ارائه راهبرد خودکار بهروزرسانی مدل سرعت به کمک کاهش برونراند عمقی باقیمانده در حالت وجود تغییرات جانبی و بیهنجاری سرعت

احسان آقابرار'، مهرداد سلیمانی منفرد"۲۰ و امین روشندل کاهو ۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد، لرزه شناسی، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران ۲ دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران ۲ پژوهشگر موسسه ژئوفیزیک، موسسه فناوری کارلسروهه، کارلسروهه، آلمان ۴ دانشیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰)

چکیدہ

وجود تغییرات جانبی در سرعت انتشار موج در محیط و وجود بیهنجاریهای سرعت، بهویژه بیهنجاریهایی که تباین مثبت زیادی با مقدار سرعت زمینه دارند، در کنار ساختارهای زمین شناسی با هندسه پیچیده، تصویر سازی لرزهای را با دشواری روبه رو می کند. وجود بیهنجاری سرعت باعث نادرست شدن مقدار سرعت در سلولهای مجاور بیهنجاری در به روزرسانی مدل سرعت خواهد شد. کنترل و تصحیح برون راند رخدادهای بازتابی در ورداشت تصویر مشترک، روش مرسوم در به روزرسانی مدل سرعت است. به همین دلیل افزایش فرایند به روز رامای در حوزه عمق نیازمند کاهش میزان برون راند عمق باقیمانده در ورداشت عمقی مشترک است. در روشهای مرسوم، فرایند به روز رسانی مدل سرعت و کاهش برون راند عمق باقیمانده، با معرفی پارامتر گاما که برابر با نسبت مدل سرعت دو اولیه است، به فرایند تعیین مقدار بهینه پارامتر گاما تغییر می کند. در روش پیشنهادی در این تحقیق، برای کاهش زمان فرایند به روز رسانی مدل سرعت و افزایش دقت مدل سرعت نهایی، با تعیین بازه و گام افزایش مناسب، همه جوابهای ممکن برای پارامتر گاما درنظر گرفته می شود و با استفاده از همه مدل های سرعت، تصویر سازی عمقی صورت می گیرد. سپس با توجه به میزان برون راند عمق در ورداشت عمقی مشتر ک، پارامتر گاما در بالا و پایین بی هنجاری سرعت، تصویر سازی و تام افزایش مناسب، همه جوابهای ممکن برای پارامتر گاما درنظر گرفته می شود و با استفاده از همه مدل های سرعت، تصویر سازی عمقی صورت می گیرد. سپس با توجه به میزان برون راند عمق در ورداشت عمق مشتر ک، پارامتر گاما در بالا و پایین بی هنجاری سرعت به دست می گیرد. سپس با توجه به میزان برون راند عمق در ورداشت عمق می شود و با استفاده از و هم مدل های سرعت، تصویر سازی عمقی صورت می گیرد. نود کار مقادیر سرعت در این محدودها دوباره انجام می شود و با استفاده از و هم مدل های سرعت به سرعت به دست می آید و دست چین کردن خود کار مقادیر سرعت در این محدودها دوباره انجام می شود و باره تعیین می شود، مدل های جد سرعت به دست می آید و دست چین کردن خود کار مقادیر سرعت در این محدوده دوباره انجام می شود. فرایند پرسرعت گرمی این اجرا شد. نتایج نشان داد که روش پیشنهادی، تغییرات مدل سرعت را خوب مدل می کند و باعث دومی با وجود سازند پر سرعت را و شوست می شان داد که روش پیشنهادی، تغییرات مدل سرعت را خوب مدل می کندن و بو مدل

واژههای کلیدی: بی هنجاری سرعت، تصویر سازی لرزهای، برون راند عمق باقیمانده، ورداشت عمقی مشترک، ورداشت تصویری مشترک

۱ مقدمه

تصویرسازی لرزهای در مناطقی با پیچیدگی ساختاری، تويو گرافي شديد و تغيير شديد سرعت لايه هاي سطحي، همواره با دشواری روبهرو است و درنهایت، به تهیه تصویر زيرسطحي ضعيف منجر مي شود. چين خوردگي لايه هاي زمین شناسی در عمقهای مختلف، مسبب وجود تغییرات افقى و عمودي سرعت است (لي و همكاران، ۲۰۱۷). وجود تغییرات افقی در مدل سرعت و همچنین وجود لایههای بسیار پرسرعت (بی هنجاری های سرعت) باعث پیچیدگی بیشتر و کاهش دقت فرایند بهروزرسانی مدل سرعت و درنهایت، افزایش عدم قطعیت در تصویر لرزهای خواهد شد (جونز، ۲۰۱۰)؛ برای مثال، وجود لایه پرسرعت گچساران در غرب و جنوب غرب ایران، باعث منتقل نشدن کامل انرژی موج به محدوده زیرسطح لایه پرسرعت و درنتیجه، تصویرسازی نادرست میشود (سلیمانی و همكاران، ۱۳۹۲). وجود لايه پرسرعت بهويژه وقتى كه همراه با رخنمون این لایه و توپوگرافی بسیار خشن باشد، تصویرسازی لرزهای ساختارهای زیرسطحی را با دشواری بسیار روبهرو خواهد کرد. وجود همه این مشکلات در کنار يكديگر - كه شامل رخنمون سازند گچساران با ضخامت زیاد و متغیر و سرعت بسیار زیاد انتشار موج به همراه توپوگرافی بسیار خشن است – تهیه مدل سرعت لرزهای دقیق و تصویرسازی لرزهای با کیفیت مطلوب را در دادههای مربوط به این مناطق با دشواری همراه و در مواردی غیرممکن می کند (سلیمانی، ۲۰۱۷). فارغ از اینکه مدل سرعت از چه روشی بهدست آمده باشد، همگی این نمونهها بر دقت و صحت آن تأثیر خواهند داشت (لایته و ویرا، ۲۰۱۹). روش های تهیه مدل سرعت در چهار دسته تقسیمبندی شدهاند: تحلیل برونراند نرمال؛ تحلیل سرعت کوچ؛ توموگرافی زمان سیر و وارونسازی کامل شکل موج. در تمامی این روشها، ارزیابی صحت و دقت مدل سرعت بر معیار همخوانی مدل سرعت با دادههای لرزهای استوار است. همچنین تفاوت آنها در روش های اندازه گیری

تصویرسازی لرزهای از بخشهای مهم در مطالعات لرزەنگارى اكتشافى، زمينشناسى ساختارى زيرسطحى، اکتشاف ذخایر هیدروکربوری و زلزلهشناسی است. تصویرسازی لرزهای، در کنار فرایند پردازش سیگنال، از بخش های اصلی پردازش دادههای لرزهای برای بهدست آوردن بهترین تصویر ممکن از ساختارهای زيرسطحي است (علايي، ٢٠٠۶). مطالعات مختلف نشان دادهاند که تهیه تصویر لرزهای دقیق و با کیفیت پذیرفتنی، نیازمند مدل سرعت لرزهای دقیق و صحیح است (جونز، ۲۰۱۰)؛ ازاینرو کیفیت، دقت و صحت تصویر لرزمای بهدستآمده از دادههای لرزهای، متأثر از دقت و صحت مدل سرعت حاصل از فرایندهای تهیه مدل سرعت است (کامرون و همکاران، ۲۰۰۸). بهاین ترتیب، چه در مراحل پیش پردازش مانند برانبارش و چه در مرحله تصویرسازی یا کوچ، استفاده از مدل سرعت نادرست یا با عدم قطعیت زیاد، باعث تصویرسازی بازتابنده ها در محل های نادرست خواهد شد. در صورت وجود ساختارهای زیرسطحی با هندسه پیچیده و تغییرات جانبی سرعت، تهیه مدل سرعت در فضای دادهها غیردقیق و زمانبر است (فومل و لاندا، ۲۰۱۴). در این حالت، فضای تصویر، فضای مناسبتری جهت استخراج اطلاعات سرعت است؛ زیرا در صورت دقيق نبودن و نادرست بودن مدل سرعت، عملگر تصویرسازی در حوزه عمق نادرست عمل خواهد کرد و به میزان زیادی باعث همواری بیش از حد بازتابها و تصویرسازی نادرست خواهد شد. تصویرسازی لرزهای عمقي، تنها يك فرايند تصحيح هندسي نيست؛ بلكه ابزاري است جهت بهدست آوردن سرعت دقیق لرزهای در محیط انتشار موج (سدک و گراس، ۲۰۱۷). به این تر تیب می توان بیان کرد در فرایند تهیه مدل سرعت در تصویر سازی عمقی، دقت مدل سرعت در فرایند بهروزرسانی، افزایش بیشتری نسبت به تصویرسازی در حوزه زمان خواهد داشت.

۱۳۹۸). البته برای برطرف کردن مشکلات ناشی از وجود لايه پرسرعت مانند ايجاد مانع جهت انتقال انرژي به زير لايه پرسرعت، کاهش دقت و صحت مدل سرعت و کاهش کیفیت تصویر لرزهای، روشهای متفاوتی معرفی شده است که در دو بخش برداشت و پردازش بررسی میشوند. مایدانسکی و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که می توان با استفاده از آرایههای برداشت سهبعدی با آزیموت کامل یا آزیموت باز و همچنین برداشتهای دوبعدی زاویه باز (دورافت بلند) تا حدى بر اين مشكل فائق آمد. البته به دليل نیاز به الگوریتمهای پیشرفتهتر تصویرسازی، همچنان در دادههای برداشتشده به کمک این روشها در زیر لایه پرسرعت با ضخامت و گستردگی زیاد در سرتاسر محدوده برداشت بهبود دیده نمیشود. برای برطرف کردن این مشکل در بخش پردازش، یانگ و ما (۲۰۱۹) بیان کردند که تأکید بیشتر در بهبود تصویر لرزهای باید متمرکز بر بهبود مدل سرعت به کمک معرفی روشهای نوین در تهیه و بهروز رسانی مدل سرعت باشد. جونز و همکاران (۲۰۰۷) پیش از این نشان داده بودند که مدل های سرعت شبکهای یا تدریجی نمی توانند تباین زیاد سرعت در مدل های سرعت را نشان دهند؛ چون مقدار عددی سرعت در شبکهای متراکم از نقطهای به نقطه دیگر بسیار کم تغییر می کند و معمولاً این تغییرات به کمک توابع تدریجی در هر نقطه از مدل تعریف می شود. وودوارد و همکاران (۲۰۰۸) با تصویرسازی دادههای مربوط به محیطهای مختلف انتشار موج نشان دادند که استفاده از مدلهای سرعت شبکهای یا تدریجی در مناطقی مناسب است که رژیم سرعتی مشخص و گرادیان فشردگی معلوم در محیط انتشار موج داشته باشند. مدلهای سرعت لایهای که در آنها سرعت در هر لایه ثابت است یا بر اساس روابط سادهای در جهت افقی یا قائم تغییر میکند، نمیتوانند مرزهای تیز را در تغییرات سرعت مدل کنند (منتظری و همکاران، ۲۰۱۸). همچنین نتایج تصویرسازی در دادههای مختلف نشان

این معیار شامل میزان انحراف مدل سرعت از مقدار واقعی و چگونگی اعمال اصلاحات در فرایند بهروزرسانی مدل سرعت است. قدرت تفکیک در مدل سرعت و معیار شباهت در تحلیل مدل سرعت در اغلب روش های بیان شده، به ابعاد بازه انتخابی در معیار شباهت، عمق بازتابندهها، سرعت انتشار موج در روباره و فرکانس غالب در داده لرزهای وابسته است (مکدرموت و همکاران، ۲۰۱۹). روش های وابسته به معیار شباهت معمولاً حساسیت اندکی به تغییرات دامنه برحسب دورافت دارند و گستره دینامیکی کوچکی دارند که این دو مسئله، کاربرد این روشها را در محيطهايي با ساختار هندسي پيچيده و تغييرات جانبي سرعت محدود مي كند. علاوهبراين، افزايش پهنشدگي بی هنجاری های طیف سرعت با از دیاد عمق، در کنار کو تاه بودن دورافت در دادهها، افزایش عدم قطعیت در تعیین دقيق سرعت را به دنبال خواهد داشت. در روش تومو گرافي زمان سیر، بهبود مدل اولیه با کمینهسازی اختلاف بین زمان سیرهای اندازه گیریشده و زمان سیرهای مدلسازیشده صورت می پذیرد و معمولاً پس از چندین تکرار و به شرط همگرا بودن روند معکوسسازی، می توان مدل سرعت بهینه را یافت. در هر دو روش، اگر نسبت سیگنال به نوفه در داده لرزهای کم باشد، مشخص کردن و دستچین کردن بازتابندهها و زمان سیرها با دشواری انجام می گیرد. در تمامی روش های بیان شده، وجود نسبت سیگنال به نوفه کم در داده، تغییرات شدید توپو گرافی در سطح زمین محل برداشت، وجود ساختارهایی با وارونگی سرعت در محیط انتشار موج، وجود ساختارهایی با شیب تند و زمین شناسی پیچیده، همگی بر صحت و دقت مدل سرعت تأثیر خواهند داشت (سلیمانی و خلیل زاده، ۱۳۹۵). از مهمترین چالشهای تهیه یک مدل سرعت دقیق، وجود لایه پرسرعت در محیط انتشار موج است که بر هندسه مسیر پرتوها بهشدت تأثیر می گذارد و مانع انتشار کامل انرژی در محيط زير لايه پرسرعت خواهد شد (نظري و همكاران،

