (هویرال، ۱۹۸۳). این روش را می‌توان از روش‌های مبتنی بر داده بیان کرد، چرا که این روش، مستقل از مدل سرعت زیرسطحی است. به‌منظور محاسبهٔ عملگر برانبارش CRS، نیاز به سه مشخصه است که عبارت‌اند از α ، زاویهٔ ورود موج بازتابنده به سطح زمین، R_N ، شعاع خمیدگی موج عمود و R_{NIP} شعاع خمیدگی موج عمود در نقطهٔ ورود.

کوچ دارای مزایا و معایبی هستند که انتخاب روش بهینه از میان آنها همواره کار ساده‌ای نیست (ریاحی و بازرگانی، ۱۳۸۳). انواع روش‌های کوچ در یک دسته‌بندی جامع‌تر به گروه‌های پس از برانبارش یا پیش از برانبارش، دو بُعدی یا سه بُعدی و حوزهٔ زمان یا عمق تقسیم می‌شوند (نبی بید هندی و همکاران، ۱۳۸۳). به‌منظور انتخاب یک روش کوچ مناسب، لازم است بررسی شود که قابلیت هر الگوریتم در مدل‌سازی انتشار موج در محیط، چگونه است. بدین‌منظور لازم است که پارامتر میدان موج $\Delta P(x, z, t)$ در هر نقطه از محیط در هر زمان t معلوم باشد. بدین ترتیب باید رابطه‌ای به‌دست آورد که در آن مقدار میدان موج را به‌صورت تابعی از زمان برای هر نقطه از محیط ناهمگن به‌دست دهد. این تابع با انتگرال کیرشهوف بیان می‌شود (دوچرتی، ۱۹۹۱).

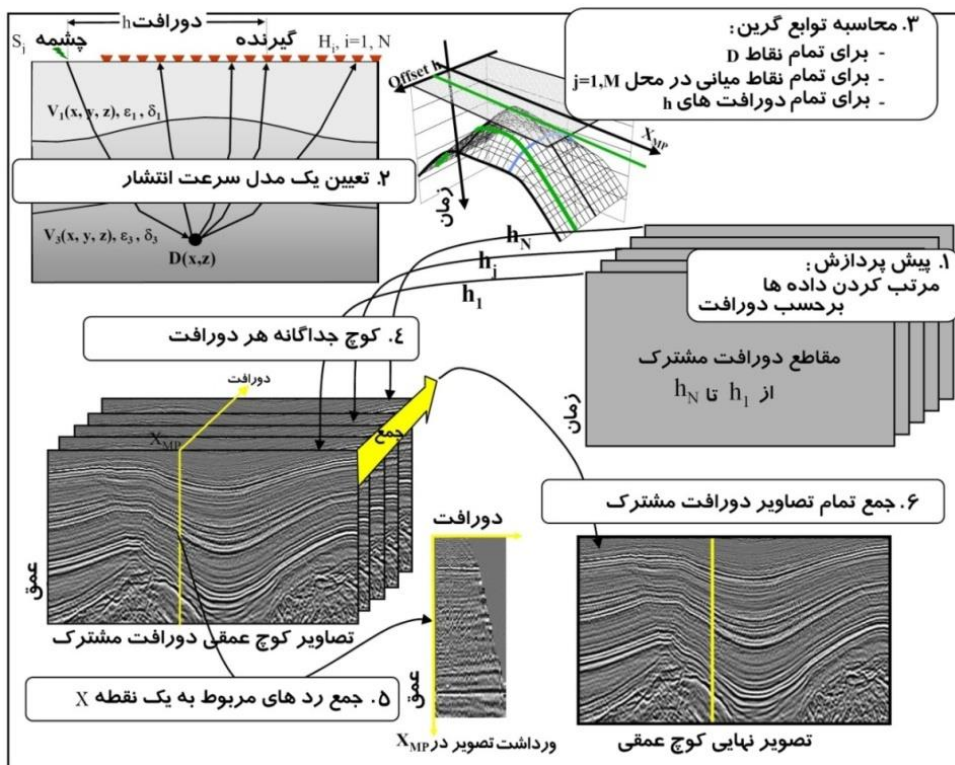
انتگرال کیرشهوف میدان موج $\Delta P(x, z, t)$ تولید شده در چشمه راکه در محیط با سرعت $V(x, z)$ منتشر می‌شود از رابطه (۱) به‌دست می‌دهد (هوا و مک مکان، ۲۰۰۳):

$$\Delta P_M(t) = \sum_i w_i \cdot \Delta P_i(t - \tau_i) \quad (1)$$

که در آن w_i ضریب وزنی، ΔP_M میدان موج در نقطهٔ فرضی M ، ΔP_i میدان موج در چشمه‌های ظاهری و $(t - \tau_i)$ اختلاف زمانی بین چشمهٔ فرضی i و M است. حل این دسته از معادله‌ها، براساس تابع‌های گرین و روش ردیابی پرتو صورت می‌پذیرد. درعین‌حال می‌توان این محاسبات را برای مختصات نقطهٔ میانی و نیم دورافت نیز به‌انجام رساند. در این صورت رابطه (۱) به رابطه (۲) تبدیل می‌شود (هوا و مک مکان، ۲۰۰۳):

$$\Delta P_M(x, t) = \frac{1}{N_{offset} \sum_{N_{offset}, MP} w_{ij}(x, t) \cdot \Delta p \tau_{ij} \quad (2)$$

باید دقت کرد که تبدیل مختصات، زمان سیر (τ_{ij}) موج را تغییر نمی‌دهد، ولی وزن نمونه‌ها (w_{ij}) را دستخوش تغییر خواهد کرد. همچنین محاسبه مقدار تابع گرین در این روش در زمان کمتری نسبت به سایر روش‌های مشابه صورت می‌گیرد (شلایشر و همکاران، ۲۰۰۸). به‌منظور بررسی



شکل ۳. مراحل گوناگون کوچ PSTM به کمک مدل سرعت عمقی و مدل سرعت کوچ (روبین، ۲۰۰۳)

که به کمک آن عملگر صورت می گیرد، افزایش می یابد.

