

به کارگیری موجک های پاکتی برای تضعیف هوا موج در حوزه زمان - فرکانس

هاله عزیزی^۱ و دکتر حمیدرضا سیاه کوهی^۲

چکیده

داده های لرزه ای همیشه با نوفه همراه اند. نوفه های لرزه ای حاصل از عملکرد چشمه لرزه ای، به نوع چشمه به کار رفته (چه در پروژه های نفتی و چه در لرزه نگاری مقیاس کوچک) بستگی دارند. به عنوان مثال می توان به ایجاد هوا موج توسط چشمه های انفجاری (یا ضربه ای) اشاره کرد که به عنوان یک نوفه همدوس بر روی رکورد لرزه ای ظاهر می شود. این موج به علت طی مسافت کوتاه در هوا، با سیگنال های مطلوب موجود بر رکورد لرزه ای (یعنی امواج بازتابی) همپوشانی فرکانسی قابل توجهی دارد. لذا فیلتر های فرکانسی برای تضعیف این نوفه مناسب نخواهند بود. روش های مختلفی همچون فیلتر سرعتی در حوزه فوریه دو بُعدی (F-K) و فیلتر (K-L) برای این منظور ابداع و مورد استفاده قرار گرفته اند (Eighan and Watts, 1997؛ سیاه کوهی ۱۳۷۹؛ گودرزی، ۱۳۸۱).

روشی که در این تحقیق برای تضعیف هوا موج مد نظر است، استفاده از تبدیل موجک پاکتی و انتقال داده به حوزه زمان-فرکانس است. در این روش به علت دقت بالا در تفکیک موج به مؤلفه های سازنده آن، و امکان بازسازی مجدد موج با ترکیب های متنوعی از مؤلفه ها، زمینه حذف نوفه هوا با کمترین صدمه به سیگنال های بازتابی فراهم است. نرم افزارهای لازم برای انجام کار توسط نگارندگان در محیط MATLAB تدوین، و بر روی داده های لرزه ای مصنوعی و واقعی اجرا گردیده است.

کلید واژه ها : موجک پاکتی، تضعیف، موج هوا، فیلتر، حوزه زمان - فرکانس

Applying the pocket wavelets in reducing airwave in the time-frequency zone

Haleh Azizi and Dr. Hamid-Reza Siahkoohi

Abstract

Seismic data are always accompanied by noises. Seismic noises because of seismic source performances depend on the applied source type (either in the oil projects or small scaled seismography). As an example it can be referred to the explosive (or impulsive) which appear on the seismic record as a concordant noise. This wave has a significant frequency overlap with the desired signals on the seismic record (i.e. reflective waves) due to the short passage in the air. Therefore, frequency filters would not be appropriate for this kind of noise. For this

^۱دانشجوی دوره دکتری رشته ژئوفیزیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، azizihaleh@yahoo.com

^۲ عضو هیأت علمی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، hamid@ut.ac.ir

purpose, different methods such as speed filters in two dimensional Fourier zone F-K and K-L filter have been invented and used (Eighan and Watts 1997; Siahkuhi 1379; Gudarzi 1381).

In this research, the method concerned for reduction the airwaves is applying the conversion of pocket wavelets and transferring them to the time- frequency zone. Due to its high accuracy of this method in the division the waves into their constructive components, and the possibility of waves reconstruction by different component composition, the situation for eliminating the air noise is prepared with the minimum damage to the reflexive signals. The required softwares for application have been written by editors in MATLAB and implemented on the artificial and real seismic data.

Keywords: Wavelet Packet, Reducing, Air Waves, Filter, Time – Frequency Zone

ب. قادر به تمرکز فرکانس در زمان است. لذا از

حذف همان مؤلفه فرکانسی در زمانی دیگر که ممکن است مطلوب پردازشگر نیز باشد، خودداری می نماید.

ج. این ابزار قابلیت آنالیز سیگنال لرزه ای را، چه در بخش تقریب (approximation) و چه در بخش جزئیات (details) سیگنال، دارد.

د. به طور هم زمان، قابلیت تفکیک بالای زمانی و فرکانسی را برای گونه های مختلف موجک دارد.

ه. قادر است با انتخاب بسته های مختلف ضرائب، سیگنال را ضمن حذف نوفه، بازسازی کند.

و. امکان تجزیه سیگنال در زیر فضاهای مختلف را فراهم می سازد، که البته هر زیر فضا نیز توابع پایه ای مختص به خود را دارد.

ز. در این نوع تبدیل، توابع پایه الزاماً ارتوگونال نیستند، لذا درجه آزادی انتخاب موجک مناسب برای منظوره های خاص، بالا خواهد بود (Mallat, 1999; Nguyen, 1996; Strange and Vetterli, 1997; رسائی، ۱۳۸۴؛ مرادی، ۱۳۸۰).

موجک های پاکتی

ساختار استاندارد متعامد و چند تفکیکی تبدیل موجک گسسته discrete wavelet transform (DWT)، انعطاف لازم برای آنالیز سیگنال در کاربردهای مختلف را ندارد. از جمله این که در DWT، بخش فرکانس بالا، کنار گذاشته شده و تقسیم بندی باند فقط در بخش پائین گذر سیستم انجام می شود. ولی در تبدیل موجک پاکتی هر دو بخش بالا گذر و پایین گذر تحت تاثیر قرار می گیرند. این

مقدمه:

هوا موج بخشی از انرژی لرزه ای است که با سرعت تقریبی صوت در هوا، در امتداد سطح زمین، حرکت می کند. این موج به خاطر صدای حاصل از عملکرد چشمه در عملیات لرزه ای خشکی ایجاد و توسط ژئوفون ها ثبت می گردد. چون هوا موج در امتداد سطح زمین منتشر می شود، در رکورد لرزه ای روند خطی خواهد داشت. هوا موج ها با اینکه مقداری از انرژی خود را به هنگام انتشار در هوا از دست می دهند، با این وجود همپوشانی فرکانسی زیادی با امواج بازتابی موجود در رکورد لرزه ای دارند. بنابراین حذف آنها بسیار حساس بوده و باید با احتیاط صورت گیرد. حضور این گونه امواج بر روی مقاطع لرزه ای می تواند به عنوان رویدادهای غیر واقعی، مفسر را تا حد زیادی دچار اشتباه در تشخیص صحیح وقایع بر روی رکورد لرزه ای نماید.