تصویرسازی در نقطه انتخابی، همچنان به مدل سرعت بهروزشده و نهایی وابسته است؛ به همین دلیل وجود بی هنجاری های سرعت در محدوده انتشار موج در این روشها نیز بر کیفیت و دقت تصویر لرزهای نهایی تأثیر خواهد داشت. ژیائو و همکاران (۲۰۰۸) با معرفی یک پارامتر جدید در یک راهبرد نو آورانه، به بررسی چگونگی رفع این مشکل در روش تومو گرافی زمان سیر در تهیه مدل سرعت در روش های تصویر سازی بر مبنای برونیابی میدان موج پرداختند. در آن راهبرد، بهروزرسانی مدل سرعت در فرایند توموگرافی به کمک تعیین میزان خطا در ورداشتهای تصویری مشترک Common Image) (Gathers-CIG انجام می گیرد. در راهبرد گفتهشده، پس از تعیین مدل سرعت اولیه و انجام فرایند تصویرسازی، ورداشتهای تصویری مشترک در سرتاسر طول برداشت استخراج و میزان خطا در هر بازتابنده تصویرشده در تصویر لرزهای نهایی محاسبه میشود. سپس با توجه به چگونگی توزیع خطا در ورداشتهای تصویری مشترک و تأثیر مقدار سرعت محیط پیرامونی در هر بازتابنده، مقدار سرعت هر لایه در مدل اولیه، به گونهای تغییر میکند که پس از تصویرسازی با مدل سرعت بهروزشده، مقدار خطا در ورداشت تصویری مشترک نهایی به مقدار پذیرفتنی برسد. بهاین ترتیب مدل سرعت در فرایند تومو گرافی به کمک ورداشتهای تصویری مشترک بهروزرسانی میشود. بااین حال این روش همچنان در مواجهه با بی هنجاری های زیاد سرعت خطای زیادی دارد. ژیائو و همکاران (۲۰۰۸) با تغییر در این راهبرد، مشکل تأثیر بی هنجاری سرعت در میزان خطای ورداشتهای تصویری مشترک را تا حدودی برطرف کردند. در راهبرد بهبودیافته، پس از انتخاب افقهای بالا و پایین بیهنجاری سرعت و با معرفی پارامتر جدید γ در معادلات بهروزرسانی، که در بخش بعدی معرفی خواهد شد، دقت و کیفیت تصویرسازی لرزهای بهبود یافت. باوجوداین، راهبرد بهبودیافته همچنان در

میدهد که این روش در محیطهای با رژیم سرعت و ضخامت بسیار متفاوت، مانند محیطهایی با میانلایههای فراوان گچی، نمکی و شیلی، پاسخگو خواهد بود (منتظری و همکاران، ۲۰۱۸)، ولی همچنان در مدل کردن بیهنجاریهای سرعت و جلوگیری از تأثیر سرعت این بی هنجاری ها در بهروز رسانی مدل در محدوده های مجاور بی هنجاری ایراد دارد (دونگ و همکاران، ۲۰۱۹). برای برطرف کردن این مشکل، نظری و همکاران (۱۳۹۸) راهبرد تهیه مدل سرعت به روش توموگرافی هیبریدی را پیشنهاد دادند. راهبرد هیبریدی بر پایه ترکیب مدلسازی شبکهای و مدلسازی لایهای استوار است. روش توموگرافی هیبریدی، محدوده بیهنجاری سرعت را به شکل یک محدوده هندسی با مرزهای کاملاً مشخص و با اختلاف سرعت زیاد در زمینه ای از مدل شبکه ای با تغییر ات بسیار اندک مدل می کند. این روش در مناطقی مناسب است که گرادیان سرعت رسوبات زمینه، متوسط و بیهنجاری سرعت بهمانند یک گنبد نمکی و بهصورت کاملاً متمایز از زمینه باشد. ولی در مناطقی که اختلاف بی هنجاری سرعت با مقدار زمینه اندک است، مانند محدودههای گلفشانی یا تودههای شیلی خشک شده یا محدودههایی که بیهنجاری سرعت بهمانند یک لایه پرسرعت در سرتاسر محیط انتشار موج وجود دارد (مانند لایه پر سرعت گچساران در مناطق غربی ایران)، تصویرسازی باکیفیت به کمک مدل سرعت تومو گرافی هیبریدی با دشواری همراه خواهد بود. روشهای کوچ معادله موج، کوچ زمانی معکوس و معکوسسازی شکل موج کامل، بسته به میزان کاهش خطاهایی که لایههای پرسرعت و قدرت تفکیکهای متفاوت ایجاد کردهاند، مي توانند براي بررسي اثر لايه پرسرعت استفاده شوند (شي و همکاران، ۲۰۰۶). این روشها که همگی از روشهای نوین تصویرسازی هستند، تا حدی از دقت و تغییرات مدل سرعت اوليه مستقل هستند، بااين حال برقراري شرايط

تصویرسازی مرز پایین محدوده بی هنجاری سرعت و همچنین ساختارهای زیر آن دچار مشکل است. در این پژوهش سعی شد با بهبود این راهبرد، مشکلات تصویرسازی ناشی از وجود بی هنجاری سرعت، که در روش پیشین همچنان پابرجا بود، بر طرف شود. همچنین برای بررسی کار آیی راهبرد بهبودیافته، این روش برای داده مربوط به یک مدل مصنوعی و دو داده میدانی، یکی مربوط به ناحیهای در شمال شرق ایران و دیگری مربوط به منطقهای در غرب ایران، اجرا و نتایج با روش های معمول تحلیل سرعت و توموگرافی موج ورود نرمال (NIP wave) مقایسه شد.

۲ راهبرد پیشنهادی در تهیه مدل سرعت رابل و همکاران (۲۰۱۷) بر اساس منشاء ایجاد خطا، عواملی را که باعث ایجاد عدم قطعیت در مدل سرعت می شوند به دو گروه تقسیمبندی کردند. گروه اول شامل محدودیت-های ذاتی در دادههای لرزهای است که برای نمونه می توان به طول برداشت محدود، پهنای باند محدود سیگنال و ناپیوستگی در ثبت امواج در حوزه مکان اشاره کرد. گروه دوم شامل فرضیات و سادهسازی هایی است که در مدلسازی محیط انتشار موج و شرایط توپو گرافی محدوده برداشت درنظرگرفته می شوند. تمامی نمونه های یادشده منشاء عدم قطعیت در مدل سرعت، باعث ایجاد برونراند غیرهذلولی در تحلیل سرعت خواهند شد. در فرایند تحلیل سرعت کوچ، فرض بر این است که مدل سرعت اولیه استفاده شده، تقریب درستی از مدل سرعت واقعی است و با بهروزرسانی های مکرر، به مقدار واقعی مدل سرعت نزدیک میشود. مطالعات نشان داده است که در هر صورت، مدل سرعت نهایی بهدست آمده حاوی درصدی عدم قطعیت خواهد بود که برای ایجاد خطا در تصویرسازی لرزهای، به اندازه کافی بزرگ است (وحید هاشمی و

سليماني، ١٣٩٣). روش معمول در حذف اين عدم قطعيت، که به شکل برونراند غیرهذلولی در تحلیل سرعت دیده می شود، استفاده از مفهوم برون راند باقیمانده RMO (Residual Move-Out) است. تحليل RMO روى ورداشتهاي نقطه بازتاب مشترك انجام مي شود. بااين حال همچنان این تصحیح درباره بازتابندههای شیبدار، تمرکز بهینهای از انرژی بازتاب در نقطه تصویرسازی ندارد؛ چون تصحيح برونراند باقيمانده، جابهجايي جانبي بازتابندهها ناشی از تغییر در سرعت کوچ را درنظرنمی گیرد. بهاینمنظور فنگ و رشف (۲۰۱۶) پیشنهاد کردند در بەروزرسانى مدل سرعت، تحليل برونراند باقيماندە روى ورداشتهای تصویری مشترک صورت گیرد. بهاین ترتیب که بهخط بودن رخدادها در ورداشتهای تصویری مشترک کنترل و با توجه به میزان برونراند آنها، مدل سرعت بهروزرسانی شود؛ بنابراین در محدودههایی که رویداد بازتابی غیرمتمرکز دارند، بررسی ورداشتهای تصويري مشترك در فرايند بهروزرساني مدل سرعت لازم است. تحلیل برونراند باقیمانده در ورداشتهای تصویری مشترک در روشهای معادله موج می تواند در حوزه دورافت و حوزه زاویه انجام گیرد. وجود برونراند باقیمانده در ورداشتهای تصویری مشترک، باعث ایجاد تصویرسازی نادرست از عمق بازتابنده می شود. میزان انحراف رخداد بازتابی موردنظر از عمق صحیح را برونراند عمق باقيمانده (Residual Depth Move-out) مینامند. میزان برونراند عمق باقیمانده، علاوه بر اینکه نشاندهنده سرعت نادرست در نقطه تصویرسازی است، اطلاعاتی را نیز از میزان دقیق سرعت دارد. رابطه بین برونراند عمق باقیمانده، سرعت (یا کندی) اولیه تقریبی و سرعت (یا کندی) دقیق به صورت زیر است (جونز، ۲۰۱۰):

$$z_m(x) = \sqrt{\frac{u^2}{u_m^2} z^2 + \left(\frac{u^2}{u_m^2} - 1\right) x^2}$$
(1)

که u کندی دقیق، u_m کندی تقریبی اولیه، x دورافت و z_m عمق تقریبی اولیه است. در صورت استفاده از این رابطه در یک مدل سرعت لایهای، مقدار برونراند عمق باقیمانده در نقطه تصویرسازی *ز*از رابطه زیر بهدستمی آید:

$$z_{res}(p) = \sum_{j=1}^{N} \Delta z_{m,j} (p = 0) \frac{u_{m,j}}{u_j}$$

$$\begin{cases} 1 - \frac{\left[(u_j)^2 - p^2 \right]^{1/2}}{\left[(u_{m,j})^2 - p^2 \right]^{1/2}} \end{cases}$$

$$z_{res}(p) = z \pm z_m(p) \qquad (-1)$$

که Z_{res} مقدار برونراند عمق باقیمانده، $u_{m,j}$ مقدار کندی اولیه تقریبی استفاده شده برای تصویر سازی در نقطه i, اولیه تقریبی $\Delta z_{m,j}$ ضخامت تقریبی لایه iام و q پارامتر پرتو است؛ پس از تصویر سازی، عمق تصویر شده برای بازتابنده تقریبی است و برونراند عمق باقیمانده برابر اختلاف عمق واقعی z و عمق تصویر شده با مدل سرعت اولیه تقریبی است. ورداشت های تصویری مشترک را در مختصات عمق-دورافت می توان نمایش داد. با تصویر کردن دورافت بر پارامتر پرتو، می توان معادله ۲-الف را برای حوزه عمق-دورافت به عنوان تابعی از دورافت به جای پارامتر پرتو بازنویسی کرد (جونز، ۲۰۱۰):

$$z_{res}(p) = \sum_{j=1}^{N} \Delta z_{m,j} (x = 0) \frac{u_{m,j}}{u_j}$$

$$\left\{ 1 - \frac{\left[(u_j)^2 - p^2(x) \right]^{1/2}}{\left[(u_{m,j})^2 - p^2(x) \right]^{1/2}} \right\}$$

$$z_{res}(x) = z(x) \pm z_m(x)$$
(..., T)

با استفاده از رابطه ۳-الف، می توان در یک مدل لایهای، سرعت میان لایه را در فرایند تحلیل سرعت کوچ