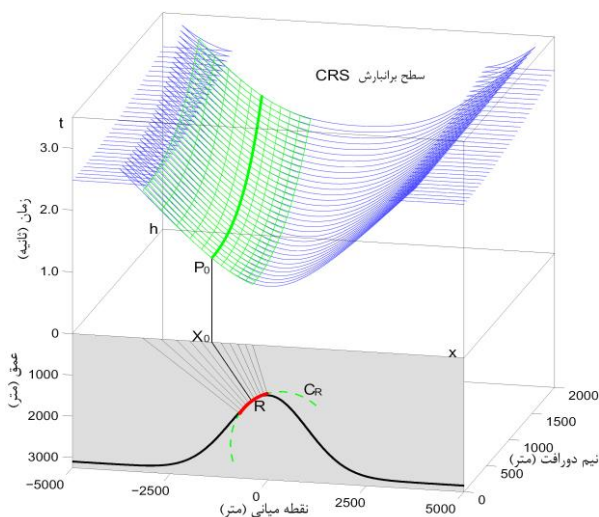
۴. تلفیق روش های CRS و PSTM

از جمله مشکلات روش CRS، می توان به نحوه تصویری کردن شیب های متداخل، در محل برخورد پاسخ بازتابی پراش ها و بازتابنده ها و همچنین در محل سه گانه ها یا اثرهای پاپیونی اشاره کرد. در این محل ها، پارامترهای به دست آمده با روش تحلیل همدوسی، دقیق نیستند (تیگل و همکاران، ۲۰۰۹). به همین علت، به کارگیری و تلفیق روش CRS در حوزه فرایند کوچ زمانی پیش از برانبارش، می تواند مسئله نبود تصویرسازی دقیق در روش PSTM و CRS را برطرف کند. روش CRS معمول که روی داده های قبل از برانبارش و کوچ به کار گرفته می شود، زمان سیر بازتابی دورآفت صفر را در حکم بسط مرتبه دوم سری تیلور، در مختصات نقطه میانی تقریب می زند. ولی اعمال روش CRS روی داده های کوچ داده شده در حوزه زمان، مقدار زمان سیر موج بازتابی برای دورآفت صفر را با همان بسط، اما این بار در مختصات دورآفت مشترک، تقریب می زند.

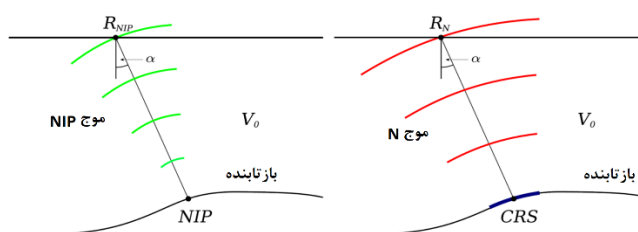
به این سه مشخصه، نشانگرهای جنبشی میدان موج اطلاق می شود. هوش و همکاران (۱۹۹۹)، به روش بسط تیلور، معادله هایی را برای به دست آوردن زمان سیر پرتوها به کمک نشانگرهای جنبشی میدان موج، عرضه کردند که در آن عملگر برانبارش CRS بدین گونه است (من، ۲۰۰۲):

$$t_{hyp}^2(X_m, h) = \left[t_0 + \frac{2\text{Sin}\alpha(X_m - X_0)}{V_0} \right]^2 + \frac{2t_0\text{Cos}^2\alpha}{V_0} \left[\frac{(X_m - X_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (3)$$

و R_{NIP} ، R_N و α مشخصه های میدان موج در روش CRS هستند. V_0 برابر سرعت لایه سطحی است که در دست است و نقطه ای که باید در مقطع دورآفت صفر شبیه سازی شود با X_0 نشان می شود که در واقع همان محل ورود پرتوی موج بازتاب به سطح زمین است. در شکل ۴، مشخصه های میدان موج در روش CRS و سطح برانبارش حاصل از این عملگر مشاهده می شود. هرچه انطباق این عملگر با سطح خم های زمان سیر بیشتر باشد، در این صورت عملگر، دقت بیشتری خواهد داشت و نسبت سیگنال به نوفه در برانبارشی



(الف)



(ب)

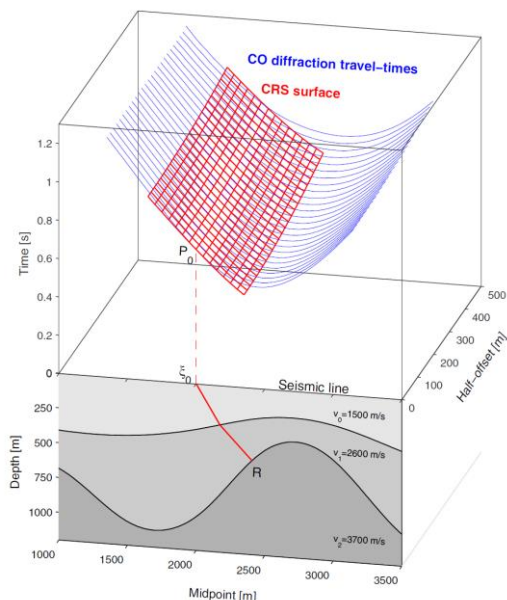
شکل ۴. (الف) قسمت پایین، بازتابنده تاقدیسی شکل در حوزه عمق با پرتوهای دورآفت صفر ZO که بر بخش سرخ‌رنگ بازتابنده R عمود هستند. قسمت بالا، سطح حاصل از زمان‌سیرهای دورآفت مشترک (سطح آبی‌رنگ، ایدئال) و سطح بازتاب مشترک (سطح سبز رنگ، موردنظر) برای بازتابنده R . هرچه انطباق این دو سطح بیشتر باشد، در این صورت عملگر دقت بیشتری دارد و (ب) شعاع و جبهه موج نرمال (N) و شعاع و جبهه موج عمود در نقطه ورود را نشان می‌دهد (یگر و همکاران، ۲۰۰۱).

عملگرهای این دو حوزه دیده می‌شود، این توانایی در عملگری که در حوزه دورآفت مشترک فعالیت می‌کند، وجود دارد. بنابراین عملگر CRS در حوزه دورآفت مشترک، بدین منظور انتخاب می‌شود. پس از تعیین چیدمان دورآفت مشترک به‌منزله حوزه مشترک بین دو روش CRS و PSTM، اکنون باید مشخص شود که در یک صفحه CRS بهینه، میزان انطباق این صفحه با کدامیک از صفحه‌های زمان‌سیر بازتاب یا پراش بیشتر است. این مسئله باید با توجه به نوع شیوه کوچی که در روش PSTM برای تلفیق مدنظر است، انتخاب شود. شکل ۴ سطوح عملگر برانبارش CRS را در انطباق با سطوح زمان‌سیر بازتاب (شکل ۵-الف) و در انطباق با سطوح پراش (شکل ۵-ب) نشان می‌دهد.

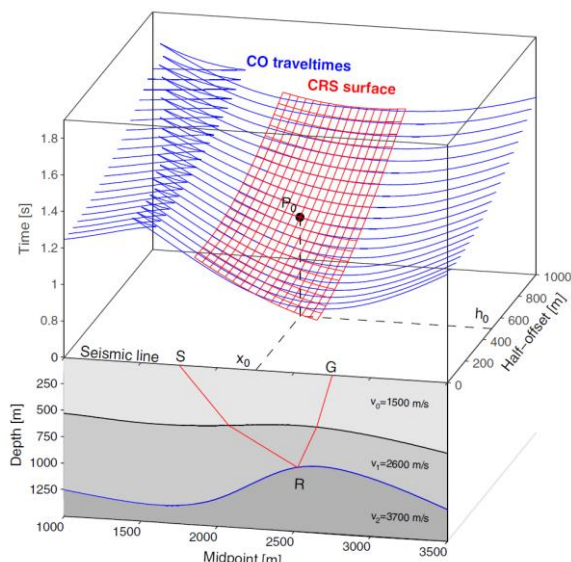
به‌منظور تلفیق این دو روش با یکدیگر، در ابتدا لازم است که نوع حوزه‌ای که داده‌ها باید در آن مرتب شوند، مشخص شود. این مسئله بسیار حیاتی است، چرا که شکل عملگر CRS در حوزه‌های گوناگون، متفاوت است. جدول ۱، حوزه‌ای که داده‌ها باید در آن مرتب شوند، هدف و نوع کاربرد عملگرهای CRS در هر حوزه را نشان می‌دهد. آن‌گونه که در این جدول دیده می‌شود، عملگرهایی که در حوزه نقطه میانی مشترک و گیرنده مشترک فعالیت دارند، برای تلفیق با کوچ زمانی مناسب نیستند. ولی عملگرهایی را که هم در حوزه دورآفت مشترک و هم در چشمه مشترک وجود دارند، می‌توان برای کوچ زمانی مورد استفاده قرار داد. با توجه به آنکه هدف دیگر از تلفیق این دو روش، کاستن از حساسیت مدل سرعت در کوچ است، آن‌گونه که در کاربرد

