

مقایسه دو روش $f-k$ و SVD برای جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده در داده های پروفیل لرزه ای قائم

سید امین نیک نژاد^۱، دکتر مجید نبی بیدهندی^۲ و جواد جمالی^۳

چکیده

جداسازی امواج پایین رونده و بالارونده از یکدیگر، در تفسیر داده های پروفیل لرزه ای قائم از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در این مقاله با استفاده از مفهوم ویژه تصویر از روش تجزیه مقدار تکین (SVD) برای جداسازی امواج پایین رونده و بالارونده از یکدیگر استفاده شده و نتایج، با روش $f-k$ در مورد داده های مصنوعی مقایسه شده اند. استفاده از روش فوریه دوبعدی $f-k$ برای این منظور نیازمند نمونه برداری یکنواخت در زمان و مکان است. در استفاده از روش فیلتر میانه برای تفکیک امواج بالارونده و پایین رونده از هم، لازم است یکی از دو رویداد بالارونده یا پایین رونده با دقت خوبی به خط شوند. با توجه به نتایج به دست آمده از اعمال روش تجزیه مقدار تکین بر روی داده های مصنوعی، می توان بیان کرد که روش تجزیه مقدار تکین به خاطر نیاز نداشتن به نمونه برداری منظم و به خط شدگی دقیق، ترجیح داده می شود. همچنین با توجه به مبانی نظری ویژه تصویرها، تضعیف نوفه به طور خودکار در حین اجرای پردازش از دیگر مزایای این روش است.

کلید واژه ها: امواج بالارونده، امواج پایین رونده، پروفیل لرزه ای قائم.

Comparsion of $f-k$ and SVD methods for separating upgoing and downgoing waves in VSP data

Sayyed Amin Niknezhad, Dr. Majid Nabi-Bidhendi and Javad Jamali

Abstract

Separating upgoing and downgoing waves is so important in the VSP interpretation. In this paper, visualization of eigenimage from SVD is used for separating upgoing and downgoing waves. The results of SVD method on synthetic data are then compared with $f-k$ method. For this purpose, using 2-D Fourier transform requires uniform sampling in both time and space. In applying median filter for separating upgoing and downgoing waves, one of the events must become aligned carefully. According to the obtained results from implementation of SVD method on synthetic data, we can express that because of unneccessity to both uniform sampling and exact alignment, SVD method is preferred. Also, according to theoretical foundations of eigenimages, automatic noise attenuation through the processing is another advantage of SVD method.

Keywords: upgoing waves, downgoing waves, vertical seismic profiling

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

^۲ - عضو هیئت علمی مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

^۳ - کارشناس ارشد شرکت ملی نفت ایران

مقدمه

تجزیه مقدار تکین (SVD)

روش تبدیل جزء اصلی (principal component transformation) به شکل های متفاوت در پردازش داده های لرزه ای به کار رفته و نتایج مطلوبی از آن حاصل شده است (جونز، ۱۹۸۵؛ همون و ماک، ۱۹۸۷). SVD روش تبدیل جزء اصلی را از دیدگاه دیگری بررسی می کند (فریری و آلریچ، ۱۹۸۸) و چون در محاسبات ماتریسی و پردازش تصویر ابزار بسیار قدرتمندی است (ریچاردسون و زانت، ۲۰۰۵؛ آندرو و هانت، ۱۹۷۷ و آستر و همکاران، ۲۰۰۰). در این مقاله از این روش استفاده شده است. ماتریس داده های لرزه ای با M ردلرزه و N نمونه در هر ردلرزه را به صورت رابطه (۱) در نظر می گیریم.

$$X_{N \times M} = \{X_{ij}\}, i=1,2,\dots,N \quad j=1,2,\dots,M \quad (1)$$

SVD ماتریس X به صورت رابطه (۲) تعریف می شود. (ریچاردسون و زانت، ۲۰۰۵؛ آندرو و هانت، ۱۹۷۷)

$$X_{N \times M} = U_{N \times N} \Lambda_{N \times M} V_{M \times N}^T \quad (2)$$

که در آن، T بیانگر ترانهاده ماتریس و U یک ماتریس متعامد $N \times N$ ، که ستون i ام آن بردار ویژه i ام، v_i ، ماتریس XX^T است و رابطه (۳) برای آن برقرار است.

