

تضعیف امواج سطحی در داده‌های بازتابی با استفاده از فیلتر $f-k$ وفقی

علی جلوه‌گر فیلبند^۱ و محمدعلی ریاحی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
^۲ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۶/۶/۲۵، پذیرش نهایی: ۸۷/۱/۵)

چکیده

یکی از مشکلات همیشگی در لرزه‌نگاری بازتابی در خشکی، وجود امواج سطحی با دامنه زیاد و بسامد کم است که سبب می‌شود بخش مهمی از اطلاعات مربوط به سیگنال‌های بازتابی پوشیده شود، بنابراین تضعیف آنها به کمک روش‌های عملیاتی و پردازشی ضرورتی انکارناپذیر است. از آنجا که حذف کامل امواج سطحی در عملیات امکان‌پذیر نیست و گاهی ممکن است محتوای سیگنال رخدادهای بازتابی نیز دچار صدمه شوند، استفاده از روش‌های پردازشی مکمل ضروری است. هر کدام از این روش‌ها برپایه فرضیات و خواص امواج سطحی استوار است. در این مقاله از روش جدیدی به جای فیلتر بسامد-عدد موج، فیلتر دیگری به نام فیلتر $f-k$ وفقی برای تضعیف امواج سطحی استفاده شده است. مزیت اصلی فیلتر $f-k$ وفقی نسبت به فیلتر $f-k$ این است که در این روش با انتخاب یک باند نگذر باریک $f-k$ که با زمان و مسافت تغییر می‌کند و اعمال آن بر داده‌های ضعیف‌های فیلتر مرسوم $f-k$ که عبارت‌اند از: نرم‌کردن سیگنال اصلی، کج‌شدگی سیگنال و تضعیف ناکافی نوفه‌های خطی همدوس، را برطرف می‌کند و محتوای بسامدی داده‌ها را کمتر دستخوش تغییر قرار می‌دهد. در ادامه هر دو روش روی داده‌های مصنوعی و واقعی اعمال شدند، نتایج مقایسه‌ها حاکی از موفقیت هر دو روش و تشابه نتایج آنها در بعضی جنبه‌ها است، با این حال نتایج روش فیلتر $f-k$ وفقی رضایت‌بخش‌تر ارزیابی شد.

واژه‌های کلیدی: وفقی، حوزه، بسامد، عدد موج، نوفه‌های خطی همدوس

Suppression of ground roll in seismic reflection data using slowness adaptive $f-k$ filter

Jelvehgar Filband, A.^{1*} and Riahi, M. A.²

¹ M. Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran
² Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 16 Sep 2006, Accepted: 24 Jan 2009)

Abstract

One of the common problems in reflection seismic records in the land is the existence of surface waves with high amplitude and low frequency which cause the most important parts of reflective signals to be masked. Therefore, it is necessary to attenuate them by processing and acquisition methods. As it is impossible to attenuate the surface waves completely, and sometimes it is likely to damage reflective event signal content, using the complement processing techniques is vital. These methods are based on the properties and assumptions of surface waves. In this paper, we employed a new method called the slowness adaptive $f-k$ filter to attenuate surface waves instead of using the conventional frequency $f-k$ filter. The advantage of the slowness adaptive $f-k$ filter compared with the

f-k filter is that in this method, by selection of a space-variant narrow reject-band f-k which is variant with time and space and applying it on data, the flaws of the f-k filter that consist of smoothing the main signal, distortion of the signal and insufficient attenuation of coherent noise, are removed and data frequency content are less influenced.

Finally, both techniques were applied on real and synthetic data. Comparison between the obtained results from both methods showed that these results are nearly similar in some aspects. But overall, the results from the slowness adaptive f-k filter were more accurate.

Ground roll is usually present on reflection seismograms with velocity values between 100 to 1000 m/sec (Telford et al., 1990). In seismic data acquisition, generated by sources like dynamite and vibrators we usually face coherent noises. These types of waves will mask the reflection signals produced in the deeper part of the earth's layers, due to their inherent scattering and low velocity (Saatcilar and Canitez, 1988). Generally the ground roll has to be suppressed during the data acquisition operations.

Suppression of the coherent noises during data acquisition will not be complete, therefore elimination processes are subject to application of signal processing sequence procedures (Coruh and Costain, 1983). To suppress surface wave phenomena we have applied the slowness adaptive filtering and have presented its successful results compared to the conventional f-k filtering.

To reduce distortions of the recorded seismic signals, it is recommended to apply a time and space dependent f-k filter. The filter that has been applied here consists of two steps as follows;

1- Apparent slowness of the coherent noise was calculated from the seismograms.

2- With respect to the obtained apparent slowness values, the filter was applied in time and space domain on the seismograms. To do this, the instantaneous apparent slowness must be calculated.

The obtained results showed that the slowness adaptive f-k filter is capable of automatically adapting itself with lateral variations of the apparent slowness. The filtering operation is based on the depth of the seismic events. Some of the filter's characterizations are as follows;

1- Since the slowness adaptive f-k filter is a band compared to the conventional f-k therefore the shape of the signal will remain intact.

2- The slowness adaptive f-k filter will be applied on the specific deep like velocity of the linear coherent noise for which their energy will be deduced. This will preserve the energy of the main reflection signal and reduce the energy of the coherent noises like ground roll.

Key words: Adaptive, Frequency domain, Wave number, Linear coherent noise

۱ مقدمه

چشمه‌های لرزه‌ای مانند دینامیت و وایبراتور همیشه انواع گوناگونی از امواج سطحی به منزله نوفه‌های خطی همدوس در داده‌های لرزه‌ای پذیرفته شده‌اند. به دلیل ماهیت پراکندگی و سرعت کمشان، اغلب رویدادهای لرزه‌ای که شامل داده‌های زیرسطحی عمیق‌تر هستند، را

امواج سطحی که اغلب زمین‌غلت (Ground Roll) نامیده می‌شود، معمولاً روی لرزه‌نگاشت‌های بازتابی ظاهر می‌شوند. بیشتر این امواج، امواج ریلی‌اند که گستره سرعت آنها بین ۱۰۰ تا 1000 ms^{-1} است (تلفورد و همکاران، ۱۹۹۰). در برداشت داده‌های لرزه‌ای زمین،

مابین محتوای بسامد امواج سطحی و رخداد‌های بازتابی، کارکرد مطلوبی ندارند. زیرا در صورت به کار گرفتن این نوع از فیلترها، قسمت ارزشمند کم‌بسامد رخداد‌های بازتابی نیز از بین می‌رود. در حالتی که دامنه امواج سطحی بسیار بیشتر از امواج بازتابی باشد. با این حال در داده‌های دارای نوفه زیاد، آرایه برانبارش و همچنین برانبارش نقاط مشترک میانی، به صورت خوبی می‌تواند امواج نوفه خطی همدوس را تضعیف کند.

انواع مرسوم فیلترهای $f-k$ اغلب باعث صدمه‌زدن جدی به محتوای شکل موج بازتاب‌ها می‌شوند و همچنین سبب نرم کردن سیگنال، کج‌شدگی سیگنال و تضعیف ناکافی نوفه‌های خطی همدوس می‌شوند (دونکن و برسفورد، ۱۹۹۴). همچنین به دلیل قطع ناگهانی، ممکن است مجموعه رخداد‌های ناخواسته ایجاد کنند (مک‌چن و سان، ۱۹۹۱). از این رو موفقیت روش‌های مبتنی بر بسامد، وابسته به میزان جدایش محتوای بسامدی رخداد‌های بازتابی و امواج سطحی است. مجموع این دلایل و عوامل باعث می‌شود که محققان برای تضعیف امواج سطحی به سمت توسعه روش‌های جدیدتری مانند تبدیل $K-L$ (لیو، ۱۹۹۹)، تبدیل موجک (دیقن و واتس، ۱۹۹۷)، تبدیل فیلتر شبکه‌ای (رایین سن، ۱۹۸۳) و فیلترهای $f-k$ وقفی (دونکن و برسفورد، ۱۹۹۴) گرایش پیدا کنند.