جدول ۱. حوزه‌های متفاوت مرتب کردن داده‌ها و تعیین عملگر CRS با توجه به کاربرد آن، (گارابیتو و همکاران، ۲۰۱۱)

کاربرد	هدف	مرتب کردن داده‌ها در حوزه‌های
آشکارسازی بهتر رخداد‌های بازتابی	شبیه‌سازی مقطع دورآفت صفر (ZO)	نقطه میانی مشترک (CMP)
آشکارسازی بهتر رخداد‌های بازتابی تهیه مدل سرعت با نشانگرهای جبهه موج در نظر گرفتن موج‌های تبدیلی	کوچ عمقی / زمانی دامنه صحیح تحلیل دامنه در مقابل دورآفت (AVO)	دورآفت مشترک (CO)
آشکارسازی بهتر رخداد‌های بازتابی در نظر گرفتن موج‌های تبدیلی	کوچ عمقی / زمانی دامنه صحیح	چشمه مشترک (CS)
آشکارسازی بهتر رخداد‌های بازتابی در نظر گرفتن موج‌های تبدیلی	مراحل میانی برانبارش	گیرنده مشترک (CR)



(ب)



(الف)

شکل ۵. (الف) قسمت پایین، یک محیط سه‌لایه با لایه‌های همگن را نشان می‌دهد و قسمت بالایی، عملگر CRS. (سطح سرخ‌رنگ) در (الف) مقایسه با سطح زمان‌سیر بازتاب در حوزه دورآفت مشترک (سطح آبی‌رنگ) و (ب) مقایسه با سطح زمان‌سیر پراش در حوزه دورآفت مشترک (سطح آبی‌رنگ) را نشان می‌دهد (گارابیتو و همکاران، ۲۰۱۱).

روش کوچ پس از برانبارش کیرشهوف را من (۲۰۰۲) معرفی کرد. در این حوزه، رخداد فرضی پراش با نشانگرهای CRS تعیین شده است و قله پراش تعیین شده در حوزه دورآفت صفر، محل واقعی تصویر لرزه‌ای در کوچ زمانی را به دست می‌دهد. محل واقعی قله پراش در صفحه دورآفت صفر ($h=0$)، از رابطه (۴) به دست می‌آید (من، ۲۰۰۲):

همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، میزان انطباق عملگر CRS با سطح پراش در دورآفت مشترک (شکل ۵-ب) بیشتر است. لذا این عملگر به منظور تلفیق انتخاب می‌شود. پس از تعیین نوع عملگر و حوزه کارکرد آن، لازم است که چگونگی تلفیق این دو روش با یکدیگر بررسی شود و الگوریتم مورد نظر به دست آید. تلفیق روش برانبارش CRS در حوزه دورآفت صفر با

پارامترهای موردنظر در این معادله، برای قرار دادن در رابطه کوچ کیرشهوف (معادله ۲) استخراج شود. شکل ۷ چگونگی ایجاد هذلولی پراش در مرتب سازی های متفاوت داده و معادله های (۷)، رابطه های مربوط را نشان می دهند.

$$a_{CO} = \frac{\sin\beta_G}{v_G} + \frac{\sin\beta_S}{v_S} \quad (الف-۷)$$

$$b_{CO} = t_0 \left((4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2\beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2\beta_S}{v_S} \right) \quad (ب-۷)$$

که در آن، a_{CO} و b_{CO} پارامترهای کمکی هستند. این پارامترها محل قله پراش سطح برانبارش CRS در مقطع دورآفت مشترک را نشان می دهد که در شکل ۷ با نقطه سبزرنگ مشخص شده است. اکنون کافی است که این مختصات را در معادله ۲ قرار دهیم و بدین ترتیب محل قله پراش برای کوچ کیرشهوف، به کمک عملگر برانبارش CRS در دورآفت مشترک (CO-CRS) تعیین شود. اکنون لازم است که الگوریتم تلفیقی کوچ PSTM به روش کیرشهوف و برانبارش CO-CRS تهیه شود. بدین منظور لازم است که ابتدا داده ها براساس دورآفت مشترک مرتب شوند. سپس یک مدل ساده سرعت در نظر گرفته خواهد شد. در این هنگام نقطه های موردنظر برای کوچ انتخاب خواهند شد. پس از تعیین این نقطه ها، باید سطح برانبارش CRS در حوزه دورآفت مشترک تهیه شود. این عمل برای همه نقطه های داده و برای همه دورآفت ها صورت می گیرد و هر مقطع، جداگانه به روش کیرشهوف کوچ داده خواهد شد. در انتها، مکعب کوچ داده شده داده ها با سطح برانبارش CRS که در مرحله قبل برای هر نقطه تهیه شده بود، جمع می شود. پس از این عمل، درنهایت، مقطع دویعدی کوچ داده شده به دست خواهد آمد. این فرایند به ترتیب در شکل ۸ نشان داده شده است.

۵. اعمال روش تلفیقی روی داده واقعی

به منظور آزمایش این روش، داده ای از غرب ایران با ساختار پیچیده در نظر گرفته شده است. خط برداشت انتخاب شده دارای طول حدود ۲۰ کیلومتر است که ۲۶۶

$$(۴-الف) \quad \partial t_{hyp}(x_m, h=0) / \partial x = 0$$

$$(۴-ب) \quad x_{apex} = x_0 - \frac{R_{NIP} t_0 v_0 \sin\alpha_0}{2R_{NIP} \sin^2\alpha_0 + t_0 v_0 \cos^2\alpha_0}$$

$$(۴-ج) \quad t_{apex}^2 = \frac{t_0^3 v_0 \cos^2\alpha_0}{2R_{NIP} \sin^2\alpha_0 + t_0 v_0 \cos^2\alpha_0}$$

به منظور استفاده از این معادله ها در تلفیق با روش کوچ زمانی پیش از برانبارش، آنها را می توان براساس محل قله پراش (x_{apex} , t_{apex}) به جای محل معادل آن در حوزه دورآفت مشترک (x_0 , t_0) به صورت رابطه (۵) بازنویسی کرد:

$$(۵-الف) \quad t_{hyp}^2(x) = t_{apex}^2 + \frac{4(x - x_{apex})^2}{v_c^2}$$

$$(۵-ب) \quad v_c^2 = \frac{2v_0^2 R_{NIP}}{2R_{NIP} \sin^2\alpha_0 + t_0 v_0 \cos^2\alpha_0}$$