(۳)

در رابطه (۲)، v یک ماتریس متعامد $M \times M$ است، که ستون i ام آن بردار ویژه i ام، v_i ، ماتریس XX^T است و رابطه (۴) برای آن برقرار است.

(۴)

Λ یک ماتریس قطری $N \times M$ با مقادیر تکین در امتداد قطر است. رابطه (۲) را می توان

به صورت رابطه (۵) بازنویسی کرد.

(۵)

کاربرد روش پروفیل لرزه ای قائم در عملیات لرزه ای به مثابه ابزاری برای تعیین ضرایب بازتاب، شناسایی بازتابنده های لرزه ای، ساخت ردلرزه در محل چاه و مقایسه آن با داده های لرزه نگاری سطحی و لرزه نگاشت مصنوعی، مطالعه خواص فیزیکی سنگ ها و تضعیف امواج تکراری، مشخص کردن گسل ها و غیره شناخته شده است (هاردج، ۲۰۰۰ و کسل، ۱۹۸۴). یک بخش ضروری پردازش داده های پروفیل لرزه ای قائم، جداسازی امواج پایین رونده از امواج بالارونده است که با توجه به دامنه کم امواج بالارونده با مشکل مواجه می شود. چنین مرحله پردازشی از آنجا اهمیت پیدا کرده است که مقدمه ساخت ردلرزه در محل چاه با استفاده از داده های پروفیل لرزه ای قائم و مقایسه آن با داده های لرزه نگاری سطحی است (هاردج، ۲۰۰۰).

یک روش ملموس برای جداسازی این دو مؤلفه موج، استفاده از اختلاف در سرعت فاز ظاهری آنها و فیلتر سرعت یا f-k است (تریتل و همکاران، ۱۹۶۷ و سوپراجیتنو و گرین هاگ، ۱۹۸۵). از معایب این روش نیاز به نمونه برداری منظم در امتداد محور زمان و دورافت است. روش دیگر که از فیلتر میانه استفاده می کند، نیاز به اندازه گیری دقیق زمان اولین رسید دارد (هاردج، ۲۰۰۰).

این مقاله مسئله را از دیدگاه دیگری که نیاز به نمونه برداری منظم در امتداد زمان و دورافت و اندازه گیری دقیق زمان اولین رسید ندارد، مورد بررسی قرار می دهد.

این روش بر اساس تجزیه مقدار تکین (singular value decomposition) ماتریس داده های پروفیل لرزه ای قائم که شیفت زمانی استاتیکی به آنها اعمال شده کار می کند. در مقطع پردازش شده حاصل از SVD نه تنها امواج پایین رونده و بالارونده به خوبی از یکدیگر جدا شده اند بلکه نسبت سیگنال به نوفه مقطع حاصل نیز افزایش یافته است.

آن در تضعیف تکراری ها در امواج بالارونده و داده های لرزه سطحی، از جمله کاربردهای مهم VSP هستند (هاردج، ۲۰۰۰). بنابراین یکی از مراحل مهم پردازش داده های VSP، جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده است. در کنار این مسئله، بالا بردن نسبت سیگنال به نوفه نیز برای ما مطلوب است. با توجه به مفاهیم ذکر شده در قسمت های قبل، مرحله اول در جداسازی امواج بالارونده از پایین رونده با استفاده از SVD اندازه گیری زمان اولین رسیده ها است. سپس این زمان به ردلرزه ها اضافه یا کم می شود تا در حد امکان بسته به هندسه بازتابنده، بالارونده ها یا پایین رونده ها به خط شوند. در این حالت ماتریس مقطع لرزه ای به مقادیر تکین تجزیه می شود و با سعی و خطا، بالارونده ها از پایین رونده ها جدا می شوند.

در شکل ۱ داده های پروفیل لرزه ای قائم مصنوعی از یک مدل زمین شناسی ساده با سه لایه افقی (مطابق جدول ۱) بدون در نظر گرفتن تکراری ها نشان داده شده است.

ضخامت (m)	سرعت (m/s)	لایه
۲۰۰	۸۰۰	اول
۴۰۰	۱۵۰۰	دوم
۹۰۰	۲۵۰۰	سوم

جدول ۱. مشخصات لایه های مدل مصنوعی

در شکل ۲ داده های پروفیل لرزه ای قائم در حوزه $f-k$ نمایش داده شده است. با طراحی یک فیلتر در این حوزه، ناحیه مربوط به پایین رونده ها (ناحیه A) حذف می شود که نتیجه حاصل، در شکل ۳-الف نشان داده شده است.

