

جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده با استفاده از فیلترهای K-L، F-K و فضایی میانی

جواد بانوی^۱، کارشناس ارشد مهندسی نفت، شرکت ملی حفاری ایران
مجید نبی بیده‌ندی^۲، دکتری ژئوفیزیک کاربردی، استاد موزه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

چکیده

یکی از گام‌های اساسی در پردازش اطلاعات پروفیل قائم لرزه‌ای، جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده از یکدیگر است. با توجه به شیب متفاوت این امواج، کلیه روش‌هایی که از الگوریتم فیلتر شیب برای جداسازی رخدادها استفاده می‌کنند، قابل بهره‌برداری است. از سوی دیگر فیلتر معکوس «واهمامیخت لرزه‌ای» در پردازش اطلاعات پروفیل قائم لرزه‌ای از اطلاعات پایین رونده محاسبه شده و بر روی اطلاعات بالا رونده اعمال می‌شود. بنابراین جداسازی بهینه این امواج از یکدیگر تاثیر به‌سزایی در نتیجه نهایی خواهد داشت. در این مقاله از سه روش: F-K، K-L و «فیلتر فضایی دوبعدی میانی» برای جداسازی این امواج استفاده شده است. به منظور بررسی توانایی این سه روش، پردازش تا مرحله «برانبارش کریدوری» پیش رفته و هم‌خوانی مقطع برانبارش اطلاعات لرزه‌ای سطحی و مقطع برانبارش کریدوری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد، فیلتر فضایی میانی پاسخ مناسب‌تری را نسبت به دو روش F-K و K-L به همراه دارد. دو روش F-K و K-L جداسازی نسبتاً مناسب‌تری را نسبت به روش فیلتر فضایی میانی ایجاد می‌کنند، اما از آنجا که فیلتر فضایی میانی تغییر کمتری در محتوای فرکانسی امواج ایجاد می‌کند، هم‌خوانی مقطع برانبارش کریدوری این روش بیشتر از دو روش دیگر است.

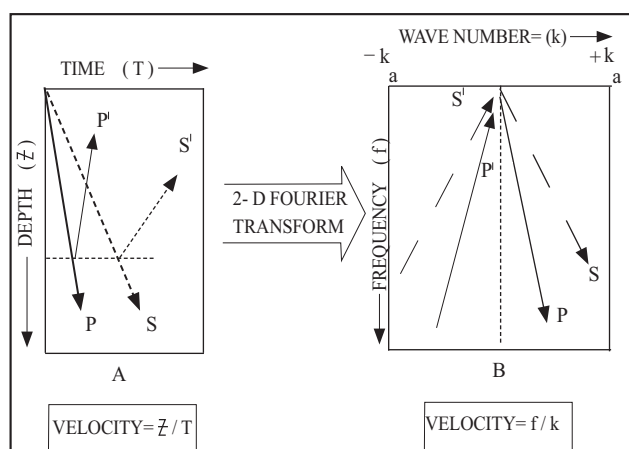
واژه‌های کلیدی | پروفیل قائم لرزه‌ای، امواج بالارونده و پایین رونده، فیلتر فرکانس-عدد موج، تبدیل «کارنن-لووه»^۳، فیلتر دوبعدی میانی.

مقدمه

هستند. روش‌های فوق با استفاده از شیب رخدادهای بالارونده و پایین‌رونده به جداسازی آنها می‌پردازند. در این مقاله سعی شده است تا پس از پردازش اطلاعات پروفیل قائم لرزه‌ای، با مقایسه

پروفیل قائم لرزه‌ای، وسیله‌ای مناسب برای پیوند زدن اطلاعات لرزه‌ای سطحی با اطلاعات عمقی درون‌چاهی است. از سوی دیگر این اطلاعات به صورت خام و پردازش نشده قابل استفاده نمی‌باشند. یکی از گام‌های اساسی در پردازش این اطلاعات، جداسازی امواج بالا رونده و پایین رونده و در نهایت تهیه مقطع برانبارش کریدوری است. از کاربردهای مهم مقطع برانبارش کریدوری، بررسی انطباق بین این مقطع و مقطع برانبارش حاصل از اطلاعات لرزه‌ای بازتابی سطحی است. بدین ترتیب نه تنها صحت پردازش انجام شده بر روی اطلاعات سطحی بررسی می‌شود، بلکه در صورت وجود ساختمان‌های پیچیده زمین‌شناسی، ابزاری مناسب و دقیق برای تحلیل ساختمانی لرزه‌ای در اختیار مفسرین قرار خواهد داد.