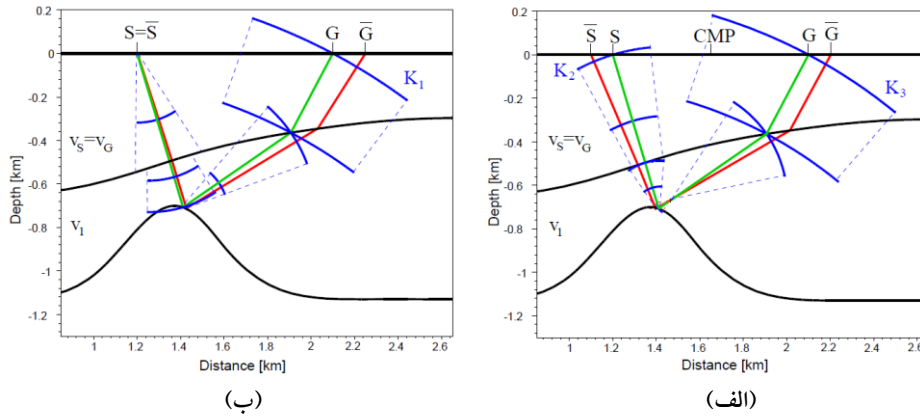
بدین ترتیب مقدار تعیین شده $t_{hyp}^2(x)$ برای دورآفت صفر $h=0$ را می توان در معادله (۱) قرار داد و با توجه به کوچ کیرشهوف، مقدار میدان موج را برای این نقطه محاسبه و عملیات کوچ را تکمیل کرد. به منظور اجرای این فرایند در حوزه دورآفت مشترک، باید مقداری برای (x_{apex} , t_{apex}) در دورآفت مشترک به منظور جای گذاری در معادله (۲) با عملگر CRS به دست آورد. معادله CRS در حوزه دورآفت مشترک به صورت رابطه (۶) است (برگر، ۲۰۰۱):

$$(۶) \quad t_{apex}^2(\Delta x_m, \Delta h) = \left[t_0 + \left(\frac{\sin\beta_G}{v_G} + \frac{\sin\beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m + \left(\frac{\sin\beta_G}{v_G} - \frac{\sin\beta_S}{v_S} \right) \Delta h \right]^2 + 2t_0 \left\{ \Delta x_m \left(K_3 \frac{\cos^2\beta_G}{v_G} + K_2 \frac{\cos^2\beta_S}{v_S} \right) \Delta h + \frac{1}{2} \Delta x_m \left((4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2\beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2\beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m + \frac{1}{2} \Delta h \left(K_3 \frac{\cos^2\beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2\beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m \right\}$$

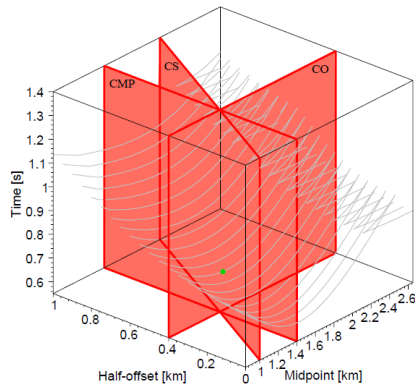
که در آن، K_1 شعاع خمیدگی موج در گیرنده در حالت چشمه مشترک، K_2 شعاع خمیدگی موج در چشمه در حالت نقطه میانی مشترک و K_3 شعاع خمیدگی موج در گیرنده در حالت نقطه میانی مشترک است. v_G و v_S سرعت موج در چشمه و گیرنده و β_G و β_S زاویه ورود پرتوی مرکزی در چشمه و گیرنده است. شکل ۶ این آزمایش ها را نشان می دهد. اکنون لازم است که

چشمه از یکدیگر ۷۵ متر است. مشخصات هندسی ذکر شده موجب ایجاد بیشینه چینش ۸۶ می‌شود، ولی در تعداد کمی از CDP ها به علت وجود کانال‌های بیشتر در برداشت، چینش ۹۲ است.

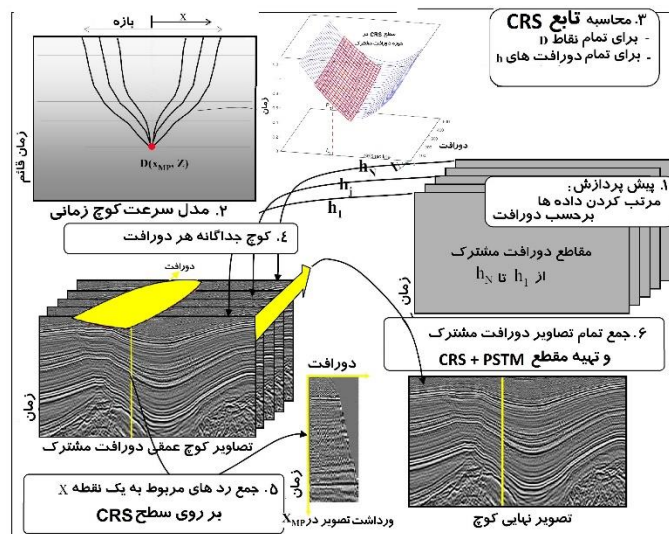
چشمه و ۵۱۲ کانال گیرنده را دربر می‌گیرد. کمترین دورافت برای انفجارهای پیش گفته ۹ متر و بیشترین دورافت ۶۴۶۳ متر است. گیرنده‌ها با فاصله ۲۵ متر از یکدیگر در طول خط چیده شده‌اند و فاصله نقطه‌های



شکل ۶. الف) آزمایش نقطه میانی مشترک و شعاع خمیدگی موج‌های مرتبط با CO-CRS و ب) همان آزمایش در حالت چشمه مشترک. در هر دو شکل، پرتوی مرکزی با رنگ سبز و پرتوی موازی با رنگ سرخ نشان داده شده است (هالی و همکاران، ۲۰۰۹).

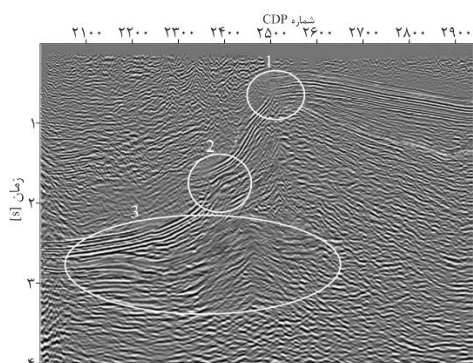


شکل ۷. تقاطع عملگر CO-CRS در حوزه‌های گوناگون. نقطه سبز، قله پراش در مقطع دورافت مشترک را نشان می‌دهد.



شکل ۸. نمودار ساده شده روش تلفیقی CRS و PSTM (با اعمال تغییرات از رویین، ۲۰۰۳)

همان‌گونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، به‌خاطر شدگی در برداشت‌های تصویر مشترک، به‌ویژه در زمان‌های زیاد، مطلوب نیست و نشان‌دهنده آن است که سرعت در این محل‌ها، بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی است. بنابراین تصحیح برون‌راند نرمال وارون با همان سرعتی که کوچ صورت گرفته، روی برداشت‌های تصویر مشترک اعمال می‌شود و سپس تحلیل سرعت برانبارش مرسوم صورت می‌گیرد. نتیجه تحلیل برون‌راند باقی‌مانده، روزآمد کردن مدل سرعت است که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. با اجرای دوباره کوچ و با استفاده از مدل سرعت روزآمد شده، مقطع‌هایی کوچ (شکل ۱۲) به‌دست می‌آید. برداشت‌های تصویر مشترک نشان داده شده در شکل ۱۰ نیز پس از اجرای کوچ جدید با مدل سرعت جدید، در شکل ۱۳ آورده شده است.