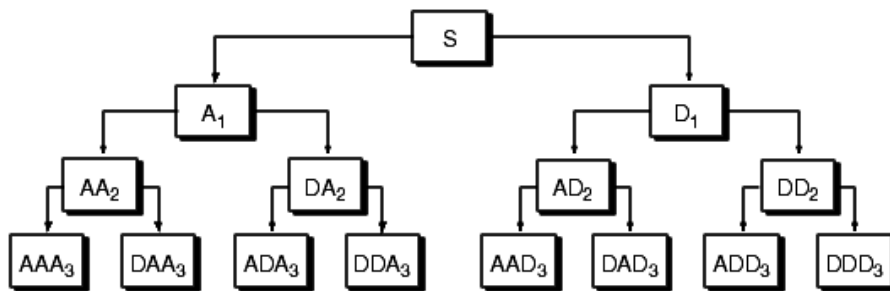
روش پیشنهادی ما در این مطالعه برای حذف هوا موجها از رکورد لرزه ای، استفاده از امکانات حوزه زمان - فرکانس است. تبدیل های زمان - فرکانس که بهبود یافته ایده فوریه هستند، اجازه حذف یک فرکانس خاص در موقعیت زمانی معین را می دهند. در این تحقیق برای حذف نوفه هوا موج از داده های لرزه ای، از تبدیل موجک پاکتی WPT که نوع خاصی از تبدیل زمان - فرکانس است، استفاده شده است.

برخی از خواص و ویژگی های موجک پاکتی که علت امتیاز آن به سایر روش های به کاررفته می باشد، عبارتند از: الف. برای تجزیه و تحلیل سیگنال های ناپایا و گذرا (سیگنال های لرزه ای از این نوعند) مناسب است.

یعنی دو بخش بالاگذر و دو بخش پائین‌گذر حاصل می‌گردند و این فرایند تا انتها ادامه می‌یابد.

در آنالیز سیگنال به روش WPT، زیر فضاها اطلاعات حاوی مؤلفه‌های پائین و بالای فرکانسی را در مقیاس‌های مختلف ($j=1, 2, 3, \dots$)، در خود جای می‌دهند. این زیر فضاها در هر مقیاس نسبت به یکدیگر ارتوگونال هستند؛ اما نسبت به مقیاس‌های قبل و بعد از خود این ویژگی را ندارند.

آنالیز سیگنال توسط تبدیل موجک پاکتی در شکل (۱) نمایش داده شده است. در هر گره شاخه سمت چپ، بخش ضرائب تقریب سیگنال بوده و شاخه سمت راست، بخش ضرائب جزئی سیگنال است. بدین معنی که شاخه سمت چپ توسط تابع مقیاس و شاخه سمت راست توسط تابع موجک آنالیز می‌گردد.



شکل (۱): سازمان موجک پاکتی در آنالیز سیگنال (www.inf.ufsc.br)

$$w_{1,1} = (\psi(t/2 - k), k \in Z) \quad (2)$$

ب. انتخاب بهترین آنالیز WPT

در آنالیز سیگنال، بسته به اینکه تابع پایه در هر ردیف چگونه انتخاب گردد و بهترین درخت کدام باشد، بهترین روش موجک پاکتی جهت تجزیه سیگنال گزینش می‌گردد. به عبارت دیگر به این ترتیب مشخص می‌گردد که کدام نوع از توابع موجک پاکتی، تناسب بیشتری با نوع سیگنال مورد نظر دارند و دیگر اینکه کدامیک از شاخه‌ها از درخت موجک پاکتی باید انتخاب گردند، که مثلاً شرط بهترین بازسازی را به همراه حذف نوفه دارا باشند.

خاصیت، کاربر را قادر می‌سازد تا از این نوع موجک برای پاک سازی نوفه از سیگنال در بخش فرکانس‌های بالا نیز استفاده نماید.

الف. نحوه عملکرد تبدیل موجک‌های پاکتی

ساختار موجک‌های پاکتی، چه از نوع ارتوگونال و چه از نوع بیوارتوگونال، بر اساس بانک فیلتر استاندارد است. بانک فیلتر استاندارد معمول در تبدیل موجک پاکتی، ساختاری از نوع فیلترهای آینه‌ای تریبلی Quadrature mirror filters (QMF) استاندارد با خاصیت بازسازی کامل perfect reconstruction (PR) دارد که متشکل از فیلترهای پائین‌گذر و بالاگذر است.

در این بانک، سیگنال به دو بخش بالاگذر و پائین‌گذر تقسیم می‌گردد که بر خلاف DWT استاندارد، بخش بالاگذر نیز به دو بخش بالاگذر و پائین‌گذر تقسیم می‌گردد. به همین ترتیب در مرحله بعدی، چهار بخش،

این شکل به نام کتابخانه‌های (library) از پایه‌های (basis) موجک پاکتی خوانده می‌شود. توابع در شاخه سمت راست هر گره، به عنوان تابع موجک و توابع در شاخه سمت چپ هر گره، تابع مقیاس فرض می‌شوند. اگر مقیاس را با j ، جابجایی مکانی را با k و پهنای باند فرکانسی را با n نشان دهیم، آنگاه تبدیل موجک پاکتی را می‌توان متشکل از زیر فضاهایی از $V_j, W_{j,n}$ دانست که مکمل یکدیگر بوده و به صورت دو رابطه زیر بیان می‌گردند:

(۱)

$$w_{1,0} = (\phi(t-k), k \in Z)$$

(Daubechies, 1992؛ Ahmadi, 2001)
(Deighan and Watts, 1997).

