اولین همایش ملی پردازش سیگنال و تصویر در ژئوفیزیک
۲۰ آذر ۱۳۹۸ - دانشگاه صنعتی شاهرود

استفاده از فیلتر ساویتزکی-گولای برای ارتقا کیفیت تصاویر لرزه ای

محمدعلی خداقلی[1]، مجید باقری[2]

1- دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، khodagholi.ali.m@ut.ac.ir

2- استادیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، majidbagheri@ut.ac.ir

کلمات کلیدی

- تصاویر لرزه ای
- نوفه تصادفی
- فیلترساویتزکی-گولای
- فیلترواهمامیخت FX
- نسبت سیگنال به نوفه

چکیده

داده های لرزه ای همواره حاوی انرژی های ناخواسته و نامطلوبی است که به آن ها نوفه گفته می شود. نوفه های تصادفی به شدت روی کیفیت داده های لرزه ای تاثیر می گذارند و تضعیف آن ها یکی از مراحل مهم در پردازش داده های لرزه ای است. در این مقاله روشی به نام فیلتر ساویتزکی-گولای (SG) برای افزایش کیفیت تصاویر لرزه ای معرفی می شود. فیلتر SG دو ویژگی مهم دارد یکی ریاضیات ساده حاکم بر آن و دیگری اینکه پس از اعمال این فیلتر بر روی داده، شکل موج سیگنال حفظ می شود. در این مقاله فیلتر SG بر روی داده های لرزه ای مصنوعی و واقعی اعمال شد و برای بررسی کارآیی این فیلتر، نتایج آن با نتایج فیلتر واهمامیخت فرکانس-مکان (FX) مقایسه شد که فیلتر SG در مجموع توانایی بالاتری برای افزایش کیفیت تصاویر لرزه ای نشان داد.

Using Savitzky-Golay filter for improving seismic images quality

Mohammad Ali khodagholi[1], Majid Bagheri[2]

1- Institute of Geophysics, University of Tehran, khodagholi.ali.m@ut.ac.ir

2- Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, majidbagheri@ut.ac.ir

KEYWORDS

- Seismic images
- Random noise
- Savitzky-Golay filter
- FX deconvolution filter
- Signal to noise ratio

ABSTRACT

The seismic data always contain unwanted and undesired energies that are called noises. Random noise, greatly affects the quality of seismic data, and its attenuation is an important step in seismic data processing. In this paper we introduce a method called the Savitzky-Golay filter (SG) to suppress the random noise. The SG method has two important features, one of which is the simple mathematics governing it, and another preserves the signal waveform after applying it to the data. In this study, we apply this filter to synthetic and real seismic data. For a more accurate investigation at the efficiency of the SG filter, we compare its results with the results of FX deconvolution filter. Finally, the SG filter shows more ability for improving the quality of seismic images in comparison to FX deconvolution.

1 مقدمه

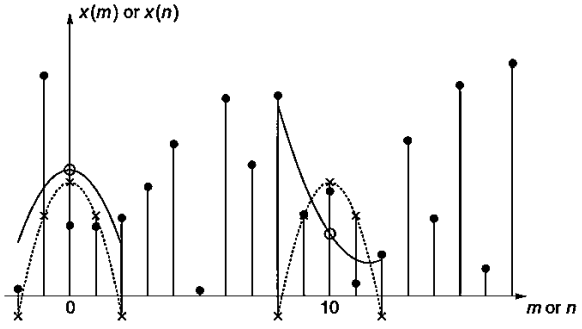
روش لرزه ای بازتابی یکی از روش های رایج برای اکتشاف ذخایر هیدروکربنی است. سیگنال های لرزه ای که از درون زمین بازتاب می شوند حاوی اطلاعات مهمی از لایه های مختلف زمین هستند. بنابراین کیفیت بالای این سیگنال ها به استخراج بهتر این اطلاعات کمک می کند. در روش لرزه ای بازتابی نوفه ها عامل مهمی در تخریب سیگنال و تضعیف این اطلاعات مهم هستند. نوفه های گوناگونی در داده های لرزه ای مشاهده می شود که یکی از دسته های مهم آن ها نوفه تصادفی است که به صورت نوسان های تصادفی در تمام زمان ها و فرکانس ها مشاهده می شود. تضعیف نوفه تصادفی یکی از مراحل مهم پردازش دادها ی لرزه ای است و زمانی که نسبت سیگنال به نوفه پایین باشد این کار سخت تر می شود. در ادامه این مقاله فیلتر ساویتزکی-گولای برای تضعیف نوفه تصادفی معرفی می شود و برای بررسی دقیق تر عملکرد این فیلتر، نتایج حاصل از آن با نتایج فیلتر F-X، زیرا فیلتر FX به طور خاص برای تضعیف نوفه تصادفی طراحی می شود و نتایج قابل قبولی ارائه می دهد [1].