بهروزرسانی کرد. جونز (۲۰۱۳) از این رابطه برای بهروزرسانی مدل سرعت در ساختارهای بهنسبت ساده با تغییرات اندک جانبی سرعت استفاده کرد. در این فرایند از تحلیل شباهت وزندارشده روی ورداشتهای تصویر مشترک برای دستچین کردن سرعت دقیق استفاده میشود. در این فرایند تکراری، برای خودکار کردن و تسریع فرایند بهروزرسانی، پارامتر γ بهعنوان نسبت سرعت دقیق به سرعت انتخابشده معرفی میشود:

$$V_i(p) = \gamma_{pick,i} V_{mig,i}$$
 (i)-*)

$$z_i = \sum_{j=1}^{N} \gamma_{pick,j} \Delta z_j \qquad (-\mathbf{f})$$

که V_{mig} سرعت کوچ و $V_i(p)$ سرعت انتخاب شده در تکرار *i* ام است. درصورتی که از فرایند کوچ عمقی لایه به لایه از بالا تا پایین استفاده شود، می توان عمق هر باز تابنده را با استفاده از عمق دقیق و تصحیح شده لایه بالایی بهدست آورد؛ بنابراین می توان پارامتر γ را به عنوان نسبت عمق دقیق z_{mig} به عمق انتخاب شده z_i نیز معرفی کرد:

$$z_{i} = \sum_{j=1}^{l} \gamma_{pick,j} \Delta z_{j}, \qquad (\Delta - \Delta)$$

$$z_i = \gamma_{pick,i} z_{mig,i} \qquad (\Delta)$$

با شبیهسازی پارامتر γ مانند معادله دیکس (نوروزی، ۱۹۹۰)، ژیائو و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که می توان پارامتر γ را مانند سرعت ریشه میانگین مربعات درنظرگرفت و با کمک آن، مقدار پارامتر γ میان لایه را با استفاده از رابطه زیر بهدست آورد:

$$\gamma_i^2 = \frac{\gamma_{pick,i}^2 V_{rms,i}^2 t_i - \gamma_{pick,i-1}^2 V_{rms,i-1}^2 t_{i-1}}{V_{rms,i}^2 t_i - V_{rms,i-1}^2 t_{i-1}} \tag{9}$$

که V_{rms,i} سرعت ریشه میانگین مربعات و t_i زمان سیر دوطرفه است؛ بنابراین در ادامه می توان به کمک پارامتر γ،

تکرارهای زیاد در جهت رسیدن به جواب نهایی پرهیز و همه جوابهاي ممكن را به صورت همزمان مدل مي كند. در این راهبرد، پارامتر γ عددی است که در سرعت اولیه ضرب و مدل سرعت جدید حاصل میشود. این پارامتر یک بازه و یک گام افزایش دارد که همه جوابهای ممکن را برای مدل سرعت شامل می شود. هرچه بازه پارامتر γ بيشتر فرض شود يا گام افزايش پارامتر γ كمتر انتخاب شود، تعداد مدلهاي سرعتي لازم جهت جستجوى مدل سرعت واقعى افزايش خواهد يافت. براي مثال يك بازه معمول پارامتر γ می تواند بین ۸/۰ تا ۱/۲ با افزایش گام ضریب ۰/۰۲ باشد. در این صورت، پارامتر γ برای هر نقطه تصویر سازی تعداد ۲۰ مقدار برای سرعت دارد که اگر برای هر نقطه تصویرسازی ۲۰ حالت ممکن برای سرعت درنظر گرفته شود، با توجه به مستقل بودن مقادیر سرعت در نقاط تصویرسازی از یکدیگر، تعداد ۴۰۰ مدل سرعت بهدست میآید. این وضعیت همچنین برای بررسی ورداشتهای تصویری مشترک نیز برقرار است؛ برای نمونه اگر در همین وضعیت بازهای و گام افزایش برای پارامتر γ ، داده تعداد ۲۰۰۰ ورداشت تصویری مشترک داشته باشد و مقدار جهش بررسی ورداشتها برابر ۱۰ فرض شود، درآن صورت تعداد ۴۰۰۰ ورداشت تصویری مشترک برای هر نقطه وجود خواهد داشت که باید با یکدیگر مقایسه شوند. همگی این مقایسهها و تصویرسازیها بهصورت خودکار انجام خواهد شد، بااین حال می توان به سادگی دریافت که تعداد بسیاری از این جستجوها و مقایسهها درعمل از نظر فيزيكي بيمعنى هستند و مي توان تعداد جستجوها را با تعيين برخی قیود به مقدار چشمگیری کاهش داد. این قیود مي تواند شامل درنظر گرفتن محدوديت هايي در تعداد نقاط تصویرسازی و همچنین ارتباط مقادیر سرعت آنها با یکدیگر باشد. قیودی که در راهبرد پیشنهادی درنظر گرفته شد، محدودیتهایی بود که در روش توموگرافی مدل سرعت به روش معکوس سازی زمان سیر موج ورود نرمال

مدل سرعت لايهاي را بهروزرساني كرد. روش بيانشده در استفاده از یارامتر γ و تخمین برونراند عمق باقیمانده، دقیقتر از روش معمول بهروزرسانی مدل سرعت در فرایند تحليل سرعت كوچ است، ولى همچنان تغييرات جانبي سرعت را خوب مدل نمي كند. اين روش با توجه به استفاده از مفهوم برونراند عمق باقيمانده و فرايند تصويرسازي لايه به لایه از سطح تا عمق، توانایی تصویرسازی در زیر بى هنجارى هاى سرعت را دارد. در صورتى كه بتوان تغييرات جانبی سرعت را در این فرایند مدل کرد، می توان از این روش در تصویرسازی لرزهای در محیطهایی استفاده کرد که ساختارهای هندسی پیچیده و بیهنجاری سرعت دارند. همچنین برای افزایش دقت تحلیل سرعت و پرهیز از فرایند وقت گیر دستچین کردن پارامتر γ بهینه با استفاده از معیار شباهت، می توان این فرایند را برای مقادیری از پارامتر γ منتخب در بازهای از پیش معین انجام داد. سپس با استفاده از تمامی مدلهای سرعت بهدست آمده برای هر پارامتر ، میزان برونراند عمق برای هر بازتابنده در تمامی تصاویر لرزهای بهدستآمده محاسبه و سعی میشود در فرایند بهروزرسانی، این برونراند کاهش داده شود. در روش ژیائو و همکاران (۲۰۰۸) در تعیین مقدار پارامتر بهینه، برای هر عمق در داده لرزهای، یک مقدار برای پارامتر ۲ یا معادل آن، یک سرعت انتخاب می شود. در روش پیشنهادی، مقدار پارامتر γ برای هر ورداشت تصویر مشترک، مستقل از ورداشتهای مجاور انتخاب می شود. با توجه به اینکه این فرایند زمان محاسبات را بسیار افزایش میدهد، خودکار کردن آن به روشی که بیان شد، می تواند در حالت کلی با کاهش دخالت مفسر در دستچین کردن مقادیر بهینه سرعت، فرایند بهروزرسانی مدل سرعت را تسریع کند. برای انتخاب پارامتر γ بهینه، می توان معیار مدل سرعت دقیق را کاهش مقادیر برونراند عمقی کمتر از یک مقدار پذیرفته شده یا بررسی افقی بودن رخدادها در ورداشتهای تصویری مشترک فرض کرد. راهبرد پیشنهادی همچنین از

و تصویرسازی عمقی دوونک (۲۰۰۴) پیشنهاد شده بود؛ برای نمونه برخی از این قیود شامل محدود کردن نقاط تصویر سازی تنها برای نقاطی است که روی بازتابنده قرار دارند. همچنین جهت تعیین فاصله بین نقاط تصویر سازی، مقداری به عنوان حد آستانه در دو راستای افقی و قائم در نظر گرفته می شود. این حد آستانه در راستای افقی، با توجه به میزان پیوستگی بازتابنده، و در راستای قائم با توجه به تداخل رخدادهای بازتابی تعیین می شود. میزان اختلاف پذیرفتنی بین مقادیر سرعت در نقاط مجاور تصویرسازی در هر دو جهت افقی و قائم نیز به میزان فرضشده برای تحمل تغییرات جانبی مدل سرعت در مدل نهایی حد آستانهای وابسته خواهد بود. این قیود را سایر نشاندهندههای جنبشی میدان انتشار موج مانند شیب، انحناء، طول موجك يا يارامتر همدوسي كنترل مي كنند. بررسی، کنترل و تعیین دقیق همه این قیود در این پژوهش بهصورت کامل در دوونک (۲۰۰۴) بیان شده است. با اعمال این قیود در تحلیل مدل سرعت، می توان از پردازشهای اضافی جلوگیری و در زمان کلی تحلیل سرعت صرفهجویی کرد. پس از تصویرسازی با مقادیر مختلف مدل سرعت و کنترل ورداشتهای تصویری مشترک، مقدار پارامتر γ متناسب با سرعت دقیق در هر نقطه تصویرسازی یا برای هر بازتابنده در ورداشت تصویری مشترك انتخاب خواهد شد. در حالت كلي، انتخاب پارامتر γ مناسب، با کنترل خودکار میزان پیوستگی و افقی بودن رخدادها در ورداشت تصویری مشتر ک انجام می شود. پس از انتخاب پارامتر γ مناسب برای هر نقطه تصویرسازی، ضرايب بهدست آمده در مدل سرعت اوليه اعمال مي شود و مدل سرعت نهایی بهدستمی آید. درنهایت، با استفاده از مدل سرعت نهایی، تصویرسازی لرزهای یا کوچ عمقی پیش از برانبارش انجام خواهد شد. شکل ۱ نمودار گردش کار در راهبرد پیشنهادی تحلیل سرعت جهت تحمل تغییرات جانبی سرعت و همچنین بیهنجاری سرعت را

نشان میدهد. در ادامه، کارایی روش پیشنهادی روی دادههای مصنوعی و واقعی ارزیابی میشود. در ابتدا، روش پیشنهادی روی داده مصنوعی با یک میانلایه پرسرعت و همچنین مقاومت روش پیشنهادی در مقابل نوفه بررسی خواهد شد. در ادامه، یک داده دوبعدی مربوط به شمال شرق ایران با توپو گرافی ساده و هندسه زیرسطحی تا حدی پیچیده و یک داده دوبعدی دیگر مربوط به منطقهای در غرب کشور با توپو گرافی بسیار سخت و ساختار بسیار پیچیده بررسی می شوند.

با درنظر گرفتن رابطه ۳-الف، که برای حالت دوبعدی با تصویر کردن دورافت بر پارامتر پرتو بهدست آمده است، برای توسعه روش در حالت دادههای سهبعدی، تصویر کردن تنها در جهت x انجام نمی گیرد، بلکه تصویر کردن دورافت بر پارامتر پرتو در امتداد y نیز باید به این معادله اضافه شود؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{split} z_{res}(p) &= \\ \sum_{j=1}^{N} \Delta z_{m,j} \left(x = 0, y = 0 \right) \frac{u_{m,j}}{u_j} \\ & \left\{ 1 - \frac{\left[\left(u_j \right)^2 - p^2(x) - p^2(y) \right]^{1/2}}{\left[\left(u_{m,j} \right)^2 - p^2(x) - p^2(y) \right]^{1/2}} \right\} \\ z_{res}(x) &= z(x,y) \pm z_m(x,y) \end{split}$$

شایان ذکر است معادله ۷، برای حالت برداشت دوبعدی با خانک مربعی پیشنهاد می شود. درصورتی که bin در برداشت داده ها مستطیلی باشد، معادله متفاوتی لازم خواهد بود. برای حالت ساده خانک مربعی، تصویر کردن همزمان دورافت بر پارامتر در دو جهت، کار چندان ساده ای نیست؛ چون برای معادله حالت سهبعدی گفته شده، فرض شده است مقادیر کندی دقیق u و کندی تقریبی اولیه $u_{m,j}$ در دو جهت y و کندی تقریبی اولیه تا ستفاده است مقادیر کندی دقیق و u و کندی تقریبی اولیه تا استفاده اد و جهت y و معدار سرعت در دو جهت x و از معادلات (۷)، در عمل تغییرات سرعت در دو جهت به و نادیده گرفته شده و مقدار سرعت تنها در دو جهت به مقدار برابر سرعت در نقطه تصویر سازی، امتداد داده شده



شکل ۱. نمودار گردش کار در راهبرد پیشنهادی در تحلیل مدل سرعت در صورت وجودتغییرات جانبی و بی.هنجاری سرعت.

x و γ متفاوت باشد، باید این دو پارامتر را در دو جهت مختلف، متفاوت درنظر گرفت؛ بنابراین مقدار پارامتر γ میانلایه که برای حالت دوبعدی با استفاده از رابطه ۶ بهدستمی آید، برای حالت سهبعدی باید یک بار برای تغییرات در جهت x و یک بار برای تغییرات در جهت γ نوشته شود.