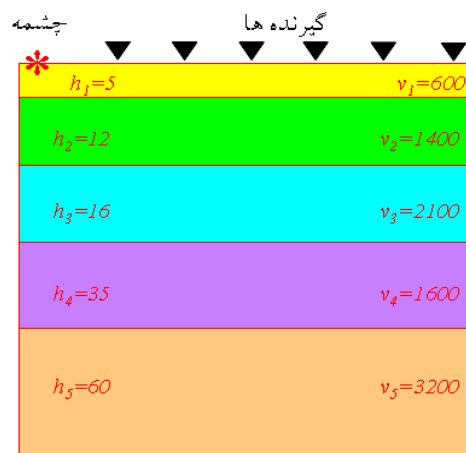
حذف نوفه هوا از داده‌های مصنوعی به کمک تبدیل

موجک پاکتی

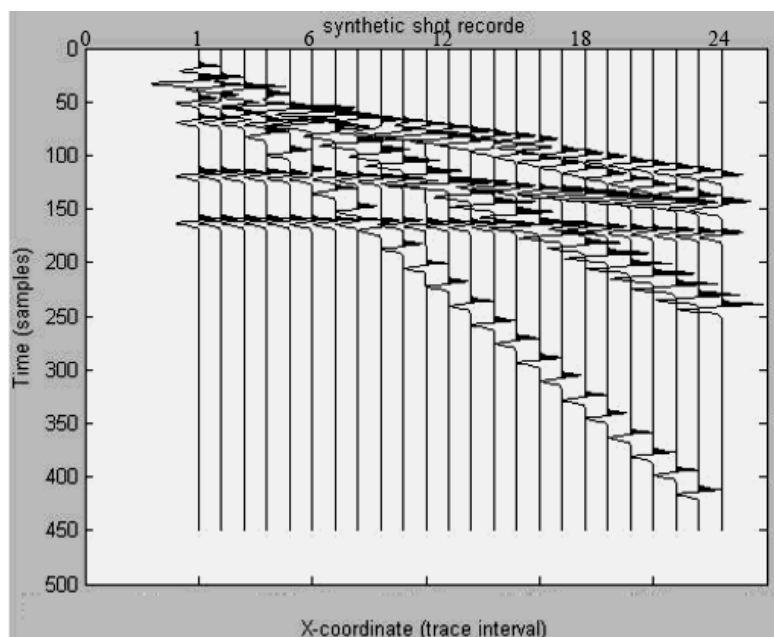
در این تحقیق، زمین دارای مدلی با سطح افقی و لایه-بندی تخت و موازی فرض شده است. تعداد ژئوفون‌ها ۲۴ عدد و فاصله بین آنها نیز ۵ متر در نظر گرفته شده است (شکل ۲). ابتدا رکورد چشمه مشترک حاوی امواج مستقیم، بازتابی و شکست مرزی به همراه هوا موج تولید شده است (شکل ۳).

ملاک‌های انتخاب بهترین گره‌ها، در بهترین درخت، جهت آنالیز و ترکیب یک سیگنال، توسط WPT عبارتند از:

- ارتوگونال بودن توابع
- آنتروپی: آنتروپی اولین بار توسط کوائفمن و ویکر هاوسر، که از پیشگامان در مطالعات موجک بوده اند تعریف گردید.
- کلاسه بندی یا تقارن کلاسه
- انرژی
- تعریف حد و آستانه threshold



شکل (۲): مدل زمین فرضی استفاده شده برای تولید رکورد لرزه‌ای مصنوعی



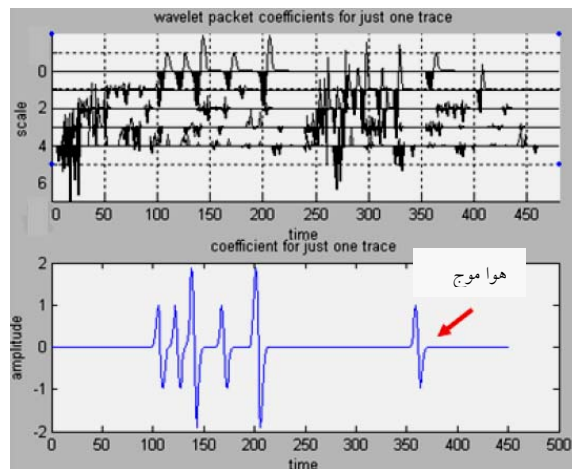
شکل (۳): رکورد چشمه مشترک مصنوعی همراه با نوفه هوا

چهارم صورت گرفته است. با قرار دادن ضرائب مربوط به جزئیات در یک پوشه و ضرائب مربوط به تقریب ها در پوشه دیگر، و سپس رسم آنها در کنار هم، شکل (۴.الف) ایجاد خواهد شد. در این شکل محور قائم مقیاس، و محور افقی زمان می باشد. جهت بهتر شدن مقیاسه، سیگنال مورد نظر نیز در شکل (۴.ب) رسم شده است. محورهای این شکل نیز از دامنه- زمان تشکیل شده اند. مشاهده می شود که در ابتدا امواج لرزه ای ثبت، و به دنبال آنها هوا موج آمده است. در بخش ضرائب مشاهده می شود که در مقیاس های مختلف، هوا موج خود را با ضرائب بزرگ دامنه در محدوده زمانی ۳۵۰ - ۲۵۰ میلی ثانیه نشان می دهد. با حذف ضرائب مربوط به هوا موج در هر مقیاس، شکلی مانند (۵.ب) ایجاد می شود که برای تمیز بهتر، کل ضرائب در شکل (۵.الف) آورده شده است.

در این مطالعه برای انتقال داده ها به حوزه زمان - فرکانس، از موجک دابشیز با آنتروپی شانن (Shannon)، به علت دارا بودن شرایط تعریف شده و انعطاف بالای این موجک استفاده گردید.