۲ روش فیلتر $f-k$

در روش‌های مرسوم برداشت داده‌های لرزه‌ای از طول آرایه نسبتاً کوتاه گیرنده‌ها استفاده می‌شود. این امر سبب می‌شود که داده‌های با تفکیک پذیری بهتری ثبت شوند اما در عوض، نوفه خطی همدوس، کمتر تضعیف شود. با این حال در داده‌های دارای فولد زیاد، آرایه برانبارش و همچنین برانبارش نقاط مشترک میانی (CMP) به صورت خوبی می‌تواند امواج نوفه خطی همدوس را تضعیف کند (لنس لی، ۲۰۰۴). در عین حال، با این تدابیر هنوز

می‌پوشانند (ساتسیلر و کنتیز، ۱۹۸۸). عموماً امواج سطحی را می‌باید در مرحله برداشت داده‌ها با آرایه گیرنده‌ها که به منظور تضعیف امواج ناخواسته در بعضی از طول موج‌ها طراحی شده‌اند، تضعیف کرد (مک‌کی، ۱۹۵۴ و هولزمن، ۱۹۶۳).

با این حال تضعیف نوفه در حین برداشت داده‌ها به صورت کامل صورت نمی‌گیرد. زیرا ممکن است محتوای سیگنال نیز، صدمه ببیند و باعث کاهش کیفیت داده شود. از این رو مسئله حذف امواج سطحی نیازمند استفاده از روش‌های پردازشی مکمل است (کورو و کوستین، ۱۹۸۳).

فیلترهای کاهش امواج سطحی معمولاً به دو صورت عمل می‌کنند: نوع اول که شامل فیلترهای بسامدی هستند برپایه حذف بخشی از داده‌های نامطلوب (نوفه) استوارند که معمولاً در حوزه بسامدی عمل می‌کنند.

نوعی دیگری از این فیلترها بر مبنای برآورد نوفه عمل می‌کند و پس از به دست آوردن مدل نوفه و تفریق آن از داده به حذف نوفه می‌پردازند. روش‌های حذفی نوع دوم معمولاً در حیطه زمان صورت می‌گیرند، چرا که نمی‌توان امواج سطحی را در حین برداشت با آرایه‌ها به صورت کامل تضعیف کرد. روش‌های پردازشی اخیر که بروی تضعیف امواج سطحی به کار می‌روند، به منظور تفکیک امواج سطحی و رخداد‌های بازتابی از معیار بسامد استفاده می‌کنند (ایلماز، ۲۰۰۱).

از جمله این روش‌ها، می‌توان فیلترهای میان‌گذر، بالاگذر و فیلترهای چندکاناله را نام برد (گل برایت و ویگنیز، ۱۹۶۸). فیلترهای بالانس طیفی (کورو و کوستین، ۱۹۸۳)، و انواع فیلترهای $f-k$ (ایمبری و همکاران، ۱۹۶۳). اغلب روش‌هایی هستند که بر مبنای محتوای بسامدی استوارند. این روش‌ها دارای محدودیت‌هایی هستند و برای مثال فیلترهای یک‌بعدی بالاگذر و میان‌گذر، معمولاً به خاطر وجود همپوشانی

وایپچش سیگنال بیشتر به دلیل همپوشانی باند نگذر با ناحیه حاوی سیگنال لرزه‌ای رخ می‌دهد. به‌منظور جلوگیری از پیدایش وایپچش داده‌ها فیلتر را می‌بایست به گونه‌ای طراحی کرد که کمترین همپوشانی را با مخروط حاوی انرژی رخدادهای بازتابی داشته باشد. البته این امر همیشه امکان‌پذیر نیست. به‌علاوه نوفه‌های خطی هم‌دوس به دلیل سرعت کمشان دچار دگرنامی می‌شوند و در نتیجه انرژی آنها با انرژی سیگنال در حیطه $f-k$ تداخل می‌کند. با این حال فرض محدودشدن انرژی سیگنال رخدادهای بازتابی به مخروط پیش‌گفته نیز فرض درستی نیست. با مدنظر گرفتن همه این موارد، دونکن و برسفورد (۱۹۹۲) روشن ساختند که استفاده از یک فیلتر $f-k$ با باند باریک، وایپچش کمتری نسبت به فیلترهای دارای باند پهن ایجاد میکند. حتی در نواحی که باند نگذر با سیگنال تداخل دارد، وایپچش حداقل خواهد بود، زیرا قسمت کوچکی از داده‌ها به دلیل کوچکی باندنگذر حذف شده است.

۴ فیلتر $f-k$ و فقی

یک راه برای کاهش وایپچش سیگنال لرزه‌ای استفاده از فیلتر $f-k$ به‌صورت وابسته به زمان و مکان است. در فیلترهای مرسوم $f-k$ برای اینکه بتوان بر همه انواع نوفه‌های خطی هم‌دوس موجود در رکورد غلبه کرد، از باند نگذر پهنی استفاده می‌شود، زیرا می‌بایست فیلتر به‌گونه‌ای طراحی شود که تغییرات سرعت امواج خطی هم‌دوس را نیز مدنظر باشد روشی که در اینجا معرفی می‌شود فیلتر و فقی $f-k$ است که دو مرحله دارد:

- ۱- کندی ظاهری نوفه هم‌دوس از روی رکورد محاسبه می‌شود.
- ۲- با توجه به کندی ظاهری نوفه خطی هم‌دوس، فیلتر به‌صورت زمانی و مکانی روی داده‌ها اعمال می‌شود. برای آنکه فیلتر به‌صورت زمانی و مکانی روی داده‌ها اعمال شود، لازم است کندی در هر لحظه مورد محاسبه

مقداری از این امواج خطی هم‌دوس باقی می‌ماند که می‌بایست با فیلترهای سرعتی در مرحله قبل از برانبارش، نظیر $f-k$ یا $\tau-p$ تضعیف شوند. معروف است که فیلترهای سرعتی تأثیر زیادی روی کیفیت سیگنال می‌گذارند و شکل آنرا دگرگون می‌سازند که این امر از نقاط ضعف این فیلترها به شمار می‌رود (مارچ و بی‌یلی، ۱۹۸۳). همچنین ساختارهای کوچک زمین‌شناسی نیز در طی این فیلتر از داده حذف می‌شوند. دلیل اصلی این شکست، همپوشانی نواحی سیگنال و نوفه در حیطه $f-k$ است. هرچند به‌کارگیری یک فیلتر با باند باریک نگذر در حیطه $f-k$ می‌تواند این مشکلات را به حداقل برساند اما گاهی نتایجی ضعیف به بار می‌آورد. سه دلیل را می‌توان برای این امر برشمرد:

- ۱- کندی ظاهری (apparent slowness) امواج خطی هم‌دوس در برداشت چشمه مشترک تغییر می‌کند از این‌رو فیلتر با باند باریک نگذر ناکام می‌ماند.
- ۲- ممکن است بیش از یک نوفه خطی هم‌دوس در داده‌ها موجود باشد.
- ۳- تغییرات دامنه رخدادها و همچنین تغییرات استاتیک مابین ردلرزه‌ها باعث کشیدگی انرژی داده‌ها می‌شود و از این رو یک فیلتر با باند باریک نمی‌تواند نوفه را به‌خوبی تضعیف کند.

