

بهبود مدل سرعتی لرستان با روش توموگرافی زمان سیر تلفیقی

نعیمه السادات مقدسی^۱، حسین هاشمی^{۲*} و محمدرضا قیطانچی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

^۳ استاد، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۰/۶/۲۲، پذیرش نهایی: ۹۱/۱۰/۵)

چکیده

توموگرافی زمان سیر لرزه‌ای، روشی مناسب برای بازسازی مدل سرعتی زیر سطح زمین است. همواره کمبود داده و پوشش پرتو به اندازه کافی موجب ایجاد ابهاماتی در توموگرافی شده است. با استفاده از روش توموگرافی بازتابی و توموگرافی عبوری (استفاده از امواج مستقیم)، نه تنها سرعت‌ها تعیین می‌شوند بلکه با تلفیق آنها یک مدل سرعتی دقیق ساخته می‌شود. در این تحقیق داده‌های زمان رسید بازتابی که در طول یک خط لرزه‌ای در منطقه لرستان برداشت شده و داده‌های زمان رسید زمین‌لرزه‌های محلی ثبت شده در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ در منطقه مورد بررسی، با اعمال فیلترهای مختلف به منظور ایجاد محدودیت‌هایی در عمق و فاصله رو مرکزی و آزیموت، برای اجرای مراحل توموگرافی زمان سیر لرزه‌ای تلفیق شدند. مدل سرعتی جدیدی از داده‌های تلفیق یافته به دست آمده و در حین مراحل پردازش داده‌های خام در امتداد خط لرزه‌ای مورد نظر، بکار گرفته شد. بعد از اعمال هر دو مدل سرعت به دست آمده از داده‌های بازتابی و داده‌های تلفیقی، مقاطع بعد از مهاجرت هر دو به‌طور جداگانه مقایسه شد. در این دو مقطع که در همه مراحل به‌جز مدل سرعتی، مشترک هستند، بازتاب‌کننده‌ها با وضوح و پیوستگی بیشتری در مقطع حاصل از داده‌های تلفیقی مشاهده شدند.

واژه‌های کلیدی: توموگرافی، وارون‌سازی، مدل سرعتی، زمین‌لرزه، بازتاب‌کننده، لرستان

Improving velocity model using integrated travel time tomography method in the Lorestan region

Moghadasi, N. A.¹, Hashemi, H.² and Gheitanchi, M. R.³

¹M.Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

³Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 13 Sep 2011, Accepted: 25 Dec 2012)

Abstract

Traveltime tomography is a suitable method to image underground structure of the Earth. A common problem in seismic tomography is the inadequate amount of data required for accurate traveltime inversion. In this study, seismic traveltime data along a linear array in the Lorestan region and filtered earthquake traveltimes data were combined together to perform traveltime tomography. The obtained velocity models from seismic and combined data were compared for the sections of their post-migration step. The results obtained from combined data indicate a better resolution and state of being more continuous for reflectors.

Data of the earthquakes used here, is related to latitude of 32 to 35 and longitude 47 to

49 degree between years 2006 to 2011 in the Lorestan region. To make combined data, some corrections such as limiting the depth less than 8km, epicentral distance less than 100km and gap (between 0 to 180) were performed on the data of mentioned earthquakes. Seismic data should be converted to the format of earthquake as ingoing data for doing travel time tomography methods. For this part, reflected data was corrected in order to acquire the one-way travel time (times in reflected data are two way times). To be able to halve the two-way travel time and obtain one-way travel time, dip move out corrections (DMO) for removing the effects of dip layers, were carried out. Then, a path of a selected reflector was followed and number of shots and corresponding times recorded in each point. On the basis of this information, CDPs were considered as the sources of earthquakes and geophones as stations.

To compare the obtained velocity models from seismic and combined data, their post-migration sections were determined. For better results, these two migration sections were divided into some smaller parts and then compared with each other individually.

As expected, the velocity model from combined data shows higher quality results. For proving this matter, velocity models produced from seismic and the combined data were compared in the sections of their post migration. The results obtained from combined data shows higher resolution and state of being more continuous for the reflectors of migration section, especially in the parts with more ambiguities. The mentioned method can be used in places where a good velocity model cannot be obtained as the structure of the earth which will not let the waves pass through (like Gachsaran formation). Applying both reflected and earthquake data in travelttime tomography method would improve the velocity model, so processing and interpreting the reflectors will be easier.

Keywords: Tomography, Inversion, Velocity model, Earthquake, Reflector, Lorestan

۱ مقدمه

و گیرنده یا چشمه سطحی (VSP or RVSP surveying) استفاده می‌شود (ماو و استوارت، ۱۹۹۶). با استفاده از روش توموگرافی بازتابی و توموگرافی عبوری (استفاده از امواج مستقیم)، نه تنها سرعت‌ها تعیین می‌شوند بلکه با تلفیقشان یک مدل سرعتی دقیق ساخته می‌شود (پرز و بنکرافت، ۲۰۰۱). مشکل اساسی در توموگرافی کمبود اطلاعات موردنیاز برای وارون‌سازی است. در حالت کلی می‌توان گفت که کمبود داده و پوشش پرتو به اندازه کافی موجب ایجاد ابهاماتی در توموگرافی می‌شود و ابهاماتی در تعیین سرعت و عمق بازتاب‌کننده‌ها ایجاد خواهد شد (راس، ۱۹۹۴). در داده‌های بازتابی ابهامات در عمق و سرعت، ممکن است ناشی از فاصله نامناسب چشمه و گیرنده و تغییرات جانبی سرعت در داده‌های زمان رسید بازتابی باشد (تایمن، ۱۹۹۴؛ بایکل، ۱۹۹۰). در میان

توموگرافی زمان سیر لرزه‌ای روشی برای به تصویر کشیدن مدل‌های سرعتی زیر سطح زمین با استفاده از اطلاعات زمان سیر امواج منتشر شده در منطقه مورد بررسی است. توموگرافی زمان سیر بازتابی برای تعیین سرعت‌های زیرسطحی از منطقه مورد بررسی از یک پرتو که به سطح بازتاب‌کننده برخورد می‌کند و با مقایسه خصوصیات امواج در طول مسیر پرتو بین چشمه و گیرنده قبل و بعد از بازتاب استفاده می‌کند (ماو و استوارت، ۱۹۹۶). در صورتی که توموگرافی زمان سیر عبوری (با استفاده از امواج مستقیم)، از اطلاعات زمان رسیده‌های امواج که به‌طور مستقیم از چشمه به گیرنده‌ها انتشار می‌یابند، استفاده می‌کند. این روش برای تعیین مدل سرعتی پوسته و گوشته بالایی با استفاده از اطلاعات زمین‌لرزه‌ها و هم برای ارزیابی تغییرات سرعتی بین گمانه