الف. اعمال تبدیل موجک پاکتی در مقیاس های مختلف

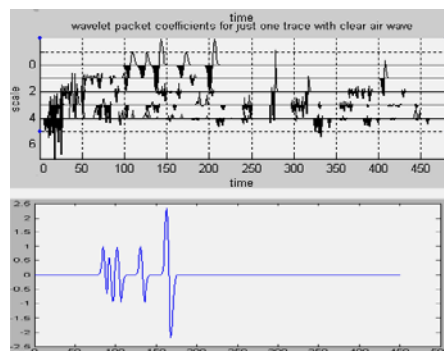
در این مرحله، توسط موجک پاکتی، سیگنال در مقیاس های مختلف آنالیز شده؛ این مقیاس ها عبارتند از: صفر، یک، دو، سه و چهار. در مقیاس صفر سیگنال بدون تغییر باقی می ماند. اما در مقیاس های دیگر سیگنال به یک سری ضرائب تبدیل می شود. این ضرائب حاصل از هم آمیختگی موجک (در اینجا دابشیز) و تریس لرزه ای است. اگر چه امکان آنالیز تا مقیاس هفتم نیز امکان پذیر است، اما به علت عدم حضور مؤلفه های فرکانسی هوا موج در مقیاس های بالا، در این تحقیق تبدیل تا مقیاس



الف

ب

شکل (۴ الف): مجموعه ضرائب در مقیاس های صفر، یک، دو، سه و چهار ب: تریس لرزه ای خام تحت آنالیز



الف

ب

شکل (۵ الف): مجموعه ضرائب در مقیاس های صفر، یک، دو، سه و چهار ب: حذف محدوده ضرائب مربوط به هوا موج از مجموعه ضرائب در مقیاس های صفر، یک، دو، سه و چهار.

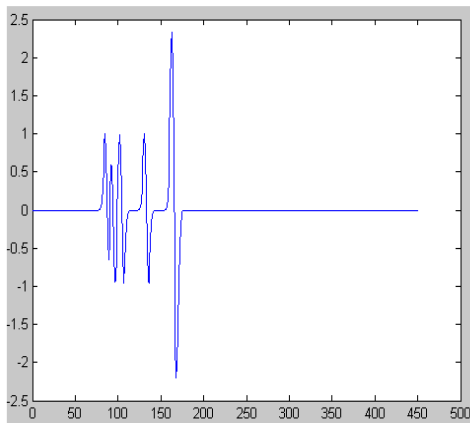
ب. حذف هوا موج از سیگنال لرزه ای

با استفاده از گره های انتهایی تبدیل موجک پاکتی در مقیاس چهارم، می توان محدوده و موقعیت ضرائب مربوط به هوا موج را در این گره ها تقریب زد و با حذف آنها و سپس عکس تبدیل از ضرائب باقیمانده، سیگنال را بازسازی نمود.

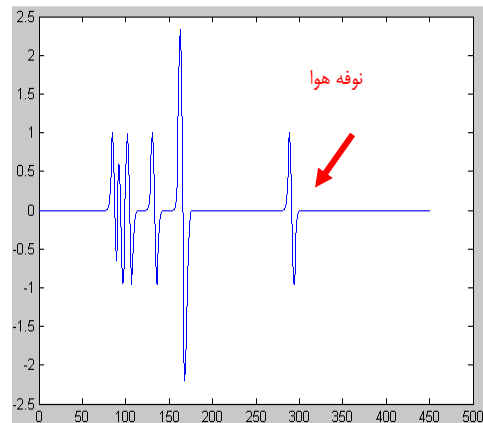
جهت حذف نوفه ها می توان از سری های مختلف و متفاوتی از مجموعه گره های درخت آنالیز موجک پاکتی استفاده نمود. مثال: مجموعه $\{(15), (14), (36)\}$ ، یا $\{(10), (1), (2), (3), (20)\}$.

$(10), (14)$ و یا این انتخاب سلیقه ای نبوده و تحت شرایط خاصی صورت می گیرد (Ahmadi, 2001). اما در اینجا بهترین انتخاب، زمانی است که بهترین پاکسازی از نوفه هوا وجود داشته باشد. لذا به گره های انتهایی اکتفا کرده و تک تک گره های سطح چهارم، تحت بررسی و حذف ضرائب هوا موج قرار گرفت.

تریس لرزه ای مصنوعی خام در شکل (۶. الف) و شکل فیلتر شده آن (بدون موج هوا) در شکل (۶. ب) آمده است.



