

تضعیف نوفه‌های تصادفی داده‌های لرزه‌ای با استفاده از فیلتر میانگین غیرمحلی

فرید کریمی^۱ و امین روشندل کاهو^{۱*}

^۱ دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۳۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۵)

چکیده

داده‌های لرزه‌ای خام همواره شامل انرژی‌های ناخواسته هستند. از این انرژی‌های ناخواسته و نامطلوب در لرزه‌شناسی با عنوان نوفه یاد می‌شود. تضعیف نوفه تصادفی یکی از مراحل مهم در پردازش داده‌های لرزه‌ای است که تاثیر بسزایی در تعبیر و تفسیر داده‌ها دارد. تا به حال روش‌های گوناگونی برای تضعیف نوفه تصادفی عرضه شده است که هر کدام مزایا و معایب مربوط به خود را دارد. در این مقاله از فیلتر میانگین غیرمحلی که به منظور تضعیف نوفه از تصاویر در فن پردازش تصویر توسعه یافته است، برای تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای استفاده می‌شود. این الگوریتم مقدار تضعیف نوفه هر پیکسل داخل تصویر را با استفاده از نمونه‌ها یا پیکسل‌های مشابه آن، بدون در نظر گرفتن موقعیت آنها نسبت به یکدیگر تعیین می‌کند. در واقع این الگوریتم، یک فرایند غیرمحلی است. نتایج به دست آمده در مقایسه با دو روش متداول فیلتر میانگین و فیلتر میانه که به صورت محلی عمل می‌کنند، حاکی از برتری روش فیلتر میانگین غیرمحلی در تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای است.

واژه‌های کلیدی: نوفه‌زدایی، پیکسل، فیلتر میانگین غیرمحلی، تضعیف نوفه تصادفی

Random noise attenuation in seismic data by non-local mean filtering

Farid Karimi¹ and Amin Roshandel Kahoo^{1*}

¹Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, University of Shahrood, Shahrood, Iran

(Received: 21 October 2012, accepted: 26 May 2013)

Summary

The reliability of seismic mapping is strongly dependent upon the quality of the records. Seismic records are usually affected by various types of noise such as ground rolls, multiples, random noise, reflection and reflected refraction from near surface structures, and so on. Random noise resulted from random oscillation during acquiring data is one of the most important and harmful noises that exist in seismic data over entire time and frequency. Random noise attenuation is an important step in seismic data processing affecting the data interpretation.

Many efforts have been made to remove this type of noise from the seismic data. The predictive filter is an ordinary method commonly used for random noise attenuation from seismic data. This filter can be used in various domains, such as the f-x domain (Haris and White, 1997) and the discrete cosine domain (Lu and Liu, 2007). Jones and Levy (1987) removed events which were not coherent trace-to-trace events by means of the

*Corresponding author:

roshandel@shahroodut.ac.ir

*نگارنده رابط:

Karhunen-Loeve transform. Karsli et al. (1996) applied complex trace analysis to seismic data to suppress random noise and improve the temporal resolution of the data. Terickett (2008) attenuated the random noise from the seismic data by Cadzow filtering of a constant frequency slice in an f-xy domain. Bekara and Baan (2008) attacked the random noise problem using the empirical mode decomposition technique.

In this study, we used non-local means filtering (Buades et al., 2005) developed for image denoising for random noise suppression in seismic data. In this method, a seismic record can be considered as an image. The non-local means method is based on the assumption that the image content is likely to repeat itself within some neighborhood. The neighborhood of a pixel is generally chosen to be a square with a dimension size of three to nine centered upon the pixel of interest. However, the size and shape of the neighborhood can vary. In this method, for each pixel i with a neighborhood N_i , the pixels j with the neighborhoods N_j similar to that of the interest pixel are found. The denoised value of a pixel i is determined by a weighted average of all the pixels in the image. The weight of each pixel j can be calculated by the similarity between the two pixels i and j computed using the Gaussian weighted Euclidean distance between the neighborhood around the pixel i and the neighborhood around the pixel j . To investigate the efficiency of the proposed method, we tested the non-local means algorithm on both synthetic and real seismic data. We also compared the obtained results by that of the traditional mean and median algorithm for seismic data denoising. To investigate further, we applied the three denoising methods to synthetic seismic data with different amounts of signal-to-noise ratios. After analyzing all of the results, the non-local means algorithm proved to be a better algorithm for seismic data denoising and had the best performance among the three methods.