2 فیلتر ساویتزکی-گولای:

در سال 1964 یک شیمی دان به نام آبراهام ساویتزکی و یک فیزیکدان به نام مارسل گولای شیوه ای برای نرم کردن داده ها بر اساس برازش چندجمله ای محلی با استفاده از روش کمترین مربعات ارائه کردند [2]. آن ها نشان دادند که نرم کردن داده ها با استفاده از برازش چند جمله ای محلی به روش کمترین مربعات نوفه های فرکانس بالا را حذف می کند در حالی که شکل و ارتفاع شکل موج را نگه می دارد. امروزه فیلتر هایی که با استفاده از این روش طراحی می شوند به نام فیلتر های ساویتزکی-گولای (فیلتر های S-G) شناخته می شوند [3]. فیلتر S-G که به عنوان یک فیلتر پایین گذر عمل می کند، ساختاری شبیه به فیلتر های دارای پاسخ ضربه محدود (FIR) دارد و عملکرد این فیلتر به وسیله دو پارامتر کنترل می شود، طول پنجره یا طول ناحیه برازش چند جمله ای که به آن فاصله تقریب نیز می‌گویند و درجه چند جمله ای. فیتر S-G دارای ریاضیات و محاسبات ساده و کوتاهی است و امروزه در بحث پردازش سیگنال های دیجیتال کاربرد وسیعی دارد، از قبیل پردازش طیف اتمی، الکتروکاردیوگرام (ECG) ، تصاویر سنجش از دور، تقویت سیگنال های صوتی و الکترونیکی و تصاویر دیجیتال [4].

نرم کردن داده ها با برازش چندجمله ای محلی به روش کمترین مربعات:

اساس کار این روش به این صورت است که یک چندجمله ای به تعداد فرد از نمونه های داده برازش می شود. سپس مقدار این چندجمله ای به ازای مقدار میانی نمونه ها حساب می شود و این مقدار برابر است با مقدار نرم شده برای نمونه میانی. با جابجایی این زیرمجموعه از داده ها که به آن فاصله نرم کردن می گویند به اندازه یک نمونه و تکرار این الگوریتم، مقدار نرم شده برای نمونه بعدی به دست می آید [5]. با توجه به شکل 1 این مساله بهتر توضیح داده می شود.



شکل 1. برازش چندجمله ای به روش کمترین مربعات. نمونه های سیاه، داده ورودی، نمونه های سفید مقدار نرم شده و نمونه های ضربدر پاسخ ضربه سیستم LTI هستند [3].

در شکل 1 نمونه های سیگنال X[n] نشان داده شده است. 2n+1 نمونه به مرکز n=0 درنظر گرفته می شود. حال قصد داریم ضرایب چندجمله ای P(n) که به این زیرمجوعه از داده ها برازش می شود را پیدا کنیم.