با توجه به اینکه صحتسنجی مدل سرعت در روش پیشنهادی بر مبنای افقی بودن بازتابها در ورداشت عمقی مشترک است، لازم است مسئله ناهمسانگردی در سرعت نیز درنظرگرفته شود؛ چون باعث خارج شدن بازتابها از است. این مسئله مدل سرعت بهدست آمده را از حالت واقعی خارج می کند؛ بنابراین لازم است که مقادیر کندی دقیق *μ* و کندی تقریبی اولیه *μ_{m,} بر*ای دو جهت متفاوت نیز منظور شوند. این مسئله، بیان معادله کامل سه بعدی را قدری دشوار و پیچیده خواهد کرد. مسئله همچنین زمانی پیچیده تر خواهد شد که بازه تغییرات پارامتر γ و گام تغییرات آن برای دو جهت متفاوت x و y، متفاوت درنظر گرفته شود. البته اگر روند تغییرات سرعت در دو جهت یکسان باشد، می توان هر دو مقدار را در هر دو جهت یکسان فرض کرد، ولی اگر تغییرات سرعت در دو جهت

حالت افقی در ورداشت عمقی مشترک خواهد شد. تشخيص اين موضوع كه انحراف بازتابها از حالت افقى در ورداشتهای تصویری یا عمقی مشترک مربوط به وجود ناهمسانگردی است یا گرادیان عمودی سرعت در اثر فشرده شدن رسوبات، مسئلهای دشوار است. این مشکل با توجه به نوع مسئله که حل کردن یا درنظرگرفتن سرعت دقیق در مناطق پرسرعت است، تحت تأثیر پارامتر η است که با توجه به روابط بین یارامترهای ناهمسانگردی با رابطه زير تعريف مي شود (جونز، ۲۰۱۰):

 $\eta = (\varepsilon - \delta)/(1 + 2\delta)$ که پارامتر η بیانگر نابیضوی کندی فاز و \mathfrak{s} و δ پارامترهای ناهمسانگردی تامسون هستند. مشاهده می شود که برای تعیین پارامتر η، به پارامترهای تامسون نیز نیاز است؛ ازاین رو مسئله اصلی در دسترس بودن اطلاعات چاه، داده-های با دورافت به اندازه کافی بلند و دادههای باکیفیت در دورافتهای بلند است که بتوان مسئله انحراف بازتابها از حالت افقى را در ورداشت تصويري مشترك يا ورداشت-های تصحیح شده برونراند نرمال مشاهده کرد و از هم تمیز داد. مطالعات نشان داده است که برای محیط با رسوب-گذاری معمول، با افزایش فشردگی نرمال در اثر افزایش عمق و گرادیان قائم سرعت معمول، میزان انحراف از حالت افقی برای مقدار ۳٪=η از شروع دورافتهای بیشتر از ۴

کیلومتر خود را نشان خواهد داد (جونز، ۲۰۱۰). با توجه به حالتهای بیانشده، در راهبرد پیشنهادی، فرض بر همسانگردی محیط است و این راهبرد نمی تواند ناهمسانگردی را درنظر بگیرد.

۳ اعمال الگوریتم روی داده مصنوعی

براي بررسي عملكرد روش پيشنهادي، مدلي مصنوعي تهيه شد (شکل ۲–الف). در این مدل مصنوعی هندسه و سرعتهای مختلفی برای هر لایه فرض شده است. طول مدل مفروض برابر ۱۲ کیلومتر و عمق آن ۵ کیلومتر است. شبیهسازی عملیات برداشت داده با تعداد ۴۸۱ چشمه و ۴۸۱ گیرنده بهصورت برداشت یکطرفه طراحی شد. برای برداشت هرچه چگالتر دادهها، فاصله بین گیرندهها و فاصله بین چشمهها هر دو، برابر ۲۵ متر درنظرگرفته شد. بهاین ترتیب، داده برداشت شده ۹۶۱ ورداشت نقطه میانی مشترک دارد. داده با نرخ نمونهبرداری ۴ میلی ثانیه و در زمان ۴ ثانیه ثبت شد. جدول ۱ مجموعه پارامترهای هندسی برداشت شبیهسازی شده در مدل مصنوعی را نشان میدهد. در مدل مصنوعي تهيهشده، يک لايه يرسرعت با سرعت ۴۵۰۰ متر بر ثانیه به شکل عدسی قرار داده شد که هدف از آن، بررسی تأثیر بیهنجاری سرعت در فرایند تحلیل سرعت و همچنین چگونگی تأثیر لایه پرسرعت بر هندسه

جدول ۱. پارامترهای هندسی شبیهسازی برداشت داده در مدل مصنوعی

هندسه نقطه میانی و دورافت		=	هندسه چشمه و گیرنده	
٩٦١	تعداد شبکه CMP	•	٤٨١	تعداد چشمەھا
٢٤	حداکثر تعداد چینش CMP		۲۵ متر	فاصله چشمهها
۱۲/۵ متر	فاصله بين شبكه CMP		٤٨١	تعداد گیرندهها
۳٤٥٨_ ١٤٠ متر	بازه دورافت		۲۵ متر	فاصله گيرندهها
	محتواي فركانس	=		پارامترهای ثبت
۸ تا ۱۰۰ هرتز	فر کانس	•	٥ ثانيه	زمان ثبت
۲۰ هرتز	فركانس غالب	_	٤ میلیثانیه	فاصله نمونهبرداري

(Λ)



شکل ۲. (الف) مدل مصنوعی ایجادشده برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی در زمان وجود لایه پرسرعت (ب) مسیر پرتوهای منتشرشده در مدل مصنوعی با روش ردیابی پرتو.

مناسبی برای دستچین کردن سرعت ندارند. همچنین هذلولی بازتاب قطع شدگی دارد که در ادامه، تصویر سازی را دچار مشکل خواهد کرد. در با توجه به در دستر س نبودن اطلاعات کافی به منظور ساخت مدل اولیه سرعت در گام ابتدایی، از روش شباهت برای ساخت مدل اولیه سرعت استفاده گردید. نتیجه دستچین کردن سرعت در گام استفاده گردید. نتیجه دستچین کردن سرعت در گام است به دلیل پایین بودن مقدار عددی چینش در ابتدا و انتهای مدل، تصویر سازی تنها در محدوده با مقدار عددی چینش حداکثر (چینش کامل) بین نقاط میانی مشتر ک ۱۵۰ تا ۹۰۰ انجام شد. همان گونه که مشاهده می شود، تا حدودی مسیر پرتوها است. شکل ۲-ب هندسه مسیر پرتو در شبیه سازی برداشت داده لرزه ای را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود، لایه پر سرعت مثل یک عدسی محدب عمل می کند و مسیر پرتوهایی را که از قسمت شیب دار لایه زیرین بازتاب پیدا می کنند، به فواصل دور تر از آخرین گیرنده منحرف می کند و به این ترتیب احتمال دارد رخدادهای بازتابی مربوط به لایه زیرین عدسی پر سرعت در هذلولی های بازتاب مربوطه وجود نداشته شکل، هذلولی های مربوط به ورداشت نقطه میانی مشتر ک شماره ۳۰۰ دیده می شود. در مربع قرمز رنگ مشخص شده



شکل ۳. پنجره شباهت در سمت چپ و پنجره هذلولیها در سمت راست. در هذلولی مربوط به قسمت شیبدار لایه زیرین، دقت و کیفیت هذلولیها کم شده و دستچین کردن سرعت مشکل است.

روش پیشنهادی روی دادهها اجرا شد. در روش پیشنهادی در مدل مصنوعی، افزایش گام پارامتر γ برابر ۲/۰۲ و بازه پارامتر 1⁄ بین ۱/۹۴ تا ۱/۰۶ فرض شد. البته به دلیل فرض پیچیدگی ساختاری متوسط برای مدل مصنوعی، افزایش گام تحلیل ورداشت تصویری مشترک برابر ۵۰ انتخاب شد. پس از انتخاب مناسب پارامتر γ ، مدل سرعت بهروزرسانی شد که در شکل ۵-الف نشان داده شده است. برای بررسی بهتر تفاوتهای بین مدل سرعت معمول و مدل سرعت بهینه، مستطیلهایی روی شکل ترسیم شده است. در مستطیل شماره ۱ در مدلهای سرعت شکل های ۴-الف و ۵-الف، که بیانگر لایه پرسرعت است، افزایش سرعت و تغییر محدوده سرعت در اثر فرایند بهروزرسانی دیده می شود. در مستطیل شماره ۲ در مدل های سرعت شکل های ۴-الف و ۵-الف، افزایش بازه سرعت در مدل سرعت معمول مشهود است که این مسئله در مدل سرعت بهینه برطرف شده است. در مستطیل شماره ۳ این مسئله مجدداً تكرار شده است كه محدوده سرعت در مدل بهينه، بازه

که البته این مقدار از همخوانی برای یک تصویرسازی مناسب پذیرفتنی نیست. برای بررسی خطاهایی که مدل سرعت اولیه در تصویرسازی ایجاد میکند، فرایند کوچ عمقی پیش از برانبارش با استفاده از این مدل اولیه انجام شد. نتیجه این تصویرسازی در شکل ۴-ب نشان داده شده است. همان گونه که در تصویر لرزهای بهدست آمده مشاهده می شود، بازتابنده زیرین در لایه پرسرعت علاوه بر آنکه ناقص تصویر شده است، خطاهای بالاکشیدگی و پایینافتادگی نیز دارد که هردو ناشی از وجود لایه پرسرعت است. در مربع شماره ۱ در شکل ۴-ب، عمق ابتدا و انتهای لایه پرسرعت درست نشان داده نشده است. ضخامت لایه پرسرعت نیز درست تصویر نشده است و مرز پایینی آن نیز بالاکشیدگی دارد. در مستطیل شماره ۲ در شکل ۴–ب، بههمریختگی و اغتشاش بازتابنده کاملاً مشهود است و عمق قرارگیری لایه را ۳۴۰۰ متر نشان می دهد که در اثر خطای مدل سرعت است. برای برطرف کردن مشکلات تصویرسازی مربوط به لایه پرسرعت،



شکل ٤. (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش معمول (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش به مدل سرعت معمول. مستطیل های روی شکل، محدودههایی هستند که تفاوت آنها با مدل سرعت بهینه و تصویر لرزهای آن بررسی میشود.

پایین افتادگی در لایه زیرین و همچنین در باز تابنده پایینی منطقه پر سرعت تصحیح و خود لایه پر سرعت با ضخامت واقعی تصویر شده است. البته مسئله تصویر نشدن باز تابنده شیب دار به دلیل نر سیدن پر توها در طول خط بر داشت را نمی توان به کمک فرایند بهبود مدل سرعت بر طرف کرد. برای این منظور لازم است با استفاده از روش های درون یابی، رخدادهای باز تابی از دست رفته در ردلرزههای مربوطه درون یابی شود؛ بااین حال با توجه به کاهش محدوده عملیات ردیابی پر تو، مسیر پر توها تصحیح و بخشی از باز تابنده شیب دار در قسمت چپ نیز تصویر شده محدودتر و نزدیک تر به مقدار واقعی دارد. برطرف کردن مشکلات مدل سرعت،باعث کاهش خطا در تصویر لرزهای خواهد شد. در گام بعدی، تصویرسازی لرزهای به کمک مدل سرعت بهینه انجام گرفت که نتیجه آن در شکل ۵-ب نشان داده شده است. در تصویرسازی به کمک مدل سرعت بهینه، خطاهای تصویرسازی در حد پذیرفتنی برطرف شده است که می تواند ناشی از تصحیح خطاهای مربوط به تأثیر لایه پرسرعت باشد. در مستطیل های شماره ۲ و ۳ مربوط به شکل ۵-ب، باز تابنده به صورت کامل تصویرسازی شده و عمق واقعی لایه نشان داده شده است. بالاکشیدگی و



شکل 0. (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش پیشنهادی (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش با مدل سرعت جدید. مستطیلهای روی شکل، محدودههایی هستند که تفاوت آنها با مدل سرعت معمول و تصویر لرزهای آن بررسی میشود.