یکی از عواملی که کیفیت مقطع برانبارش کریدوری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، نحوه و دقت جداسازی امواج بالارونده و پایین‌رونده است. سه روش F-K، K-L و «فیلتر فضایی دوبعدی میانی»^۴ از روش‌های متداول در جداسازی این امواج



مقایسه نحوه قرارگیری رخدادهای خطی در حوزه زمان-عمق و فرکانس-عدد موج [۴].



۱-۲- فیلتر K-L

این فیلتر به نام «فیلتر برداری ایگن»^۵ نیز معروف است که از تبدیل «کارنن-لووه» تجزیه اطلاعات به تصاویر ایگن متشکل آن استفاده می‌کند. بدین ترتیب که کل «رد لرزه‌های» یک برداشت پروفیل قائم به صورت یک ماتریکس در نظر گرفته می‌شود.

ماتریکس مذکور به زیرماتریکس‌های آن تجزیه شده و پس از تجزیه، با جمع کردن تمام ماتریکس‌ها و یا بخشی از آنها می‌توان به ماتریکس اصلی و یا تقریبی از ماتریکس اصلی رسید. این زیر ماتریکس‌ها، «تصاویر ایگن»^۶ نام دارند و با جمع دوبعدی تصاویر ایگن می‌توان تصویر اصلی و یا به عبارت بهتر، اطلاعات لرزه‌ای را بازسازی کرد [۵].

انتخاب اینکه کدام یک از تصاویر ایگن در بازسازی تصویر اصلی شرکت کند، این امکان را فراهم می‌سازد تا رخدادهای مختلف لرزه‌ای از یکدیگر جدا شوند [۶].

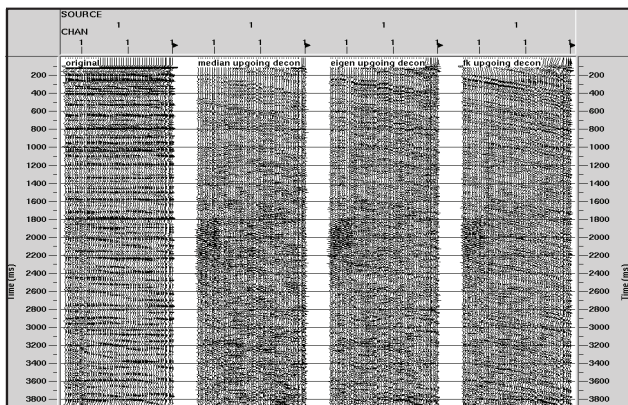
اگر تعداد n دسته سیگنال $x_i(t)$ ($i = 1, \dots, n$) را در نظر

هم خوانی مقطع برانبارش کریدوری و مقطع برانبارش بازتابی سطحی، کیفیت جداسازی امواج بالارونده و پایین‌رونده مورد بررسی قرار گیرد.

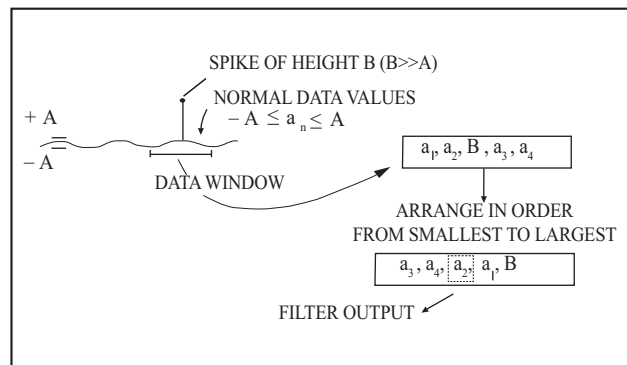
۱- نحوه عملکرد فیلترهای K-L، K-K و فیلتر فضایی دوبعدی میانی