(1)

$$P(n)=\sum_{k=0}^{N} a_k n^k$$

خطای این برازش به روش کمترین مربعات برابر است با:

(2)

$$\varepsilon_N=\sum_{n=-M}^{M}(P(n)-x[n])^2=\sum_{n=-M}^{M}(\sum_{k=0}^{N}a_k n^k-x[n])^2$$

در این رابطه M نصف فاصله نرم کردن یا نصف فاصله برازش منحنی می باشد. در شکل 1 حالت خاصی به ازای N=2 و M=2 در نظر گرفته شده است و منحنی پررنگ سمت چپ، چند جمله ای مرتبه 2 است که به تعداد 5 نمونه به مرکز n=0 یعنی به داده های بین 2- و 2+ برازش شده است. با استفاده از این چند جمله ای می توان مقدار نرم شده برای نقطه مرکزی n=0 را بدست آورد. مقدار خروجی در n=0 برابر است با y(0):

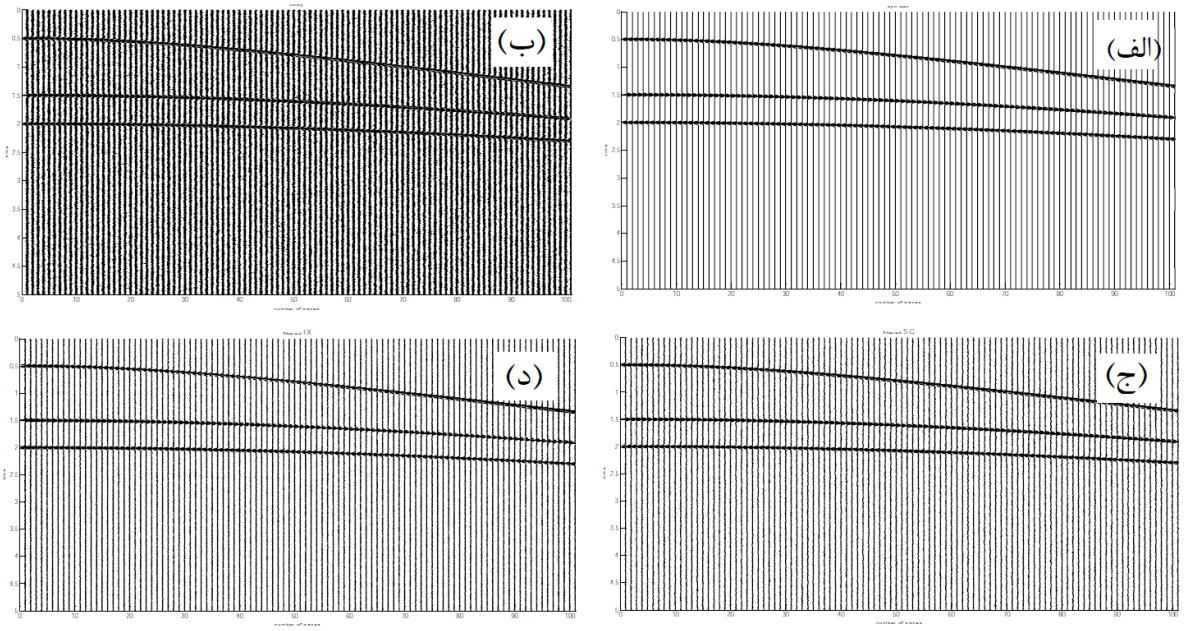
Y(0)= p(0)= a0 (3)

مقدار خروجی برای نمونه بعدی با جابجایی فاصله نرم کردن به اندازه یک نمونه و تکرار برازش چندجمله ای و محاسبه مقدار آن به ازای نقطه میانی بدست می آید. و این کار تا آخرین نمونه تکرار می شود.