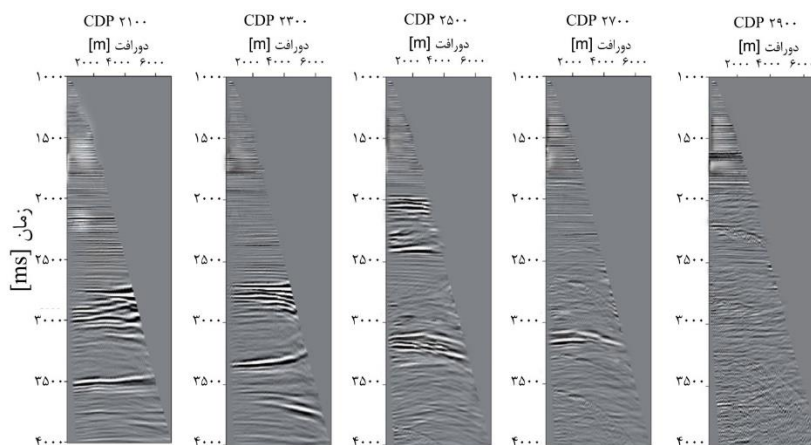


شکل ۹. مقطع اولیه کوچ زمانی پیش- برانبارش، با مدل سرعت اولیه. محدوده‌های با ساختار پیچیده درحکم هدف افزایش کیفیت تصویرسازی، با دایره مشخص شده‌اند. برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود.

به‌منظور شروع کوچ زمانی پیش از برانبارش کامل کیرشهوف، در ابتدا باید داده‌های پیش‌پردازش شده را براساس دورافت مرتب کرد. بدین‌منظور نیاز به بین‌بندی در محدوده دورافت است. برای راحتی کار، محدوده دورافت را به قسمت‌های مساوی تقسیم می‌کنند و هر یک را یک بین‌دورافت می‌نامند. لازم است بین‌بندی طوری صورت گیرد که تعداد ردهای قرار گرفته در هر بین‌دورافت تقریباً یکسان باشد. با توجه به بازه دورافت داده‌های موردنظر و مقدارهای استاندارد موجود، هر بین، ۲۰۰ متر در نظر گرفته شد تا در نهایت کل محدوده دورافت به ۳۲ بین‌دورافت تقسیم شود. پس از بین‌بندی داده‌ها در محدوده دورافت، کوچ داده‌های پیش‌پردازش شده به کمک الگوریتم کوچ زمانی پیش از برانبارش کامل کیرشهوف صورت گرفت. پس از اجرای تحلیل بازه کوچ، مقدار ۴۰۰۰ متر برای بازه کوچ کیرشهوف در نظر گرفته شد و تابع وزن‌دار نیز برای کاهش نوفه در گوشه‌های بازه کوچ با ضریب ۳۰٪ لحاظ شد.

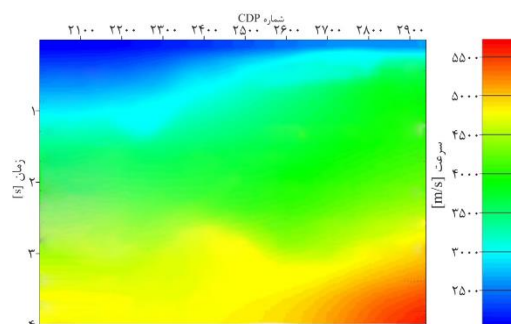
۶. نتایج و بحث

شکل ۹ نتیجه مقطع اولیه کوچ زمانی پیش- برانبارش و شکل ۱۰ تعدادی از برداشت‌های تصویر مشترک را نشان می‌دهد. با اعمال کوچ کیرشهوف و استفاده از سرعت مناسب، باید پدیده‌ها در برداشت‌های تصویر مشترک به خط شوند. بنابراین به‌مانند عملگر برون‌راند نرمال، در زمان‌های کم و دورافت‌های زیاد، حالت کشیدگی رخ خواهد داد.

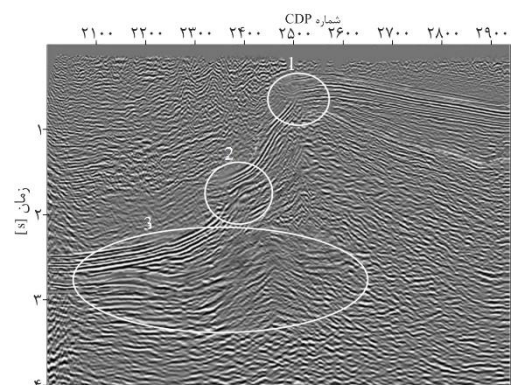


شکل ۱۰. مقطع‌های برداشت تصویر مشترک کوچ زمانی پیش- برانبارش با سرعت اولیه، بعد از حذف کشیدگی‌ها

مناسب تشخیص داده شد که تقریباً ۱/۵ برابر اولین ناحیه فرسnel برای زمان انتهایی داده‌ها است.

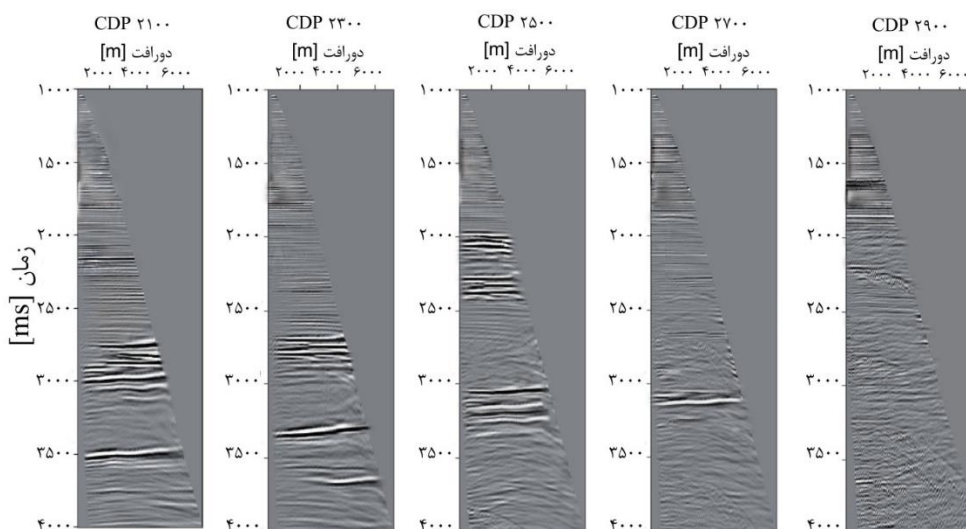


شکل ۱۱. مدل سرعت روزآمد شده به دست آمده از تحلیل برون‌راند باقی‌مانده



شکل ۱۲. مقطع کوچ زمانی پیش-برابری با استفاده از مدل سرعت روزآمد شده. محدوده‌های با ساختار پیچیده، درحکم هدف افزایش کیفیت تصویرسازی، با دایره مشخص شده‌اند. برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود.