ب



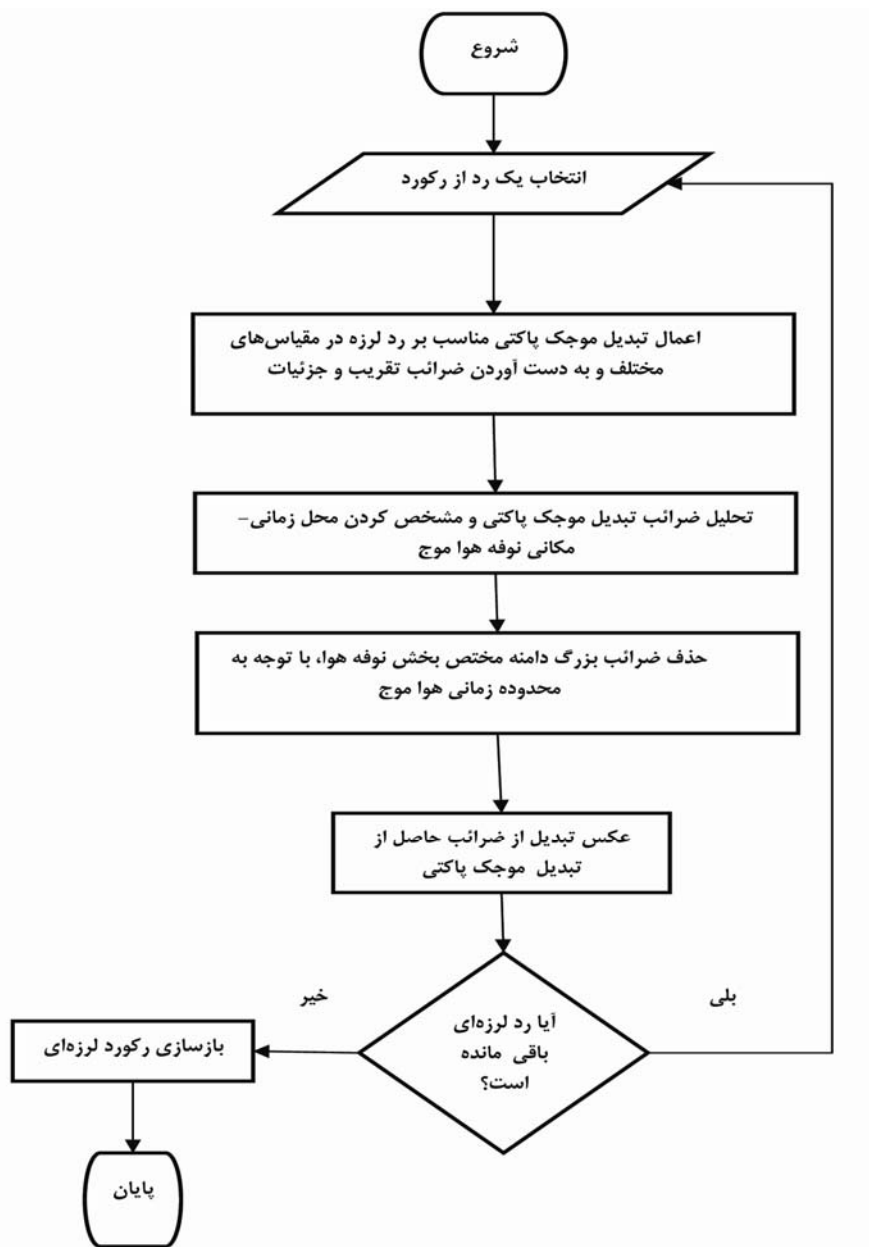
الف

شکل (۶ الف): سیگنال لرزه ای حاوی نوفه هوا ب. سیگنال لرزه ای شکل (الف) بدون نوفه هوا

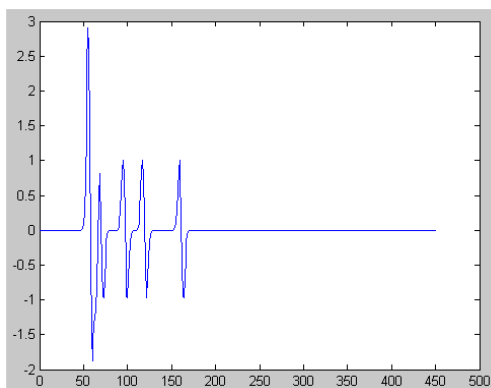
می دهد. جهت مقایسه بهتر، رکورد لرزه ای اولیه که حاوی نوفه هوا بوده در شکل (۹. الف) آورده شده است. اختلاف رکوردهای لرزه ای، قبل و بعد از فیلتر کردن، در شکل ۱۰ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود سایر امواج لرزه ای موجود در رکورد، دست نخورده باقی مانده است.

تمامی این مراحل (شکل ۷) برای تک تک تریس های رکورد لرزه ای مصنوعی انجام شده است. به عنوان نمونه شکل های (۸. الف) و (۸. ب) نمونه ای از تریس لرزه ای را که در آن هوا موج، به داخل بخش های دیگری از داده های لرزه ای نفوذ کرده است را نشان می دهد. نتیجه حاصل از اعمال فیلتر در شکل (۸. ب) مشهود است.

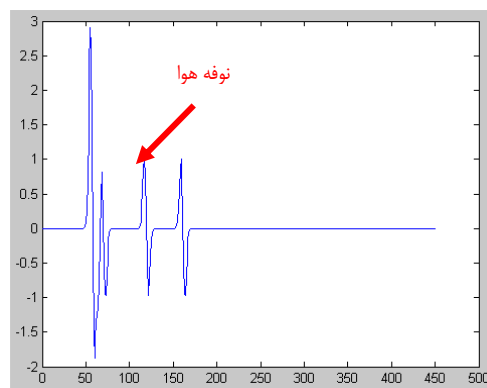
شکل (۹. ب) رکورد لرزه ای مصنوعی که هوا موج توسط تبدیل موجک پاکتی از آن حذف شده را نشان



شکل (۷): فلوچارت نحوه اعمال تبدیل موجک پاکتی بر رکورد لرزه‌ای

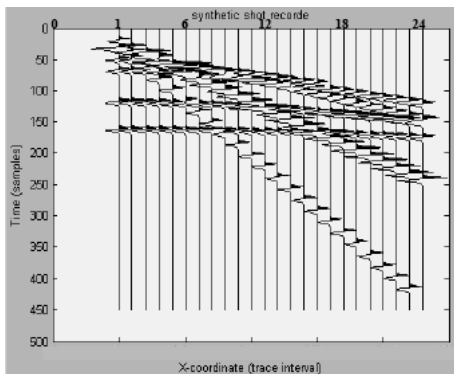


ب

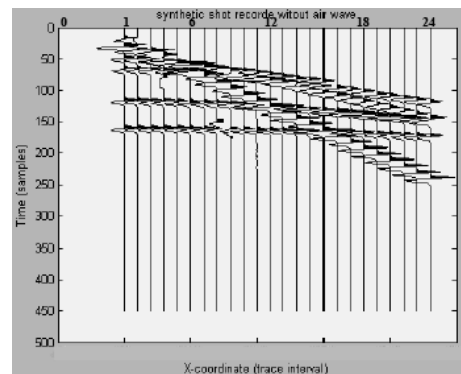


الف

شکل (۸) الف: تریس لرزه‌ای که در آن هوا موج با دیگر امواج لرزه ای همزمان رسیده است ب: حذف هوا موج از شکل (الف)

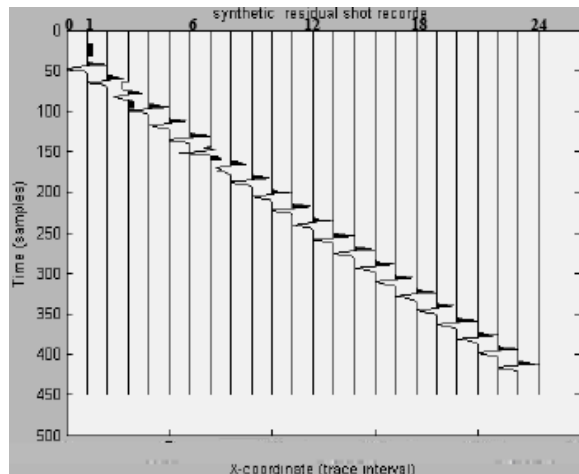


ب



الف

شکل (۹) الف. رکورد مصنوعی حاوی نوفه هوا ب. رکورد مصنوعی حاصل از اعمال تبدیل موجک پاکتی (هوا موج فیلتر شده است)