که در آن، r نشان دهنده مرتبه (Rank) ماتریس است.

فاکتور یک ماتریس $M \times N$ با مرتبه واحد است که ویژه تصویر (eigenimage) نام ماتریس X نامیده می شود (آندرو و هانت ۱۹۷۷). همان طور که از رابطه (۵) دیده می شود، سهم بازسازی X از ویژه تصویر متناظر یک مقدار تکین خاص با اندازه آن مقدار تکین متناسب است. از آنجا که مقادیر تکین به ترتیب بزرگی منظم شده اند، بزرگترین سهم در بازسازی X در چند ویژه تصویر اول نهفته است.

برای ماتریس X که نشان دهنده مقطع لرزه ای است، همه M ردلرزه ها مستقل خطی بوده و هیچ ردلرزه ای را نمی توان به صورت ترکیب خطی $M-1$ ردلرزه دیگر نوشت، در چنین حالتی X دارای مرتبه کامل M بوده و همه ها مخالف صفرند. بنابراین بازسازی کامل X نیازمند همه ویژه تصویرها است.

از طرف دیگر در حالتی که همه M ردلرزه ها مضربی از یکدیگر باشند، همه ردلرزه ها وابسته خطی اند، مرتبه X برابر یک است و به طور کامل با ویژه تصویر اول بازسازی می شود. در حالت کلی بسته به وابستگی خطی که بین ردلرزه ها وجود دارد X را می توان از چند ویژه تصویر اول بازسازی کرد.

کاربرد SVD در VSP

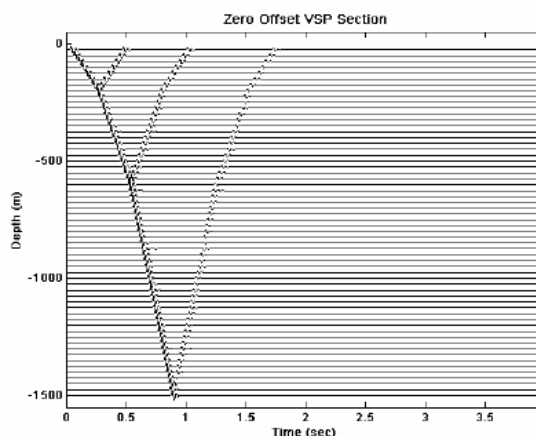
داده های VSP پردازش نشده به واسطه مشکلات متعدد به طور خام قابل تفسیر نیست و نیازمند پردازش های خاص است. الگوریتم های متفاوتی برای تقویت بازتاب های بالارونده اولیه، تضعیف بازتاب های تکراری و حذف نوفه ها در پردازش داده های VSP به کار برده می شود. ویرایش داده ها، اندازه گیری زمان اولین رسید، اعمال تصحیحات استاتیکی، جداسازی امواج پایین رونده از بالارونده و بازیافت دامنه های حقیقی، از جمله مراحل پردازشی مرسوم در VSP هستند. طراحی اپراتورهای واهم آمیخت پیشگو از روی امواج پایین رونده و کاربرد

به ماهیت فیلتر $f-k$ دیده می شود که در هر دو حالت، علاوه بر تضعیف امواج نامطلوب، امواج مطلوب نیز تا حدی تضعیف شده اند.

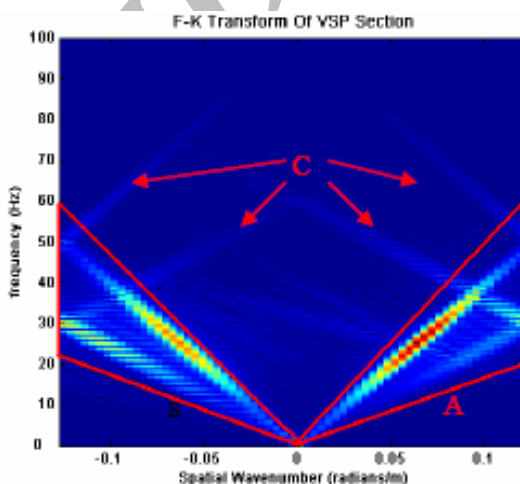
به منظور جداسازی بالارونده ها و پایین رونده ها در VSP با استفاده از SVD بایستی یک وابستگی خطی در امواج مورد نظر وجود داشته باشد. چنین فرایندی در مراحل پردازشی معمول در VSP با اعمال شیفت استاتیکی به هر ردلرزه اجرا می شود و با این کار، بالارونده ها یا پایین رونده ها بسته به هندسه بازتابنده ها و با اندازه گیری زمان اولین رسید و اعمال شیفت استاتیکی به جلو یا به عقب، تقریباً به خط می شوند. چنانچه جداسازی امواج بالارونده هدف باشد، بایستی امواج بالارونده به خط شوند و اگر هدف جداسازی امواج پایین رونده است، بایستی امواج پایین رونده به خط شوند. در شکل ۴-الف و ب نتیجه اعمال شیفت استاتیکی به جلو و عقب به هر ردلرزه به اندازه زمان اولین رسید در همان ردلرزه، نشان داده شده است. در قسمت (ج) و (د) شکل ۴ به ترتیب منحنی بزرگی مقادیر تکین برای دو مقطع به دست آمده نشان داده شده است.