۳ وایپچش فیلتر $f-k$

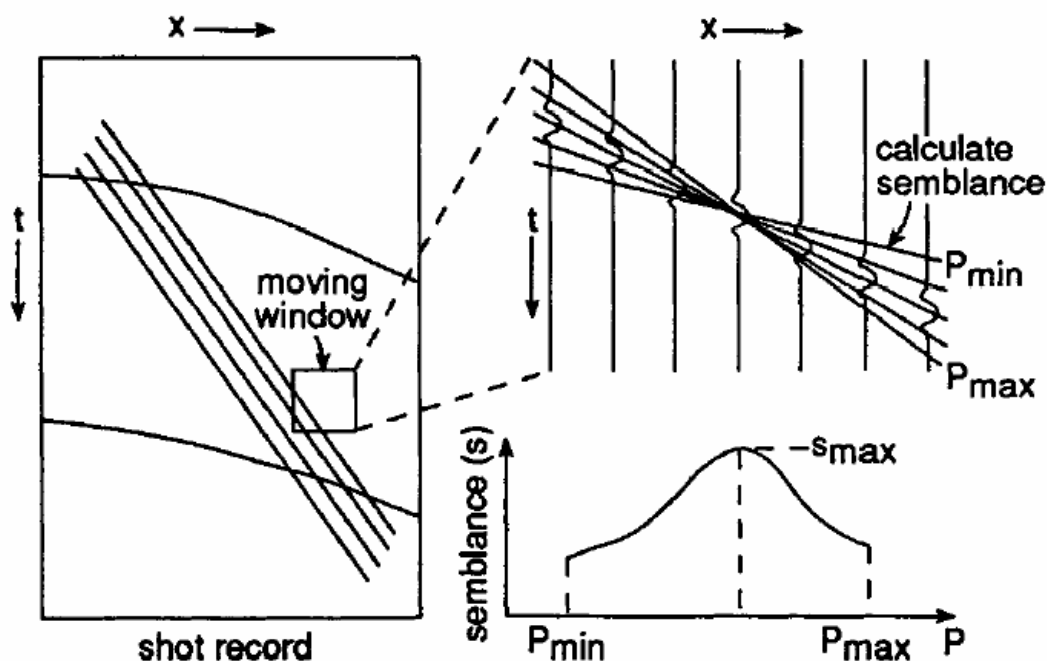
امبری و همکاران (۱۹۶۳) و فیل و گراو (۱۹۶۳) فیلتر $f-k$ را به‌صورت لرزه‌شناسی معرفی کردند. به‌صورت خلاصه این فن بر پایه تبدیل فوریه دوبعدی استوار است. در این روش ناحیه مربوط به نوفه خطی هم‌دوس در حیطه $f-k$ صفر می‌شود و داده‌های بدون نوفه با تبدیل فوریه معکوس بازیابی می‌شوند. معروف است که فیلتر $f-k$ باعث وایپچش در سیگنال لرزه‌ای می‌شود با این حال سازوکار این شکل مورد توجه قرار نگرفته است.

غالب رخدادها در آن پنجره محسوب و مقدار آن به نمونه میانی پنجره نسبت داده می‌شود. به این ترتیب بعد از حرکت پنجره روی ردلرزه‌ها و نمونه‌های زمانی داده مقادیر کندی لحظه‌ای برای کل داده به دست می‌آید (شکل ۱).

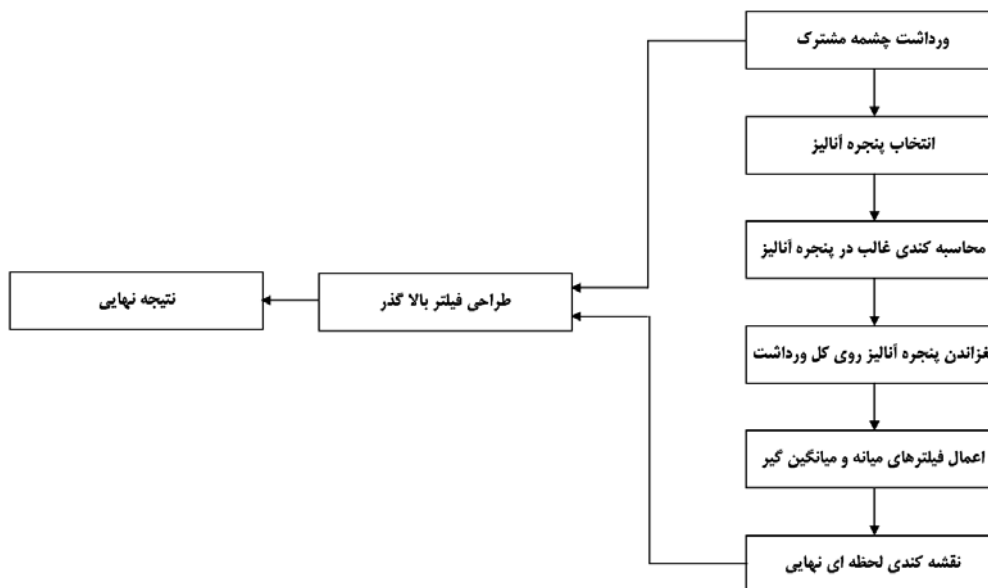
پس از محاسبه نقشه کندی لحظه‌ای داده‌ها بهتر است یک فیلتر Median و در پی آن یک فیلتر میانگین‌گیر روی ردلرزه‌های این نقشه اعمال شود تا Spike های موجود را برطرف سازد و تصویری هموار و واقعی‌تر به دست دهد. روشی که در اینجا به کار گرفته شده است، نتایج خوبی را در داده‌ها نشان می‌دهد که این خود یکی از محاسن بزرگ روش وقتی است که با توجه به وقتی بودن شیب، فقط تنها بعضی از رخدادها را خاص را مورد هدف قرار می‌دهد که شکل ۲، روند نمای این الگوریتم را همراه با جزئیات آن نشان می‌دهد.

قرار گیرد. میلکریت (۱۹۸۷) روشی را برای محاسبه کندی لحظه‌ای (instantaneous slowness) با استفاده از فن بر انبارش مورب عرضه کرده است که در این تحقیق نیز از روشی مشابه با روش پیش گفته برای محاسبه کندی ظاهری رخدادها روی داده‌های چشمه مشترک در زمان و مکان استفاده کرده‌ایم.

در این روش پنجره کوچکی از داده‌ها انتخاب می‌شود و حول مرکز این پنجره بر انبارش مورب رخدادها به ازای زوایای متفاوت محاسبه می‌شود. این پنجره روی همه گستره داده لغزانده می‌شود و مقادیر کندی لحظه‌ای محاسبه می‌شود و به مرکز این پنجره نسبت داده می‌شود. بازه مقادیر کندی که به ازای آن بر انبارش مورب محاسبه می‌شود، بر پایه بازه مقادیر کندی نوبه‌های خطی همدوس موجود در داده انتخاب می‌شود. مقدار کندی که بیشترین حالت مورب را ایجاد کند در حکم کندی



شکل ۱. فرایند اندازه‌گیری مقدار کندی لحظه‌ای در پنجره آنالیز (دونکن ویرسفورد، ۱۹۹۲). در شکل سمت چپ پنجره متحرک و در شکل سمت راست نحوه به دست آوردن سمبلنس نشان داده شده است.

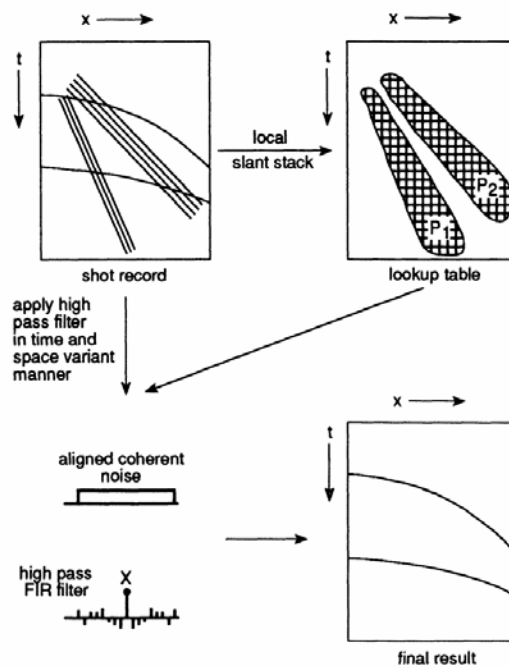


شکل ۲. نمودار بندادی و روند مراحل الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق برای اعمال روش فیلتر $f-k$ و فقی.