شکل (۱۰): تفاضل شات رکورد مصنوعی حاصل از اعمال تبدیل موجک پاکتی و شات رکورد مصنوعی قبل از اعمال تبدیل موجک پاکتی (نوفه هوا باقیمانده است)

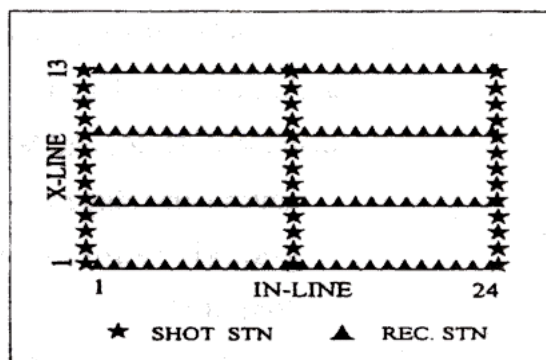
طول برداشت از Buffalo gun و گلوله شکاری کالیبر ۱۲ به عنوان انرژی لرزه ای استفاده شده است.

شکل (۱۱) محدوده فعال (active patch)، آرایش متعامد به کار رفته را نشان می دهد. همانطور که از شکل (۱۱) پیداست، به ازای هر چشمه، تعداد ۹۶ گیرنده فعال وجود داشته است. به عبارت دیگر هر رکورد لرزه ای با چشمه مشترک شامل ۹۶ رد بوده که نمونه ای از آن در شکل (۱۲) نشان داده شده است. جزئیات بیشتر در مورد متغیرهای برداشت، مراحل پردازش و نتایج حاصله در مقاله Siahkoochi & West (۱۹۹۸) ارائه شده است.

تضعیف نوفه هوا از داده های لرزه ای سه

بُعدی

داده های لرزه ای بازتابی سه بُعدی مورد بحث، با استفاده از آرایش متعامد چشمه و گیرنده، در منطقه ای واقع در شرق شهر تورنتو (کانادا) برداشت شده است. در این برداشت موقعیت چشمه های مجاور از هم، ۶ متر و فاصله موقعیت گیرنده های مجاور از هم، ۳ متر تعیین شده اند. رکوردهای صحرائی با فاصله نمونه برداری ۰/۱۲۵ میلی ثانیه و با استفاده از لرزه نگار ۹۶ کاناله OYO-GEOSPACE مدل DAS-1 ثبت گردیده اند. در

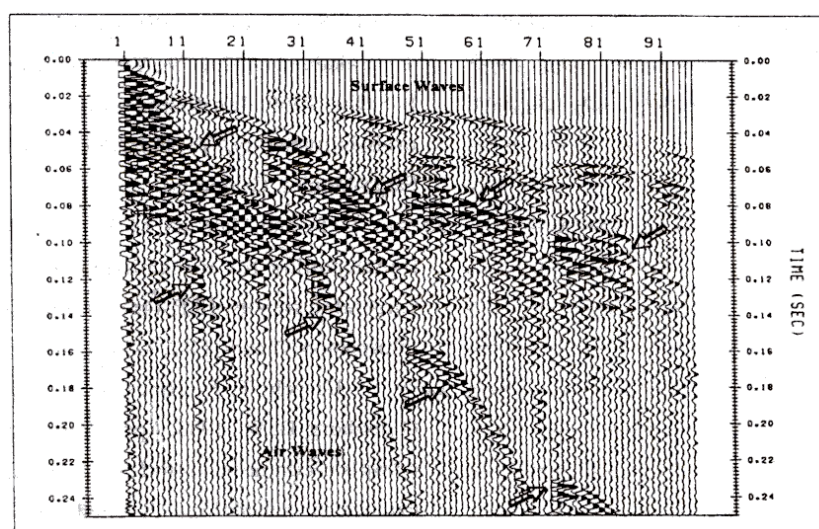


شکل (۱۱): محدوده فعال از آرایش چشمه و گیرنده نوع متعامد که در برداشت داده های لرزه ای سه بُعدی مورد استفاده قرار گرفته است. این محدوده شامل چهار خط (یا کابل) گیرنده هر کدام با ۲۴ دستگاه، و سه خط چشمه هر کدام با ۱۲ ایستگاه است. همانطور که مشاهده می شود، توزیع موقعیت چشمه ها و گیرنده ها سطحی است (سیاه کوهی، ۱۳۷۹).

دو کابل در کنار هم قرار گرفته اند، عدم یکنواختی نمونه برداری به صورت پرش های ناگهانی در زمان رسید امواج، مشاهده می شوند. این امر بر رکورد هوا موج نیز تأثیر گذار بوده و این اثر به صورت هذلولی ظاهر گشته است.

بر خلاف برداشت های دو بُعدی، در برداشت لرزه ای سه بُعدی به خاطر توزیع سطحی موقعیت چشمه ها و گیرنده ها، امکان نمونه برداری یکنواخت از امواج رسیده در حیطه مکان، وجود ندارد. شاهد این واقعیت رکورد نشان داده شده در شکل (۱۲) است.

جاهایی که رد های مربوط به گیرنده های اول و آخر

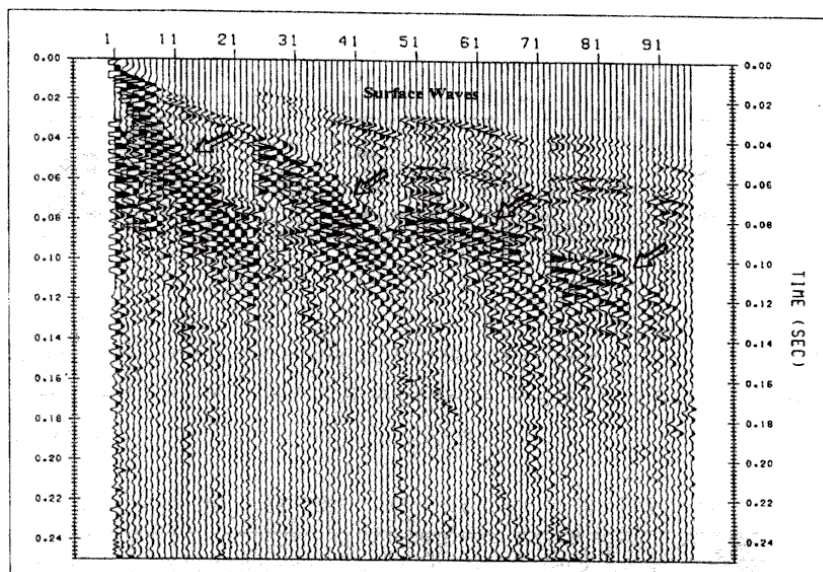


شکل (۱۲): رکورد لرزه ای سه بُعدی چشمه مشترک. این رکورد توسط ۹۶ گیرنده موج P (هر ۲۴ گیرنده متصل به یک کابل گیرنده) ثبت شده است. دو نوع نوفه لرزه ای همدوس موسوم به هوا موجها و امواج سطحی در شکل مشخص شده اند (سیاه کوهی، ۱۳۷۹).