۴۹ درجه که در ایستگاه‌های لرزه‌نگاری خرم آباد و کرمانشاه وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در حداثصل سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ ثبت شده، استفاده شده است. با توجه به اینکه در توموگرافی عبوری که با استفاده از داده‌های زمین‌لرزه‌های ثبت شده صورت می‌گیرد، مدل سرعتی با در نظر گرفتن زمین‌لرزه‌هایی با فاصله زیاد چشمه تا گیرنده، حتی ممکن است تا ناپیوستگی موهو ادامه داشته باشد اما عمق بررسی‌ها در توموگرافی بازتابی به‌منظور یافتن مدل سرعتی با استفاده از امواج بازتابی بسیار کمتر از عمق بررسی‌ها در توموگرافی عبوری است بنابراین برای تلفیق مدل‌های سرعتی متفاوت، باید مدل‌های سرعتی به‌دست آمده، مربوط به یک گستره ضخامتی باشند. بدین‌منظور لازم است تا داده‌های زلزله و لرزه برای به انجام رساندن کار تلفیق توموگرافی آماده شوند. برای تلفیق این دو دسته، فیلترهای زیر را روی داده‌های صرفاً زلزله اعمال می‌کنیم تا به بررسی مدل سرعتی در اعماق کمتر با استفاده از این اطلاعات پردازیم. این فیلترها به شرح زیرند:

۱- زلزله‌هایی با عمق کمتر از ۸ کیلومتر انتخاب شدند. به‌دلیل وجود خطا در تعیین محل، زمین‌لرزه‌ها قبل از ورود به این مرحله دوباره تعیین محل می‌شوند، لازم به یادآوری است که در این بخش از تحقیق از برنامه ولست (Velest) استفاده شده است. یکی از نرم‌افزارهای شناخته شده برای مدل‌سازی وارون هم‌زمان برنامه ولست است که با کاربرد روش مکان‌یابی مشترک، هم‌زمان کانون‌های زمین‌لرزه، مدل پوسته و تصحیحات زمانی ایستگاه‌ها را بهینه می‌سازد. به‌طور اختصار این برنامه برگردان یک‌بُعدی مدل سرعتی پوسته و نیز محل زمین‌لرزه‌ها را مبتنی بر حرکت موج از فرستنده به گیرنده، شبیه‌سازی می‌کند (کیسلینگ، ۱۹۹۵).

۲- زلزله‌هایی با فاصله رو مرکزی کمتر از ۱۰۰ کیلومتر انتخاب شدند.

روش‌های توموگرافی، توموگرافی بازتابی سطحی یک روش مناسب برای طرح‌های سه‌بُعدی لرزه‌ای محسوب می‌شود، هرچند این روش هم مشکلاتی در وارون‌سازی دارد زیرا از موقعیت بازتاب‌کننده‌ها و سرعت برای به‌دست آوردن یک مدل سرعتی استفاده می‌کند (چن، ۲۰۰۳). هرگاه از داده‌های عبوری و بازتابی هم‌زمان برای وارون‌سازی استفاده شود این ابهامات در عمق و سرعت می‌تواند کاهش یابد (ماو و استوارت، ۱۹۹۶). هدف از این تحقیق به‌دست آوردن مدل سرعتی بهینه از تلفیق داده‌های زمین‌لرزه‌های محلی ثبت شده و داده‌های خط لرزه‌ای در منطقه مورد بررسی است. به‌منظور نشان دادن بهبود مدل سرعتی، مدل سرعتی که از روش‌های لرزه‌ای به‌طور جداگانه به‌دست آمده را با مدل سرعتی حاصل از تلفیق داده‌ها مقایسه می‌کنیم. اهمیت مدل سرعتی مناسب که با استفاده از داده‌های زلزله و داده‌های لرزه حاصل می‌شود، برای مناطقی که پس از برداشت لرزه‌ای به‌علت نفوذ کم امواج به داخل لایه‌های زیرسطحی مدل ضعیف و گاهی غیرقابل تشخیصی به‌دست می‌دهد، قابل‌توجه است. با داشتن مدل سرعتی دقیق از زیر سطح زمین ادامه عملیات شامل پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای بسیار دقیق‌تر و با کیفیت بسیار مطلوبی صورت می‌گیرد.

۲ داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از داده‌های یک خط لرزه‌ای که در عرض جغرافیایی ۳۲/۸۲ و طول جغرافیایی ۴۸/۲۶ درجه تا عرض ۳۳/۳۲ و طول ۴۸/۴۰ درجه واقع شده است، استفاده می‌شود. این خط لرزه‌ای که در استان لرستان از سوی شرکت نفت برداشت شده، شامل ۴۵۰ چشمه انفجاری بوده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، به‌منظور اعمال روش توموگرافی زمان سیر عبوری از اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های رخ داده در محدوده عرض جغرافیایی ۳۲ تا ۳۵ درجه و طول جغرافیایی ۴۷ تا

۳ تبدیل داده‌های بازتابی به عبوری

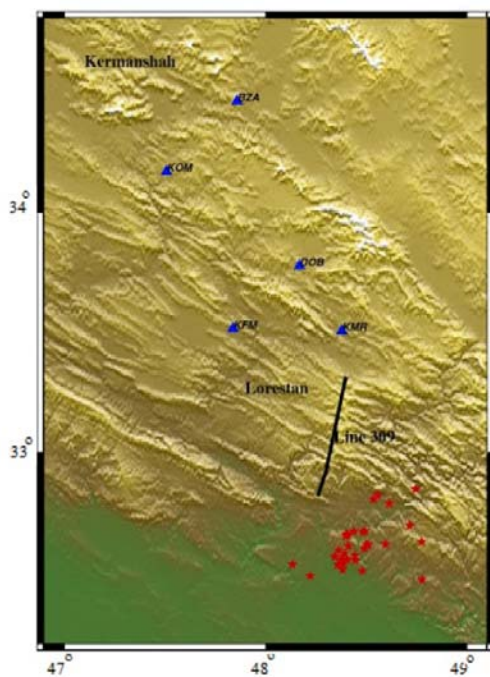
برای اجرای روش تلفیق توموگرافی، باید داده‌های زمان رسید بازتابی را به صورت داده‌های زمان رسید عبوری در آورد. برای تبدیل کردن داده‌ها و ورود به کار توموگرافی، ابتدا داده‌های زمان سیر بازتابی را طی مراحل به صورت داده‌های زمان سیر عبوری (با استفاده از اطلاعات زمین لرزه‌ها) در نظر گرفتیم. بدین صورت براساس شکل ۲، نقاط عمقی (Common Depth (CDP)) در روش بازتابی را درحکم چشمه‌های زمین لرزه و گیرنده‌ها را درحکم ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در نظر می‌گیریم و زمان سیرها را از چشمه‌های جدید (نقاط عمقی) تا ایستگاه‌های جدید (گیرنده‌های لرزه‌ای) محاسبه می‌کنیم و در کار توموگرافی زمان سیر، به مثابه داده ورودی وارد می‌کنیم.