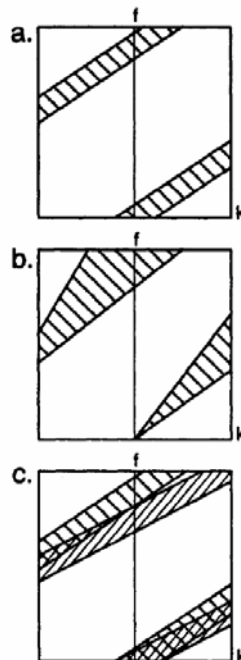
ممکن است. پس از طراحی فیلتر بالاگذر مناسب، آنرا در راستاهای زمانی و مکانی متغیر با توجه به مقادیر کندی لحظه‌ای به دست آمده از مرحله قبل اعمال می‌کنیم. از این رو راستای فیلتر بالاگذر در هر نمونه با راستای نوفه خطی همدوس در آن نمونه یکسان خواهد بود و به همین دلیل فیلتر مورد نظر، نوفه را به صورت یک سیگنال DC مشاهده می‌کند و پس از اعمال باعث تضعیف نوفه خطی همدوس می‌شود.

با فن فوق مسئله 2D به صورت یک مسئله 1D در می‌آید (شکل ۳). فیلتر بالاگذر پیش‌گفته قادر است قسمت دگرنام شده نوفه را نیز حذف کند. البته در صورت همپوشانی قسمت دگرنام شده با سیگنال، ممکن است به سیگنال صدمه وارد شود که برای احتراز از این مسأله ابتدا می‌توان با استفاده از تبدیل $f-k$ سیگنال را جدا کرد، مرحله فیلترکردن را روی نوفه باقی‌مانده اعمال کرد و در آخر سیگنال را به جای خود برگرداند (شکل ۴).

از مقادیر کندی لحظه‌ای به دست آمده در مرحله قبل برای کنترل مرحله فیلترینگ داده در مرحله بعد استفاده می‌شود. ریتز (۱۹۹۱) از روشی مشابه برای جداسازی سیگنال همدوس از نوع ناهمدوس با استفاده از فیلتر Median روی داده‌های میان‌چاهی استفاده کرد. همچنین دونکن و برسفورد (۱۹۹۲) این روش را برای تضعیف نوفه خطی همدوس داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی به کار بردند. در این روش برای تضعیف نوفه خطی همدوس مربوط به امواج سطحی از یک فیلتر یک‌بعدی (1D) با پاسخ ضربه طول محدود (FIR) استفاده می‌شود. برای این منظور یک فیلتر بالاگذر نوع FIR که از پنجره‌های نوع کایزر یا چیشوف استفاده می‌کند برای عبور بسامدهای بیشتر از بسامدهای امواج سطحی طراحی می‌شود. مهم‌ترین نکته‌ای که در طراحی فیلترهای FIR (Finite- duration Impulse Response) مدنظر است، به حداقل رساندن باند ناحیه گذر و همچنین اندازه تموج (ripple) های باند گذر/نگذر با استفاده از کمترین تعداد ضرایب



شکل ۳. تصویر بالا سمت چپ یک شات رکورد را نشان می‌دهد، تصویر بالا سمت راست نتیجه انبارش اریب است. تصویر پایین سمت چپ نوفه‌های هم‌دوس به‌خط شده‌ها فیلتر بالاگذر حذف شده‌اند و در تصویر پایین سمت راست شات رکورد پس از حذف نوفه‌های خطی هم‌دوس با استفاده از فیلتر $f-k$ و فقی نشان داده شده است (دونکن و برسفورد، ۱۹۹۲).



شکل ۴. (a) فیلتر بالاگذر یک‌بعدی، (b) فیلتر سرعتی مرسوم، (c) شبیه‌سازی فیلتر سرعتی مرحله b با استفاده از دو فیلتر بالاگذر هم‌زمان (دونکن و برسفورد، ۱۹۹۲). در شکل‌های بالا محور قائم برحسب بسامد و محور افقی برحسب عدد موج است.

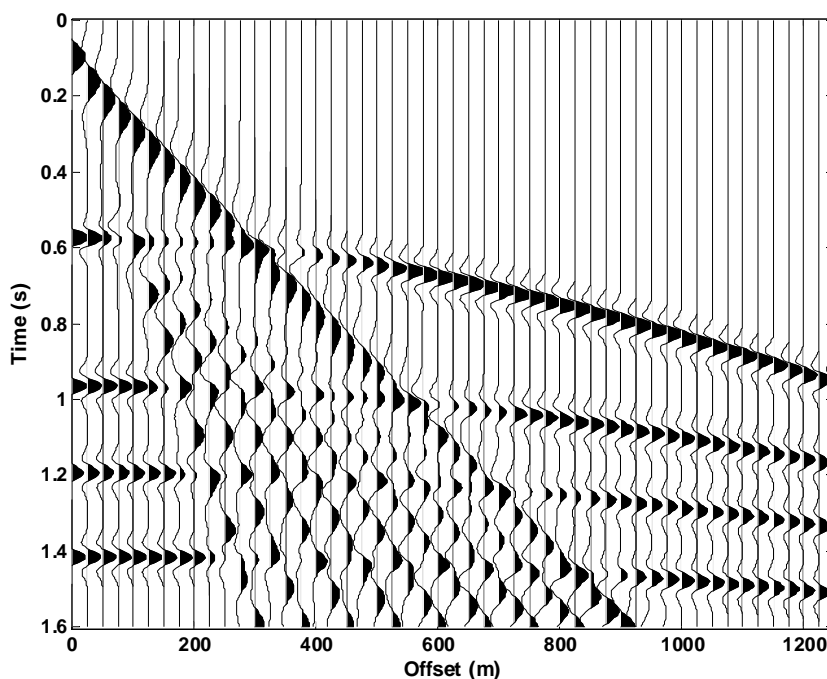
۵ اعمال الگوریتم فیلتر $f-k$ و فیلتر $f-k$ و فقی روی داده‌های مصنوعی و واقعی

۱-۵ داده‌های مصنوعی

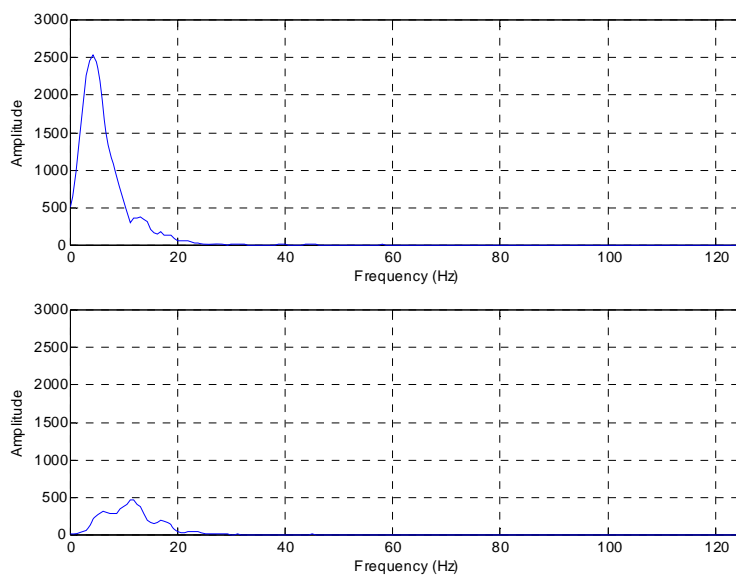
در ابتدا یک داده مصنوعی را در نظر می‌گیریم (شکل ۵). این داده دارای ۵۱ ردلرزه و ۴۰۱ نمونه زمانی است. فاصله بین ردلرزه‌ها ۲۵ متر و فاصله نمونه‌های زمانی ۴ میلی‌ثانیه است. همان‌گونه که در شکل ۵ دیده می‌شود، رخدادهای نوفه خطی هم‌دوس ناشی از امواج ریلی هستند که به‌صورت شدیدی با رخدادهای بازتابی (سیگنال) مخلوط شده‌اند و دامنه‌های آنها را پوشانیده‌اند، بدیهی است که به منظور تصویرکردن بازتابنده، ضروری است که آثار قوی مربوط به نوفه خطی هم‌دوس حذف شود. به‌منظور درک بهتر ماهیت رخدادهای نوفه خطی هم‌دوس و سیگنال بازتابی، بهتر است طیف دامنه آنها را بررسی کنیم (شکل ۶).

همان‌گونه که طیف دامنه امواج سطحی و رخدادهای

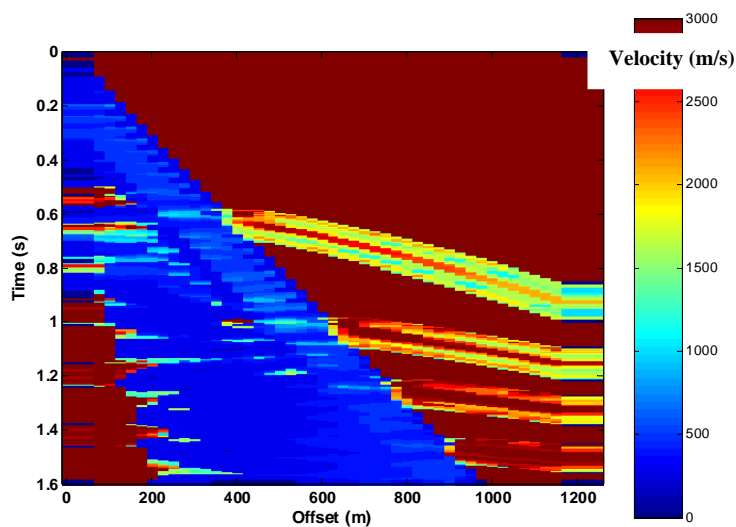
بازتابی موجود در شکل ۶ نشان می‌دهد، رخدادهای نوفه خطی هم‌دوس مربوط به امواج سطحی دارای محتوای بسامدی کمی هستند و در محدوده ۱ تا ۱۰ هرتز قرار دارند. در ادامه اثر فیلتر بالاگذر را روی این داده بررسی خواهیم کرد. فیلتر بالاگذر به صورت روندی مرسوم در پردازش داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور ابتدا می‌بایست نقشه کندی لحظه‌ای داده را محاسبه کرد. برای این کار از یک پنجره آنالیز به ابعاد 6×6 (۶ ردلرزه \times ۶ نمونه زمانی) استفاده شده است. همچنین در ادامه از فیلتر Median و فیلتر میانگین‌گیر برای فیلتر کردن جواب نهایی استفاده شده است. حاصل این کار در شکل ۷ دیده می‌شود که طبق این شکل رخدادهای با شیب زیاد (نظیر سرعت‌های کم) با رنگ آبی و رخدادهای با شیب کم (نظیر سرعت‌های زیاد) با رنگ سرخ نشان داده شده‌اند. مقایسه شکل ۵ با این نقشه به‌خوبی مطابقت نواحی دارای امواج نوفه خطی هم‌دوس را با نواحی آبی رنگ دارای سرعت کم نشان می‌دهد.



شکل ۵. برداشت چشمه مشترک مصنوعی را نشان می‌دهد که نوفه خطی هم‌دوس روی آن به‌خوبی دیده می‌شود.



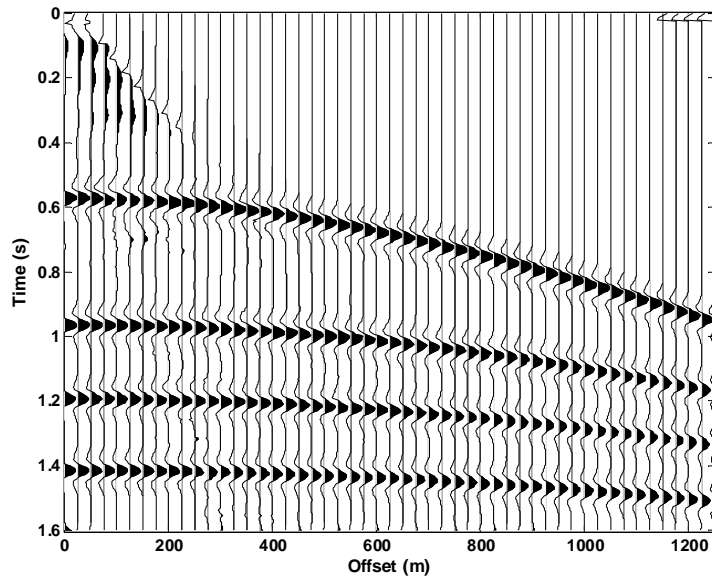
شکل ۶. طیف دامنه ردلزهای که در آن نوفه خطی همدوس حضور دارد (نمودار بالا) و طیف دامنه ردلزهای که در آن نوفه خطی همدوس حضور ندارد (نمودار پایین).



شکل ۷. نقشه سرعت لحظه‌ای رخدادهای داده واقعی. چنان‌که بر روی شکل دیده می‌شود در محدوده‌ی نوفه‌های خطی همدوس سرعت‌های کم بارنگ آبی مشخص شده است. در سمت راست سرعت‌ها بر حسب متر بر ثانیه با رنگ سرخ نشان داده شده است.

است. همچنین تعداد ضرایب آن نیز ۷ نمونه است که حاصل آن در شکل ۸ نمایش داده شده است. همان‌گونه که شکل ۸ نشان می‌دهد این فیلتر توانسته است به صورت خوبی امواج نوفه خطی همدوس مربوط به امواج سطحی را حذف کند.

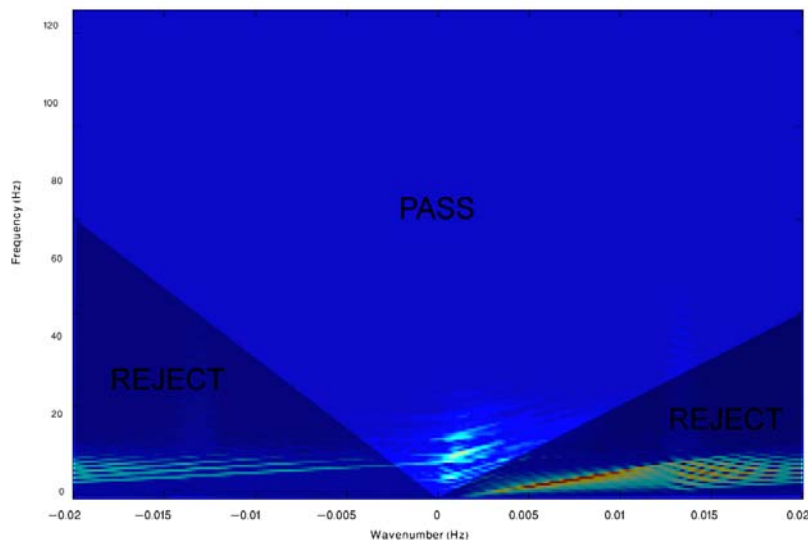
قدم بعد اعمال الگوریتم فیلتر وقتی $f-k$ روی داده مصنوعی است. به این منظور آستانه اعمال این فیلتر شیب‌های کمتر از ۵ درجه (نظیر رخداد‌های با سرعت کمتر از ۵۰۰ متر بر ثانیه) برگزیده شده است. نوع فیلتر بالا گذر اعمال شده نوع چیشوف با بسامد قطع ۱۰ هرتز



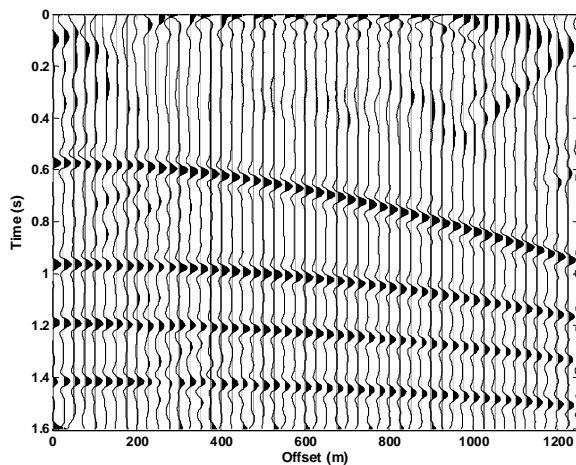
شکل ۸. داده مصنوعی پس از اعمال فیلتر $f-k$ و فقی. همان‌طور که به چشم می‌خورد، نوفه‌های خطی هم‌دوس به خوبی تضعیف شده‌اند.

داده‌های بازتابی باقی‌گذار (شکل‌های ۸ و ۱۱). در شکل ۹ به دلیل اینکه انرژی سیگنال در سمت راست حضور دارد و به خوبی با رنگ روشن دیده می‌شود، شیب ناحیه حذف با شیب نظیر آن در سمت راست یکسان نیست.

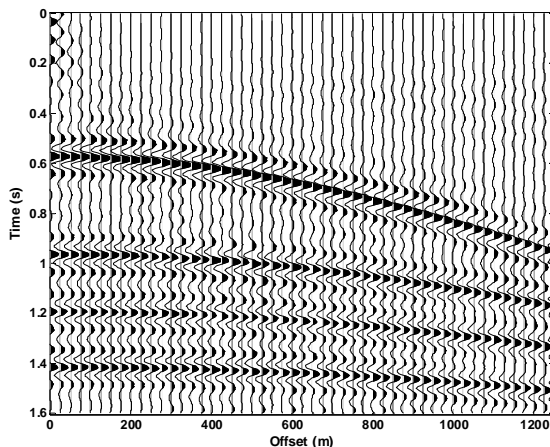
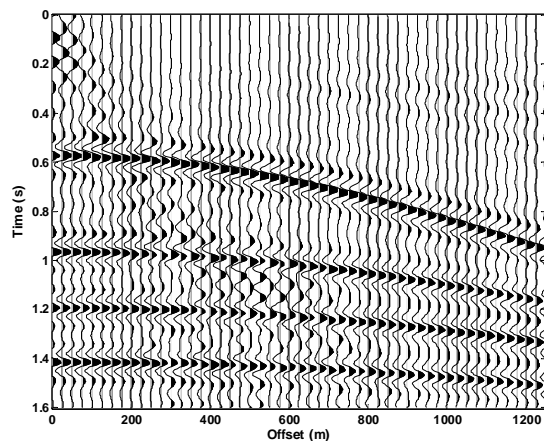
در ادامه به منظور مقایسه تضعیف نوفه خطی هم‌دوس را با استفاده از فیلتر $f-k$ طراحی شده در شکل ۹ و بالاگذر مرسوم بررسی می‌کنیم. مقایسه این دو نشان می‌دهد که روش فیلتر $f-k$ و فقی توانسته است به صورت بهتری امواج سطحی را تضعیف کند و آثار تخریبی کمتری روی



شکل ۹. داده مصنوعی در حیطه $f-k$ فیلتر مورد استفاده به منظور حذف نوفه خطی هم‌دوس به صورت تیره نمایش داده شده است. در این شکل به دلیل اینکه انرژی سیگنال در سمت راست حضور دارد و به خوبی با رنگ روشن دیده می‌شود، شیب ناحیه حذف با شیب نظیر آن در سمت راست یکسان نیست.



شکل ۱۰. ورداشت منبع مشترک به صورت داده مصنوعی پس از اعمال فیلتر **f-k** معمولی. روش فیلتر **f-k** معمولی نتوانسته است خیلی خوب امواج سطحی را تضعیف کند و آثار تخریبی زیادی روی داده‌های بازتابی باقی گذاشته است.

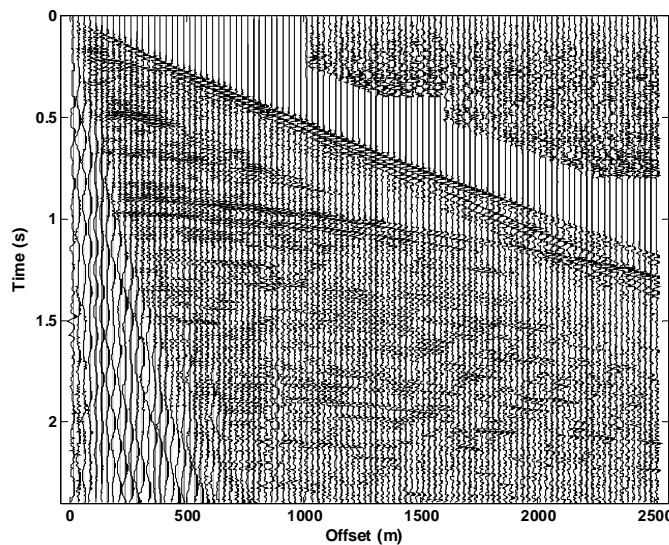


شکل ۱۱. ورداشت چشمه مشترک به صورت داده مصنوعی پس از اعمال فیلتر بالاگذر. (بالا) ورداشت مورد نظر پس از اعمال بسامد قطع **10 Hz**، نتوانسته است به خوبی نوفه‌های هم‌دوس خطی را تضعیف کند. (پایین) ورداشت مورد نظر پس از اعمال بسامد قطع **12 Hz** نتوانسته است به خوبی نوفه‌های هم‌دوس خطی را تضعیف کند.

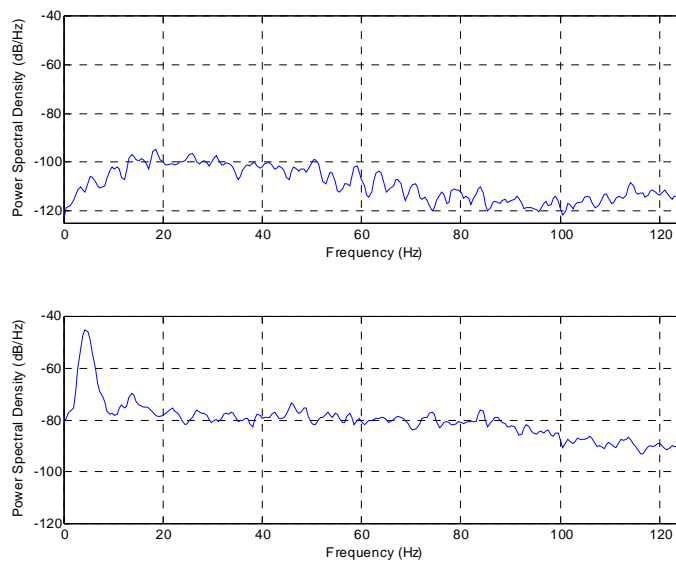
۲-۵ داده‌های واقعی

داده‌های واقعی مورد استفاده در این مرحله مربوط به یک منطقه خشکی در جنوب ایران است (جلوه‌گر فیلبند، ۱۳۸۶). فاصله ردلرزه‌ها ۲۵ متر و فاصله نمونه‌های زمانی ۴ میلی ثانیه است (شکل ۱۲).

همانگونه که شکل ۱۲ نشان می‌دهد، نوفه‌های خطی همدوس کم‌بسامد مربوط به امواج سطحی به صورت شدیدی ظاهر شده‌اند و دامنه سیگنال بازتابی را پوشانیده‌اند. به‌منظور مقایسه ماهیت رخداد‌های بازتابی و نوفه خطی همدوس طیف دامنه آنها در شکل ۱۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱۲. داده واقعی حاوی نوفه خطی همدوس ناشی از امواج سطحی. این نوفه‌ها در سمت چپ شکل و به‌صورت سیگنال‌های بسامد کم دیده می‌شوند.

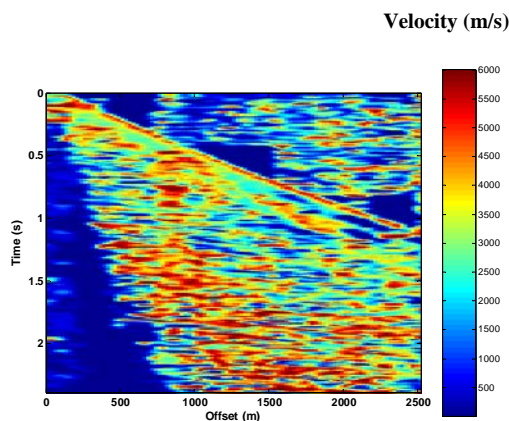


شکل ۱۳. طیف دامنه ردلرزه‌ای که در آن نوفه خطی همدوس حضور ندارد (نمودار بالا) و طیف دامنه ردلرزه‌ای که در آن نوفه خطی همدوس حضور دارد (نمودار پایین).

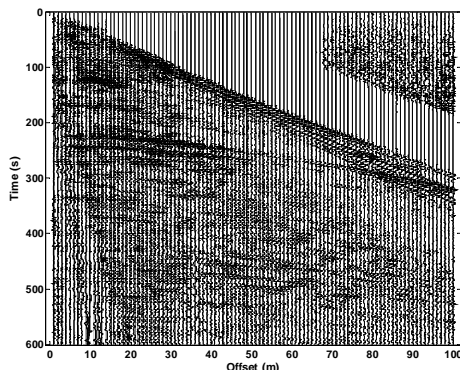
آستانه شیب ۶ درجه (نظیر رخداد‌های سرعت کمتر از ۵۵۰ متر بر ثانیه) انتخاب شد. نوع فیلتر بالاگذر اعمال شده نیز نوع چپ‌شوف با بسامد قطع ۱۲ هرتز است. تعداد ضرایب بهینه فیلتر نیز ۷ نمونه انتخاب و روی داده‌ها اعمال شد. حاصل در شکل ۱۵ نمایش داده شده است. طبق این شکل فیلتر $f-k$ و فقی توانسته است به خوبی امواج نوفه خطی همدوس را تضعیف و ادامه رخداد‌های بازتابی را بازیابی کند. در ادامه به منظور مقایسه کارایی فیلتر سرعتی $f-k$ طراحی شده در شکل ۱۶ و فیلتر بالاگذر مرسوم طراحی شده در شکل ۱۷ را نیز بررسی می‌کنیم. نتایج حاکی از برتری روش فیلتر $f-k$ و فقی نسبت به دو روش مرسوم است (شکل‌های ۱۵، ۱۸ و ۱۹).

همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد امواج سطحی دارای محتوای بسامدی کم در محدوده ۱ تا ۱۰ هرتز هستند و سرعت ظاهری آنها نیز کمتر از ۱۰۰۰ متر بر ثانیه برآورد می‌شود. به منظور اعمال فیلتر $f-k$ و فقی یک پنجره زمانی به ابعاد 6×6 انتخاب و بعد با استفاده از این پنجره نقشه کندی لحظه‌ای داده محاسبه شد. همانند روند قبل، با استفاده از فیلترهای Median و میانگین‌گیر نتیجه قابل تفسیرتری حاصل می‌شود (شکل ۱۴).

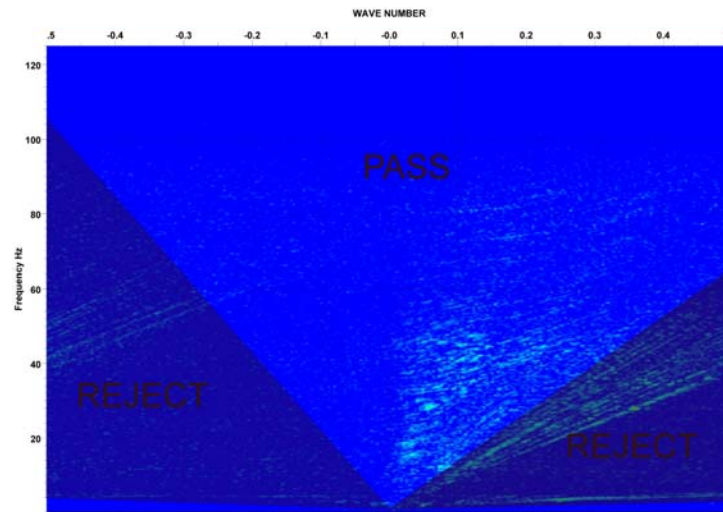
طیف شکل ۱۴ گستره سرعت رخداد‌ها در محدوده ۰ تا ۶۰۰۰ متر بر ثانیه است و ناحیه مربوط به رخداد‌های نوفه خطی همدوس با سرعت در محدوده ۰ تا ۶۰۰ متر بر ثانیه با رنگ آبی به خوبی نمایان است. در مرحله فیلترینگ



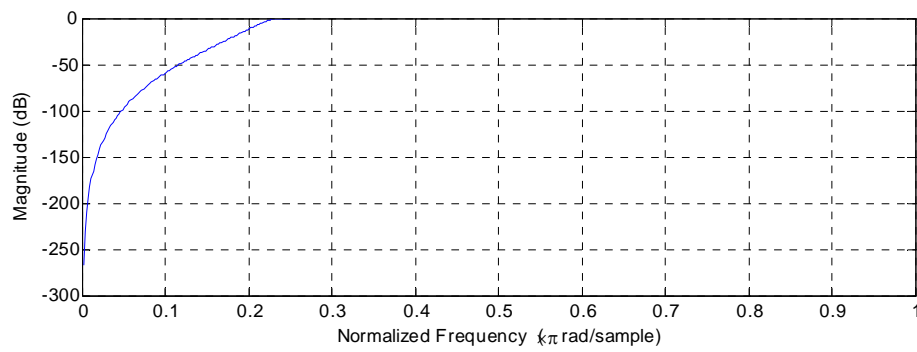
شکل ۱۴. مقطع سرعت لحظه‌ای رخداد‌های داده واقعی. در این شکل سرعت‌های کم برای محدوده نوفه‌های خطی همدوس به رنگ آبی در سمت چپ شکل نشان داده شده است. در سمت راست مقیاس مقادیر سرعت با رنگ سرخ نشان داده شده است.



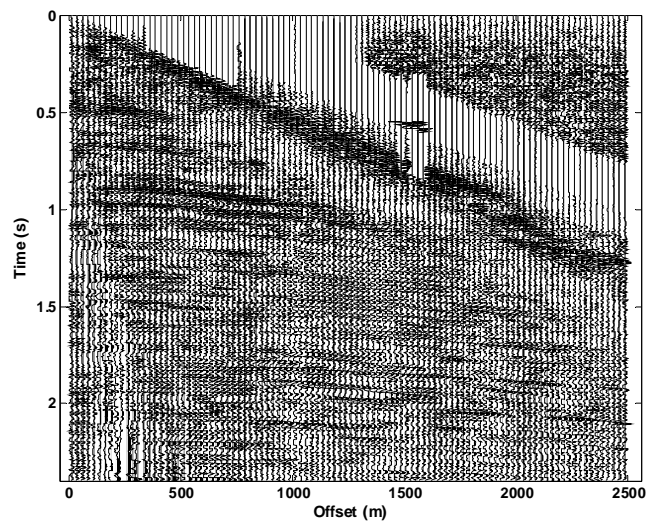
شکل ۱۵. برداشت منبع مشترک به صورت داده واقعی پس از اعمال فیلتر $f-k$ و فقی. همان‌طور که دیده می‌شود، نوفه‌های سمت چپ شکل پس از استفاده از فیلتر $f-k$ و فقی به خوبی تضعیف شده‌اند.



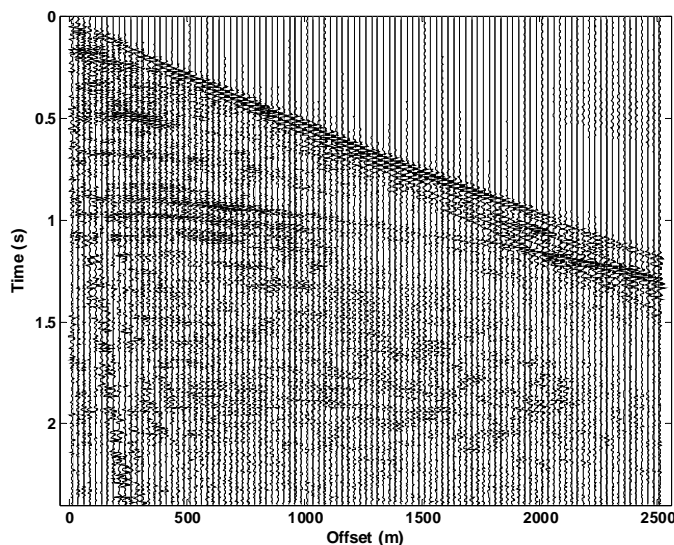
شکل ۱۶. داده واقعی در حیطه $f-k$ فیلتر مورد استفاده به منظور حذف نوفه خطی هم‌دوس به صورت تیره نمایش داده شده است.



شکل ۱۷. فیلتر بالاگذر مورد استفاده در این تحقیق.



شکل ۱۸. داده واقعی پس از اعمال فیلتر $f-k$ معمولی. روش فیلتر $f-k$ معمولی نتوانسته است به خوبی امواج سطحی را تضعیف کند و آثار تخریبی زیادی روی داده‌های بازتابی باقی گذاشته است.



شکل ۱۹. داده واقعی پس از اعمال فیلتر بالاگذر نشان داده شده است. چنان‌که مشاهده می‌شود کارایی فیلترپ‌ا‌پیش‌گفته در برجسته‌ساختن سیگنال‌های بازتابی موثر بوده است.

۶ نتیجه‌گیری

همه قسمت‌های نوفه و سیگنال را مورد تهاجم قرار می‌دهد. حال آنکه فیلتر وقتی $f-k$ می‌تواند بعضی از شیب‌های خاص، نظیر سرعت نوفه خطی هم‌دوس را تحت تأثیر قرار دهد و انرژی مربوط به آنها را تضعیف کند. در نتیجه از این راه انرژی رخداد‌های بازتابی دست‌نخورده باقی می‌ماند.

* فیلترهای سرعتی $f-k$ روی داده‌های قبل از برانبارش اعمال می‌شوند. اگرچه اغلب نتایج خوبی به دست می‌آورند اما گاهی اوقات باعث صدمه‌زدن به سیگنال لرزه‌ای می‌شوند و یا گاهی در تضعیف نوفه ناکام می‌مانند. در این مقاله یک روش فیلتر $f-k$ وقتی بررسی شد و سعی در حذف این مشکلات بود.

منابع

جلوه‌گر فیلبند، ع.، ۱۳۸۶، تضعیف امواج سطحی داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از فیلتر وقتی $f-k$ ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

با توجه به بررسی‌های نظری صورت‌گرفته در این مقاله یک روش فیلتر $f-k$ وابسته به زمان و مکان بررسی شد. این فیلتر قادر است به صورت خودکار، خود را با تغییرات جانبی کندی ظاهری رخداد‌های نوفه خطی هم‌دوس وفق دهد و عمل فیلترینگ را براساس شیب رخداد‌ها به انجام رساند. از جمله ویژگی‌های این نوع فیلتر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

* از آنجا که پهنای باند نگذر فیلتر وقتی $f-k$ در مقایسه با فیلتر $f-k$ کوچک‌تر است، به همین دلیل امکان صدمه دیده سیگنال بازتابی کمتر خواهد بود.

* از آنجا که در این روش از فیلتر بالاگذر یک‌بعدی استفاده می‌شود، حجم محاسبات از حالت دوبعدی به یک‌بعدی کاهش، و از این رو سرعت محاسبات افزایش می‌یابد.

* این فیلتر در مقایسه با فیلتر بالاگذر مرسوم در پردازش داده‌های لرزه‌ای نتایج بهتری حاصل می‌کند. زیرا فیلتر بالاگذر مرسوم روی همه ردلرزه‌ها اعمال می‌شود و

- Yilmaz, O. Z., 2001, *Seismic Data Analysis*, Society of Exploration Geophysicists.
- Coruh, C., and Costain, J. K., 1983, Noise attenuation by vibroseis whitening (VSW) processing, *Geophysics*, **48**, 543-554.
- Deighan, A. J. and Watts, D. R., 1997, Ground roll suppression using the wavelet transform, *Geophysics*, **62**, 1896-1903.
- Duncan, G., and Beresford, G., 1992, Attenuation of coherent noise using automated directional median filtering: *Exp. Geophys.*, **23**, 127-132.
- Duncan, G., and Beresford, G., 1994, Slowness adaptive F-K filtering of pre stack. seismic data, *Geophysics*, **59**, 140-147.
- Embree, P., Burg, J. P. and Backus, M. M., 1963, Wide-band velocity filtering-the pie-slice process: *Geophysics, Soc. Of EXPL*, *Geophysics*, **28**, 948-974.
- Fail, M. P., and Grau, G., 1963, Les filtres en eventail, *Geophys. Prospect*, **11**, 131-163.
- Galbraith, J. N., and Wiggins, R. A., 1968, Characteristics of optimum multichannel stacking filters, *Geophysics*, **33**, 36-48.
- Holzman, M., 1963, Chebyshev optimized geophone arrays, *Geophysics*, **28**, 145-155.
- Lansley, R. M., 2004, CMP fold a meaningless number?, *Leading Edge*, **23**, 1038-1041.
- Liu, X., 1999, Ground roll suppression using the Karhunen-Loeve transform, *Geophysics*, **64**, 564-566.
- McKay, A. E., 1954, Ground roll suppression using the Karhunen-Loeve transform, *Geophysics*, **19**, 420-437.
- McMechan, G., and Sun, R., 1991, Depth filtering of breaks and Ground Roll, *Geophysics*, **56**, 390-396.
- March, D. W., and Bailey, A. D., 1983, A review of the twodimensional transform and its use in seismic processing, *First Break*, **1**(1), 9-21.
- Milkereit, D. B., 1987, Decomposition and inversion of seismic data-An instantaneous slowness approach, *Geophys. Prospect.*, **35**, 875-894.
- Reiter, E. C., 1991, Incoherent/coherent wavefield separation: Application to crosshole seismic data, 61st Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1448-1451.
- Robinson, J. C., 1983, Lattice filtering application to deconvolution of seismic data, *Geophysics*, **48**, 295-310.
- Saatcilar, R., and Canitez, N., 1988, A method of ground-roll elimination, *Geophysics*, **53**, 894 - 902.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff. R. C., 1990, *Applied Geophysics*, 2nd Ed. Cambridge University Press.