۱-۱- فیلتر F-K

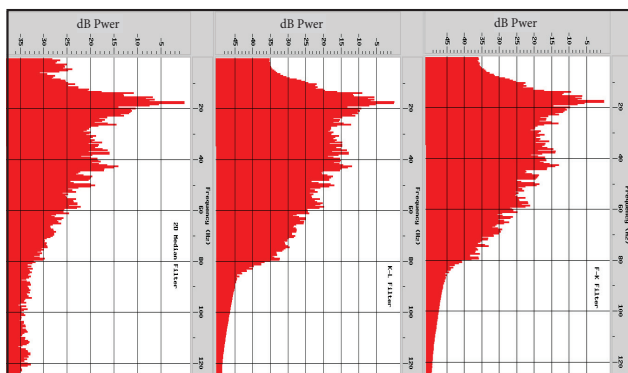
اطلاعات لرزه‌ای با استفاده از تبدیل فوریه دوبعدی از حوزه زمان-عمق به حوزه فرکانس-عدد موج برده می‌شود. رخدادهای مختلف براساس شیب در این حوزه تفکیک می‌شوند. به این ترتیب که پدیده‌هایی با شیب صفر در حوزه زمان-عمق به صورت قائم در حوزه فرکانس-عدد موج دیده می‌شوند (شکل ۱). بر این اساس، چندضلعی تضعیف این شیب‌ها بر اساس فرکانس و عدد موج آنها تعریف شده و این محدوده از اطلاعات در حوزه F-K حذف می‌شوند. سپس اطلاعات با استفاده از تبدیل فوریه معکوس به حوزه زمان-دورافت منتقل می‌شود.



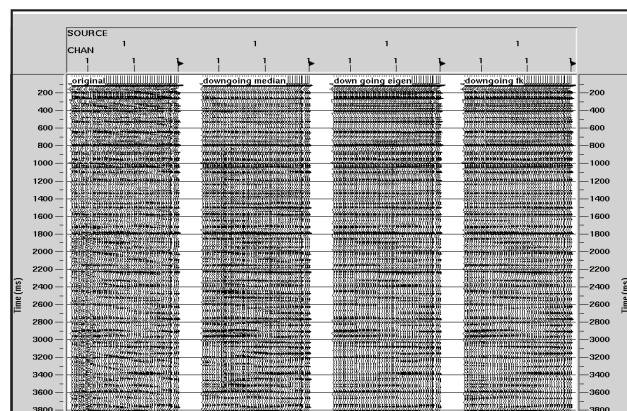
شکل ۴ | مقایسه جدایش امواج بالارونده با استفاده از فیلترهای K-L، K-F و فیلتر میانی پس از عملگر واهامیخت (از راست به چپ).



شکل ۲ | حذف دامنه‌های بزرگ از داده بعد از عبور از فیلتر میانی [۴].



شکل ۵ | مقایسه جدایش امواج بالارونده با استفاده از فیلترهای K-L، K-F و فیلتر میانی پس از عملگر واهامیخت (از راست به چپ).



شکل ۳ | مقایسه جدایش امواج پایین‌رونده با استفاده از فیلترهای K-L، K-F و فیلتر میانی (از راست به چپ) و اطلاعات پروفیل قائم قبل از جدایش.

خواهد شد. مقدار میانی این نمونه‌های آماری X_p است. این مثال نشان می‌دهد که این فیلتر یک فیلتر غیرخطی است [۱]. فیلتر میانه، هنگام ترکیب با فیلتر میان‌گذر یک ابزار کارا در جداسازی رخداد‌های بالارونده و پایین‌رونده در داده‌های پروفیل لرزه‌نگاری قائم است.

خصوصیت مهم این فیلتر این است که به طور کامل نوفه‌های، اسپایکی را از روی داده‌های پروفیل لرزه‌نگاری قائم بر می‌دارد. شکل ۲ این خصوصیت فیلتر میانی را نشان می‌دهد. در این شکل دامنه بزرگی مانند B وجود دارد که متمایز از سایر نمونه‌ها است. بعد از عبور داده از فیلتر میانی این نمونه از داده حذف می‌گردد.

۲- روش مقایسه توانایی فیلترهای F-K، K-L، و فیلتر فضایی دوبعدی میانی
به منظور آماده‌سازی اطلاعات، ابتدا اولین رسیدها نشانه گذاری می‌شوند. با استفاده از اطلاعات اولین رسیدها و عمق گیرنده‌ها، سرعت میانگین در عمق، برای هر سطح محاسبه می‌شود. با استفاده از سرعت محاسبه شده، اثر گسترش کروی از روی اطلاعات برداشته شده و دامنه اولین رسیدها اصلاح می‌شود. به منظور جداسازی امواج بالارونده و پایین‌رونده، ابتدا زمان اولین رسیدها از «ردلرزه» در هر عمق کم می‌شود.