که بخشی از رکورد شکل (۱۴)، شامل ۲۴ گیرنده در نظر گرفته شده است. این گیرنده ها همان گیرنده های شماره ۴۹ تا ۷۲ از سری گیرنده های شکل (۱۴) هستند (شکل (۱۵)).

نتیجه اعمال تبدیل K-L در شکل (۱۳) نشان داده شده است. هوا موج، در این شکل به طور مطلوب حذف گردیده است.

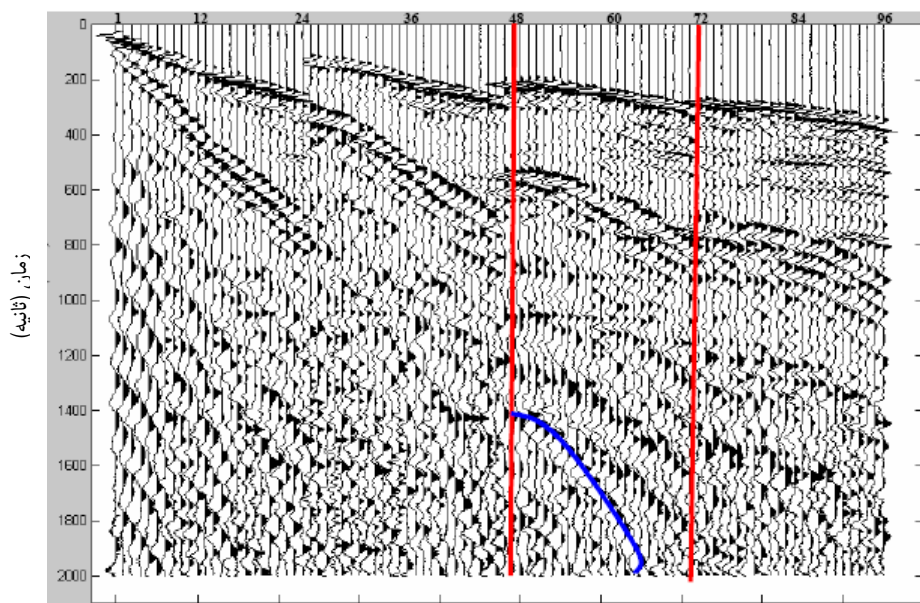
شکل (۱۴) همان رکورد لرزه ای سه بُعدی چشمه مشترک شکل (۱۲) با اندکی تغییر است. لازم به ذکر است



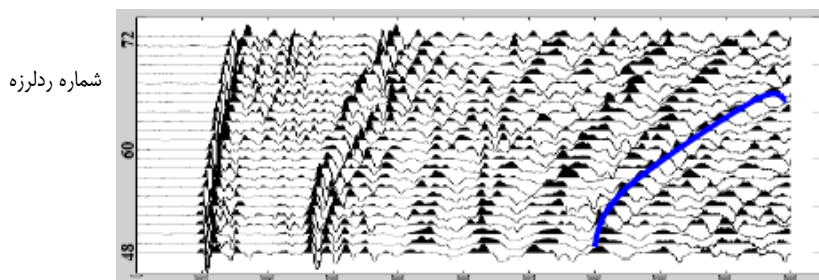
شکل (۱۳): رکورد لرزه ای سه بُعدی چشمه مشترک نشان داده شده در شکل (۱۵) پس از حذف هوا موج ها با استفاده از تبدیل K-L

(سیاهکوهی، ۱۳۷۹)

شماره ردلرزه



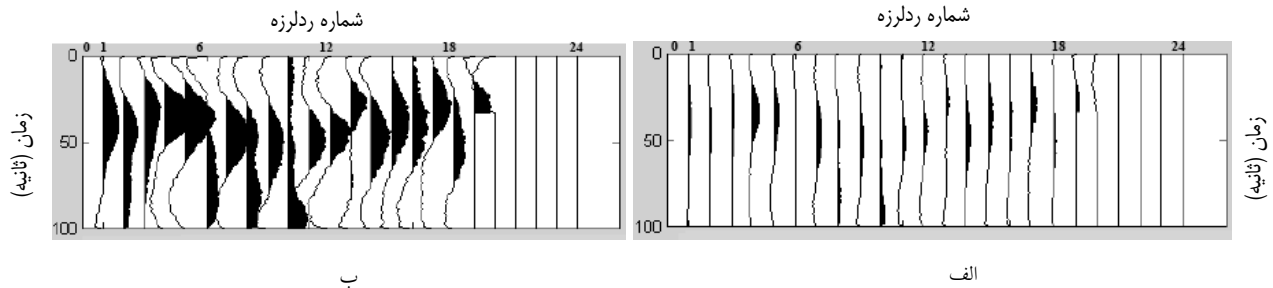
شکل (۱۴): رکورد لرزه ای سه بُعدی چشمه مشترک استفاده شده در تحقیق



شکل (۱۵): بخشی از رکورد لرزه ای سه بُعدی شکل (۱۴) مربوط به گیرنده های ۴۹ تا ۷۲

است، پس از اعمال این تصحیح، موجک های مربوط به هوا موج در رکورد لرزه ای چشمه مشترک، به صورت افقی ظاهر شده است. بخش انرژی لرزه ای مربوط به هوا موج، تحت آنالیز موجک پاکتی قرار گرفته تا انرژی این موج حتی المقدور تضعیف گردد. نتیجه در شکل (۱۶. ب) آمده است.