است. البته گفتنی است با توجه به اینکه روش بهینهسازی مدل سرعت پیشنهادی از دسته روش های هدف مبنا است، احتمال دارد با بهبود مدل سرعت در محدوده منطقه پرسرعت، تصویرسازی در برخی قسمت ها دستخوش تغییر شود؛ برای مثال لایه بالایی مدل سرعت در شکل ۴-ب، که تصویرسازی به کمک مدل سرعت بهدست آمده به روش معمول است، کاملاً افقی تصویر شده است و مدل سرعت مربوط به آن نیز در شکل ۴-الف، یک مرز تغییر سرعت افقی را نشان میدهد. با توجه به استفاده از پارامتر γ در ورداشت های تصویری مشترک مربوط به این

محدوده، سرعت لایه موجود در بالای منطقه پرسرعت در فرایند تحلیل سرعت دچار قدری کشیدگی شده و تصویر لرزهای لایه افقی را قدری از حالت واقعی خارج کرده است. این مسئله برای لایه افقی بالایی در محدوده بین نقاط میانی مشتر ک ۳۰۰ تا ۶۰۰ در شکل ۵-الف مشاهده میشود، در حالی که در شکل ۴-الف، این مرز، افقی تصویر شده است.

همان گونه که پیشتر بیان شد، در راهبرد درنظر گرفته شده برای روش پیشنهادی، به مسئله بهبود کوچ تنها برای منطقه هدف بیشتر توجه می شود. با توجه به مدل مصنوعی

بازتابنده نیز به پیروی از این مدل سرعت، بهصورت نادرست مدلسازي مي شود، ولي محدوده عدسي پرسرعت درست مدل خواهد شد. شکل ۶-الف ورداشت تصویر مشترک پس از تصویرسازی لرزهای با مدل سرعت اولیه و شکل ۶-ب همان ورداشتها را در تصویرسازی لرزهای با مدل سرعت بهینه نشان میدهد. در مستطیل های شماره ۱، ۴ و ۷ در شکل ۶-الف، متمرکز نبودن انرژی های مربوط به بازتابنده افقى اول ديده مىشود كه پس از بەروزرسانى مدل سرعت، در مستطیل های شماره ۱، ۴ و ۷ در شکل ۶-ب، تمرکز و تفکیک بهتر انرژیهای آن مشاهده میشود. در مستطیل شماره ۲ در شکل ۶–الف، متمرکز نبودن و تفكيك بازتابندهها باعث تداخل ابتدا و انتهاى لايه پرسرعت شده است ولي پس از اعمال الگوريتم بيانشده، در مستطیل شماره ۲ شکل ۶–ب، تفکیک و تمرکز بهتر بازتابندهها دیده می شود که ابتدا و انتهای لایه پرسرعت را تفکیک کرده است. در مستطیل شماره ۵ در شکل ۶-ب، تمرکز و دامنه بازتابنده نسبت به مستطیل شماره ۵ در شکل ۶-الف، بهبود یافته است. مستطیل های شماره ۳، ۶ و ۹ در شکل ۶–ب، تمرکز و دامنه بهتری نسبت به مستطیلهای مشابه در شکل ۶–الف دارند و عمق صحیح ۴۰۰۰ متر را نشان میدهند. شایان ذکر است در ورداشت تصویر مشترک شماره ۷۵۰، لایه پرسرعت وجود ندارد ولی در رخدادهای لرزهایای که مسیر هندسه پرتوی آنها از محدوده لايه پرسرعت عبور كرده است، اثر بي هنجاري سرعت در مستطیل شماره ۸ در شکل ۶-الف دیده می شود که پس از اعمال الگوریتم بیانشده، اثر لایه پرسرعت به مقدار کمتری در مستطیل شماره ۸ در شکل ۶-ب وجود دار د.

برای بررسی تأثیر وجود نوفه بر عملکرد روش پیشنهادی، داده لرزهای مصنوعی در سطح زیاد (SNR= ۵) به نوفه آغشته و اثر آن بر نتیجه روش پیشنهادی بررسی شد. مقدار

تهیه شده در شکل ۲، هدف اصلی از ساخت این مدل، بررسی کارایی روش در محدودههایی با تباین سرعتی زیاد است که در این مدل به شکل یک عدسی پرسرعت مدل شده است. در نتیجه استفاده از روش معمول تهیه مدل سرعت و به دنبال آن کوچ، بازتابنده افقی بالای عدسی کاملاً صحیح و افقی تصویر شده است، درحالی که عدسی پرسرعت علاوه بر آنکه قدری جابهجایی به سمت بالا دارد، مرز پایینی آن نیز بالاآمدگی دارد. در مدل کوچ بهدست آمده به روش پیشنهادی، این موارد درباره عدسی پرسرعت، که هدف کوچ در این مدل است، درست تصویر شدهاند. این مسئله به میزان تغییرات سرعت در مدلهای سرعت بهدست آمده به این دو روش برمی گردد. در مدل سرعت بهدستآمده به روش معمول، با روند ساده انتخاب شده از سطح زمین، بازتابنده اول به دلیل انتخاب سرعت مناسب، درست تصویرسازی شده است، ولی پس از آنکه به عدسی پر سرعت میر سد، به دلیل انتخاب سرعت کم در ابتدا (که البته صحیح هم بوده است) و ناتوانی در رسیدن به سرعت خیلی زیاد عدسی پرسرعت در این فاصله کوتاه، بهاجبار سرعت کمتری را برای محدوده عدسی انتخاب مي كند و پس از عبور از عدسي، بلافاصله با كاهش سرعت روبهرو مي شود؛ بنابراين محدوده قرمزرنگ مربوط به عدسی در مدل سرعت معمول در شکل ۴-الف، محدوده كوچكي است با سرعت كمتر از مقدار واقعي. ولي در روش پیشنهادی، محدوده عدسی نشان داده شده در مدل سرعت شکل ۵-الف، محدوده بزرگئتری با مقدار سرعت نزدیک به واقعیت است. این افزایش محدوده عدسی پرسرعت در روش پیشنهادی، در فرایند بهروزرسانی مدل سرعت، بر محدودههای اطراف خود تأثیر دارد و مرز افقی بین محدودههای آبیرنگ و سبزرنگ در مدل سرعت که در روش معمول در شکل ۴-الف کاملاً افقی بود، در شکل ۵–الف قدری به بالا خمیده می شود و در پی آن، مرز



شکل ٦. (الف) نگاشت تصویر مشترک مربوط به مدل سرعت اولیه (ب) نگاشت تصویر مشترک مربوط به مدل سرعت بهروزرسانی شده. تفاوتها در مستطیل های شماره گذاری شده مشخص است.

عددی سیگنال به نوفه در دادههای آغشته به نوفه با رابطه زیر بهدستآمده است:

$$k = (1 \setminus SNR) \times (A_{max}/\sqrt{2})$$

$$/\sqrt{E_{sam}}$$
(1)

 $T = S + k \times N \tag{(-9)}$

که Amax بزرگ ترین مقدار مثبت دامنه سیگنال بدون نوفه، Esam میزان انرژی در نمونه، T ردلرزه آغشته به نوفه، S سیگنال بدون نوفه، N نوفه اضافه شده به داده، k مقیاس و SNR، نسبت سیگنال به نوفه است. شکل ۷ نتایج استفاده از داده مصنوعی آغشته به نوفه را نشان میدهد. همان گونه که در نتایج دیده می شود، در سطح نوفه زیاد، نوفه قدری بر

نتیجه مدل سرعت بهدست آمده و به دنبال آن بر نتیجه کوچ تأثیر دارد، ولی همچنان می توان مقطع بهدست آمده را پذیرفت. البته باید در نظر داشت که سطح نوفه بیشتر از حد معمول است و درعمل، سعی می شود که تا حد امکان از میزان نوفه اتفاقی در داده کاسته شود.

۴ اعمال الگوریتم روی مثال موردی اول برای بررسی بهتر کار کرد روش پیشنهادی، این روش روی دو داده دوبعدی واقعی اجرا شد. در این بخش مثال موردی اول پردازش می شود که مربوط به دادهای در



شکل ۷. (الف) ورداشتهای انفجاری مشترک از داده مصنوعی با آغشتگی به نوفه با مقادیر سیگنال به نوفه ۰/۰ (ب) مدل سرعت بهدستآمده برای داده مصنوعی آغشته به نوفه (ج) تصویر کوچ عمقی به کمک مدل سرعت نشان داده شده برای داده آغشته به نوفه.

هندسه نقطه میانی و دورافت		هندسه چشمه و گیرنده	
1907	تعداد شبکه CMP	 ٤٦٥	تعداد چشمەھا
72	حداکثر تعداد چینش CMP	۷۰ متر	فاصله چشمهها
۱۷/۵ متر	فاصله بين شبكه CMP	٩٩٧	تعداد گيرندهها
187201	بازه دورافت	 ۳۵ متر	فاصله گيرندهها
	محتواي فركانس		پارامترهای ثبت
۸ تا ۱۰۰ هرتز	فركانس	 ۷ ثانیه	زمان ثبت
۲۰ هرتز	فركانس غالب	 ٤ میلیثانیه	فاصله نمونهبرداري

جدول ۲. پارامترهای هندسی برداشت داده صحرایی (مثال موردی اول)

وجود این دو عامل زیر محدوده ناپیوستگی باعث ایجاد تغييرات عرضي سرعت خواهد شد. علاوه بر تغيير جنس سازندها بهصورت عرضي، خاصيت پلاستيک گلسنگھای زیر فشار نیز باعث پیچیدگی ہندسی ساختارهای زیرسطحی و پیچیدگی مدل سرعت میشود. این عوامل باعث کاهش پیوستگی رخدادهای بازتابی، افزایش عدم قطعیت و نبود تصویرسازی کامل از ساختارها در فرایند تصویرسازی لرزهای خواهد شد. شکل ۸-الف مدل سرعت بهدست آمده به روش معمول را نشان می دهد. همان گونه که مشاهده می شود، سرعت در عمق های کم، روند ساده افزایشی را دارد و تغییرات جانبی سرعت دیده نمیشود. این روند ساده در اعماق بیشتر تغییر میکند و پیچیدگی هندسی علاوه بر تغییر رخساره سنگی، باعث پیچیدهتر شدن مدل سرعت و همچنین تغییرات جانبی سرعت می شود. محدوده هایی را که تغییرات سرعت روند افزایشی نشان میدهد، با مستطیل در شکل ۸-الف نشان داده شده است. محدودههایی که در اعماق زیاد سرعت کمی دارند، مربوط به رخسارههای گلسنگی یا احتمالاً شیل هایی است که روند سریع از دست دادن آب را تجربه کردهاند و همین دلیل باعث ایجاد تغییرات جانبی سرعت شده است. این تغییرات جانبی سرعت در فرایندهای معمول

منطقه شمال شرق ایران است. محدودهای که داده برداشت شده در آن منطقه در اختیار قرار گرفت، توپوگرافی همواری دارد، ولی از نظر زمینشناسی زیر زمين، ساختار هندسی پیچیدهای دارد. جدول ۲ پارامتر های برداشت داده در محدوده شمال شرق ایران را نشان میدهد. با توجه به پارامترهای برداشت داده، مقدار چینش ضعیف در داده (۲۴) باعث کاهش کیفیت تصویر لرزهای و کاهش پیوستگی بازتابندهها خواهد شد. ولی پهنای باند مناسب در داده، باعث افزایش قدرت تفکیک قائم در تصویر نهایی می شود. از نظر زمین شناسی، وجود یک ناپیوستگی شیبدار در منطقه، دو رژیم سرعتی متفاوت را برای محیط انتشار موج ایجاد کرده است. در محدودههای نزدیک سطح که در بالای ناپیوستگی قرار دارند، سازندها بیشتر از نوع شیلی و ماسهای هستند که تراکم کمی دارند و به همین دلیل، سرعت انتشار موج در آن محیط کم است. بلافاصله در زیر ناپیوستگی، با تغییر جنس سازندها (اضافه شدن گلسنگ و سنگهای کربناته) و افزایش تراکم رسوبات، رژیم سرعتی تغییر میکند و شاهد افزایش سرعت انتشار موج هستیم. وجود گلسنگ و شیلهایی که فرایند سریع از دست دادن آب را گذراندهاند، باعث کاهش انرژی موج منتشره و همچنین کاهش سرعت انتشار موج خواهد شد.



شکل ۸ (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش معمول برای داده واقعی مربوط به شمال شرق ایران (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش به مدل سرعت معمول. مستطیلهای روی شکل، محدودهایی هستند که تفاوت آنها با مدل سرعت بهینه و تصویر لرزهای آن بررسی میشود.