این عمل موجب به خط شدن اولین رسیدها در زمان صفر می‌شود. به منظور مشاهده بهتر اولین رسیدها، جابجایی ثابت ۱۰۰ میلی ثانیه به پایین بر روی تمام «ردلرزه»ها اعمال می‌شود (شکل ۳). بدین ترتیب، امواج پایین‌رونده به صورت افقی و امواج بالارونده به صورت شیبدار دیده می‌شوند. ورودی فیلترهای مذکور، اطلاعات مرحله قبل

بگیریم، با استفاده از ماتریکس تبدیل A (transformation matrix) به ماتریکس تبدیل شده $\psi_i(t)$ خواهیم رسید [۷]:

$$\psi_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j(t) \quad j = 1, \dots, n \quad (1)$$

که در آن a_{ij} اجزای ماتریکس تبدیل A هستند. اگر سیگنال طوری انتخاب شود که ارتوگنال (Orthogonal) باشد، هر سیگنال را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n b_{ij} \psi_j(t) \quad i = 1, \dots, n \quad (2)$$

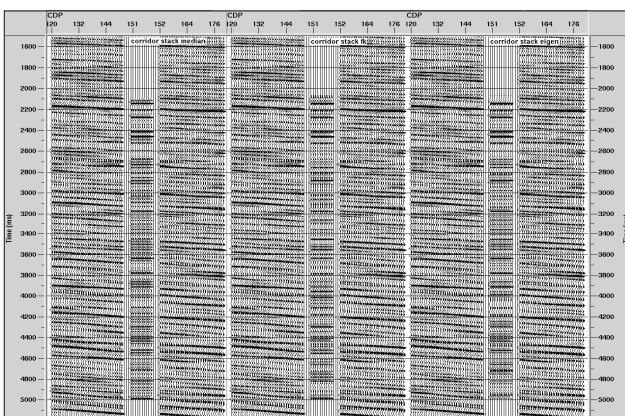
یا به طور تقریبی:

$$\tilde{x}_i(t) = \sum_{j=1}^m b_{ij} \psi_j(t) \quad i = 1, \dots, m \quad m < n \quad (3)$$

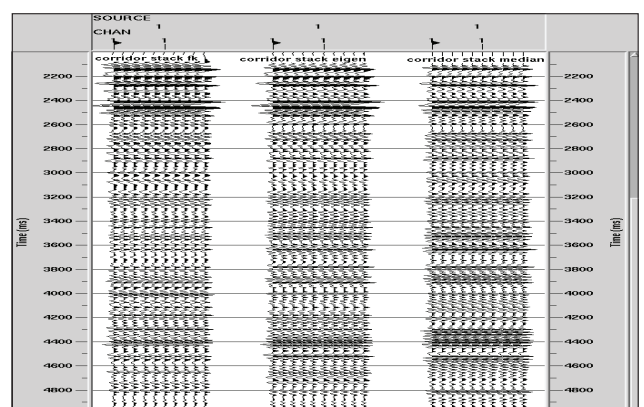
که در آن $\tilde{x}_i(t)$ سیگنال بازسازی شده پس از اعمال فیلتر است و اجزا تشکیل دهنده معمول ماتریکس تبدیل B هستند.

۳-۱- فیلتر فضایی میانی

اگر تعداد N نمونه بر اساس مقادیر صعودی مرتب شده باشند، مقدار نمونه میانی برابر با نمونه $(N+1)/2$ است. اگر N فرد باشد، میانه برابر با مقدار میانی است. همچنین اگر N زوج باشد، میانه برابر با مقدار متوسط دو نمونه میانی است. فرض کنید که X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 یک توالی از نمونه‌های آماری باشند که دامنه بزرگی آنها با یکدیگر متفاوت است؛ در این صورت، ترتیب آنها را بر اساس دامنه‌هایشان به صورت X_1, X_2, X_3, X_4, X_5



شکل ۷ | مقایسه همخوانی مقطع بر انباشت‌کردی حاصل از فیلترهای F-K، K-L، و فیلتر میانی با مقطع بر انباشت‌بازتابی (طبق برچسب).



شکل ۸ | مقایسه مقطع بر انباشت‌کردی حاصل از فیلترهای F-K، K-L، و فیلتر میانی (از چپ به راست).