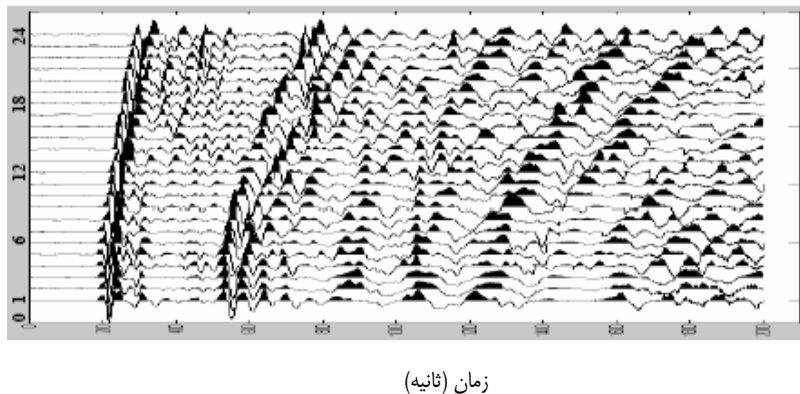
به منظور اعمال تبدیل موجک پاکتی، ابتدا تصحیح برون داد خطی (linear move out) بر روی رکورد لرزه ای چشمه مشترک اعمال شده است. تصحیح برون داد خطی باعث می شود موجک های مربوط به هوا موج در این رکورد، به صورت افقی درآمده و در همه تریس ها تقریباً زمان رسید یکسانی داشته باشند. همان طور که در شکل (۱۶. الف) نشان داده شده



شکل (۱۶) الف. انرژی لرزه ای مربوط به هوا موج پس از اعمال برونراند خطی ب. بخش باقی مانده از هوا موج پس از اعمال فیلتر موجک پاکتی

L در حذف نوفه هوا، نتایج نسبتاً قابل قبولی را ارائه می دهد. برتری این تبدیل نسبت به تبدیل K-L، محدود نبودن آن به انرژی های همدوس است.

در ادامه با عکس تبدیل موجک پاکتی و بازسازی رکورد لرزه ای نتیجه نهایی در شکل (۱۷) آمده است. با مقایسه دو تبدیل K-L و موجک پاکتی، می توان اظهار داشت که تبدیل موجک پاکتی نیز همانند تبدیل K-



شکل (۱۷): رکورد لرزه ای سه بُعدی چشمه مشترک پس از تضعیف هوا موج با استفاده از تبدیل موجک پاکتی

با توجه به این که انتخاب نوع تابع پایه در موجک پاکتی حائز اهمیت است، اما به علت انعطاف آن در تهیه خانواده ای از یک مدل، تنها با تغییر در انتقال و اتساع، تعداد زیادی از این توابع می توانند در آنالیز هوا موج شرکت نمایند.

نتیجه گیری

تبدیل موجک پاکتی، ابزاری مناسب برای حذف نوفه هوا است که نتیجه نسبتاً قابل قبولی ارائه می کند. این تبدیل، قادر است حتی زمانی که این موج با سیگنال های مطلوب رکورد لرزه ای همپوشانی فرکانسی یا همپوشانی طیف دامنه دارد، نوفه هوا را حذف کند.

- گودرزی، ر.، ۱۳۸۱، "مقایسه کارایی تبدیل موجک در تضعیف امواج ریلی با فیلترهای فرکانسی و سرعتی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

- مرادی، م. ح.، ۱۳۸۰، "ویولت، فیلتر بانک، تبدیل های زمان فرکانس و کاربرد آنها"، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر

- Ahmadi, D.H., 2001, "Principles and applications in signal processing", University of California at Berkely, Prentice Hall Press
- Daubechies, I., 1992, "Ten lectures on wavelets", Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, Pennsylvania, Capital City Press
- Deighan, J.A., and Watts, R.D. 1997, "filtering of seismic data in 1-D using a wavelet packet transform", Department of Geology and Applied Geology, University of Glasgow, Geophysics, Vol 60, No. 7
- Deighan, A. J., and Watts, D. R., (Nov. - Dec. 1997), "ground – roll suppression using the wavelet transform", Geophysics. Vol. 62, No. 6
- Mallat, S. R., 1999, " A wavelet tour of signal processing " , Harcourt Science and Technology company, Academic Press
- Strange, G. and Nguyen, T., 1996, " wavelets and filler banks ", Wellesley – Cambridge Press
- Vetterli, M., 1997, "wavelets and subband coding", University of California at Berkely, Prentice Hall PTR Press

از آنجایی که نوفه، از هر ردلرزه به ردلرزه ای دیگر در مکانی متفاوت دیده می شود، حذف ضرائب متعلق به نوفه در این روش، نیازمند تشخیص دقیق محل آن و همچنین مقدار آن در هر پاکت است؛ لذا این روش مستلزم صرف وقت و دقت بالایی است، که در این مطالعه به کمک برونراند خطی، این مشکل برطرف می شود. این تکنیک برای لرزه نگاری مهندسی و خاصه سه بُعدی مناسب تر است؛ چون در این نوع برداشت لرزه ای هوا موج ها، در پاره ای از رکوردهای چشمه مشترک، بسته به موقعیت چشمه، نسبت به گیرنده ها روند هذلولی دارند.

پیشنهادات

تبدیل موجک از نوع پاکتی آن، جهت حذف نوفه هوا ایزاری مناسب و کارآمد است که می تواند همزمان چندین نوفه را از یک سری داده حذف نماید؛ بنابراین می توان به همراه حذف نوفه هوا، نوفه امواج سطحی را نیز پاک نمود.

منابع

- رسائی، م. ر.، ۱۳۸۴، " افزایش مقیاس مدل های زمین شناسی به مدل های شبیه سازی با استفاده از توابع موجک"، رساله دکتری، دانشکده فنی دانشگاه تهران
- سیاه کوهی، ح.ر.، ۱۳۷۹، " استفاده از تبدیل Karhunen-Love در پردازش داده های لرزه ای سه بُعدی"، نشریه فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۶، شماره ۱، صفحه ۹۷-۱۰۶.