۳- شرط زمین لرزه‌هایی که حداقل در ۴ ایستگاه ثبت شده باشد، اعمال شد.

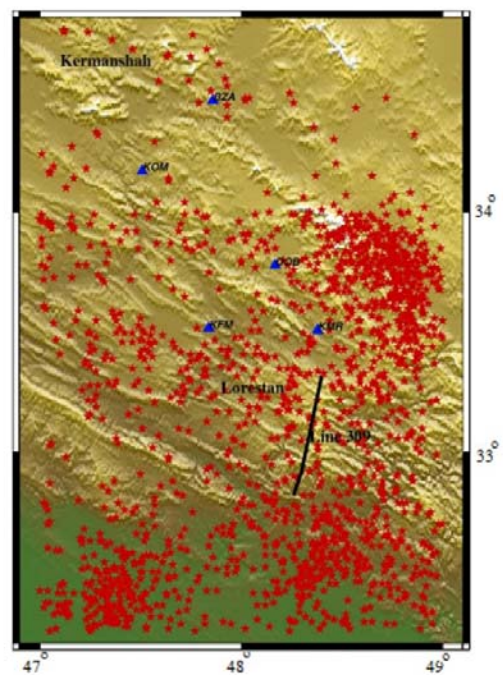
۴- زمین لرزه‌هایی که نقصان آزیموتی حدود ۰ تا ۱۸۰ درجه داشتند در نظر گرفته شدند.

۵- محدودیت ریشه دوم مجموع مربعات اختلاف زمانی میان فازهای خوانده شده و فازهای محاسبه شده (rms) را اعمال کردیم به گونه‌ای که حداکثر مجاز را ۰/۵ در نظر گرفتیم.

با توجه به شکل ۱، از کل زمین لرزه‌های مورد استفاده، حدود ۳۲۶ زمین لرزه تحت شرایط بالا به دست آمد اما با توجه به اینکه زمین لرزه‌هایی را هدف بررسی قرار خواهیم داد که پرتو آنها از چشمه تا ایستگاه‌ها حتماً از روی خط لرزه‌ای مورد نظر عبور کند، در نتیجه حدود ۳۶ زمین لرزه تحت فیلترهای پیش گفته را انتخاب کردیم.

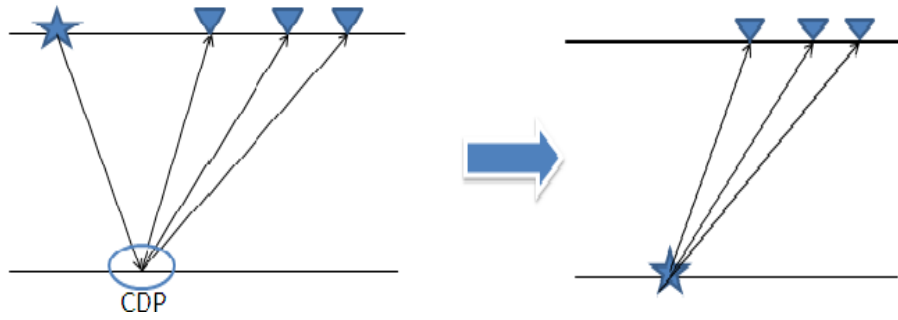


(ب)



(الف)

شکل ۱. (الف) نمایی از کل زمین لرزه‌های رخ داده در منطقه در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ و (ب) نمایی از زمین لرزه‌های انتخاب شده تحت فیلترهای پیش گفته. (خط مشکی: خط لرزه‌ای مورد بررسی، مثلث‌های آبی‌رنگ: ایستگاه‌های لرزه‌نگاری وابسته به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و نقاط سرخ‌رنگ: زمین لرزه‌های مورد استفاده).



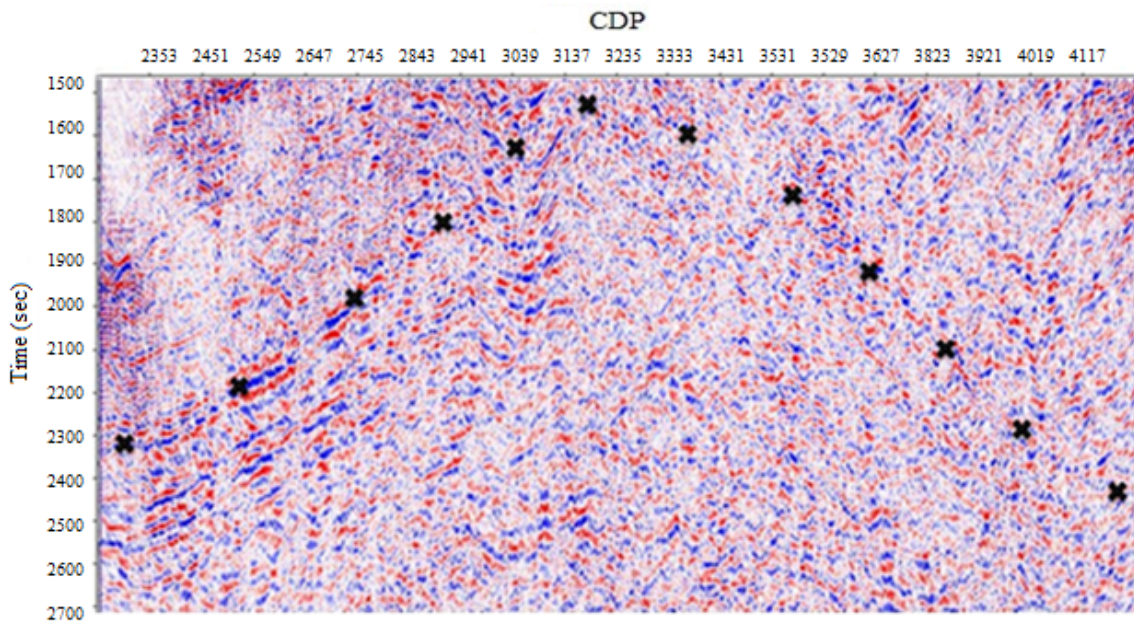
شکل ۲. (سمت چپ) نمایش ساده‌ای از امواج بازتاب شده از نقاط عمقی داخل زمین، (سمت راست) با فرض در نظر گرفتن نقاط عمقی شکل سمت چپ به صورت چشمه زمین لرزه.

۱-۳ پردازش داده‌ها

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود زمان سیرهای امواج دو مسیر رفت و برگشت از سطح ناپیوستگی را طی می‌کنند اما ما فقط به زمان یک مسیر (one way time) نیاز داریم. اگر لایه‌ها افقی باشند چون مسیر موج از نقاط عمقی، متقارن است با نصف کردن زمان رسید موج می‌توان زمان مورد نیاز را به دست آورد. اما در لایه‌های شیب‌دار، موج مسیر متقارنی را طی نخواهد کرد. بنابراین در حین تصحیحات لازم

روی داده‌ها، بعد از مرحله تصحیح لایه‌های شیب‌دار (DMO) می‌توان زمان رفت و برگشت را با نصف کردن، به زمان یک مسیر تبدیل کرد؛ بنابراین مراحل زیر را روی داده‌های خام خط لرزه‌ای مورد نظر عملی می‌سازیم:

۱- اعمال کردن هندسه، ویرایش داده‌ها، تصحیح توپوگرافی، حذف نوفه، واهمامیخت، تصحیح لایه هوازده، تصحیح باقی‌مانده، تصحیح لایه شیب‌دار، تحلیل سرعتی، برانبارش، مهاجرت.



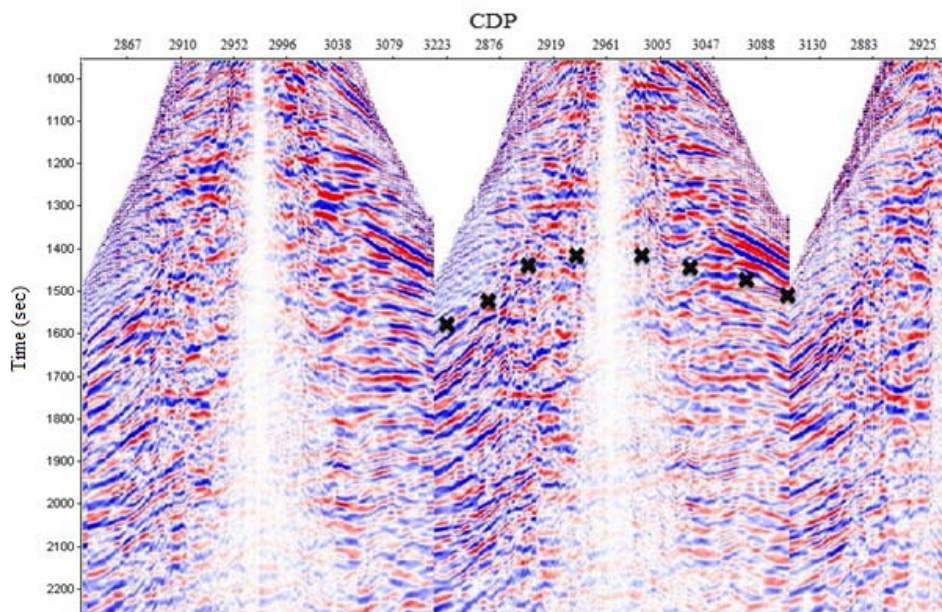
شکل ۳. انتخاب یک سطح بازتاب‌کننده در مقطع بعد از DMO و پیگیری این سطح با در نظر گرفتن شماره چشمه نقاط مورد نظر.

به گیرنده‌ها و عمق متناظرشان، می‌توان داده‌ها را به قالب ورودی کار توموگرافی زمان سیر عبوری تبدیل و مدل سرعتی را با این روش محاسبه کرد.

۲-۳ ایستگاه‌های مورد استفاده

با داشتن زمان و سرعت به راحتی می‌توان عمق هر کدام از نقاط عمقی که در حکم چشمه در نظر گرفته شدند را به دست آورد. گیرنده‌های مورد استفاده در امتداد خط لرزه‌ای در حکم ایستگاه‌های ثبت کننده امواج در نظر گرفته شده و برای بالا بردن دقت کار، همانند فیلتری که روی داده‌های زلزله اعمال شد، داده‌هایی را در حکم ورودی توموگرافی در نظر گرفتیم که حداقل در ۴ ایستگاه ثبت شده باشند. مختصات این ایستگاه‌ها در جدول ۱، آمده است. داده‌های خوانده شده روی خط لرزه‌ای فوق مربوط به ۱۲۰ نقطه عمقی و ۱۵ گیرنده است، بنابراین تعداد داده‌های به دست آمده حدود ۱۲۰ است که برای تلفیق با زلزله‌های فیلتر شده، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با اعمال مراحل فوق، مدل سرعتی در حین کارهای پردازشی براساس اطلاعات امواج بازتابی محاسبه می‌شود و مقطع آن بر انبارش و سپس مهاجرت داده می‌شود تا بازتاب کننده‌ها به جای اصلی خود در زیر سطح زمین برگردند (ایلماز، ۱۹۸۷). بار دیگر روی مقطع به دست آمده بعد از تصحیح لایه شیب‌دار، یک سطح بازتاب کننده را انتخاب کرده و با توجه به شکل ۳، نقاطی را روی این سطح پیگیری می‌کنیم. با توجه به مسیر بازتاب کننده و با در نظر گرفتن شماره چشمه نقاط مورد نظر در مقطع بعد از تصحیح لایه شیب دار، شماره نقاط عمقی انتخاب شده مطابق با شکل ۴، زمان متناظر آن‌ها خوانده می‌شود. تمامی اطلاعات در فایل جمع آوری شده و براساس مدل سرعتی که به طور جداگانه از مقطع سرعتی که در مراحل بالا در مرحله تحلیل سرعتی به دست آوردیم، برای هر نقطه عمقی می‌توان عمق متناظر را هم محاسبه کرد، (بازه تغییرات این نقاط عمقی حدود ۲ تا ۶ کیلومتر است). با داشتن مشخصات نقاط عمقی و گیرنده‌ها، زمان رسیدهای امواج از نقاط عمقی (چشمه‌ها)



شکل ۴. بررسی روند پیشروی بازتاب کننده بر اساس شماره چشمه انتخاب شده.

ارتفاع برای همه چشمه‌ها و گیرنده‌ها و در نظر گرفتن یک سطح مبنا برای همه آنها از تصحیح توپوگرافی استفاده می‌کنیم. در حین مراحل پردازش داده‌های خام در امتداد خط لرزه‌ای مورد بررسی، داده‌ها روی یک سطح مبنا (datum) برده می‌شوند؛ یعنی از لحاظ زمانی به بالا انتقال داده می‌شوند (ایلماز، ۱۹۸۷). به منظور تلفیق هر دو داده عبوری و بازتابی باید داده‌های زمان سیر زمین‌لرزه‌های محلی هم به این سطح مبنا برده شوند. در نتیجه تصحیح ایستایی را برای چشمه و ایستگاه‌های زمین‌لرزه‌ها اعمال می‌کنیم. این تصحیحات برحسب زمان است و باید این زمان‌های به دست آمده از زمان اولیه وقوع زلزله در چشمه و از زمان رسید موج به هر ایستگاه کم شود تا این داده‌های زلزله هم روی همان سطح مبنا برده شوند و بتوان این دو نوع داده را با هم ترکیب کرد و کار تلفیق توموگرافی را عملی ساخت.