همان طور که در این نمودارها دیده می شود، سه مقدار تکین اول برای حالت (الف) دارای بیشترین بزرگی اند و بنابراین سه ویژه تصویر متناظر با آنها برای بازسازی بالارونده ها مناسب هستند. در مورد حالت (ب)، اولین مقدار تکین دارای بیشترین بزرگی است و بنابراین اولین ویژه تصویر متناظر با آن برای بازسازی پایین رونده ها مناسب است.

شکل ۵-الف نتیجه بازسازی بالارونده ها با سه ویژه تصویر قسمت (ج) را نشان می دهد و نتیجه بازسازی پایین رونده ها با کمک اولین ویژه تصویر قسمت (د) در شکل ۵-ب نشان داده شده است. نتایج بازسازی امواج بالارونده و پایین رونده با استفاده از هشت ویژه تصویر نیز برای مقایسه به ترتیب در شکل های ۵-ج برای برای امواج بالارونده و ۵-د برای امواج پایین رونده نشان داده شده است.



شکل ۱. داده های پروفیل لرزه ای قائم مصنوعی از مدل زمین شناسی جدول ۱



شکل ۲. داده های پروفیل لرزه ای قائم شکل ۱ در حوزه $f-k$. ناحیه A برای حذف پایین رونده ها و ناحیه B برای حذف بالارونده ها به کار می روند. C نشان دهنده امواج الیاس شده مکانی است.

به دلیل وجود الیاسینگ مکانی داده ها نمی توان ناحیه مربوط به پایین رونده ها را به طور کامل حذف کرد، بنابراین در امواج بالارونده جدا شده، مقداری از امواج پایین رونده نیز مشاهده می شود. دوباره فیلتر $f-k$ روی داده ها اعمال می شود، با این تفاوت که این بار ناحیه مربوط به بالارونده ها (ناحیه B) حذف می شود و پایین رونده ها از بالارونده ها جدا می شوند. نتیجه این جداسازی نیز در شکل ۳-ب نشان داده شده است.

در این حالت نیز مانند حالت قبل، مشکل الیاسینگ مکانی داده ها خود را با حضور مقداری از امواج بالارونده در امواج پایین رونده نشان می دهد. البته با توجه

نتایج حاصل از داده های مصنوعی دیده شد، روش تجزیه مقدار تکین نوفه ها را به ماتریس های ویژه تصویر متناظر با مقادیر تکین انتهایی (کوچک) نسبت داده و به طور خودکار در بازسازی با مقادیر تکین بالا دخالتی نمی کند و باعث افزایش نسبت سیگنال به نوفه می شود.

۲- با توجه به نظریه تبدیل فوریه، برای اعمال روش $f-k$ روی داده ها نیاز به نمونه برداری منظم زمانی و مکانی است. این در حالی است که روش SVD برای جداسازی امواج از یکدیگر، نیازی به نمونه برداری منظم زمانی و مکانی ندارد.

۳- در روش SVD نیازی به انتخاب دقیق زمان اولین رسیده ها نیست. ۴- جداسازی امواج پایین رونده نسبت به جداسازی امواج بالارونده به دلیل قوی تر بودن این امواج در مقطع VSP از دقت و کیفیت بیشتری برخوردار است، زیرا مقدار تکین این امواج اختلاف بیشتری با سایر مقادیر تکین نسبت به حالت جداسازی بالا رونده ها دارند. ۵- انتخاب دقیق تعداد ویژه تصویرهای مورد نیاز برای بازسازی امواج مورد نظر، علاوه بر نمودار بزرگی مقادیر تکین، نیاز به سعی و خطا نیز دارد.