موضوع پیچیدگی مدل سرعت را به همراه دارد. برای داشتن تصویر لرزهای با دقت و کیفیت بیشتر، روش پیشنهادی روی این داده ها اجرا شد. در این داده، افزایش گام پارامتر ۲ برابر ۲۰/۰ و بازه پارامتر ۲ ۲۹/۰ تا ۱/۰۸ فرض شده است. با توجه به میزان پیچیدگی ساختاری، مقدار افزایش گام تحلیل ورداشت تصویر مشتر ک برابر ۲۵ درنظر گرفته شد. پس از استخراج مقدار بهینه پارامتر ۲ (در این داده برابر ۲۹/۰) و اعمال آن روی مدل سرعت اولیه، مدل سرعت به روزرسانی شده به دست آمد (شکل ۹-الف). تفاوت های مدل سرعت اولیه و مدل سرعت به روزرسانی شده با مستطیل های شماره گذاری شده نشان تحلیل سرعت تحمل نمی شود و باعث از دست رفتن پیوستگی رخدادها در تصویر لرزهای خواهد شد. شکل ۸-ب تصویر لرزهای به دست آمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش را با استفاده از سرعت به دست آمده به روش معمول نشان می دهد. کیفیت تصویر لرزهای به دست آمده را می توان پذیرفت، ولی پیوستگی رخدادها و افزایش عدم قطعیت در مرز ساختارهای تصویر شده و گسل ها، مشکلات ناشی از خطاهای موجود در مدل سرعت استفاده شده الگوی رخدادهای لرزهای (متأثر از تغییرات سنگ شناسی) در دو طرف مرز ناپیوستگی کاملاً متفاوت است و این



شکل ۹. (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش پیشنهادی (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش با مدل سرعت جدید. مستطیلهای روی شکل، محدودههایی هستند که تفاوت آنها با مدل سرعت معمول و تصویر لرزهای آن بررسی میشود.

بهدست آمده مشخص است. البته لازم است صحت این تغییرات در مدل سرعت با مقایسه تصویر لرزهای حاصل از مدل سرعت جدید بررسی شود. دقت این تغییرات و همخوانی آنها با داده ها نیز با تحلیل ورداشت های تصویری مشترک کنترل می شود. به این ترتیب، در گام بعدی، تصویر سازی پیش از برانبارش به کمک مدل سرعت جدید انجام گرفت که تصویر لرزهای به دست آمده در شکل ۹-ب نشان داده شده است. همان گونه که در تصویر لرزهای به دست آمده با سرعت جدید مشاهده می شود، پیوستگی رخدادها کاملاً حفظ شده است و گسل ها نیز با وضوح بیشتری تصویر شده اند. تفاوت اصلی در مرز ساختارهای داده شده است. در مستطیل شماره ۱ مربوط به مدل سرعت معمول، افزایش سرعت و افزایش محدوده بی هنجاری سرعت دیده می شود. در مدل سرعت به دست آمده به روش پیشنهادی، مقادیر سرعت در اطراف بی هنجاری سرعت کاهش داشته و محدوده اثر سرعت های تقریبی نیز کاهش یافته است. در مستطیل شماره ۲ در شکل ۸-الف، افزایش سرعت دیده می شود که پس از اعمال الگوریتم بیان شده در مستطیل شماره ۲ در شکل ۹-الف، محدوده مدل سرعت تغییر کرده است و کاهش در مقدار را نشان می دهد. در مستطیل شماره ۳ شکل ۸-الف نیز افزایش سرعت دیده می شود که پس از به روزرسانی، کاهش سرعت در مدل نداشت و نمودار گیری از چاه انجام نشد. چاه دوم تا عمق نزدیک چهار کیلومتری و با دورافت ۲۰۰ متر از خط لرزهای حفر شده است و حاوی اطلاعات سرسازند، اطلاعات روزانه و نمودار چاهپیمایی است. این صحتسنجی، نقطهای و تنها در محل چاه است و با توجه به وجود قدری پیچیدگی در ساختار هندسی و اندکی تغييرات جانبي سرعت، با دور شدن از محل چاه مي توان به آن شک کرد. شکل ۱۰-ج اطلاعات سرعت بهدست آمده در چاههای منطقه شمال شرق را در محدوده برداشت دوبعدی نشان میدهد. شکل ۱۰–د، نشاندهنده نسبت سرعت بهدست آمده در چاه به سرعت لرزهای در چاه نزدیک برداشت داده دوبعدی با دورافت ۲۰۰ متر است. همان گونه که در شکل ۱۰-د دیده می شود، رژیم سرعتی در منطقه برداشت با افزایش عمق و پس از عبور از مرز ناپیوستگی در محدوده تقریبی ۲۰۰۰ متر بهسرعت تغییر می کند. صحتسنجی انجام گرفته با استفاده از داده چاه برای داده اول، صحت مدل سرعت بهدست آمده در محدوده چاه را تأیید میکند. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، نتایج این روش می تواند علاوه بر مقایسه با روش معمول، با روش جدیدتر توموگرافی هیبریدی شبکهای (Hybrid gridded tomography) و همچنين روش تومو گرافی موج ورود نرمال (NIP wave Tomography) مقایسه شود. در انتخاب یکی از دو روش بیانشده برای مقایسه، به دلیل نتایج بهتر توموگرافی موج ورود نرمال، سادهتر بودن نظریه این روش و البته امکان خودکار کردن بهتر آن در مقایسه با روش تومو گرافی شبکهای هیبریدی، روش توموگرافی موج ورود نرمال برای مقایسه انتخاب شد. روش توموگرافی شبکهای هیبریدی همچنان در بسیاری مراحل به دخالت مفسر در تعیین پارامترها و جهت دادن به فرایند بهروزرسانی نیاز دارد، درحالی که روش توموگرافی موج ورود نرمال کاملاً میتواند بهصورت خودکار برنامهنویسی و اجرا شود و از

دیاپیر شکلی است که در تصویر لرزهای بهدست آمده با مدل سرعت جديد، به خوبي آشكار شدهاند؛ زيرا دقت مدل سرعت بهدست آمده به روش پیشنهادی افزایش داشته که اين مسئله باعث افزايش قدرت تفكيك جانبي خواهد شد. در شکل ۱۰ میزان دقت بهبود مدل سرعت به کمک الگوریتم بیانشده در ورداشتهای تصویری مشترک نشان داده شده است. ورداشتهای تصویری مشترک مربوط به مدل سرعت معمول در شکل ۱۰-الف و ورداشتهای تصویری مشترک مربوط به مدل سرعت بهینه در شکل ۱۰-ب نشان داده شده است. در مستطیل شماره ۱ در شکل ۱۰-الف، رخداد لرزهاي بهخطشده ديده نمي شود. ولي پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی، در مستطیل شماره ۱ در شکل ۱۰-ب، بهوضوح يک رخداد لرزهاي برجسته شده که اين بار با مقدار سرعت صحیح تصویر شده است. در مستطیل شماره ۲ در شکل ۱۰-الف، رخدادهای بهخطشدهای وجود دارند، ولى نسبت به مستطيل شماره ۲ در شكل ۱۰-ب دامنه و پیوستگی کمتری دارند. در مستطیل شماره ۳ شکل ۱۰-الف، رخدادهای لرزهای افقی شده سخت دیده مي شوند، ولي پس از بهروزرساني مدل سرعت، در مستطيل شماره ۳ شکل ۱۰–ب، افزایش دامنه و پیوستگی بازتابنده دیده میشود. همانگونه که روشن است، نتیجه کوچ عمقی، حساسیت بسیار زیادی به صحت مدل سرعت دارد. هرگونه تغییر و انحراف مدل سرعت از مقدار واقعی چشمداشتی در مدل سرعت کوچ، باعث تغییر شیب، تغییر ضخامت، نبودتصویرسازی و درنهایت، کاهش دقت، صحت و همچنین کیفیت مدل نهایی کوچ عمقی خواهد شد؛ ازاین رو ارزیابی صحت مدل سرعت از اساسی ترین بخشهای ارائه راهبرد تهیه مدل سرعت است. از آنجاکه داده انتخابی دربرگیرنده اطلاعات دو چاه نزدیک (با دورافت حداکثر ۲۰۰ متر از خط لرزهای) است، صحتسنجي مدل سرعت بهسادگي امکان پذير خواهد بود. البته حفاری چاه اول تا انتهای عمق پیش بینی شده ادامه



شکل ۱۰. (الف) نگاشت تصویر مشترک مربوط به مدل سرعت اولیه در داده مربوط به شمال شرق ایران (ب) نگاشت تصویر مشترک مربوط به مدل سرعت بهدست آمده به روش پیشنهادی. تفاوتها در مستطیلهای شماره گذاری شده مشخص است. (ج) اطلاعات چاه در محدوده برداشت داده دوبعدی که صحت مدل سرعت بهدست آمده را نشان می دهد. (د) نسبت تصحیح در مدل سرعت معمول که نشان دهنده تغییرات رژیمی سرعت پس از عبور از مرز ناپیوستگی در عمق تقریبا ۲۰۰۰ متری است.



شکل ۱۱. (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش توموگرافی موج ورود نرمال (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش با مدل سرعت جدید.

این نظر مقایسه منصفانهای با روش پیشنهادی می تواند صورت گیرد. شکل ۱۱ نتایج روش تومو گرافی موج ورود نرمال را نشان میدهد. همان گونه که دیده می شود، روش تومو گرافی موج ورود نرمال، یک مدل سرعت هموار تولید می کند و مانند روش پیشنهادی، مرزهای تیز در مدل سرعت را نشان نمی دهد. البته این تفاوت اندک است و مقطعی پذیرفتنی از تصویر لرزهای ایجاد می کند.

۵ اعمال الگوریتم روی مثال موردی دوم

در این بخش برای بررسی بیشتر عملکرد روش پیشنهادی، این الگوریتم روی داده برداشتشده از منطقه غرب ایران بررسی شد. منطقه برداشت داده توپوگرافی بسیار خشن و ناهموار و همچنین هندسه بسیار پیچیده در ساختارهای

زیرسطحی دارد. همچنین وجود سازند گچساران با ضخامت کاملاً متغیر در طول خط برداشت و سرعت بسیار زیاد انتشار موج در آن، به پیچیدگی سرعتی منطقه افزوده است. با توجه به همه این دلایل، داده برداشت شده کیفیت بسیار ضعیفی دارد و احتمال دارد که با روش های معمول پردازش و تصویر سازی و همچنین روش های معمول تحلیل سرعت، تصویر لرزهای خوبی از این داده استخراج نشود؛ لذا هدف اصلی از اجرای روش پیشنهادی روی این داده، بررسی امکان بهبود حداقلی در مدل سرعت با وجود لایه پرسرعت سازند گچساران و درنتیجه، تصویر لرزهای نهایی است. جدول ۳ پارامترهای برداشت مقدار چینش بیشتر از دوم را نشان می دهد. در این برداشت مقدار چینش بیشتر از داده قبلی است (۱۰۵) و پیش بینی می شود در صورت بهبود



شکل ۱۲. (الف) مدل سرعت برانبارش برای داده منطقه غرب ایران. مدل سرعت بسیار ساده است و تغییرات جانبی سرعت، خوب مدل نشده است. (ب) مقطع برانبارش بهدستآمده که نشاندهنده کیفیت بسیار ضعیف داده برداشتشده و برانبارش انجامشده است.

هندسه نقطه میانی و دورافت			. چشمه و گیرنده	هنادسه
1917	تعداد شبکه CMP		٣٢٧	تعداد چشمەھا
-))(()	حداکثر تعداد چینش CMP		۷۰ متر	فاصله چشمهها
۱۷،۵ ۳۲۰۵ ۱٤۰ _ ۳٤٥٨	فاصله بین سبخه داند. بازه دورافت		۳۵ متر	فعداد دیرندها
	محتداي فيكاني		,	بادامته های ژبرت
۸ تا ۱۰۰ هر تز	فرکانس	i i	۷ ثانیه	پربیرینای ببت زمان ثبت
۲۰ هرتز	ور فرکانس غالب		ء ٤ میلیثانیه	فاصله نمونهبرداري

جدول ۳. پارامترهای هندسی برداشت داده صحرایی (مثال موردی دوم).



شکل ۱۳. (الف) مدل سرعت برانبارش بهدستآمده با اعمال قدری تغییر در راهبرد پیشنهادی برای داده منطقه غرب ایران. افزایش دقت در مدل سرعت دیده میشود و تغییرات جانبی سرعت تا حدی مدل شده است. (ب) مقطع برانبارش بهدستآمده که نشاندهنده قدری افزایش کیفیت در مقایسه با مقطع برانبارششده با مدل سرعت معمول است.