تصویر زمانی به دست آمده از کوچ، نسبت به تصویر قبلی، در مناطقی که با دایره و بیضی مشخص شده بهبود یافته و تاقدیس کوچک نشان داده شده در محدوده بیضی نیز بهتر تصویر شده است. گوه‌های نزدیک به صفحه گسل روراند نیز نسبت به مرحله قبل، کیفیت بیشتری دارد. علاوه بر افزایش کیفیت تصویر کوچ زمانی، برداشتهای تصویر مشترک که در شکل ۱۳ نشان داده شده است، بیانگر افزایش دقت و صحت مدل سرعت است. در این برداشتهای، در بعضی از محلها بهبود زیادی در به خط‌شدگی پدیده‌ها دیده می‌شود که این مسئله نیز نشان‌دهنده انتخاب و دست‌چین کردن درست و واقعی سرعت است. پس از به دست آوردن مقطع نهایی کوچ زمانی دورافت صفر و همچنین دسته داده‌های کوچ داده شده زمانی پیش از برابری، نوبت به مرحله بعدی، یعنی ورود این مجموعه داده‌ها به مرحله CRS می‌رسد. پس از تصحیح برون‌راند نرمال وارون روی داده‌های کوچ داده شده با آخرین مدل سرعت به دست آمده، مجموعه داده‌ها آماده ورود به مرحله اجرای برابری CRS می‌شوند. یکی از پارامترهای بسیار مهم در پردازش به روش CRS، بازه دورافت صفر است. در این تحقیق برای داده‌های پیش گفته، پس از تحلیل، بازه ۳۵۰۰ متر درحکم بازه

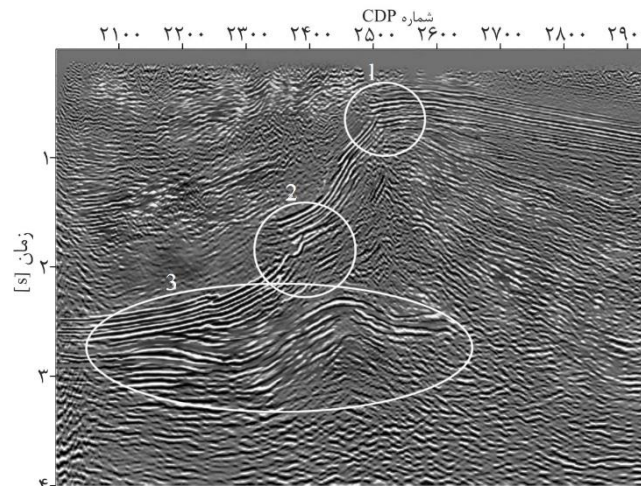


شکل ۱۳. مقطع‌های برداشتهای تصویر مشترک کوچ زمانی پیش-برابری با سرعت روزآمد شده، بعد از حذف کشیدگی‌ها

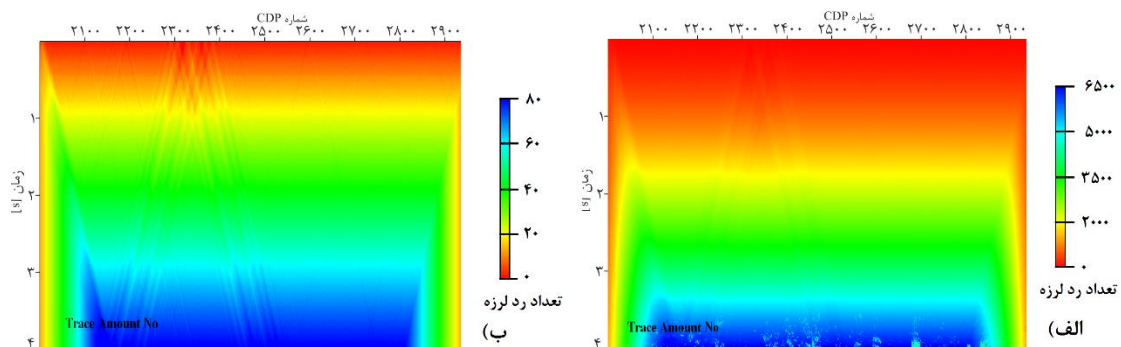
شماره های ۱ و ۲ مشخص شده و سمت چپ ناحیه ۳ بهتر تصویر شده اند. گوه قرار گرفته در سمت راست گسل روزانده در شکل ۱۴، پیوستگی و کیفیت بیشتری دارد. تاقدیس زیر گسل نیز، به نسبت بهتر تصویر شده است. بدین ترتیب می توان بیان کرد که به کمک ترکیب روش تصویرسازی CRS و الگوریتم کوچ کیرشهوف به روش PSTM می توان به تصویرسازی لرزه ای در ساختارهای زیرسطحی پرداخت. شکل ۱۵ تعداد ردلرزه هایی که در روش PSTM + CRS به منظور برانبارش در یک نقطه استفاده می شود را در مقایسه با تعداد ردلرزه های مورد استفاده در روش PSTM نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود، تعداد ردلرزه های مورد استفاده در روش PSTM + CRS، بسیار بیشتر است.

با اعمال تابع تعمیم بر بازه CRS به گونه ای که دومین ناحیه فرسnel نیز پوشش داده شود، به صورت عملی این نتیجه حاصل شد که با انتخاب بازه به نحوی که ناحیه اول و دوم فرسnel، برای همه داده ها پوشش داده شود، بهترین کیفیت تصویر حاصل خواهد شد. لذا بازه دورافت صفر مربوط به داده های ساختار پیچیده با استفاده از معیار ناحیه فرسnel به دست آمده از روش CRS برابر ۴۰۰۰ متر تعیین شد.

شکل ۱۴ مقطع نهایی برانبارش و بهینه شده روش برانبارش CRS را نمایش می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود، کیفیت مقطع افزایش یافته و تاقدیس موجود در محل بیضی نیز بهتر از مرحله قبلی تصویر شده است. در مقطع دوم کوچ داده شده (شکل ۱۴)، با سرعت روزآمد شده و بهبود یافته، شیب های متداخل در ناحیه هایی که با



شکل ۱۴. مقطع برانبارش شده و بهینه PSTM + CRS روی داده های کوچ داده شده. محدوده های با ساختار پیچیده در حکم هدف افزایش کیفیت تصویرسازی، با دایره مشخص شده اند. برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود.



شکل ۱۵. تعداد ردلرزه های مورد استفاده در پردازش، (الف) تعداد ردلرزه مورد استفاده در روش PSTM + CRS و (ب) تعداد ردلرزه مورد استفاده در روش

PSTM

۷. نتیجه گیری

CRS+PSTM نشان داده شد، اجرای برنبارش به روش CRS روی دسته داده‌هایی که کوچ زمانی پیش از برنبارش روی آنها صورت گرفته، باعث افزایش کیفیت مقطع و تصویرسازی بهتر بازتابنده‌ها در زمان‌های بیشتر و تصویرسازی شیب‌های متداخل شده است.

بسیاری از مقطع‌های لرزه‌ای مربوط به نواحی غرب و جنوب غربی ایران، دارای دو ناحیه هدف یکی در اعماق کمتر (مانند سازند آسماری) و دیگری در اعماق بیشتر (مانند گروه بنگستان) هستند، که در نواحی دارای ساختار پیچیده، تصویرسازی ناحیه هدف عمیق به علت کیفیت کم داده‌ها به خوبی صورت نمی‌گیرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در این گونه موارد به منظور افزایش کیفیت و همچنین پیگیری بهتر امتداد لایه بندی در صورت وجود گسل خوردگی و خم‌های پراش فراوان، در صورت نیاز به کسب اطلاع از جزئیات ساختار موجود، از روش PSTM+CRS در حکم روشی نوین و با وضوح تصویر جانبی زیاد می‌توان استفاده کرد.

مراجع

ریاحی، م. و بازرگانی، ف.، ۱۳۸۳، بررسی کارایی روش مهاجرت PSPC در پردازش داده‌های لرزه‌ای به دست آمده از محیط‌های دارای تغییرات جانبی سرعت، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۰(۲)، ۷۹-۹۱.

سلیمانی، م.، شاهسونی، ه. و مان، ی.، ۱۳۹۲، شناسایی گسل‌ها در داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی به روش سطح پراش مشترک بررسی موردی، منطقه گرابن راین، آلمان، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۹(۴)، ۳۱-۴۴.

نبی بید هندی، م.، قوامی، ش. و مرادی، م.، ۱۳۸۳، بررسی و مقایسه کوچ‌های زمانی قبل و پس از برنبارش، م. فیزیک زمین و فضا، ۳۰(۲)، ۵۵-۶۳.

شرایط لازم برای استفاده از روش‌های مرسوم کوچ و یا تصویرسازی لرزه‌ای، در محیط‌های با زمین‌شناسی و یا هندسه پیچیده و یا در حضور تغییرات جانبی سرعت در محیط انتشار موج، معمولاً فراهم نمی‌شود و یا تصویرسازی با خطای زیادی همراه می‌شود (نیتا، ۲۰۰۶). بدین ترتیب هم‌ارزی مقطع دورافت صفر شبیه‌سازی شده و مقطع دورافت صفر واقعی، کامل نخواهد بود و تصویر به دست آمده، بدون تمرکز رخدادها در محل واقعی‌شان است. به منظور حذف خطای تمرکز، می‌توان از روش‌هایی در تصویرسازی لرزه‌ای استفاده کرد که حل معادله میدان موج در آنها وابستگی کمتری به تغییرات سرعت موج در محیط داشته باشد.

روش تصویرسازی CRS به منزله روشی مستقل از مدل سرعت شناخته شده است که قابلیت افزایش کیفیت تصویر لرزه‌ای نهایی در ساختارهای پیچیده را دارد. از طرف دیگر کوچ پیش-برنبارش، هم در حوزه عمق و هم در حوزه زمان، با از بین بردن پراش‌ها و انتقال بازتابنده‌ها به مکان واقعی خود، تصویری با کیفیت قابل قبول از ساختارهای زیرسطحی به دست می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با اجرای کوچ پیش از برنبارش و تلفیق آن با روش CRS، که قاعداً باید در حوزه زمان صورت گیرد، قابلیت تهیه مقطع‌های لرزه‌ای با کیفیت بهتر در ساختارهای پیچیده فراهم می‌آید. بدین منظور در این تحقیق معادله‌های لازم به منظور تلفیق این دو روش تهیه شد و داده‌های مربوط در منطقه‌ای با ساختار پیچیده در غرب ایران، تحت پیش‌پردازش قرار گرفت. همچنین به منظور مقایسه، داده‌ها به روش PSTM نیز مورد پردازش قرار گرفتند.

همان‌گونه که در مقطع نهایی حاصل از روش

Baykulov, M., 2009, Seismic imaging in complex media with the Common Reflection Surface stack, Ph.D. Thesis, Hamburg University.

Baykulov, M., Brink, H. J., Gajewski, D. and Yoon, M. K., 2009, Revisiting the structural setting of the Glueckstadt Graben salt stock

Alaei B., 2006, An integrated procedure for migration velocity analysis in complex structures of thrust belts, Journal of Applied Geophysics, 59, 89-105.

Al-Yahya, K. M., 1989, Velocity analysis by iterative profile migration, Geophysics, 54(06), 718-729.

- family, North German Basin, *Tectonophysics*, 470, 162-172. doi: 10.1016/j.tecto.2008.05.027.
- Bergler, S., 2001, The common reflection surface stack for common offset- theory and application, Master Thesis Karlsruhe University.
- Biondi, B., 2006, 3D seismic imaging, investigations in geophysics, 14, SEG Publishing, Tulsa.
- Bóna, A., 2011, Shot-gather time migration of planar reflectors without velocity model, *Geophysics*, 76(2), S93-S101, doi: 10.1190/1.3549641.
- Bongajum, E., Milkereit, B., Adam, E. and Meng, Y., 2012, Seismic imaging in hardrock environments: the role of heterogeneity? *Tectonophysics*, 572-573, 7-15, doi: 10.1016/j.tecto.2012.03.003.
- Burnett, W. A., 2011, Multiazimuth velocity analysis using velocity-independent seismic imaging, Ph.D. thesis, University of Austin at Texas.
- Cameron, M., Fomel, S. and Sethian, J., 2008, Time-to-depth conversion and seismic velocity estimation using time-migration velocity, *Geophysics*, 73(5), 205-210.
- Canales, J. P., Tucholke, B. E. and Collins, J. A., 2004, Seismic reflection imaging of an oceanic detachment fault: Atlantis megamullion (Mid-Atlantic Ridge), *Earth and Planetary Science Letters*, 222, 543-560. doi: 10.1016/j.epsl.2004.02.023.
- Docherty, P., 1991, A brief comparison of some Kirchhoff integral formulas for migration and inversion. *Geophysics*, 56, 1164-1169.
- Dong, L., Zhenchun, L., Xiaodong, S., Ning, Q., and Xuefeng, Z., 2010, Prestack seismic data enhancement with the common-offset common reflection surface (CO CRS) Stack, 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, BMEI.
- Druzhinin, A., MacBeth, C. and Hitchen, K., 1999, Prestack depth imaging via model-independent stacking, *Journal of Applied Geophysics*, 42, 157-167.
- Fehler, M. C. and Huang, L., 2002, Modern imaging using seismic reflection data, *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 30, 259-284.
- Fomel, S., 2003, Time migration velocity analysis by velocity continuation. *Geophysics*, 68(5), 1662-1672.
- Garabito, Oliva, P., C. and Cruz, J. C. R., 2011, Numerical analysis of the finite-offset common-reflection-surface travel time approximations, *Journal of Applied Geophysics*, 74, 89-99.
- Garabito, C., 2014, Kirchhoff-type pre-stack time migration using the CRS stacking operator, 76th EAGE Conference & Exhibition.
- Gelius, L. J. and Tygel, M., 2015, Migration-velocity building in time and depth from 3D (2D) Common-Reflection-Surface (CRS) stacking - theoretical framework, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59(2), 253-282. doi: 10.1007/s11200-014-1036-6.
- Halley, P., Sule, R. and Sanny, T. A., 2009, Application of 2D common offset common reflection surface (CO-CRS) stack method towards synthetic data, 33rd annual convention and exhibition of Indonesian petroleum association.
- Hinsch, R., Krawczyk, C. M., Gaedicke, C., Giraudo, R. and Demuro, D., 2002, Basement control on oblique thrust sheet evolution: seismic imaging of the active deformation front of Central Andes Bolivia. *Tectonophysics*, 355, 23-39, doi: 10.1016/S0040-1951(02)00132-4.
- Höcht, G., de Bazelaire, E., Majer, P. and Hubral, P., 1999, Seismics and optics: hyperbolae and curvatures, *Journal of Applied Geophysics*, 42(3, 4), 261-281.
- Hua, B. and McMechan, G. A., 2003, Parsimonious 2D pre-stack Kirchhoff depth migration, *Geophysics*, 68, 1043-1051.
- Hubral, P., 1983, Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth, *Geophysics*, 48(8), 1051-1062.
- Hubral, P., 1999, Macro model independent seismic reflection imaging, *Journal of Applied Geophysics*, 42(3-4), 60-73.
- Jäger, R., Mann, J., Höcht, G. and Hubral, P., 2001, Common-reflection-surface stack: image and attributes, *Geophysics*, 66(1), 97-109.
- Karazincir, M. H. and Gerrard, C. M., 2006, Explicit high order reverse time pre-stack depth migration, *Expanded Abstracts, SEG*, 2353-2357.
- Keydar, S., Medvedev, B., Al-Zoubi, A., Ezersky, M. and Akkawi, E., 2013, 3D imaging of Dead Sea area using weighted multipath summation: a case study, *International Journal of Geophysics*, 2013, Article ID 692452, 1-7, doi: 10.1155/2013/692452.
- Khoshnavaz, M. and Urosevic, M., 2013, A comparative overview of velocity-independent imaging's methods, *ASEG Extended Abstracts*, 2013, 1-5. doi: 10.1071/ASEG2013ab078.
- Landa, E., Fomel, S. and Moser, T. J., 2006, Path-integral seismic imaging, *Geophysical Prospecting*, 54, 491-503, doi: 10.1111/j.1365-2478.2006.00552. x.
- Leite, L. W. B., Lima, H. M., Heilmann, B. Z. and Mann, J., 2010, CRS-based Seismic