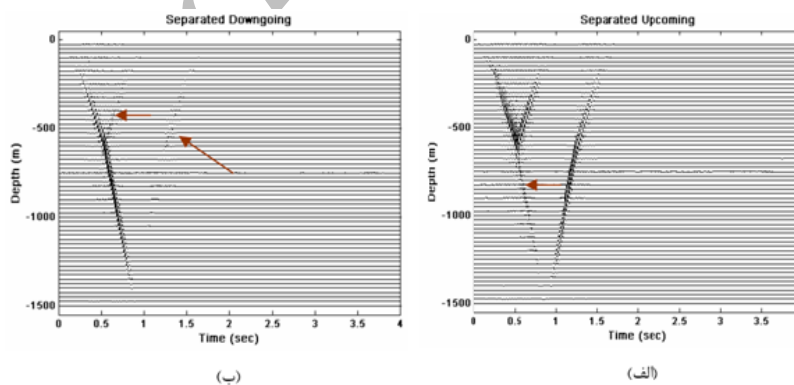
همان طور که مشاهده می شود، با در نظر گرفتن ویژه تصویرهای بیشتر مقداری از امواج نامطلوب در هر مرحله وارد نتایج می شود. در شکل ۶-الف مقطع پروفیل لرزه ای قائم حاوی نوفه و در شکل ۶-ب مقطع VSP در حوزه $f-k$ نشان داده شده است. مانند حالت بدون نوفه امواج پایین رونده با حذف ناحیه مربوط به بالارونده ها، جدا می شوند که نتایج در شکل ۶-ج نشان داده شده است. شکل ۶-د نتیجه جداسازی امواج بالارونده از پایین رونده با حذف ناحیه مربوط به پایین رونده ها را نشان می دهد.

نتایج کار با استفاده از SVD نیز در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود در حالت نوفه دار نیز روش SVD برتری خود را حفظ کرده و در عین حال نسبت سیگنال به نوفه را نیز افزایش داده است.

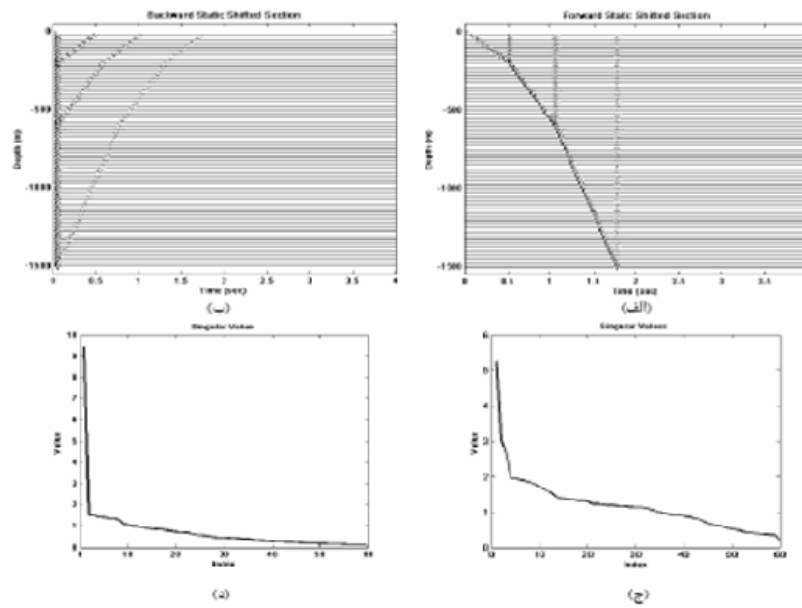
بحث و نتیجه گیری

از نتایج حاصل از شبیه سازی روش های $f-k$ و SVD برای جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده از یکدیگر می توان نتایج زیر را بیان نمود:

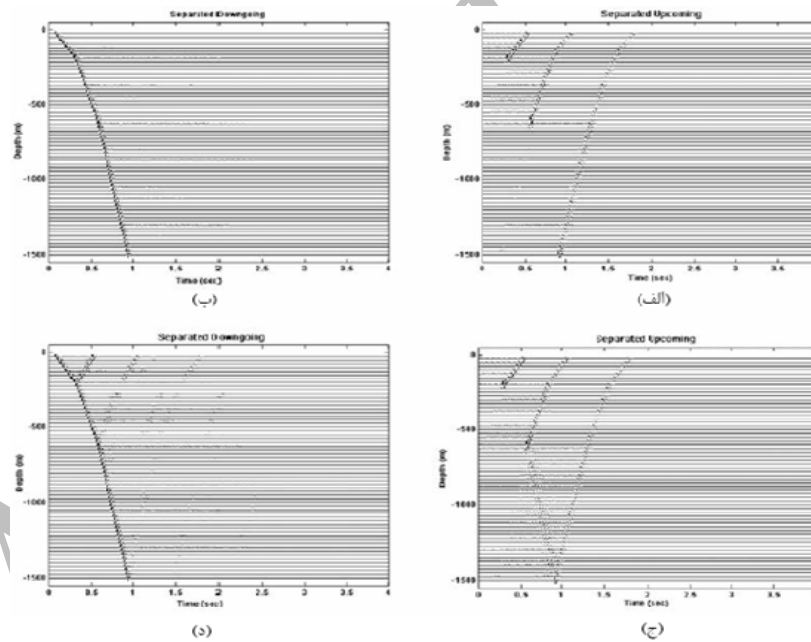
۱- جداسازی امواج با استفاده از روش SVD نسبت به روش فیلتر $f-k$ از دقت بسیار بالایی چه در حالت حضور نوفه و چه در حالت بدون نوفه برخوردار است، زیرا همان طور که در



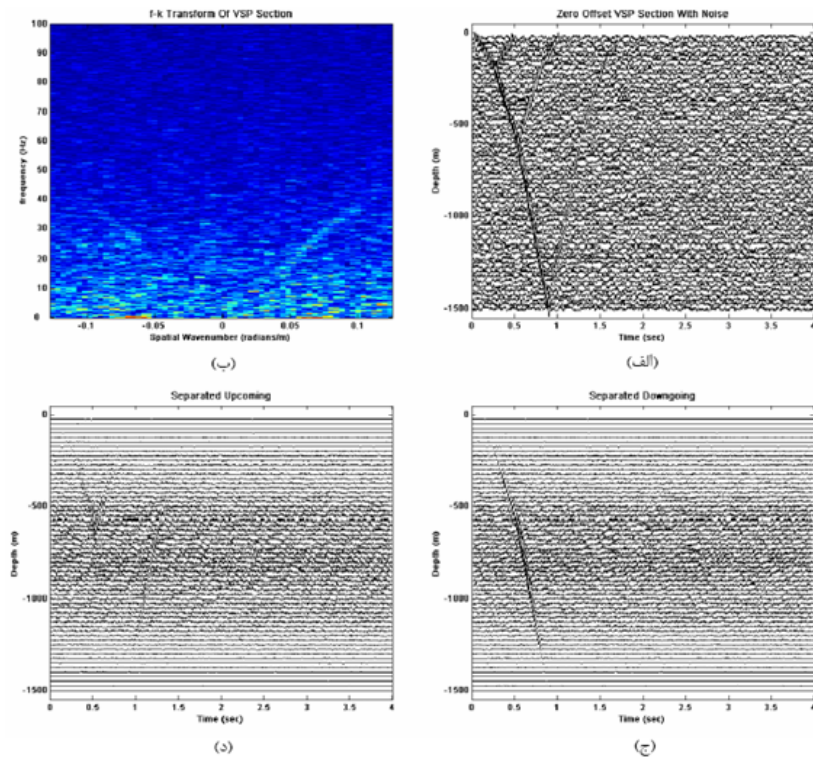
شکل ۳: (الف) امواج بالا رونده جدا شده با فیلتر $f-k$ ، (ب) امواج پایین رونده جدا شده با فیلتر $f-k$ پیکان ها نشان دهنده امواج الیاس مکانی هستند که پس از فیلتر باقی مانده اند.