مقطعی که با استفاده از فیلتر میانی به دست آمده است بیشتر است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد، استفاده از فیلترهای F-K و K-L، سبب تغییر در محتوای فرکانسی اطلاعات شده و این تغییر سبب پایین آمدن قدرت تفکیک مقطع برانبارش کریدوری می‌شود. همچنین جداسازی مناسب امواج بالا رونده و پایین رونده سبب افزایش دقت در محاسبه ضریب کیفیت خواهد شد [۲].

نتیجه‌گیری

۱. سه فیلتر K-L، F-K و میانی به خوبی اطلاعات بالارونده و پایین‌رونده را از یکدیگر تفکیک می‌کنند.
۲. جدایش امواج بالارونده و پایین‌رونده در فیلترهای K-L و میانی منوط به، به خط کردن امواج پایین‌رونده است و کیفیت تفکیک به همگن بودن دامنه این امواج وابسته است. در فیلتر F-K تأثیر به خط شدگی امواج پایین‌رونده در جدایش این امواج کمتر است.
۳. هم‌چنین در جداسازی امواج با استفاده از فیلتر میانی، با اینکه تفکیک نسبتاً ضعیف‌تری نسبت به دو روش دیگر دارد، محتوای فرکانسی را کمتر تغییر داده و لذا تطابق بهتری با اطلاعات لرزه سطحی ایجاد می‌کند.

است. همان‌طور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، امواج پایین‌رونده در هر سه روش به خوبی جدا شده‌اند. البته باید در نظر داشت که همگن شدن دامنه امواج و حذف اثر گسترش کروی تأثیر به‌سزایی در جداسازی امواج در روش‌های K-L و فیلتر میانی خواهد داشت [۳].

در شکل ۴، امواج بالارونده جدا شده‌اند. به نظر می‌رسد فیلتر میانی نسبت به دو روش دیگر ضعیف‌تر عمل کرده است. در شکل ۵ هم چنین طیف دامنه امواج پایین‌رونده فیلترهای مختلف با هم مقایسه شده‌اند. با استفاده از امواج پایین‌رونده که در هر روش جداسازی شده‌است، فیلتر معکوس برای اعمال عملگر واهمامیخت پروفیل قائم (VSP deconvolution) همان روش محاسبه می‌شود. پس از اعمال عملگر واهمامیخت، کریدوری ثابت و یکسان برای هر سه روش تعریف می‌شود. سپس با استفاده از این کریدور، مقطع برانبارش کریدوری (corridor stack) به دست می‌آید (شکل ۶).

مقاطع به دست آمده از فیلترهای مختلف متفاوت است. با وارد کردن مقطع برانبارش کریدوری بر روی اطلاعات لرزه‌ای سطحی و مقایسه تطابق، می‌توان مقایسه صحیحی بین مقاطع به دست آمده در اختیار داشت.

همان‌طور که مشاهده می‌شود (شکل ۷)، میزان تطابق در

پی‌نوشت‌ها

¹javad.banavi3@gmail.com
²mnbhendi@ut.ac.ir

³kahrunen-loeve
⁴2D spatial median filter

⁵Eigen vector filter
⁶Eigen Images

منابع

- [1] Chopra, S., Alexeev, V., Lantaigne, J., 2004, New VSP wavefield separation methods, CSEG National Convention.
- [2] Haase, A.B., Stewart, R.R., 2010, Near-field seismic effects in a homogeneous medium and their removal in vertical seismic profile attenuation estimates, Vol 58, No. 6, pp. 1023-1032.
- [3] Kupelilkilic, Y.K.O., El Refae, A. T., 2006, Vertical Seismic Profile First-Break Amplitude Study, 68th EAGE Conference & Exhibition.
- [4] Mari, J.L., Coppens, F., Well seismic surveying, Revol, J., t edition, Institut Francais du petrole publications, Paris, 2003.
- [5] Nuzzo, L. and Quarta, T., 2004, Improvement in GPR coherent noise attenuation using t-p and wavelet transforms, Geophysics vol. 69, no. 3, 789-802.
- [6] Rudzki, M., 2008, Coherent Noise Attenuation in the GPR Data via the Karhunen-Loève Transform, 14th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics Kraków, Poland.
- [7] Zhao, A., Jiang, Y. and Wang, W., 2005, Signal-to-noise Ratio Enhancement in Multichannel GPR Data via the Karhunen-Loève Transform, Progress In Electromagnetic Research Symposium 2005, Hangzhou, China.