۴ مدل سرعتی سه‌بُعدی با داده‌های تلفیق شده

بعد از اجرای تصحیحات بالا می‌توان دو نوع داده عبوری و بازتابی را تلفیق کرد و مدل سرعتی را به دست آورد. همان‌طور که می‌دانیم از مدل سرعتی دو بُعدی، درحکم مدل ورودی برای به دست آوردن مدل سرعتی سه بُعدی استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا مدل سرعتی به دست آمده از داده‌های بازتابی در حین مراحل پردازش (تحلیل سرعتی) را درحکم مدل اولیه در نظر می‌گیریم. سپس برای انتخاب آرایش شبکه بهینه، آرایش‌های متنوعی را مورد بررسی قرار می‌دهیم. این آرایش باید به گونه‌ای باشد که همه رویداد زمین‌لرزه‌ها و ایستگاه‌های موردنظر در حجم شبکه‌ای از گره‌های سرعتی قرار بگیرد (ایوانز و همکاران، ۱۹۹۴).

با بررسی هم‌زمان زمان سیرها، پوشش رویدادها و ایستگاه‌ها در نهایت به آرایش بهینه دست پیدا کردیم. این مدل از ۱۳ گره در امتداد محور X و ۲۲ گره در امتداد

جدول ۱. ایستگاه‌ها (گیرنده‌های لرزه‌ای) در امتداد خط لرزه‌ای مورد بررسی.

ایستگاه	مختصات طولی (درجه)	مختصات عرضی (درجه)	ارتفاع (متر)
AAA	۴۸/۲۹۸۰	۳۲/۹۰۶۰	۹۳۰
BBB	۴۸/۳۰۰۰	۳۲/۹۰۵۰	۹۶۰
CCC	۳۲/۹۱۴۰	۴۸/۳۰۲۰	۱۱۳۸
DDD	۳۲/۹۲۱۰	۴۸/۳۰۴۰	۱۲۰۳
EEE	۳۲/۹۲۲۰	۴۸/۳۰۴۰	۱۲۰۵
FFF	۳۲/۹۷۵۰	۴۸/۳۲۸۰	۱۹۱۵
GGG	۳۲/۹۶۰۰	۴۸/۳۳۳۰	۱۸۹۶
HHH	۳۲/۹۸۶۰	۴۸/۳۴۰۰	۲۲۱۲
III	۳۲/۹۹۲۰	۴۸/۳۴۷۰	۲۰۴۵
JJJ	۳۲/۹۹۳۰	۴۸/۳۴۸۰	۲۰۰۰
KKK	۳۳/۰۰۳۰	۴۸/۳۵۸۰	۲۳۹۹
LLL	۳۳/۰۰۶۰	۴۸/۳۶۲۰	۲۲۴۷
MMM	۳۳/۰۱۰۰	۴۸/۳۶۶۰	۲۰۹۶
NNN	۳۲/۰۱۴۰	۴۸/۳۷۱۰	۱۹۴۵
OOO	۳۳/۰۱۸۰	۴۸/۳۷۵۰	۲۱۲۹

۳-۳ اعمال تصحیح ایستایی روی داده‌های زلزله

منطقه مورد بررسی، در ایالت لرزه‌زمین‌ساخت زاگرس واقع شده است و در این منطقه کوهستانی، شاهد تغییرات توپوگرافی هستیم. چشمه‌ها و گیرنده‌ها در امتداد خط لرزه‌ای روی ارتفاعات متفاوتی قرار دارند و برای تصحیح

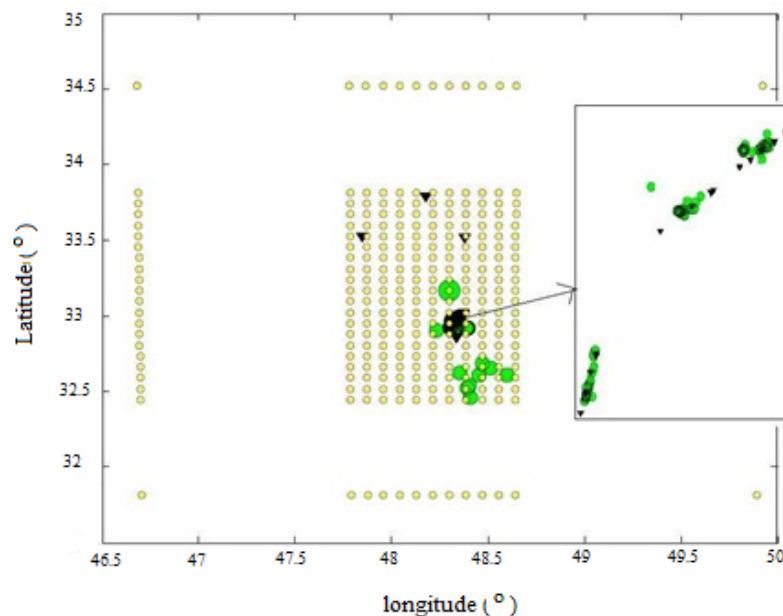
باید از هر دو مدل در حین پردازش (مرحله تحلیل سرعتی) استفاده کرد و آنها را در مقطع مهاجرت داده شده، مورد مقایسه قرار داد. با یک نگاه کلی روی هر دو مقطع می‌توان نتیجه گرفت که جزئیات بیشتری در مقطع حاصل از داده‌های تلفیقی، مشاهده می‌شود؛ لذا نباید فراموش کرد که تنها تفاوت این دو مقطع، مدل‌های سرعتی متفاوت آنها است و در غیر این صورت، آنها در همه مراحل دیگر پردازش مشترک هستند.

۴-۲ مقایسه مدل‌های سرعتی

از مدل‌های سرعتی به دست آمده براساس داده‌های صرفاً بازتابی و داده‌های تلفیقی در مراحل پردازش خط لرزه‌ای مورد بررسی، استفاده شد و مقطع‌های مهاجرت داده شده را براساس هر کدام از مدل‌های سرعتی مطابق با شکل ۷، به دست آوردیم. به منظور مقایسه مقاطع به دست آمده، آنها را به بخش‌های گوناگون تفکیک کردیم. با توجه به شکل ۸ می‌توان موارد زیر را بیان کرد:

محور Δ با فواصل ۸ کیلومتری و فواصل عمقی ۱ کیلومتری طراحی شده است. تلاش بیشتر برای دستیابی به فواصل کمتر، منجر به بروز خطا می‌شود. این آرایش شبکه‌ای بهینه در شکل ۵ نمایش داده می‌شود. این خط لرزه‌ای حدوداً ۶۰ کیلومتر طول دارد و در حدود فاصله چهار گره طولی و سه گره عرضی قرار گرفته و با توجه به نکات ذکر شده در بالا، در عمق‌های متفاوت بررسی شده است. بعد از اجرای مراحل گوناگون، به منظور دست یافتن به مدل سرعتی بهینه، مدل سه‌بعدی سرعتی برای همه نقاط شبکه به دست می‌آید.