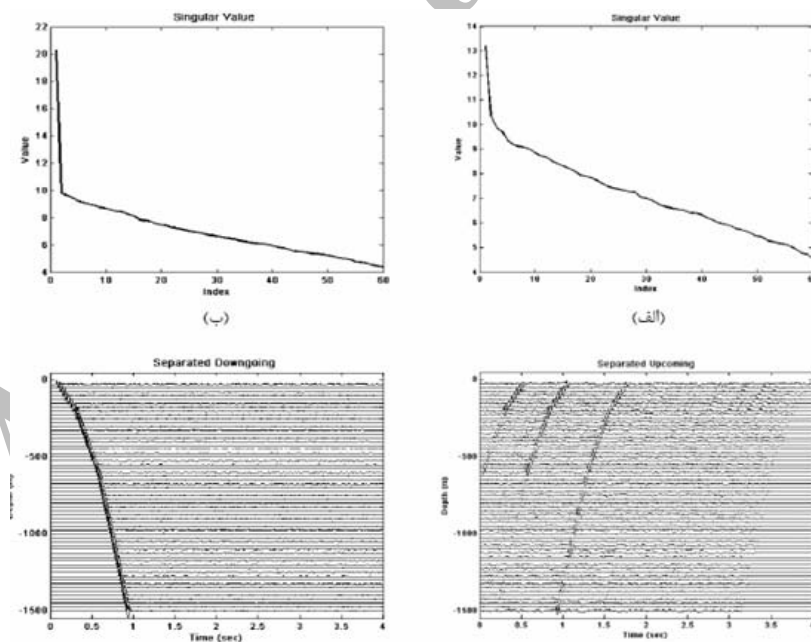
شکل ۴: (الف) داده های پروفیل لرزه ای قائم مصنوعی شکل ۱ با اعمال شیفت استاتیکی به جلو. (ب) داده های پروفیل لرزه ای قائم مصنوعی شکل ۱ با اعمال شیفت استاتیکی به عقب. (ج) منحنی بزرگی مقادیر تکین برای مقطع شیفت داده شده به جلو. (د) منحنی بزرگی مقادیر تکین برای مقطع شیفت داده شده به عقب.



شکل ۵: (الف) امواج بالارونده جدا شده با استفاده از روش SVD با سه ویژه تصویر اول شکل (۴-ج). (ب) امواج پایین رونده جدا شده با استفاده از روش SVD با اولین ویژه تصویر (شکل ۴-د). (ج) امواج بالارونده جدا شده با استفاده از روش SVD با هشت ویژه تصویر اول (شکل ۴-ج). (د) امواج پایین رونده جدا شده با استفاده از روش SVD با هشت ویژه تصویر اول (شکل ۴-د).



شکل ۶: (الف) داده‌های پروفیل لرزه‌ای قائم مصنوعی از مدل زمین‌شناسی جدول ۱ به همراه نوفه. (ب) مقطع VSP به همراه نوفه در حوزه $f-k$. (ج) امواج پایین‌رونده با استفاده از فیلتر $f-k$. (د) امواج بالا‌رونده با استفاده از فیلتر $f-k$.



شکل ۷: (الف) منحنی بزرگی مقادیر تکین برای مقطع شیفت داده شده به جلو. (ب) منحنی بزرگی مقادیر تکین برای مقطع شیفت داده شده به عقب. (ج) امواج بالا‌رونده با سه ویژه‌تصویر اول (شکل ۷-الف). (د) امواج پایین‌رونده با اولین ویژه‌تصویر (شکل ۷-ب)

منابع

- Andrews, H. C., and Hunt, B. R., 1977, Digital image restoration: Prentice-Hall, New Jersey.
- Aster, R. C., Borchers, B., and Thurber, C., 2000, Parameter estimation and inverse problems, course note.
- Cassell, B., 1984, Interactive VSP-CDP mapping in complex media: 54th Ann. Internat. Mtg.
- Freire, S. L. M., and Ulrych, T. J., 1988, Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling: Geophysics, 53, 778-785.
- Hardage, B. A., 2000, Vertical seismic profiling: Principles, New York, Pergamon.
- Hemon, C., and Mace, D., 1978, The use of the Karhunen-Loeve transformation in seismic data-processing: Geophys. Prospect. 26, 600-626.
- Jones, I. F., 1985, Applications of the Karhunen-Loeve transform in reflection seismology: Ph.D. thesis, Univ. of British Columbia.
- Richardson, M. R., and Zandt, G., 2005, Inverse problems in geophysics, A set of lecture notes.
- Suprajitno, M., and Greenhalgh, S. A., 1985, Separation of upgoing and downgoing waves in vertical-seismic-profiling by contour-slice filtering: Geophysics, 50, 950- 962.
- Treitel, S., Shanks, J. L., and Frazier, C. W., 1967, Some aspects of fan filtering: Geophysics, 32, 789-800.

Archive of SID