3 اعمال روش

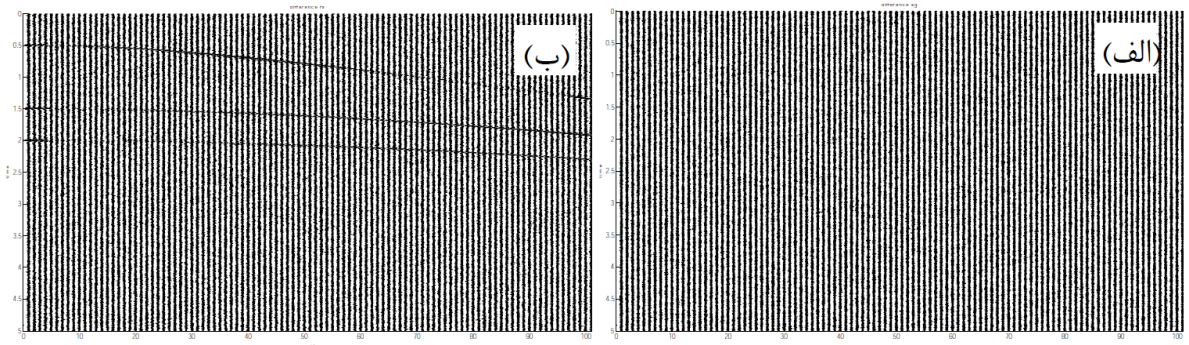
3-1 داده مصنوعی

در شکل 2 داده های حاصل از یک نقطه میانی مشترک(CMP) مصنوعی که شامل سه بازتابنده است نشان داده شده است. در این مدل فاصله نمونه برداری برابر با 1 میلی ثانیه و تعداد ردلرزه ها نیز برابر با 200 می باشد. به این مدل مصنوعی نوفه تصادفی(نوفه گاوسی سفید) با نسبت سیگنال به نوفه 2dB اضافه می کنیم سپس فیلتر ساویتزکی-گولای به ازای N=2 و M=11، فیلتر واهمامیخت FX، تبدیل موجک با آستانه نرم (soft threshold) و روش تجزیه مقدار منفرد را بر آن اعمال می کنیم.



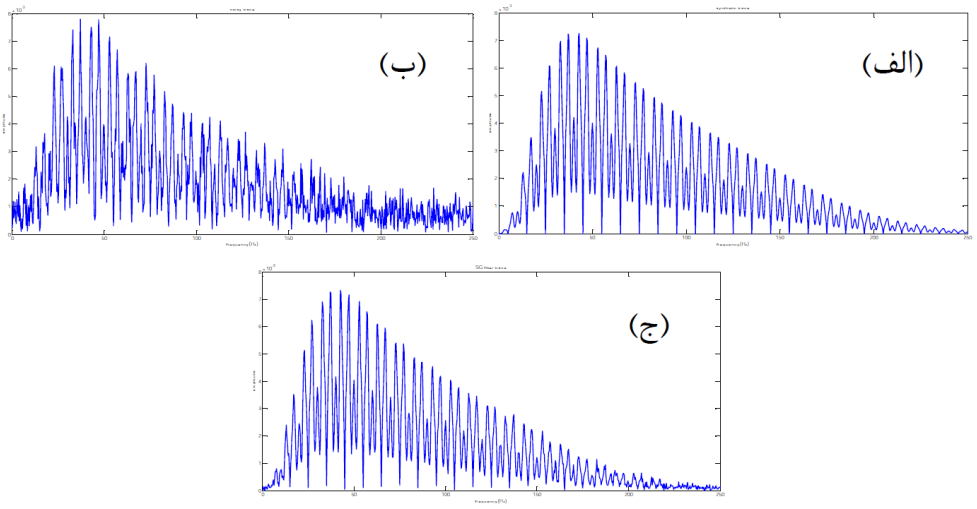
شکل 2. الف)داده لرزه ای مصنوعی بدون نوفه. ب) داده لرزه ای مصنوعی حاوی نوفه. ج) داده پردازش شده با فیلتر ساویتزکی-گولای. د) داده پردازش شده با فیلتر FX.