- Imaging in complex marine geology, 72nd EAGE Conference & Exhibition, Barcelona, Spain, P396.
- Liu, Q. and Gu, Y. J., 2012, Seismic imaging: From classical to adjoint tomography, *Tectonophysics*, 566-567, 31-66, doi: 0.1016/j.tecto.2012.07.006.
- Mann, J., Jäger, R., Müller, T., Höcht, G. and Hubral, P., 1999, Common-reflection-surface-stack, a real data example, *Journal of Applied Geophysics*, 42(3,4), 301-318.
- Mann, J., 2002, Extensions and applications of the common-reflection-surface stack method, Logos Verlag, Berlin.
- Matsushima, J., Okubo, Y., Rokugawa, S., Yokota, T., Tanaka, K., Tsuchiya, T. and Narita, N., 2003, Seismic reflector imaging by prestack time migration in the Kakkonda geothermal field, Japan, *Geothermics*, 32, 79-99, doi: 10.1016/S0375-6505(02)00052-4.
- Menyoli, E., Gajewski, D. and Huebscher, C., 2004, Imaging of complex basin structure with common reflection surface (CRS) stack method, *Geophysical Journal International*, 157, 1206-1216, doi: 10.1111/j.1365-246X.2004.02268. x.
- Müller, T., 1999, The Common reflection surface stack method – seismic imaging without explicit knowledge of the velocity model, *Der Andere Verlag*, Bad Iburg.
- Nita, B. G., 2006, A comparison of the imaging conditions and principles in depth migration algorithms, *International journal of tomography and statistics*, 4(6), 5-16.
- Ottolini, R., 1983, Velocity independent seismic imaging, in SEP-37, Stanford Exploration Project, 59-68.
- Prüssmann, J., Frehers, S., Ballesteros, R., Caballero, A. and Clemente, G., 2008, CRS based depth model building and imaging of 3D seismic data from the Gulf of Mexico Coast, *Geophysics*, 73, 303-311.
- Robein, E., 2003, Velocities, time imaging and depth imaging in reflection seismic, principles and methods, EAGE Press, Netherlands.
- Robein, E., 2010, Seismic imaging, EAGE Press, Netherlands.
- Santos, H. B., Schleicher, J. and Novais, A., 2013, Initial-model construction for MVA techniques, 75th EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC.
- Sava, P. and Hill, S., 2009, Overview and classification of wavefield seismic imaging methods, *The Leading edge*, 28(2), 170-183, doi: 10.1190/1.3086052.
- Sava, P. and Fomel, S., 2006, Time-shift imaging condition in seismic migration, *Geophysics*, 71(6), S209-S217, doi: 10.1190/1.2338824.
- Schleicher, J., Costa, J. C. and Novais, A., 2008, Time-migration velocity analysis by image-wave propagation of common-image gathers, *Geophysics*, 73(5), 161-171.
- Schultz, P. and Sherwood, J., 1980, Depth migration before stack, *Geophysics*, 45, 376-393.
- Siliqi, R., Herrmann, P., Prescott, A. and Capar, L., 2007, Automatic dense high order RMO picking EAGE 69th Conference & Exhibition, Extended abstracts, PO37.
- Tomas, C. and Gallo, C., 2014, 3D common offset CRS for data preconditioning, 76th EAGE Conference & Exhibition.
- Tygel, M., Ursin, B., Iversen, E. and de Hoop, M. V., 2009, An interpretation of CRS attributes of time-migrated reflections, *WIT Reports*, 13, 260-268.
- Virieux, J. and Operto, S., 2009, An overview of full-waveform inversion in exploration geophysics, *Geophysics*, 74(6), 1-26.
- Wang, T. K., Chen, M. K., Lee, C. S. and Xia, K., 2006, Seismic imaging of the transitional crust across the northeastern margin of the South China Sea, *Tectonophysics*, 412, 237-254, doi: 10.1016/j.tecto.2005.10.039.
- Yang, K., Bao-shu Chen, B. S., Wang, X., J., Yang, X., J. and Liu, J. R., 2012, Handling dip discrimination phenomenon in common-reflection-surface stack via combination of output-imaging-scheme and migration/demigration, *Geophysical Prospecting*, 60, 255-269.
- Yoon, M. K., Baykulov, M., Dümmling, S., Brink, H. J. and Gajewski, D., 2009, Reprocessing of deep seismic reflection data from the North German Basin with the common reflection surface stack, *Tectonophysics*, 472, 273-283, doi: 10.1016/j.tecto.2008.05.010.
- Yilmaz, O., 2001, Seismic data analysis, Society of Exploration Geophysicists.
- Zhao, D., Huang, Z., Umino, N., Hasegawa, A. and Yoshida, T., 2011, Seismic imaging of the Amur–Okhotsk plate boundary zone in the Japan Sea, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 188, 82-95, doi: 10.1016/j.pepi.2011.06.013.