مدل سرعت، پیوستگی بازتابنده ها بهبود داشته باشد. شکل ۱۲-الف، مدل سرعت برانبارش به دست آمده به روش معمول را برای این داده نشان می دهد. همان طور که دیده می شود، مدل سرعت بسیار نرم است و تغییرات جانبی چندانی را نشان نمی دهد؛ این مسئله ناشی از کیفیت ضعیف داده ها و میزان اند ک مقدار همدوسی در فرایند سرعت برانبارش نیمه خود کار است. کم بودن دقت مدل سرعت، تصویر سازی ضعیفی را نیز به همراه خواهد داشت (شکل ۱۲-ب). مقطع لرزه ای نشان داده شده، یک مقطع برانبارش

بیانگر دقت مدل سرعت اولیهای است که در فرایند بهبود مدل سرعت به روش پیشنهادی استفاده می شود. با توجه به اینکه روش پیشنهادی از نظر فرایند اجرا به مانند ورداشت تصویر مشترک، روی پنلهای نقطه میانی مشترک نیز می-تواند اجرا شود؛ لذا برای افزایش دقت مدل سرعت در گامهای بعدی، روش پیشنهادی با انجام دادن مقداری تغییرات، در تهیه مدل سرعت برانبارش نیز به کار رفت. شکل ۱۳–الف، مدل سرعت برانبارش بهینه و شکل ۱۳– ب، مقطع برانبارش با مدل سرعت بهینه را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود، مقادیر سرعت به دست آمده



(ب)

شکل ۱٤. (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش معمول برای داده واقعی مربوط به منطقه غرب ایران (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش به کمک مدل سرعت معمول. مستطیلها در شکل، محدودههایی هستند که تفاوت آنها با مدل سرعت بهینه و تصویر لرزهای آن مشهود است.

الف دیده می شود. در این شکل، مدل سرعت کوچ، تغییرات جانبی بیشتری را نشان می دهد و روند افزایش سرعت با عمق را مدل کرده است به ویژه در سمت راست مقطع که سازند گچساران با عمق کمتر قرار دارد. بااین حال در تصویر لرزهای به دست آمده (شکل ۱۴– ب)، پیوستگی کم در رخدادها و تصویر سازی نامناسب باز تابنده ها مشهود است. به این منظور، روش پیشنهادی روی مدل سرعت مربوط به این داده لرزهای نیز اجرا شد. با توجه به وجود لایه بسیار پر سرعت گچساران و تأثیر آن بر مقادیر سرعت محدوده های مجاور در فرایند تحلیل مدل سرعت، در برای عمق های زیاد در مدل سرعت شکل ۱۲-الف، بسیار کمتر از مقادیری است که در مدل بهینه دیده می شود. این مسئله باعث می شود که پیوستگی رخدادها در مقطع لرزهای تا حد بیشتری حفظ شود. همچنان رخدادهای زمین شناسی در مقطع برانبارش، خوب دیده نمی شوند، ولی افزایش کیفیت مقطع و پیوستگی رخدادها و همچنین پراش ها، نشان دهنده تأثیر مدل سرعت بهینه به روش پیشنهادی است. روی داده اعمال می شود. مدل سرعت کوچ که با استفاده از معیار شباهت معمول به دست آمده است، در شکل ۱۴-



شکل ۱۵. (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش پیشنهادی برای داده در منطقه غرب ایران (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش با مدل سرعت جدید. مستطیلها در شکل، محدودهایی هستند که تفاوت آنها با مدل سرعت معمول و تصویر لرزهای نشاندهنده بیشترین تغییرات ایجاد شده است.

مربوط به مدل سرعت معمول در شکل ۱۴-الف، افزایش سرعت و تیز بودن مرز سرعت ها دیده می شود که پس از اعمال الگوریتم بیان شده و به روزرسانی مدل سرعت در مستطیل شماره ۱ شکل ۱۵-الف، محدوده سرعت تغییر یافته است و همواری بهتری دیده می شود. در مستطیل شماره ۲ در مدل سرعت معمول، تغییرات جانبی مدل سرعت تا حد کمی دیده می شود. در ادامه و پس از به روز-رسانی مدل سرعت، تغییرات جانبی خوب مدل شده است و در مستطیل شماره ۲ در شکل ۱۵-الف، تفکیک بهتری در محدوده بی هنجاری سرعت و تغییر محدوده آن مشاهده می شود. همچنین در مستطیل شماره ۳ در مدل سرعت الگوریتم بیانشده، افزایش گام پارامتر ۲ برابر ۲۰/۰ و بازه پارامتر ۲ بین ۹/۰ تا ۱/۱ فرض شد. همچنین به دلیل پیچیدگی زیاد مدل سرعت و نیاز به دقت بیشتر در مدل نهایی، افزایش گام تحلیل تصویر مشترک برابر ۱۰ درنظر -گرفته شد که این مسئله نیز باعث افزایش زمان محاسبات در فرایند تحلیل سرعت میشود. شکل ۱۵–الف، مدل سرعت بهینه به روش پیشنهادی و شکل ۱۵–ب، تصویر لرزهای بهدست آمده به کمک مدل سرعت جدید را نشان میدهد. تفاوت های مدل سرعت بهدست آمده به روش معمول و مدل سرعت بهینه را نشان میدهند. در مستطیل شماره ۱

می شود که پس از اعمال الگوریتم، با افزایش پیوستگی در بازتابندهها و از بین رفتن تداخل آنها، کیفیت تصویر لرزهای افزایش پیدا کرده است. در مستطیل شماره ۳ در شکل ۱۶-الف، قطعشدگی ناگهانی در بازتابندهها دیده میشود که پس از بهروزرسانی مدل سرعت، کیفیت و وضوح تصویر لرزهای افزایش یافت و قطعشدگی ناگهانی بازتابندهها ناشی از تصویرسازی نادرست تصحیح شد. همچنین در مستطیل شماره ۴ در شکل ۱۶-الف، تداخل بازتابندهها مشاهده می شود که پس از اعمال الگوریتم، پیوستگی بهتر و تداخل کمتر در بازتابندهها وجود دارد. در شکل ۱۷ ورداشتهای تصویر مشترک مربوط به مدلهای سرعتی معمول و بهینه آورده شده است. در مستطیل شماره ۱ در شکل ۱۷-الف، باز تابندهها دامنه زیادی دارند و ناپیوستگی در آنها دیده میشود که پس از بهروزرسانی مدل سرعت، رخدادهای لرزهای در ورداشتهای تصویری مشترک در شکل ۱۷-ب با پیوستگی بیشتری تصحیح شدند. همچنین در مستطیل شماره ۲ در شکل ۱۷–الف، پیوستگی کمتری در رخدادهای تصویری مشترک نسبت به همان رخدادها در مستطیل شماره ۲ در شکل ۱۷–ب دیده می شود. در مستطیل شماره ۳ در شکل ۱۷-الف، رخدادهای بهخطشدهاي ديده مي شود كه البته انحنايي جزئي دارند كه نشاندهنده انتخاب نشدن سرعت دقیق در آن محدوده است. پس از بهروزرسانی سرعت، در مستطیل شماره ۳ در شکل ۱۷–ب، این مسئله تصحیح و بهخطشدگی کاملاً افقی شده است. در مستطیل های شماره ۴ و ۵، اثر بهبود مدل سرعت در بهخطشدگی رخدادهای بازتابی و جمع انرژیهای مرتبط با عملگر تصویرسازی مشهود است. برای صحتسنجي مدل سرعت بهدست آمده به روش پیشنهادي برای داده دوم، با توجه به اینکه محدوده در مرحله اکتشافات مقدماتی است، چاهی در منطقه حفر نشده است و اطلاعات چاه موجود نیست. این داده از نظر پردازش و تفسیر، در دسته دادههای بسیار دشوار، با هندسه ساختاری

بهدست آمده به روش معمول، افزایش مقدار سرعت دیده می شود که این مسئله ناشی از تأثیر جمع شوندگی سرعت ریشه دوم میانگین مربعات در مدل سرعت اولیه است. با توجه به ضخامت کمتر سازند گچساران در سمت چپ مقطع، مىتوان به كاهش مقدار سرعت مدل بهينه اشاره کرد. در شکل ۱۵–ب، تصویر لرزهای بهدست آمده به کمک مدل سرعت بهینه نشان داده شده است. همان گونه که دیده میشود، پیوستگی رخدادها بهبود و کیفیت مقطع افزایش یافته است. در مستطیل شماره ۱ مربوط به مقطع بهدست آمده با سرعت معمول در شکل ۱۴–ب، لایههای نزدیک سطح، کیفیت ضعیفی دارند، ولی در مستطیل شماره ۱ در شکل ۱۵-ب، پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی، افزایش کیفیت و پیوستگی باز تابندههای نزدیک سطح دیده می شود. در مستطیل شماره ۲ در شکل ۱۴–ب، بازتابندههایی دیده میشوند که قطع شدگی دارند و ممکن است با گسل.های کوچک اشتباه گرفته شوند. پس از بهروزرسانی مدل سرعت، در مستطیل شماره ۲ در شکل ۱۵-ب، میزان پیوستگی بازتابنده ها افزایش داشته است که تصویرسازی بهتر رخدادها را در پی دارد. در مستطیل شماره ۳ در شکل ۱۴-ب، با وجود کیفیت ضعیف داده، لايهها بهصورت مواج ديده ميشوند، ولي پس از بهروزرسانی مدل سرعت، در مستطیل شماره ۳ در شکل ۱۵–ب، افزایش پیوستگی و همواری در بازتابندهها دیده میشود. برای درک بهتر میزان بهبود تصویر لرزهای بر اثر اعمال الگوريتم پيشنهادي، محدوده ورداشت عمقي مشترک از ۳۱۷۵ تا ۳۸۴۰ بزرگنمایی شده است (شکل ۱۶). در مستطیل شماره ۱ مربوط به شکل ۱۶–الف، ناپیوستگی بازتابندهها و کیفیت ضعیف تصویر لرزمای دیده می شود. پس از اعمال الگوریتم پیشنهادی، در مستطیل شماره ۱ در شکل ۱۶-ب، بههمریختگی کمتر و پیوستگی بیشتری در بازتابندهها رخ داده است. همچنین در مستطیل شماره ۲ در شکل ۱۶-الف، تداخلی در بازتابندهها دیده



شکل ۱٦. (الف) بزرگنمایی قسمت مربوط به تصویر لرزهای بهدستآمده با سرعت معمول (ب) بزرگنمایی قسمت مربوط به تصویر لرزهای بهدستآمده با سرعت بهینه. تفاوتهای دو تصویر و محدودههای بهبودیافته در مستطیلهای شمارهگذاریشده نشان داده شدهاند.

با کنترل ورداشتها در یک افق زمانی، درباره صحت مدل سرعت نیز اطلاعاتی بدهد. روش تفسیری به کاررفته در مرحله دوم، میتواند صحت مدل سرعت را تا حدی بررسی کند. این روش، همان کنترل تصویرسازی رخدادها در مقطع کوچ است. با انتخاب نادرست مدل سرعت، افق لرزهای تصویر نمیشود یا به صورت تکهای تصویر میشود. با انتخاب مدل سرعت صحیح، افق زمانی انتخاب شده در عرض مقطع لرزهای، به صورت پیوسته تصویر میشود؛ اگرچه با توجه به پیچیده و با کیفیت متوسط تا بد است؛ لذا در این داده، امکان صحتسنجی به کمک داده چاه وجود ندارد. پس در این داده، از ارزیابی و صحتسنجی مدل سرعت به کمک معیارهای داخلی و روشهای تفسیری استفاده میشود. روشهای استفاده از میزان افقی شدن برای ارزیابی، در ابتدا، استفاده از میزان افقی شدن رخدادها در ورداشتهای تصویری (عمقی) مشترک است. این روش که بیشتر برای دقتسنجی، تا حدی می تواند



شکل ۱۷. (الف) تعدادی ورداشت تصویر مشترک مربوط به مدل سرعت اولیه در منطقه غرب کشور (ب) تعدادی ورداشت تصویر مشترک مربوط به مدل سرعت بهینه. تفاوتها در مستطیلهای شمارهگذاریشده مشخص شده است.