۴-۱ استفاده از مدل سرعتی تلفیقی در مقطع لرزه‌ای با توجه به شکل ۶، ابتدا مقطع مربوط به مدل سرعتی که صرفاً از داده بازتابی (در حین مراحل پردازش) در طول خط لرزه‌ای به دست آمد و سپس مقطع سرعتی مربوط به تلفیق داده‌های عبوری و بازتابی را در حکم مدل سرعتی ورودی در نظر گرفتیم. برای مقایسه هر دو مدل سرعتی،



شکل ۵. آرایش شبکه‌ای منطقه براساس داده‌های تلفیق شده (دایره‌های زرد رنگ: گره‌های شبکه، مثلث‌های مشکی: ایستگاه‌های مورد نظر در منطقه و دایره‌های سبز رنگ: زمین‌لرزه‌های مورد استفاده در این تحقیق).

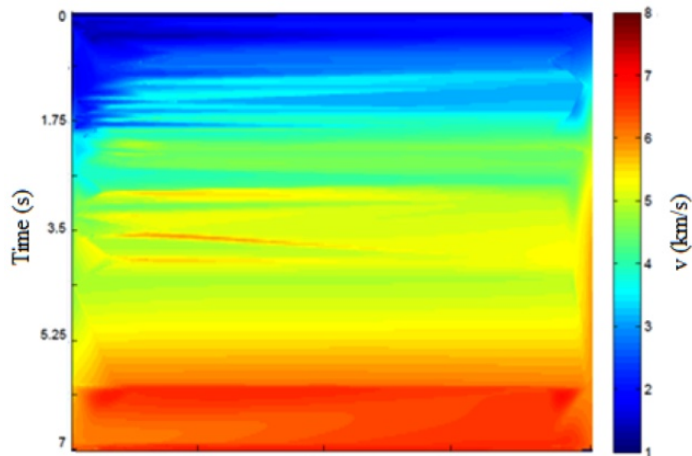
مقطع (ب) بازتاب‌کننده به صورت ناپیوسته مشاهده می‌شود و روند کلی بازتاب‌کننده به وضوح مشخص نیست.

شماره ۴- در این قسمت در هر دو مقطع (الف و ب) بازتاب‌کننده شیب‌دار با وضوح زیادی دیده می‌شود. این بازتاب‌کننده در قسمت میانی خود در مقطعی که از داده‌های لرزه‌ای به دست آمده، حالت مبهمی دارد، به طوری که از ابتدا و انتهای این بازتاب‌کننده می‌توان روند تغییرات قسمت میانی را حدس زد اما در مقطع به دست آمده از داده‌های تلفیقی، این بازتاب‌کننده از ابتدا تا انتها به طور واضح دیده می‌شود.

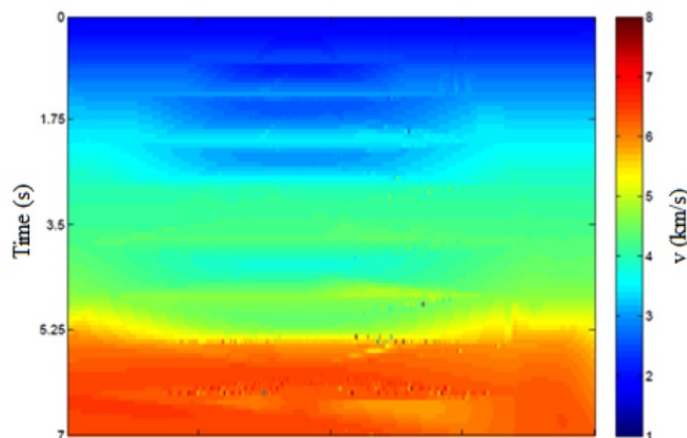
شماره ۱- بازتاب‌کننده‌ها در مقطع به دست آمده از داده‌های لرزه‌ای، پیوستگی لازم را نشان نمی‌دهند اما در مقطعی که با استفاده از داده‌های تلفیقی به دست آمده، پیوستگی این سطوح بازتابی مشخص است؛ به طوری که روند شیب بازتاب‌کننده‌ها را به راحتی می‌توان تشخیص داد.

شماره ۲- در این قسمت در مقطع (الف) بازتاب‌کننده شیب‌دار به طور ناپیوسته دیده می‌شود، در صورتی که در مقطع (ب) بازتاب‌کننده به صورت تاقدیس مانند، کاملاً واضح است.

شماره ۳- در این قسمت در مقطع (الف) بازتاب‌کننده شیب‌دار با وضوح زیادی دیده می‌شود، در حالی که در

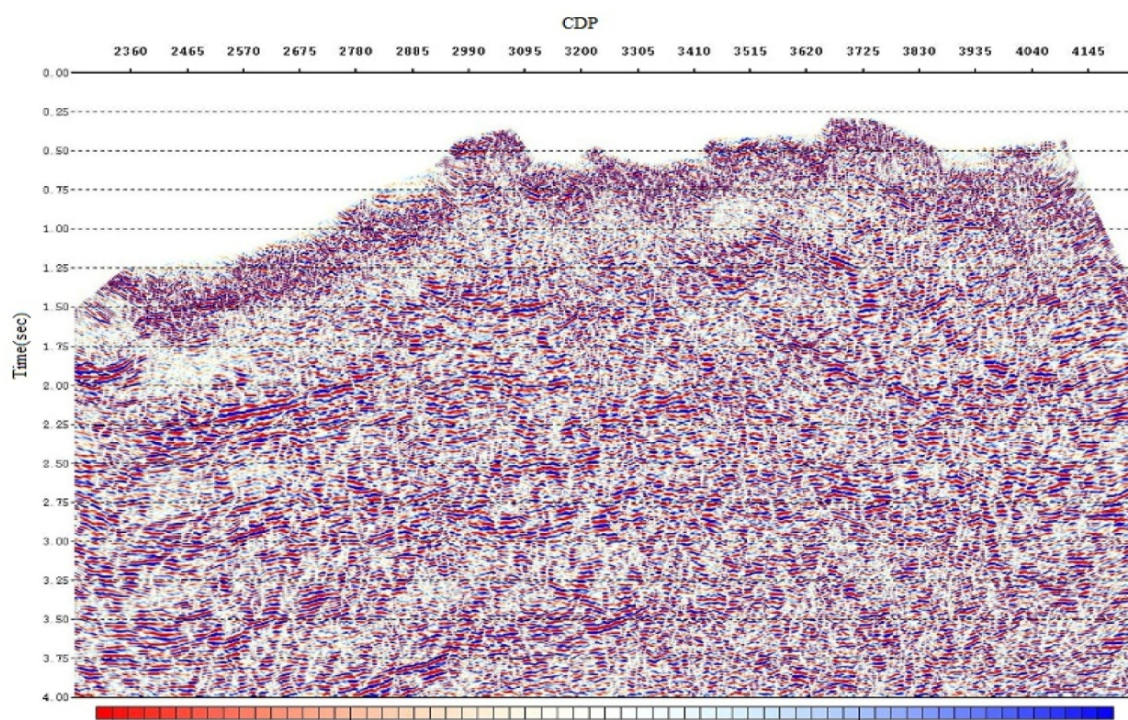


(الف)

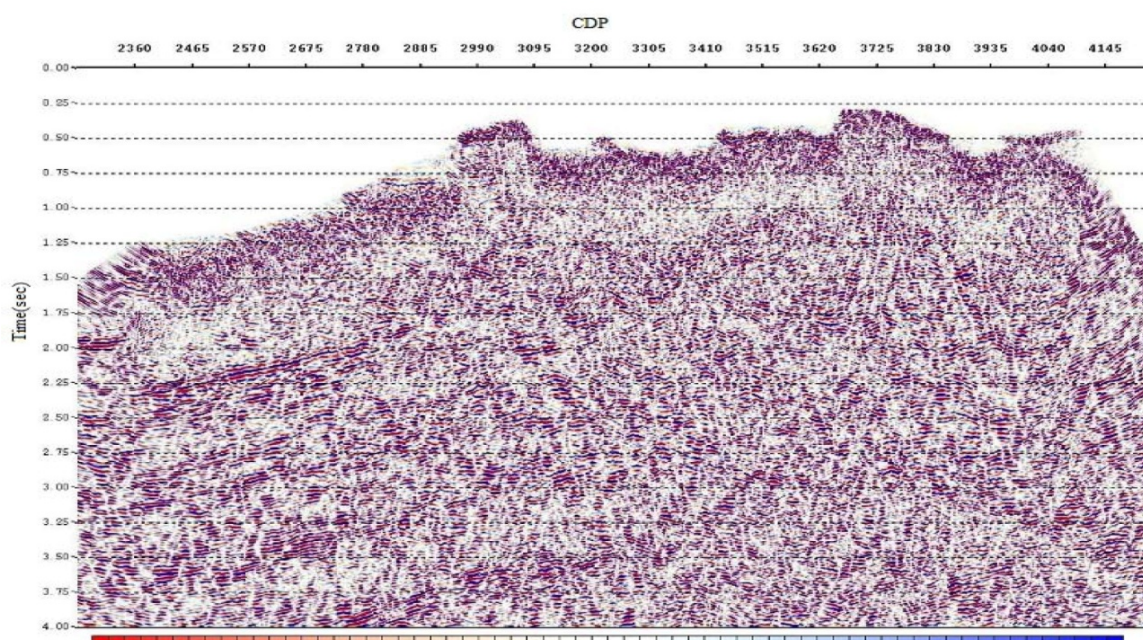


(ب)

شکل ۶. نمایش مدل سرعتی به دست آمده در یک پنجره زمانی دلخواه، (الف) مدل سرعتی به دست آمده با داده‌های صرفاً بازتابی و (ب) مدل سرعتی با استفاده از داده‌های تلفیق شده.

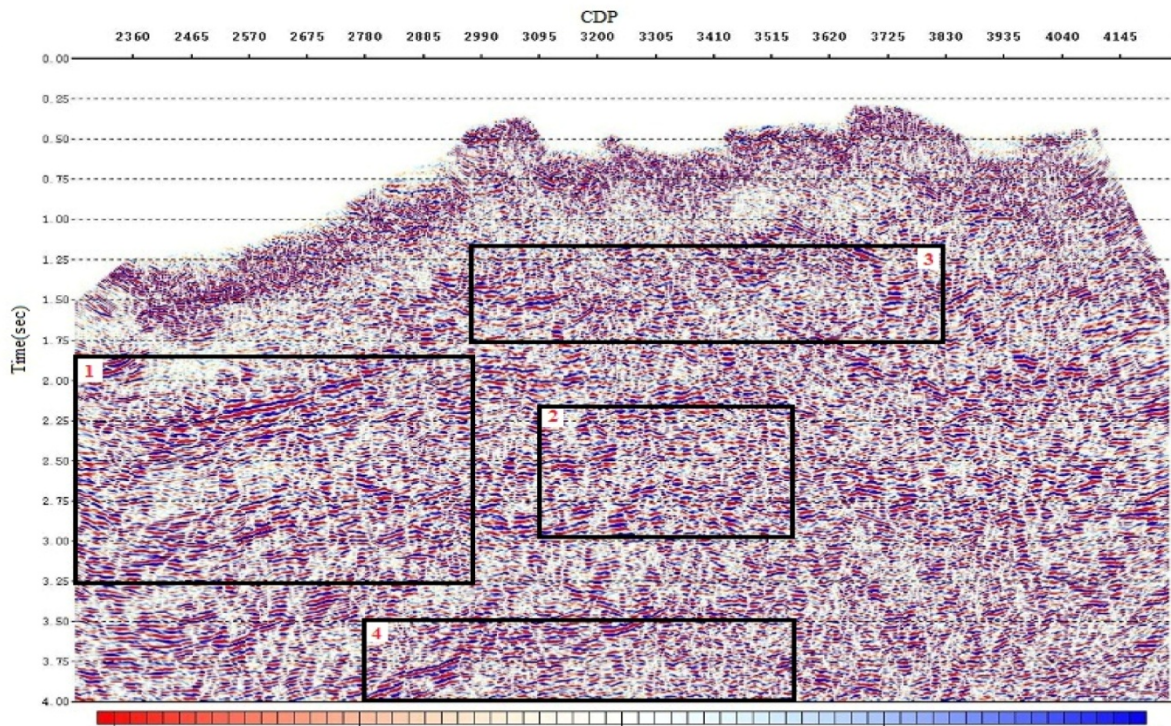


(الف)

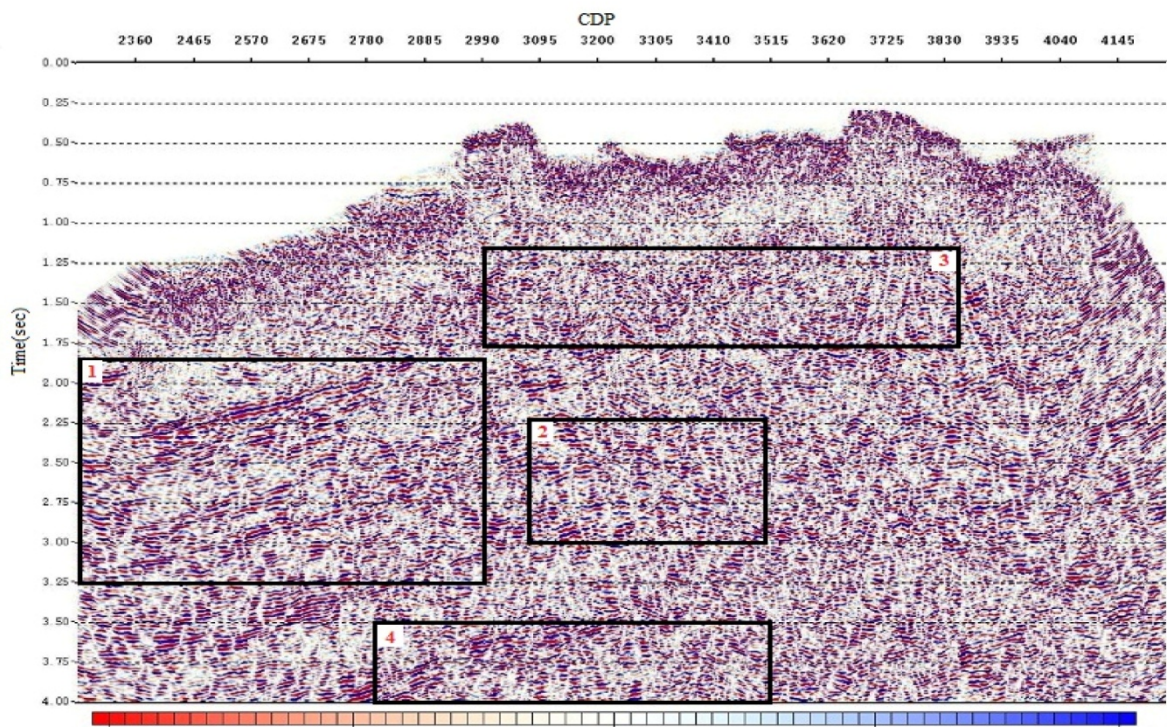


(ب)

شکل ۷. مقاطع بعد از مهاجرت، (الف) با استفاده از مدل سرعتی داده‌های لرزه بازتابی و (ب) با استفاده از مدل سرعتی داده‌های تلفیقی. (راهنمای رنگی نشان‌دهنده قطبیدگی موج لرزه‌ای است).



(الف)



(ب)

شکل ۸. مقاطع تفکیک شده بعد از مهاجرت، (الف) با استفاده از مدل سرعتی داده‌های صرفاً لرزه بازتابی و (ب) با استفاده از مدل سرعتی داده‌های تلفیقی. (راهنمای رنگی نشان‌دهنده قطبیدگی موج لرزه‌ای است).

۵ نتیجه گیری

انتظار می‌رود که با داشتن مدل سرعتی دقیقی از زیر سطح زمین ادامه عملیات شامل مراحل پردازش و تفسیر داده‌های لرزه‌ای دقیق‌تر و با کیفیت‌تری صورت گیرد. علاوه بر آن برای سازندهایی که نفوذ امواج لرزه به علت شرایط موجود بسیار ضعیف است، با داده‌های زمین‌لرزه‌ها می‌توان مدل سرعتی ضعیف را به مدل با کیفیت بالا تبدیل کرد، به نحوی که مدل به دست آمده، با مدل واقعی زمین مشابهت خواهد داشت.

منابع

- Bickel, S. H., 1990, Velocity – depth ambiguity of reflection travel times, *Geophysics*, **55**, 266-276.
- Chen, W., 2003, Realization and analysis of an integration tomography scheme, Stanford Exploration Project, Report **113**, 331-340.
- Evans, J. R., Eberhart-Phillips, D., and Thurber, C. H., 1994, User's manual for Simulps for imaging V_p and V_p/V_s : a derivative of the "Thurber" tomographic inversion SIMUL3 for local earthquakes and explosions, Open-File Rep, 94-431; U.S. Geological Survey Reston, VA, 101pp.
- Kissling, E., 1995, Program VELEST USER'S GUIDE - Short Introduction, Institute of Geophysics, ETH Zuerich.
- Mao, W. and Stuart, W., 1996, Transmission – Reflection tomography, application to reverse VSP data, *Geophysics*, **62**(3), 884-894.
- Perez, M. A. and Bancroft, J. C., 2001, Integrated high-resolution tomography, CREWES Research Report, **13**, 721-735.
- Ross, W. S., 1994, The velocity – depth ambiguity in seismic travel time data, *Geophysics*, **59**, 830-843.
- Tieman, H., 1994, Investigates the velocity–depth ambiguity of reflection travel times, *Geophysics*, **59**, 1763-1773.
- Yilmaz, O., 1987, Seismic data processing, Soc. Expl. Geophys. S.E.G.

ایجاد مدل سرعت در لرستان صرفاً بر مبنای اطلاعات حاصل از تحلیل سرعت متداول داده‌های بازتابی براساس توموگرافی بازتابی بوده است. اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های لرزه‌نگاری (فهرست‌نامه زلزله‌های کم عمق تصحیح شده) را می‌توان در حکم یک قید اضافی در محاسبات دقیق‌تر سرعت به کار برد. این تحقیق از آنجا ضرورت داشت که تاکنون از این اطلاعات در بهبود مدل سرعتی داده‌های لرزه بازتابی استفاده نشده بود. در این مطالعه با تلفیق داده‌های لرزه بازتابی و زمین‌لرزه‌های رخ داده (البته بعد از اعمال فیلترهای گوناگون، مطابق با بخش ۲)، مدل سرعتی جدیدی ایجاد گردید. به منظور مقایسه مدل‌های سرعتی حاصل از داده‌های تلفیقی و لرزه بازتابی، این دو مدل سرعتی به طور مجزا در مرحله تحلیل سرعتی استفاده شدند. مقطع‌های مهاجرت یافته براساس این مدل‌های سرعتی، بدست آمده و با بررسی دقیق این دو مقطع که در همه مراحل به جز مدل سرعتی مشترک بودند، بازتاب‌کننده‌ها با وضوح و پیوستگی بیشتری در مقطع حاصل از داده‌های تلفیقی مشاهده شدند. در قسمت‌هایی از مقطع مهاجرت یافته حاصل از مدل سرعتی داده‌های لرزه بازتابی ابهاماتی در روند بازتاب‌کننده‌ها وجود داشت، اما همان طور که انتظار داشتیم در مقطع بدست آمده با استفاده از مدل سرعتی داده‌های تلفیقی این مورد مشاهده نشد. اهمیت مدل سرعتی مناسب که با استفاده از تلفیق داده‌ها حاصل می‌شود، برای مناطقی که پس از برداشت لرزه‌ای به علت نفوذ کم امواج به داخل لایه‌های زیرسطحی مدل ضعیف و گاهی غیرقابل تشخیصی را به دست می‌دهد، قابل توجه است.