پس از کاربرد این روش ها بر روی داده حاوی نوفه، نسبت سیگنال به نوفه برای فیلتر ساویتزکی-گولای برابر 19dB، برای فیلتر FX برابر 15dBو این نشان می دهد فیلتر ساویتزکی-گولای عملکرد بهتری نسبت به FX دارد.
اما اگر اختلاف بین داده دارای نوفه و داده پردازش شده را محاسبه کنیم نتایج بهتری نیز بدست می آوریم. در شکل 3 این اختلاف ها نشان داده شده است. با توجه به شکل 3 درمی‌یابیم که فیلتر ساویتزکی-گولای تقریبا تمام مولفه های رویداد های اصلی را حفظ کرده است و اختلاف بین داده حاوی نوفه و داده پردازش شده تقریبا فقط شامل نوفه تصادفی است ولی فیلتر واهمامیخت FXبخش هایی از رویداد های اصلی را از دست داده است.



شکل 3. اختلاف بین داده حاوی نوفه و داده پردازش شده. الف)فیلتر ساویتزکی-گولای. ب)فیلتر FX.

یکی از ویژگی های یک فیلتر مناسب این است که محتوای فرکانسی و طیف فاز سیگنال مفید را تغییر ندهد و طیف فرکانسی و طیف فاز سیگنال مفید، قبل و بعد از اعمال فیلتر تغییری نکند. برای این منظور در شکل 4 طیف فرکانسی اولین ردلرزه در داده مصنوعی بدون نوفه، داده نوفه دار و داده پردازش شده با فیلتر ساویتزکی-گولای برای اولین ردلرزه شکل 2 نشان داده شده است.



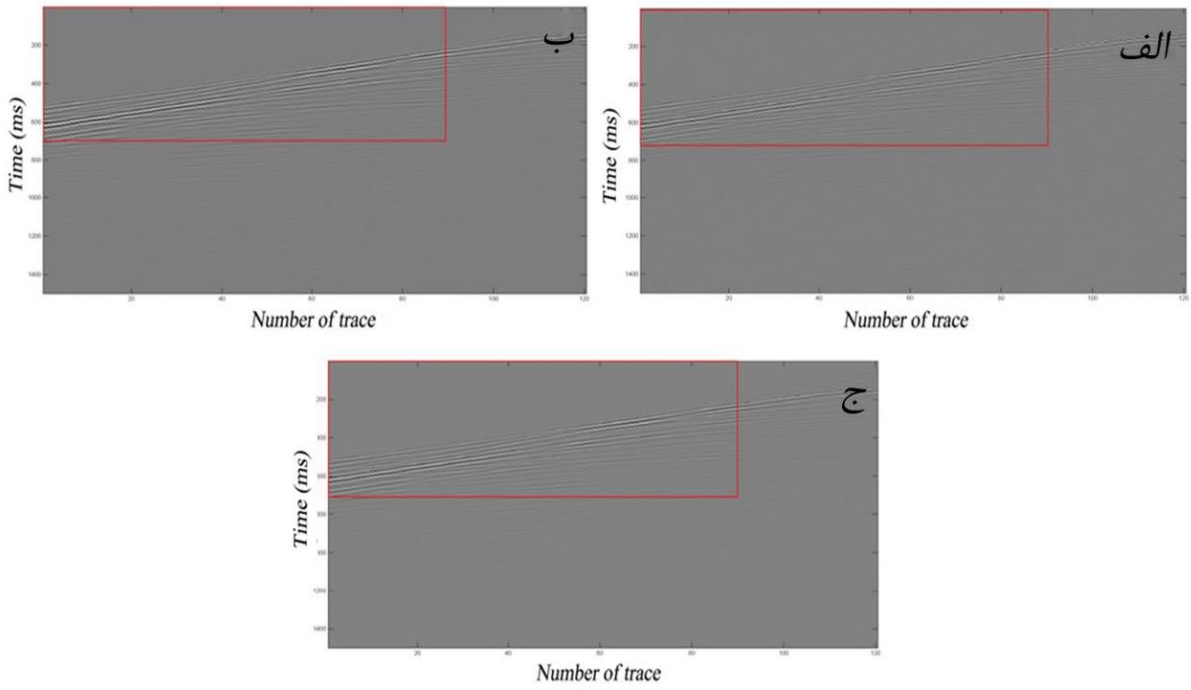
شکل 4. طیف فرکانسی اولین ردلرزه داده مصنوعی شکل 2. الف) داده بدون نوفه. ب) داده حاوی نوفه. ج)داده پردازش شده با فیلتر ساویتزکی-گولای.

با توجه به شکل 4 در می یابیم که محتوای فرکانسی ردلرزه بعد از اعمال فیلتر ساویتزکی-گولای تقریبا بدون تغییر مانده است و این نشان دهنده یکی دیگر از نقاط قوت این فیلتر است.

2-3 داده واقعی

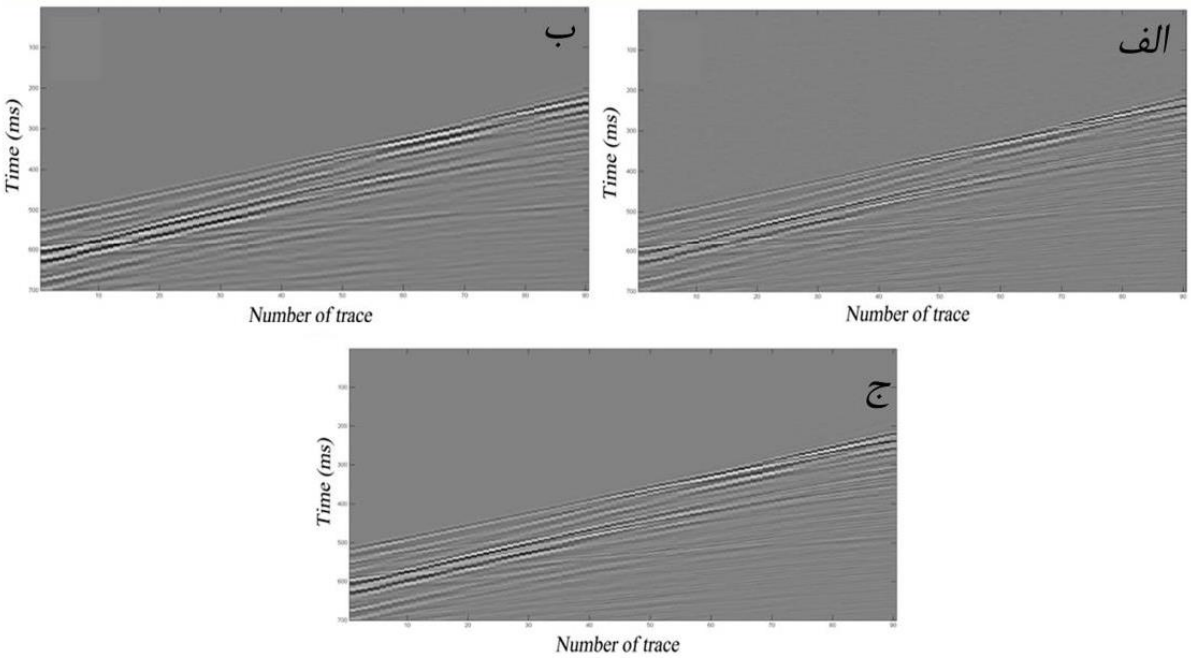
در این بخش از داده لرزه ای واقعی استفاده می کنیم. این داده مربوط به منطقه وایکینگ گرابن[1] در دریای شمال است که شامل 1001 شات رکورد به فاصله 25 متر می باشد. هر شات به وسیله 120 گیرنده به فاصله 25 متر در مدت زمان 6 ثانیه ضبط شده است. همچنین فاصله نمونه برداری 4 میلی ثانیه، عمق کابل گیرنده ها 10 متر و عمق چشمه نیز 6 متر می باشد. ابتدا اطلاعات مربوط به یک نقطه میانی مشترک (CMP) را از داده های مربوط به شات رکورد ها جدا کرده و در کنار هم قرار می دهیم. سپس فیلتر ساویتزکی-گولای به ازای N=2 و M=7، فیلتر FX و روی این داده های CMP اعمال می کنیم. نتایج حاصل در شکل 5 نشان داده شده است.

[1] viking graben



شکل 5. الف)داده واقعی حاوی نوفه. ب) داده پردازش شده با فیلتر ساویتزکی-گولای. ج) دده پردازش شده با فیلتر FX.

در شکل 6 برای درک بهتر عملکرد روش های اعمال شده بخشی ازشکل 5 که با قاب قرمز مشخص شده است، به صورت بزرگنمایی شده نشان داده شده است.



شکل 6. داده بزرگنمایی شده شکل 5. الف) داده واقعی حاوی نوفه. ب) داده پردازش شده با فیلتر ساویتزکی-گولای. ج) داده پردازش شده با فیلتر FX.

با توجه به شکل های 5 و 6، درمی‌یابیم که فیلتر ساویتزکی-گولای، نوفه های تصادفی موجود در داده واقعی را به خوبی تضعیف کرده و عملکرد بهتری نسبت به روش FX داشته است.

4 نتیجه‌گیری

فیلتر ساویتزکی-گولای یک روش جدید برای پردازش سیگنال های لرزه ای است و در این پژوهش از این فیلتر به منظور تضعیف نوفه تصادفی از داده های لرزه ای مصنوعی و واقعی استفاده شد. مهم ترین ویژگی این فیلتر، توانایی بسیار خوب آن در حفظ شکل سیگنال های اصلی است. به منظور بررسی دقیق تر کارآیی این فیلتر، نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از فیلتر واهمامیخت FX مقایسه شد. با توجه به مقادیر عددی بدست آمده برای نسبت سیگنال به نوفه به این نتیجه رسیدیم که فیلتر ساویتزکی-گولای نتایج بسیار بهتری دارد، همچنین علاوه بر این بررسی کمّی، با بررسی کیفی طیف فرکانس به این نتیجه رسیدیم که پس از اعمال فیلتر ساویتزکی-گولای، طیف فرکانس تقریبا بدون تغییر می ماند و این یکی دیگر از نقاط قوت این فیلتر است. تنها ضعف فیلتر ساویتزکی-گولای این است که وقتی نسبت سیگنال به نوفه پایین باشد در قسمت هایی از سیگنال که مقدار صفر دارند، نوسانات ضعیفی ایجاد می کند اما همچنان شکل سیگنال های اصلی را حفظ می کند. در پایان باید این نکته را نیز ذکر کرد که ریاضیات فیلتر ساویتزکی-گولای بسیار ساده است و به راحتی می توان با آن کار کرد.

5 مراجع

[1] Sinha, S., Routh, P.S., Anno, P.D., Castagna, J.P., 2015. Spectral decomposition of seismic data with continuous-wavelet transform. Geophysics, 70, P19-P25.

[2] Candes, E.J., Donoho, D.L., 2005. Continuous curvelet transform: I. Resolution of the wavefront set. Applied and Computational Harmonic Analysis, 19, 162- 197.

[3] Huang, N.E., Shen, Z., Long, S.R., Wu, M.C., Shih, H.H., 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis, in: Proceedings of the Royal Society of London A: mathematical, physical and engineering sciences, The Royal Society, pp. 903-995.

[4] Han, J., van der Baan, M., 2013. Empirical mode decomposition for seismic time frequency analysis, Geophysics, 78, O9-O19.

[5] Chen, Y., Zhang, G., Gan, S., Zhang, C., 2015. Enhancing seismic reflections using empirical mode decomposition in the flattened domain, Journal of Applied Geophysics, 119, 99-105.