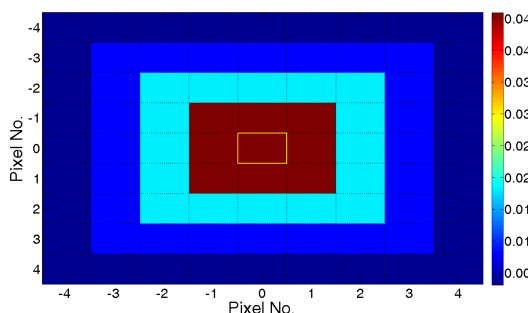
Keywords: Denoising, pixel, non-local means filtering, random noise attenuation

۱ مقدمه

تضعیف این دسته از نوفه‌ها به‌خصوص زمانی که نسبت سیگنال به نوفه کم باشد، بسیار دشوار است. روش‌های گوناگونی برای تضعیف این دسته از نوفه‌ها معرفی شده است. فیلتر پیشگو روش متداول برای تضعیف نوفه‌های اتفاقی است. این فیلتر را می‌توان در حوزه‌های گوناگونی مانند حوزه f-x (هریس و وایت، ۱۹۹۷) و حوزه کسینوس گسسته (لو و لیو، ۲۰۰۷) به کار برد. جونز و لوی (۱۹۸۷) پدیده‌های ناهمدوس را با تبدیل کارهونن - لاو تضعیف کردند. لو (۲۰۰۶) روشی تطبیقی براساس تجزیه مقادیر تکین و تحلیل بافت برای حذف نوفه‌های اتفاقی از داده‌های لرزه‌ای معرفی کرد. وی با استفاده از تحلیل بافت راستای داده‌های لرزه‌ای را تشخیص داد و براساس آن با استفاده از تجزیه مقادیر تکین داده‌های لرزه‌ای را از نوفه‌های اتفاقی جدا ساخت. تریکت (۲۰۰۸)

روش‌های لرزه‌ای بازتابی، یکی از شیوه‌های بررسی ساختار زیرسطحی به‌منظور اکتشافات هیدروکربنی است. سیگنال‌های لرزه‌ای که از داخل زمین بازتاب می‌شوند، حاوی اطلاعات مهمی از لایه‌های زمین هستند. بنابراین کیفیت مطلوب آنها می‌تواند به استخراج این اطلاعات از ردلرزه کمک شایانی کند (شریف و جلدارت، ۱۹۹۵). همانند همه روش‌های برداشت داده، در روش بازتابی نیز نوفه، عامل مهمی در تخریب ردلرزه و در پی آن اطلاعات همراه ردلرزه از داخل زمین است. نوفه‌های متعددی در داده‌های لرزه‌ای دیده می‌شود که دسته مهمی از آنها، نوفه‌های تصادفی‌اند که به‌صورت نوسان‌های تصادفی در همه زمان‌ها و بسامدها مشاهده می‌شوند (ایلماز، ۲۰۰۱).

عنصر آرایه یک مقدار ۸ بیتی است که می‌تواند مقداری بین ۰ و ۲۵۵ داشته باشد. مقدار صفر نشان‌دهنده رنگ تیره (سیاه) و مقدار ۲۵۵ نشان‌دهنده رنگ روشن (سفید) است (صادقی، ۱۳۹۱).



شکل ۱. هسته گاوسی با ابعاد 9×9 به مرکزیت پیکسل $(0,0)$ مورد استفاده در محاسبه فاصله اقلیدسی.

۳ فیلتر میانگین و میانه

فیلتر میانگین (اومباق، ۱۹۹۸) روشی خطی برای تضعیف نوفه و هموارسازی تصاویر است. در واقع این روش شدت نوسانات در پیکسل‌های همسایه را کاهش می‌دهد. در این روش، یک پنجره با ابعاد دلخواه (معمولاً مربعی با ابعاد 3×3 ، 5×5 و 7×7) که به آن هسته می‌گویند، در نظر گرفته می‌شود. در پیمایش تصویر یا ماتریس معادل آن، مرکز این پنجره روی همه پیکسل‌های تصویر یا درایه‌های ماتریس قرار می‌گیرد و در میانگین وزنی مقادیر قرار گرفته در پنجره، درحکم مقدار پیکسل قرار گرفته در مرکز پنجره در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، این روش همان هم‌امیخت دو بُعدی هسته با تصویر است (دانگتی، ۲۰۰۳).

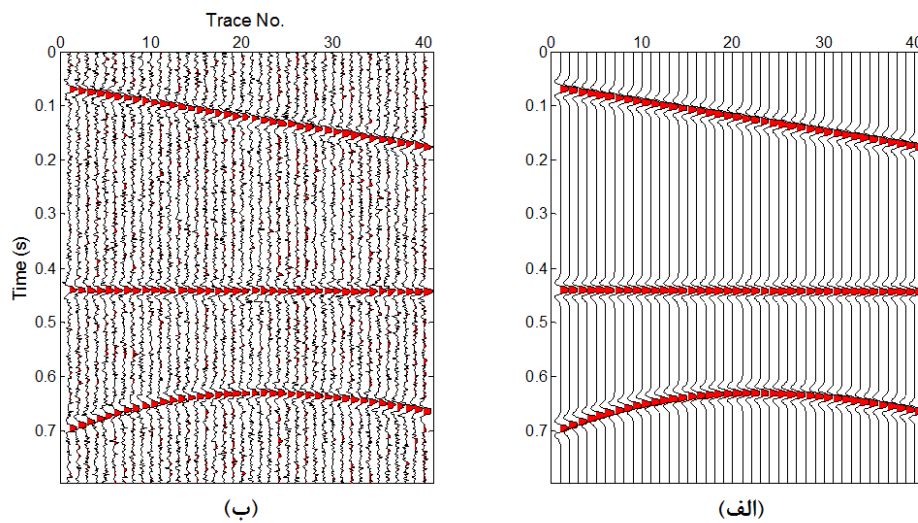
فیلتر میانه نیز مشابه فیلتر میانگین دارای الگوریتم پنجره متحرک است. البته تفاوت این فیلتر با فیلتر میانگین در مقداری است که به مرکز پنجره نسبت داده می‌شود. در روش فیلتر میانه، مقدار میانه اعداد قرار گرفته شده در پنجره به مرکز آن نسبت داده می‌شود. این روش بسیار پایدارتر از فیلتر میانگین است و مقدار غیرمعمول خیلی

با استفاده از فیلتر کادزو در حوزه $f(x,y)$ به حذف نوفه‌های اتفاقی پرداخت. در یکی از روش‌های دیگر با استفاده از تجزیه مُد تجربی، تابع‌های ذاتی مربوط به نوفه‌ها حذف و باقی‌مانده تابع‌های ذاتی که مربوط به سیگنال است در بازسازی سیگنال بدون نوفه استفاده می‌شود (بکارا و بان، ۲۰۰۸). روش‌های زمان - بسامد و تبدیل موجک نیز امروزه برای تضعیف نوفه‌های تصادفی بسیار به کار برده می‌شوند (بوآشاش، ۲۰۰۳؛ مالات، ۲۰۰۹).

در این مقاله سعی می‌شود با استفاده از فیلتر میانگین غیرمحلّی، نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای تضعیف شوند. این روش دارای الگوریتم ساده و درعین‌حال قدرتمندی در تضعیف نوفه است. در این الگوریتم، داده لرزه‌ای به صورت یک تصویر در نظر گرفته می‌شود و مقدار نوفه‌زدا شده هر پیکسل از میانگین غیرمحلّی وزنی همه پیکسل‌ها در داخل تصویر به دست می‌آید (بونار و ساشی، ۲۰۱۲). برای مقایسه، نتایج با روش‌های میانگین و میانه مقایسه شده‌اند.

۲ تصویر رقمی (دیجیتال)

یک تصویر را می‌توان با تابع دو بُعدی $f(x,y)$ نشان داد که در آن x و y را مختصات مکانی و مقدار f در هر نقطه را شدت روشنایی تصویر در آن نقطه می‌نامند. اصطلاح سطح خاکستری نیز به شدت روشنایی تصاویر تک‌فام اطلاق می‌شود. تصویر رنگی نیز از تعدادی تصاویر دو بُعدی تشکیل می‌شود. زمانی که مقادیر x ، y و مقدار $f(x,y)$ با مقادیر گسسته و محدود بیان شوند، تصویر را یک تصویر رقمی می‌نامند. گسسته‌سازی مقادیر x و y را نمونه‌برداری و گسسته‌سازی مقدار $f(x,y)$ را رقمی کردن می‌گویند. برای نمایش یک تصویر $M \times N$ از یک آرایه دو بُعدی (ماتریس) که M سطر و N ستون دارد استفاده می‌شود. مقدار هر عنصر از آرایه نشان‌دهنده شدت روشنایی تصویر در آن نقطه است. هر



شکل ۲. داده لرزه‌ای مصنوعی (الف) بدون نوفه و (ب) همراه نوفه سفید گاوسی با نسبت سیگنال به نوفه ۱/۳ دسی‌بل.

پیکسل‌های داخل تصویر حاوی نوفه به صورت رابطه (۲) است (بودس و همکاران، ۲۰۱۰):

$$\hat{v}(i) = \sum_{j \in \Theta} w(i, j) v(j), \quad (2)$$

که $w(i, j)$ وزن‌های میانگین‌گیری هستند و به شباهت بین پیکسل‌های i و j بستگی دارند. این وزن‌ها بایستی در شرط رابطه (۳) صدق کنند.

$$\begin{cases} 0 \leq w(i, j) \leq 1 \\ \sum_j w(i, j) = 1 \end{cases} \quad (3)$$

شباهت بین دو پیکسل i و j به میزان شباهت بردارهای شدت تراز خاکستری $v(N_i)$ و $v(N_j)$ بستگی دارد که N_k یک همسایگی مربعی شکل با ابعاد ثابت حول پیکسل k ام است. این شباهت بر مبنای یک تابع کاهشی برحسب فاصله وزنی اقلیدسی مطابق رابطه (۴) به دست می‌آید (سارکر و همکاران، ۲۰۱۲).

بزرگ یا کوچک یک پیکسل برخلاف فیلتر میانگین تأثیری روی فیلتر میانه نمی‌گذارد (دانگتی، ۲۰۰۳).

۴ فیلتر میانگین غیرمحلی

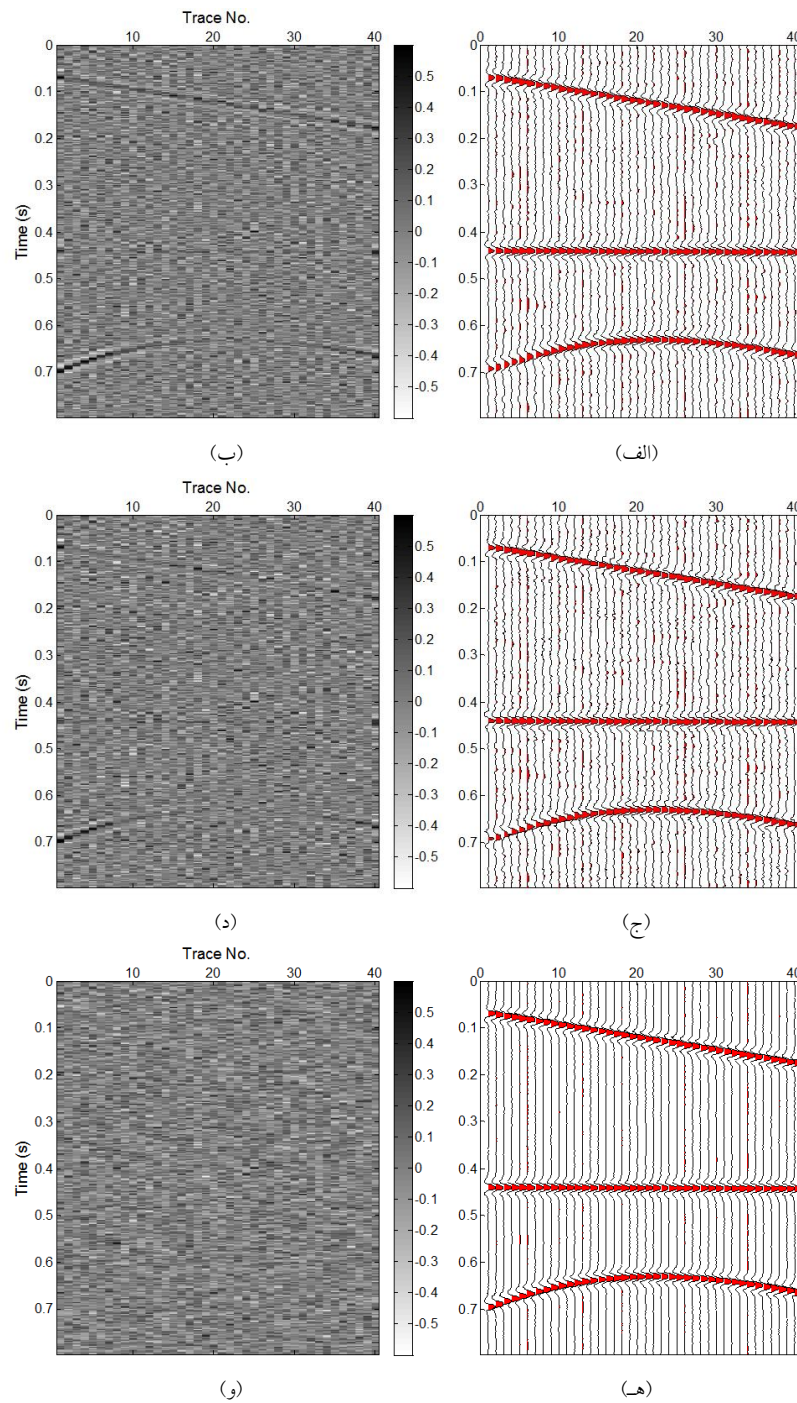
این الگوریتم را اولین بار بودس و همکاران (۲۰۰۵) برای تضعیف نوفه‌های تصاویر عرضه کردند. این روش بر مبنای ایده خودتشبیهی (افروس و لئونگ، ۱۹۹۹) است. اگر تصویر u به نوفه n آلوده شود، تصویر حاوی نوفه v ، را می‌توان به صورت رابطه (۱) نشان داد (بونار و ساشی، ۲۰۱۲).

$$v = u + n, \quad (1)$$

اگر تصویر نوفه‌زدا شده با \hat{v} نشان داده شود، آن‌گاه مقدار پیکسل i ام در تصویر نوفه‌زدا شده با استفاده از روش میانگین غیرمحلی، $\hat{v}(i)$ ، برابر با میانگین وزنی همه

جدول ۱. مقادیر نسبت سیگنال به نوفه قبل و بعد از نوفه‌زدایی.

نام روش نوفه‌زدایی	نسبت سیگنال به نوفه قبل از نوفه‌زدایی (دسی‌بل)	نسبت سیگنال به نوفه بعد از نوفه‌زدایی (دسی‌بل)
فیلتر میانگین	۱/۳	۸/۳
فیلتر میانه	۱/۳	۷/۷
فیلتر میانگین غیرمحلی	۱/۳	۱۵/۹



شکل ۳. داده لرزه‌ای مصنوعی نوفه‌زدا شده با (الف) روش فیلتر میانگین، (ج) روش فیلتر میانه و (ه) روش فیلتر میانگین غیرمحملی. (ب)، (د) و (و) به ترتیب تفاضل داده حاوی نوفه (شکل ۲-ب)) با داده نوفه‌زدا شده در (الف)، (ج) و (ه) را نشان می‌دهد.

که G_a هسته گاوسی و a انحراف معیار آن است. هسته گاوسی مطابق رابطه (۵) تعریف می‌شود (بونار و ساشی، ۲۰۱۲).

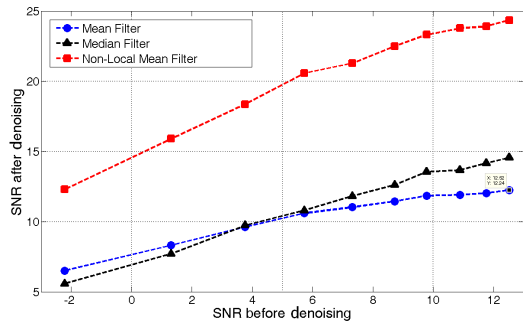
$$D^2(i, j) = \|v(N_i) - v(N_j)\|_{2,a}^2 = \sum_{l \in nl} \{G_a(l) [v(N_i(l)) - v(N_j(l))]\} \quad (4)$$

(۶)

$$w(i, j) = \exp\left(\frac{-D^2(i, j)}{h^2}\right) / \sum_j \exp\left(\frac{-D^2(i, j)}{h^2}\right),$$

که پارامتر h یک مقدار ثابت است و اُفت تابع نمایشی را برحسب فاصله اقلیدسی کنترل می کند. برای مثال، مقدار زیاد h وزن های مشابه را برای همه پیکسل های z در تصویر فراهم می آورد و مقدار کوچک h وزن قابل توجهی را برای چند پیکسل z در تصویر ایجاد می کند.

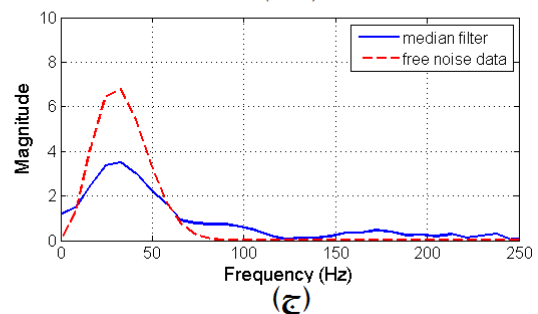
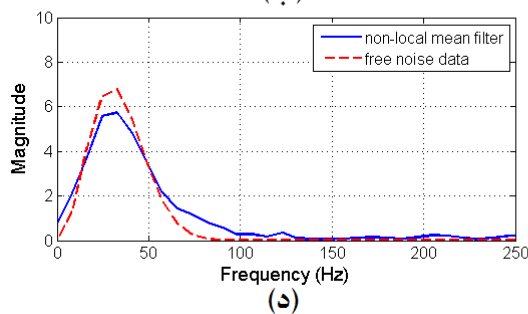
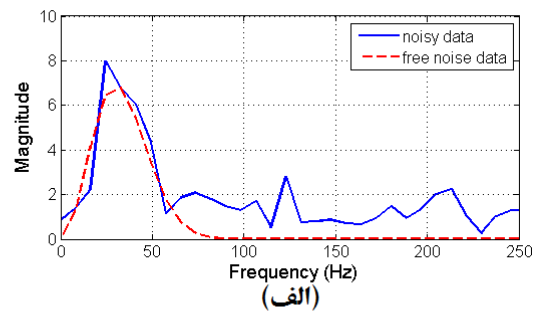
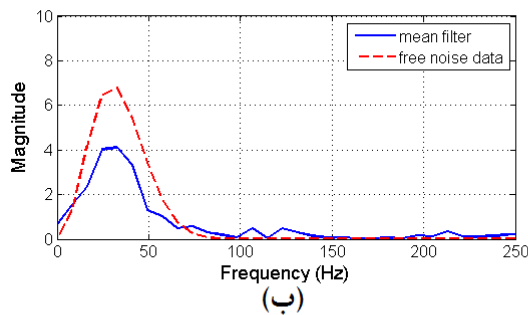
در واقع می توان گفت که در این روش، برای هر پیکسل دلخواه مانند i با همسایگی N_i می توان پیکسل های z با همسایگی N_z یافت که همسایگی آنها دارای شباهت زیادی به همسایگی پیکسل i باشد. این پیکسل ها دارای وزن های بیشتری نسبت به سایر پیکسل ها هستند و در مقدار پیکسل نوفه زدا شده تاثیر بیشتری دارند.



شکل ۴. نسبت سیگنال به نوفه بعد از نوفه زدایی برحسب نسبت سیگنال به نوفه قبل از نوفه زدایی.

$$G_a(x, y) = \exp\left(-\frac{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}{2a}\right), \quad (5)$$

که x_0 و y_0 مرکز هسته گاوسی هستند. در شکل ۱ هسته گاوسی برای ابعاد 9×9 نشان داده شده است. حال می توان وزن های مورد نیاز در رابطه (۲) را مطابق رابطه (۶) به دست آورد (بونار و ساشی، ۲۰۱۲).

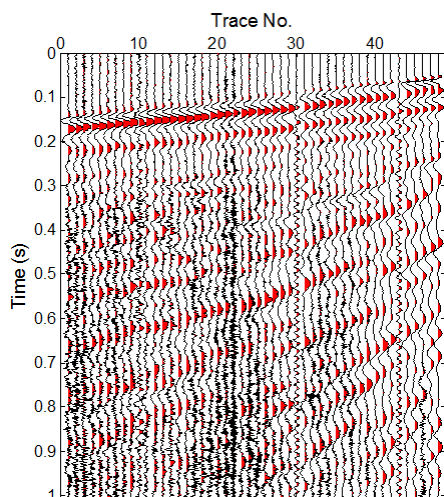


شکل ۵. مقایسه طیف دامنه یک بازتابنده در دو حالت (الف) بدون نوفه و همراه نوفه، (ب) بدون نوفه و بعد از نوفه زدایی با روش میانگین، (ج) بدون نوفه و بعد از نوفه زدایی با روش فیلتر میانه و (د) بدون نوفه و بعد از نوفه زدایی با روش فیلتر میانگین غیرمجمعی.

نیز مشاهده می‌شود، روش فیلتر میانگین غیرمحلّی بهتر از دو فیلتر میانگین و میانه عمل کرده است. در محاسبه نسبت سیگنال به نوفه از رابطه (۷) استفاده شده (چیتود، ۲۰۰۹ ص ۷۳-۳). در این رابطه، منظور از سیگنال، همان مقطع لرزه‌ای بدون نوفه است و نوفه موجود در مخرج رابطه تفاضل میان مقطع نوفه‌زدا شده با مقطع بدون نوفه است.

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Energy of Signal}}{\text{Energy of Noise}} \right) \quad (7)$$

به منظور بررسی بیشتر تاثیر سه الگوریتم پیش گفته روی دامنه سیگنال‌ها، بخشی از اولین ردلرزه در مقطع لرزه‌ای مربوط به اولین بازتابنده در نظر گرفته شد. طیف دامنه مربوط به این بخش برای مقطع لرزه‌ای بدون نوفه، همراه نوفه و نوفه‌زدا شده با روش‌های فیلتر میانگین، فیلتر میانه و فیلتر میانگین غیرمحلّی محاسبه و نتیجه آن در شکل ۵ رسم شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از میان سه روش پیش گفته در این مقاله، روش فیلتر میانگین غیرمحلّی کمترین آسیب را به دامنه سیگنال و محتوای بسامدی آن وارد کرده است. این برتری در نتایج حاصل از تفاضل میان مقطع قبل و بعد از نوفه‌زدایی به طور واضح قابل مشاهده است.



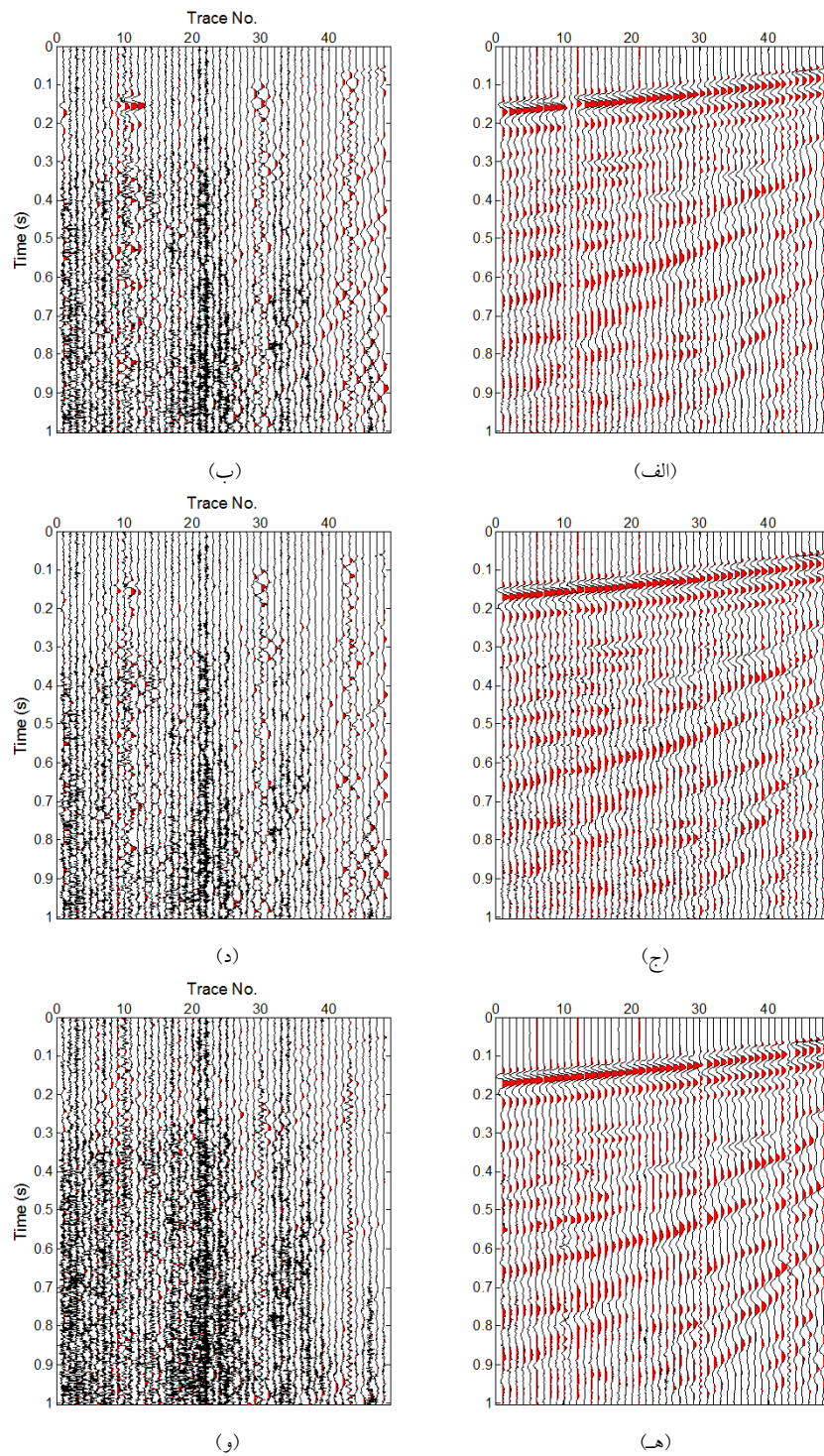
شکل ۵. برداشت چشمه مشترک واقعی.

۵ نوفه‌زدایی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی

به منظور بررسی کارایی الگوریتم میانگین غیرمحلّی برای تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای، روش روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی اعمال و با نتایج دو روش فیلتر میانگین و فیلتر میانه مقایسه شد. در شکل ۲ مقطع لرزه‌ای مصنوعی با سه بازتابنده در دو حالت بدون نوفه و همراه نوفه (۱/۳ دسی‌بل نوفه سفید گاوسی) نشان داده شده است. در ساخت این داده مصنوعی تعداد ۴۰ گیرنده در نظر گرفته شده است و فاصله نمونه‌برداری برابر ۲ میلی‌ثانیه است.

در شکل ۳ نتیجه نوفه‌زدایی مقطع لرزه‌ای مصنوعی شکل ۲- (ب) برای روش‌های فیلتر میانگین، فیلتر میانه و فیلتر میانگین غیرمحلّی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فیلتر میانگین غیرمحلّی به مراتب بهتر از دو فیلتر دیگر عمل کرده و نوفه تصادفی را در داده‌های لرزه‌ای مصنوعی تضعیف ساخته است. در این شکل‌ها تفاضل داده نوفه‌زدا شده از داده حاوی نوفه نیز رسم شده است تا میزان نوفه تضعیف شده از داده نیز نشان داده شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در دو روش فیلتر میانگین و میانه، مقداری از سیگنال اصلی نیز در حکم نوفه از داده بیرون کشیده شده است. برای بررسی کمی نتایج، مقدار نسبت سیگنال به نوفه در سه مقطع نوفه‌زدا شده نیز محاسبه شد که نتیجه آن در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در الگوریتم فیلتر میانگین غیرمحلّی، نسبت سیگنال به نوفه مقطع لرزه‌ای بعد از نوفه‌زدایی دارای افزایش چشمگیری نسبت به دو روش دیگر است.

برای بررسی حساسیت این سه روش به نوفه، داده‌های لرزه‌ای مصنوعی با مقادیر متفاوت نسبت سیگنال به نوفه ایجاد و نسبت سیگنال به نوفه پس از نوفه‌زدایی محاسبه شد که در شکل ۴ نمودار نسبت سیگنال به نوفه قبل و بعد از نوفه‌زدایی رسم شده است. همان‌طور که در این شکل



شکل ۷. داده لرزه‌ای واقعی نوفه‌زدا شده با (الف) روش فیلتر میانگین، (ج) روش فیلتر میانه و (ه) روش فیلتر میانگین غیرمحلّی. (ب)، (د) و (و) به ترتیب تفاضل داده حاوی نوفه (شکل ۶) با داده نوفه‌زدا شده در (الف)، (ج) و (ه) را نشان می‌دهد.

نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای حتی در نسبت سیگنال به نوفه کم استفاده کرد.

منابع

صادقی، م.، ۱۳۹۱، بهبود تفسیر داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تلفیق روش‌های آنالیز مولفه اصلی و تجزیه طیفی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- Bekara, M., and Bann, M., 2008, Random and coherent noise attenuation by empirical mode decomposition, 78th SEG meeting, Las Vegas, Expanded Abstract, 2591-2595.
- Boashash, B., 2003, Time frequency signal analysis: A comprehensive reference, Elsevier.
- Bonar, D., Sacchi, M., 2012, Denoising seismic data using the nonlocal means algorithm: Geophysics, 77, A5-A8.
- Buades, A., Coll, B., and Morel, J. M., 2005, A review of image denoising algorithms, with a new one: Multiscale Modeling and Simulation, 4, 490-530.
- Buades, A., Coll, B., and Morel, J. M., 2010, Image denoising methods. A new nonlocal principle: SIAM Review, 52, 113-147.
- Dangeti, S., Denoising Techniques – A Comparison, 2003, M. Sc. thesis, The Department of Electrical and Computer Engineering, Louisiana State University.
- Efros, A., and Leung, T., 1999, Texture synthesis by non-parametric sampling, 7th IEEE International Conference on Computer Vision, Kerkyra, 2, 1033-1038.
- Haris, P. E., and White, R. E., 1997, Improving the performance f-x prediction filtering at low signal-to-noise ratio: Geophysical Prospecting, 45, 269-302.
- Jones, I. F., and Levy, S., 1987, Signal-to-noise ratio enhancement in multichannel seismic data via the Karhunen-Loeve transform: Geophysical Prospecting, 35, 12-32.
- Karsli, H., Dondurur, D., and Cifci, G., 2006, Application of complex-trace analysis to seismic data for random-noise suppression and temporal resolution improvement: Geophysics, 71, V79-V86.
- Lu, W., 2006, Adaptive noise attenuation of seismic images based on singular value decomposition and texture direction detection: J. Geophys. Eng., 3, 28-34.

داده لرزه‌ای واقعی مورد استفاده، بخشی از یک برداشت چشمه مشترک با ۴۸ ردلرزه و فاصله نمونه‌برداری ۰/۰۰۱ ثانیه است که در شکل ۶ این برداشت نشان داده شده است. در شکل ۷ نتایج نوفه‌زدایی از داده لرزه‌ای واقعی با سه روش فیلتر میانگین، فیلتر میانه و فیلتر میانگین غیرمحملی نشان داده شده است. در کنار هر کدام از این شکل‌ها، تفاضل میان داده حاوی نوفه و داده پس از نوفه‌زدایی رسم شده است که کارکرد بهتر فیلتر میانگین غیرمحملی را نسبت به دو روش دیگر نشان می‌دهد.

۶ نتیجه‌گیری

در این مقاله از الگوریتم میانگین غیرمحملی برای تضعیف نوفه‌های تصادفی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که روش میانگین غیرمحملی نوفه بیشتری را نسبت به دو روش فیلتر میانگین و فیلتر میانه تضعیف می‌کند. این نتایج، همچنین برتری قابل توجه این روش را نسبت به دو روش فیلتر میانگین و فیلتر میانه نشان می‌دهد. همچنین دو روش فیلتر میانگین و فیلتر میانه به هنگام تضعیف نوفه، به سیگنال نیز آسیب می‌رسانند که این آسیب در لبه‌های داده لرزه‌ای به مراتب بیشتر از سایر نقاط است.

در الگوریتم پیشنهادی تحقیق حاضر می‌توان گفت که آسیب وارده به سیگنال به حداقل مقدار خود و تقریباً برابر با صفر می‌رسد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم میانگین غیرمحملی نسبت به فیلتر میانگین و فیلتر میانه برای تضعیف نوفه‌های تصادفی در داده‌های لرزه‌ای برتری دارد. همچنین بررسی حساسیت سه روش پیش گفته به میزان نوفه روشن ساخت که روش میانگین غیرمحملی حتی در نسبت‌های سیگنال به نوفه کم دارای کارکرد بسیار خوب است. این روش دارای الگوریتم ساده‌ای است و می‌توان از آن به منزله یک شیوه مناسب برای تضعیف

- Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1995, *Exploration Seismology*, 2nd edition, Cambridge University Press.
- Trickett, S., 2008, F-xy Cadzow noise suppression, 78th SEG meeting, Las Vegas, Expanded Abstract, 2586-2590.
- Umbaugh, S. E., 1998, *Computer Vision and Image Processing*, Prentice Hall.
- Yilmaz, O., 2001, *Seismic data analysis: processing, inversion and interpretation*, SEG.
- Lu, w., and Liu, J. L., 2007, Random noise suppression based on discrete cosine transform, 77th SEG meeting, San Antonio, Expanded Abstract, 2668-2672.
- Mallat, S., 2009, *A wavelet tour of signal processing*, Elsevier.
- Sarker, S., Chowdhury, S., Laha, S., and Dey, D., 2012, Use of non-local means filtering to denoise image corrupted by salt and pepper noise: *Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)*, **3**, 223-235.