۶ نتیجهگیری

کیفیت ضعیف داده و پیچیدگی زیاد ساختار، این کنترل برای این داده نیز دشوار است. این فرایند برای بیشتر افق های اصلی تصویرشده در داده کنترل شد. محدودههایی که پیوستگی بیشتری در افق ها داشتند، صحت و دقت مدل سرعت را نشان میدادند. با توجه به اینکه پردازش ها در کامپیوترهای جداگانه انجام گرفت، مقایسه کمّی زمان پردازش میسر نبود. بااین حال در مقایسه کیفی مشاهده شد که روش پیشنهادی، زمان پردازش بیشتری را نسبت به روش معمول لازم دارد.

نتایج تصویر سازی لرزهای با وجود لایه پر سرعت نشان داده است که وجود بی هنجاری سرعت، باعث تصویر سازی نامناسب از باز تابنده یا حتی تصویر سازی باز تابنده های واقع در زیر لایه های پر سرعت می شود. این مسئله همچنین در زیر لایه های پر سرعت در فراینده ای تحلیل سرعت دست چین کردن سرعت در فراینده ای تحلیل سرعت لایه ای یا شبکه ای در فراینده ای تومو گرافی و به روز رسانی مدل سرعت را مشکل می کند؛ بنابر این در راهبر د پیشنهادی، همه جواب های ممکن برای مدل



شکل ۱۸. (الف) مدل سرعت بهدستآمده به روش توموگرافی موج ورود نرمال (ب) تصویر لرزهای بهدستآمده به روش کوچ عمقی پیش از برانبارش با مدل سرعت جدید.

ساختاری و تغییرات جانبی سرعت وابسته است و با افزایش آن، مقدار بازه پارامتر γ نیز افزایش مییابد. بااین حال مناسب تر است که در صورت وجود پیچیدگی بیشتر در داده، گام افزایش پارامتر γ کمتر شود. البته با افزایش تعداد پارامتر γ در یک بازه معین، به حجم زیاد فضای ذخیرهسازی و همچنین حافظه نیاز خواهد بود. این مسئله در دادههای دوبعدی تحمل شدنی است، ولی در دادهای سهبعدی آزاردهنده خواهد بود. همچنین مطالعات نشان داد اگر خطای مدل سرعت در مدلهای بهروز شده روند کاهشی نشان ندهد، لازم است که بازه جستجوی پارامتر γ را افزایش یا گامهای افزایش پارامتر γ را کاهش داد. سرعت در محیط انتشار موج به کمک یک مدل سرعت اولیه و پارامتر γ تعیین میشود و مسئله به یافتن مدل سرعت دقیق از بین همه جوابهای ممکن تغییر پیدا می کند. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، این راهبرد روی دادههای لرزهای با شرایط مختلف اجرا شد. نتایج تصویرسازی با مدلهای سرعت مختلف در محیطهایی با حالتهای متفاوت انتشار موج نشان داد پارامتر γ با توجه به میزان نیچیدگی ساختاری و تغییرات جانبی سرعت متفاوت خواهد بود؛ هرچه مقدار پیچیدگی ساختاری و تغییرات جانبی سرعت بیشتر باشد، مقدار پارامتر γ باید کوچک تر فرض شود. همچنین بازه پارامتر γ به میزان پیچیدگی

- Jones, I. F., 2010, An Introduction to: Velocity Model Building: EAGE publication.
- Jones, I. F., 2013, Tutorial: The seismic response to strong vertical velocity change: First Break, 31(6), 79-90, https://doi.org/10.3997/1365-2397.2013018.
- Jones, I. F., Sugrue, M., and Hardy, P., 2007, Hybrid gridded tomography: First Break, **25**, 15-21, https://doi.org/10.3997/1365-2397.2007013.
- Lee, M., Keehm, Y., and Song, D., 2017, Quantitative analysis of resolution and pore smoothing effects of digital microstructures on numerical velocity estimation: Geosciences Journal, 21(3), 431-44, https://doi.org/10.1007/s12303-017-0102-9
- Leite, L. W. B., and Vieira, W. W. S., 2019, Automatic seismic velocity analysis based on nonlinear optimization of the semblance function: Journal of Applied Geophysics, 161, 182-192,
 - https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.12.015.
- Majdański, M., Trzeciak, M., Gaczyński, E., and Maksym, A., 2016, Seismic veloci estimation from post-critical wide-angle reflections in layered structures: Studia Geophysica et Geodaetica, 60(3), 565-582, https://doi.org/10.1007/s11200-015-1268-0.
- McDermott, C., Collier, J. S., Lonergan, L., Fruehn, J., and Bellingham, P., 2019, Seismic velocity structure of seaward-dipping reflectors on the South American continental margin: Earth and Planetary Science Letters, 521, 14-24, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2019.05.049.
- Montazeri, M., Uldall, A., Moreau, J., and Nielsen, L., 2018, Pitfalls in velocity analysis for strongly contrasting, layered media – Example from the Chalk Group, North Sea: Journal of Applied Geophysics, 149, 52-62, https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.12.003.
- Nazari Velashani, E., Soleimani Monfared, M., and Roshandel Kahoo, A., 2020, Seismic imaging in complex structures by hybrid gridded tomography velocity model: Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering, **10**(22), 59-76.
- Nowroozi, A. A., 1990, Interpretation of seismic reflection records: Direct calculation of interval velocities and layer thicknesses from travel times: Puer and Applied Geophysics, **133**, 103-115, https://doi.org/10.1007/BF00876705
- Rabbel, W., Jusri, T., Köhn, D., Motra, H. M., Niederau, J., Schreiter, L., Thorwart, M., and Wuttke, F., 2017, Seismic velocity

مطالعات نشان داد که استفاده از مدل سرعت با خطای کمتر، باعث کاهش بازه پارامتر ۲ می شود و افزایش گام پارامتر ۲ می تواند کمتر فرض شود؛ درنتیجه حجم محاسبات و زمان اختصاص یافته کمتر خواهد شد. راهبرد پیشنهادی یک راهبرد با انعطاف پذیری زیاد است، به گونهای که هریک از مراحل را می توان با روشی دیگر جایگزین یا مدل های به دست آمده با راهبر دهای دیگر را وارد فرایند کار کرد.

منابع

- Alaei, B., 2006, An integrated procedure for migration velocity analysis in complex structures of thrust belts: Journal of Applied Geophysics, 59, 89–105, https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2005.08.004.
- Cameron, M., Fomel, S., and Sethian, J., 2008, Time to depth conversion and seismic velocity estimation using time-migration velocity: Geophysics, **73**(5), VE205–VE210, https://doi.org/10.1190/1.2967501.
- Dong, C., Wang, S., Zhang, J., Ma, J., and Zhang, H., 2019, Automatic migration velocity estimation for prestack time migration: Geophysics, 84(3), U1-U11, https://doi.org/10.1190/geo2018-0254.1.
- Duveneck, E., 2004, Tomographic Determination of Seismic Velocity Models with Kinematic Wavefield Attributes: Ph.D. thesis, Karlsruhe Institute fur Technology, Karlsruhe, Germany.
- Feng, Y. E., and Reshef, M., 2016, The Eastern Mediterranean Messinian salt-depth imaging and velocity analysis considerations: Petroleum Geoscience, 22, 333-339, https://doi.org/10.1144/petgeo2015-088.
- Fomel, S., and Landa, E., 2014, structural uncertainty of time migrated seismic image: Journal of Applied Geophysics, 101, 27-30, https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2013.11.010.
- Jiao, J., Lowrey, D. R., Willis, J. F., and Martínez, R. D., 2008, Practical approaches for subsalt velocity model building: Geophysics, 73, VEL183-VEL194,
 - https://doi.org/10.1190/1.2969084.
- Jiao, J., Stoffa, P. L., Sen, M. K., and Seifoullaev, R., 2002, Residual migration velocity analysis in the plane-wave domain: Geophysics, 67, 1258–1269,

https://doi.org/10.1190/1.1500388.

uncertainties and their effect on geothermal predictions: a case study: Energy Procedia, **125**, 283-290,

https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.178.

Sedek, M., and Gross, L., 2017, Normal move-out correction in anisotropic and laterally heterogeneous media using simultaneous velocity variation with offset: Journal of Natural Gas Science and Engineering, **45**, 399-414,

https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.05.014.

- She, D., Guan, L., Xu, Y., and Li, P., 2006, Use of low-frequency signals to improve imaging quality under high-velocity basalt: Applied Geophysics, 3(2), 112-119, https://doi.org/10.1007/s11770-006-0017-0.
- Soleimani, M., 2017, Challenges of seismic imaging in complex media around Iran, from Zagros overthrust in the southwest to Gorgan Plain in the northeast: The Leading Edge, 36(6), 499–506, https://doi.org/10.1190/tle36060499.1.
- Soleimani, M., Adibi, E., Shahsavani, H., and Sokooti, M. R., 2014, Seismic imaging in

geologically complex thrust belts by kinematic wavefield attributes: Iranian Journal of Geophysics, 7(4), 95-116.

- Soleimani Monfared, M., and Kalilzadeh, A., 2016, Seismic imaging of complex structures by integrating pre-stack time migration and surface stacking methods: Journal of Earth and Space Physics, **42**(2), 293-308.
- Vahid Hashemi, M., and Soleimani, M., 2015, Lateral velocity heterogeneties modelling in seismic tomography by introducing different initial velocity models: Iranian Journal of Geophysics, 8(4), 132-167.
- Woodward, M. J., Nichols, D., Zdraveva, O., Whitfield, P., and Johns, I. F., 2008, A decade of tomography: Geophysics, 73(5), 5-11, https://doi.org/10.1190/1.2969907.
- Yang, F., and Ma, J., 2019, Deep-learning inversion: A next-generation seismic velocity model building method: Geophysics, 84(4), R583–R599, https://doi.org/10.1190/geo2018-0249.1.

Presenting automatic velocity model updating by reducing residual depth move-out in the presence of lateral velocity changes and velocity anomaly

Ehsan Aghabarar¹, Mehrdad Soleimani Monfared^{2,3*}, Amin Rshandel Kahoo⁴

¹ Post graduate student, Seismic Exploration, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Associate Professor in Seismic Exploration, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Associate Researcher, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Campus South, Geophysical Institute (GPI), Karlsruhe, Germany

⁴ Associate Professor in Seismic Exploration, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

(Received: 09 February 2020, Accepted: 10 July 2020)

Summary

Seismic velocity analysis is the main part of seismic imaging. Quality of the final seismic image, in velocity dependent imaging methods, strongly depends on the accuracy of the velocity model and consistency of the model with the data. Various types of methods and strategies were presented for velocity model building, such as gridded based and layered based velocity tomography inversion and migration velocity analysis. Conventionally, most of velocity model building methods use an initial velocity model and some approaches to the final velocity model through several updating steps, mostly by means of the semblance values as the velocity picking criteria. However, this is a time consuming approach and mostly unreliable in the presence of strong velocity variations. Therefore, a new strategy was presented by introducing a parameter called γ which is the ratio of the true velocity and the initial velocity. In this strategy, updating the velocity model would be performed through optimization of this parameter. Afterwards, depth imaging would be performed by the new velocity model and accuracy of the velocity would be evaluated by analyzing of common image gathers. For better parameter selection, the concept of the residual depth move-out in the common depth gathers was introduced. It defines the value of deviation in depth of the imaged reflector compared to its true depth. This strategy did not handle the effect of velocity anomalies and had some deficiencies in handling lateral velocity changes. Here, we present a new strategy based on the method of the residual depth move-out in the common depth gathers for velocity model building and depth imaging through appropriate selection of parameter γ , automatic correction and velocity picking during residual depth move-out correction on common depth gathers. In the presented strategy, we first define a range of possible γ parameter for an initial velocity model, which can be obtained by any conventional method. Then, by defining a rational increment in this predefined range for parameter γ , all of the possible velocity models would be obtained. Subsequently, seismic depth imaging would be performed using all the possible velocity models. Afterwards, common depth gathers will be analyzed automatically to define residual depth move-out. By defining a threshold in correcting of this residual depth move-out, the common depth gathers that exhibit higher move-out than the threshold value will be corrected automatically. Here, those common image gathers that were affected by the velocity anomaly, would be analyzed by selecting a new range and new increment of the parameter γ to handle the effects of velocity anomaly. This procedure would be iterated until finding a satisfying depth image through depth imaging. This strategy was applied on a synthetic data and two field land data examples with lateral velocity variations and a layer with very high velocity value as velocity anomaly. Results have shown that the presented strategy can be considered as an alternative to the conventional velocity analysis methods.

Keywords: velocity anomaly, seismic imaging, residual depth move-out, common depth gather, common image gather

*Corresponding author: