



## آنالیز سرعت چند تفکیکی لرزه‌ای در فضای تبدیل موجک گسسته غیر کاهشی

سارا ایازی<sup>۱</sup>، علیرضا گودرزی<sup>۲\*</sup> و میثم کورکی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان  
۲- استادیار، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۳؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۲۲

\* نویسنده مسئول مکاتبات: [a.goudarzi@kgut.ac.ir](mailto:a.goudarzi@kgut.ac.ir)

### چکیده

### واژگان کلیدی

امروزه روش‌های مختلفی برای آنالیز سرعتی داده‌های لرزه‌ای به کار می‌رود؛ که از آن جمله روش‌های مبتنی بر همدوسی است؛ که در تخمین سرعت برانبارش بسیار راهگشاست. از آنجا که همه روش‌های مطرح شده در حوزه زمان پیاده‌سازی شده‌اند؛ سعی بر آن است با معرفی حوزه موجک گسسته غیر کاهشی ارتقای آنالیز سرعتی نشان داده شود. وجود نوفه و همچنین تضعیف سیگنال‌ها در اثر جذب فرکانس باعث می‌شود که سیگنال طی زمان و عبور از لایه‌های مختلف دچار اعوجاج شده و به تدریج در حیطه زمانی با از دست دادن فرکانس‌هایش پهن تر شود. از دست دادن فرکانس‌های بالاتر و حضور نوفه می‌تواند منجر به خطا در تخمین دقیق سرعت شده و نهایتاً تصویرسازی لرزه‌ای را دچار خطا کند. در این مقاله ابتدا داده‌ها توسط یک موجک مادر که در اینجا دابیچی ۲ انتخاب شده است؛ تجزیه شده و به فضای موجک گسسته غیر کاهشی برده می‌شود. سپس آنالیز سرعتی در هر کدام از مقیاس‌ها به طور جداگانه صورت می‌پذیرد. توجه شود که هر ردلرزه به صورت مجزا تجزیه می‌شود و روش تبدیل موجک گسسته غیر کاهشی به فرم یک بعدی اعمال می‌گردد. سپس مقیاس‌های یکسان از همه ردلرزه‌ها در یک مقیاس تجمیع شده و آنالیز سرعتی انجام می‌شود. در انتها طیف‌های سرعتی مقیاس‌ها با وزن یکسان یکپارچه شده و آنالیز سرعتی چند تفکیکی را ارائه می‌دهند. نتایج حاصل از داده‌های مصنوعی و واقعی مبین افزایش چشم‌گیر دقت آنالیز سرعتی چند تفکیکی نسبت به آنالیز سرعتی در حوزه زمان است. همچنین حضور نوفه همدوس و اتفاقی تأثیر کمتری در ایجاد خطا در روش پیشنهادی داشته است.

تحلیل سرعت

طیف سرعت

همدوسی

تبدیل موجک گسسته غیر کاهشی

۱- مقدمه

پردازش داده‌های لرزه‌ای یکی از حیاتی‌ترین بخش‌های اکتشاف به روش لرزه‌ای است. فرآیند تبدیل داده‌های خام به داده‌های تفسیرپذیر به عنوان اصل و بنیان پردازش به شدت وابسته به تعیین مدل سرعتی زمین جهت درک رویدادهای بازتابی از سایر داده‌هاست؛ که در مراحل برانبارش و مهاجرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک فرآیند پردازش ممکن است چندین بار تحلیل سرعت اتفاق بیفتد (Yilmaz, 2001).

اطلاعات سرعتی لرزه‌ای می‌توانند در شناسایی جنس و پارامترهای فیزیکی و پتروفیزیکی زمین مؤثر و مفید واقع شوند (صفایی و همکاران ۱۳۹۲). این اطلاعات سرعتی معمولاً در مرحله پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از روش تحلیل سرعت بر وراثت نقطه میانی مشترک، برآورد می‌شوند. این مرحله با عنوان تحلیل سرعت بخشی از مرحله تصحیح برونراند نرمال و برانبارش داده‌های لرزه‌ای است. تحلیل سرعت، ابزار قدرتمندی برای تشخیص بازتاب‌های اولیه و تعیین سرعت برانبارش داده‌های لرزه‌ای است (Yilmaz, 2001). روش‌های گوناگونی برای آنالیز سرعت لرزه‌ای معرفی شده‌اند؛ که یکی از این روش‌ها، روش همدوسی است.

تبدیل موجک گسسته در تعداد زیادی از کاربردهای پردازش سیگنال مفید و یک ابزار بسیار مناسب برای آنالیز داده‌ها و فشرده‌سازی است. در این مقاله سعی بر این است که قدرت تبدیل موجک در افزایش وضوح طیف سرعت بر پایه همدوسی یا طیف همدوسی، برای برآورد سرعت‌های برونراند نرمال بررسی شود. آنالیز سرعت برونراند نرمال با استفاده از همدوسی توسط تانر و کوهرلر در سال ۱۹۶۹ انجام شد؛ که اولین گام مهم برای ساخت یک مدل سرعتی است.

اهمیت دیگر آنالیز سرعتی دقیق در تعیین تکراری‌هاست؛ که به عنوان یک روش در تضعیف و شناسایی تکراری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از بنیادی‌ترین روش‌های تحلیل سرعت توسط (نیدل و تانر، ۱۹۷۱؛ آرناد و همکاران، ۲۰۰۴) بر اساس همبستگی دامنه‌ها مطرح شد؛ که البته به دلیل گستردگی و شناخته‌تر بودن روش شباهت از الگوریتم تانر و کوهرلر (۱۹۶۹)، استفاده می‌شود.

اهمیت آنالیز سرعتی تا بدان جا است که بسیاری از محققین درصد ارائه روشی جامع و دقیق برآمده‌اند؛ که به دلیل پیچیدگی‌های ذاتی محیط زمین این امر محقق نشده است. در زمینه تحلیل سرعت بشردوست و همکاران (۱۳۹۱) به مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سرعت بر اساس همبستگی پرداخته‌اند. در مقاله مذکور نتیجه آن شد که روش AB semblance (فومل، ۲۰۰۹)، بهترین تفکیک و دقت را در آنالیز سرعتی ارائه می‌دهد؛ اما به دلیل این که الگوریتم پیشنهادی ارتقا یافته است و سعی بر آن است تا تحلیل سرعت در حوزه‌های زمان و موجک مورد مقایسه قرار گیرد؛ لذا از روش ضعیف‌تر همدوسی استفاده می‌شود و نشان داده خواهد شد که استفاده از فضای موجک می‌تواند به بهبود نتایج تحلیل سرعت صرف‌نظر از نوع

الگوریتم کمک نماید. هاشم‌پور و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از شباهت حساس به دامنه و قطبش بازتاب‌های غیرهذلولی به تحلیل سرعت لرزه‌ای پرداختند.

۲- روش شناسایی

برونراند نرمال پایه‌ای برای تعیین سرعت‌ها از داده‌های لرزه‌ای است. محاسبه سرعت‌ها را می‌توان با برگرداندن به تصحیح برای برونراند نرمال استفاده کرد؛ بنابراین بازتاب‌ها در ردلرزه‌های وراثت نقطه میانی مشترک قبل از برانبارش، هم‌تراز می‌شوند (Yilmaz, 2001). فرم هذلولی مورد استفاده برای تعیین بهترین روش برانبارش به صورت زیر است (Yilmaz, 2001):

$$t_{stk}^2(x) = t_{stk}^2(0) + \frac{x^2}{v_{stk}^2} \quad (1)$$

در تحلیل سرعت با استفاده از روش طیف سرعت، به ازای هر سرعت و زمان دورافت صفر، به کمک رابطه زیر یک مقدار بین صفر و یک محاسبه می‌گردد. هرچه مقدار اختصاص داده شده به ازای سرعت و زمان دورافت صفر، به مقدار یک نزدیک باشد، نشان‌دهنده احتمال بیشتر وجود لایه با سرعت و زمان دورافت صفر مذکور است (Yilmaz, 2001).

$$S = \frac{\sum_{\tau=-(\frac{\lambda}{2})}^{+(\frac{\lambda}{2})} \sum_{i=1}^N d(\tau, x_i)}{N \sum_{\tau=-(\frac{\lambda}{2})}^{+(\frac{\lambda}{2})} \sum_{i=1}^N d^2(\tau, x_i)} \quad (2)$$

که در آن، S شباهت، N تعداد رد لرزه‌های وراثت نقطه میانی مشترک،  $d(\tau, x_i)$  دامنه ردلرزه در دورافت  $x_i$  و زمان  $\tau$  و  $\lambda$  برابر طول پنجره تحلیل سرعت است.

در تحلیل سرعت برای بازتابنده، سرعت واقعی را در نظر می‌گیرند. رویداد بازتابی هذلولی بعد از اعمال تصحیح برونراند نرمال در وراثت نقطه میانی مشترک به صورت رویداد بازتابی افقی تبدیل می‌شود. اگر سرعت برونراند نرمال کمتر از سرعت واقعی باشد، رویداد بازتابی به صورت overcorrect می‌شود و اگر از سرعت واقعی بیشتر باشد؛ رویداد بازتابی به صورت under correct می‌شود (Yilmaz, 2001). در واقع رویداد بازتابی پس از تصحیح برونراند به صورت افقی تبدیل نمی‌شود؛ که این مشکل به خاطر انتخاب نادرست سرعت رخ می‌دهد.

۲-۱- روش تبدیل موجک گسسته غیر کاهشی

تبدیل موجک گسسته غیر کاهشی به طور مستقل توسط محققین به طور جداگانه با تعدادی از نام‌ها شامل شیفث ثابت، قاب‌های موجک گسسته توسعه یافت (Hill et al., 2012). با این وجود، تبدیل موجک گسسته اجازه می‌دهد که مؤلفه‌های فرکانس را در زمان‌های

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۳، شماره ۲، ۱۳۹۶.

تعریف  $H^{[r]}$  و  $G^{[r]}$  دارای وزن‌های به ترتیب  $Z^r h$  و  $Z^r g$  هستند. بنابراین فیلتر  $H^{[r]}$  دارای وزن‌های  $h_j^{[r]} = h_j$  و  $h_k^{[r]} = 0$  است. اگر  $k$  یک ضریب از  $2^r$  نباشد؛ آنگاه  $H^{[r]}$  با قرار دادن یک صفر بین هر جفت مجاور از عناصر فیلتر  $h^{[r-1]}$  و به همین صورت برای  $G^{[r]}$  به دست می‌آید (Hill et al, 2012).

$$D_0^r H^{[r]} = H D_0^r \quad (10)$$

$$D_0^r G^{[r]} = G D_0^r \quad (11)$$

### ۳- تحلیل سرعت در فضای تبدیل موجک گسسته

#### غیر کاهشی

#### ۳-۱- داده مصنوعی

برای انجام آنالیز سرعتی در روش مطرح شده، داده مصنوعی بر اساس یک برداشت نقطه میانی مشترک شامل ۶۱ بازتابنده با ۶۴ گیرنده که فاصله هر گیرنده تا گیرنده بعدی ۱۵ متر است؛ تولید شد. موجک مورد استفاده Ricker با فرکانس غالب ۲۰ هرتز است و بازه نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه شامل ۱۰۲۴ نمونه زمانی تعیین گردید. توجه شود که ابعاد  $(1024 \times 64)$  صرفاً برای پیاده‌سازی در فضای موجک است. زیرا ابعاد ماتریس باید حتی‌الامکان از مرتبه  $2^n$  باشد. این داده تولید شده در شکل (a-۱) سمت چپ) به نمایش درآمده است. مدل سرعتی مدنظر ما برای تولید این مقطع مصنوعی به صورت طیف در شکل ۲ بخش a و منحنی سرعتی در شکل ۳ (منحنی سیاه رنگ) در نظر گرفته شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ روند سرعتی از سطح به عمق افزایش تدریجی دارد. در ادامه نوبه اتفاقی به داده شکل (a-۱) اضافه و نسبت سیگنال به نوفه  $1/4$  دسی بل به دست آمد (شکل (b-۱)). سپس داده تولید شده به صورت زمانی (با الگوریتم ساده آنالیز سرعت مطرح شده) مورد تجزیه و تحلیل سرعتی قرار گرفت. نتایج آنالیز سرعتی این مقطع در حیطه زمانی در شکل (b-۲) نمایش داده شده است. دلیل انتخاب روش تحلیل سرعت مرسوم و ابتدائی برای این آنالیز سرعتی در دو حوزه زمانی و موجک حساسیت بالای این الگوریتم تحلیل سرعت به نوفه است. همان‌طور که در این شکل نمایش داده شده است؛ وجود نوفه منجر به عدم قطعیت بالا در تخمین سرعتی شده؛ به نحوی که در مقایسه با شکل (a-۲) اطلاعات شایان توجهی به دست نمی‌آید. منحنی سرعتی تخمین زده شده برای این روش در شکل ۳ منحنی قرمز رنگ ارائه شده است؛ که نشان از خطای بالای سرعتی به میزان ۸ درصد به صورت خطای میانگین دارد. با توجه به بازه سرعتی داده بدون نوفه که بازه سرعتی (۳۰۰۰-۲۰۰۰) متر بر ثانیه است؛ این میزان خطا به صورت میانگین  $\pm 200$  متر بر ثانیه است.

در ادامه همین مقطع در فضای موجک مورد تجزیه قرار گرفت. به نحوی که ۶ زیر باند (مقیاس) مجزا تولید شد؛ که زیر باندهای پایین

مشخصی در داده‌ها آنالیز شوند.

روش تبدیل موجک گسسته غیرکاهشی توسط Guo معرفی شد (Goudarzi and Riahi, 2012; Guo, 1995). تبدیل موجک گسسته متداول و تبدیل موجک گسسته غیرکاهشی به صورت دودویی اعمال می‌شوند. تبدیل موجک گسسته از یک تابع موجک و یک تابع مقیاس استفاده می‌کند (Goudarzi and Riahi, 2012).

$$\phi(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} h_k \sqrt{2} \phi(2x - k) \quad (3)$$

که ضرایب  $h_k, k \in \mathbb{Z}$ ، به عنوان فیلتر پایین گذر شناخته شده است. تابع  $\phi(x)$  تابع مقیاس نام دارد. همچنین برای تعریف یک موجک مادر  $\psi(x)$  داریم (Goudarzi and Riahi, 2012):

$$\psi(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} g_k \sqrt{2} \phi(2x - k) \quad (4)$$

که ضرایب  $g_k, k \in \mathbb{Z}$ ، به عنوان فیلتر بالاگذر شناخته شده است. تبدیل را می‌توان در ترم‌هایی از فیلتر پایین گذر  $H = \{h_k\}$  و فیلتر بالاگذر  $G = \{g_k\}$  ارائه داد، که  $h_k$  و  $g_k$  ضرایب فیلتر هستند (Goudarzi and Riahi, 2012). تبدیل موجک گسسته را می‌توان چنین به دست آورد (Goudarzi and Riahi, 2012):

$$C_{j-1,i} = \sum_n h_{n-2i} C_{j,n} \quad (5)$$

$$d_{j-1,i} = \sum_n g_{n-2i} C_{j,n} \quad (6)$$

ترم  $2i$  در معادله (۵) یک راه جایگزین کاهش یک گام از تبدیل موجک گسسته است. این معادل فیلتر کردن با  $H$  و  $G$  و سپس اعمال حتی کاهش دودویی است (Goudarzi and Riahi, 2012). برای محاسبه تبدیل موجک گسسته غیرکاهشی، فیلترهای بالاگذر و پایین گذر مناسب به داده‌ها در هر سطح با تولید دو توالی در سطح بعدی اعمال می‌شود. در واقع این تبدیل بدون کاهش اتفاق می‌افتد، به طوری که دو دنباله همان طول به عنوان توالی اصلی دارند. گودوین در سال ۲۰۰۸، عملگرها و فیلترهایی را تعریف کرد. این عملگرها به شرح زیر هستند:

۱- فرض کنید  $Z$  یک عملگر با تناوب یک دنباله داده شده صفر است، به طوری که (Goudarzi and Riahi, 2012):

$$\forall j \in \mathbb{Z}_+, (Zx)_{2j} = x_j, (Zx)_{2j+1} = 0 \quad (7)$$

۲- فرض کنید  $S$  عملگر شیفت یافته با تعریف زیر باشد:

$$(Sx)_j = x_{j+1} \quad (8)$$

۳- فرض کنید  $D_0$  به صورت عملگر کاهشی باینری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(D_0 x)_j = x_{2j} \quad (9)$$

بالا تر (که عمدتاً دامنه کمتر دارند) قرار گیرند و در واقع الگوریتم آنالیز سرعتی که به دامنه و همدوسی مبتنی است؛ از اثرات این دامنه‌ها در مقایسه با دامنه‌های بزرگ‌تر صرف‌نظر می‌نماید و با آنالیز سرعتی در حیطه موجک دامنه‌های هر مقیاس تقریباً از بزرگی یکدست تری برخوردار می‌شوند و طبعاً آنالیز سرعتی نسبت به آن‌ها با حساسیت بالاتری عمل خواهد کرد؛ که پس از تجمیع طیف‌ها هر کدام از این زیر باندها سهم برابر در نتیجه نهایی خواهند داشت و این موضوع باعث کاهش خطا و بهبود آنالیز سرعتی خواهد شد.

برای بررسی روش مطرح شده در حضور نوفه همدوس داده مصنوعی با همان مختصات پیشین اما به همراه نوفه زمین غلت با بازه فرکانسی (۵ تا ۱۵) هرترز مدنظر قرار گرفت (شکل ۱۰)؛ که نوفه اتفاقی نیز به آن اضافه شد؛ به نحوی که نسبت سیگنال به نوفه  $1/4$  دسی بل به دست آمد. دلیل این آزمون صرفاً آن است که به هر حال در داده‌های پردازش شده سطوحی از نوفه زمین غلت ممکن است حضور یابد. از طرفی آنالیز سرعتی چند تفکیکی می‌تواند در این زمینه نیز راهگشا باشد. نتایج آنالیز سرعتی در شکل ۱۱ ارائه شده است. حضور زمین غلت منجر به ایجاد خطای بزرگ در آنالیز سرعتی می‌شود؛ به نحوی که خطا برای حیطه زمانی ۱۱ درصد ( $\pm 275$  متر بر ثانیه) تخمین زده می‌شود. شکل (۱۱-b) وجود این خطای بزرگ را اثبات می‌نماید. آنالیز چند تفکیکی سرعتی می‌تواند تخمین دقیق‌تری ارائه دهد؛ که خطا را به میزان ۳ درصد کاهش داده و می‌تواند راهگشا باشد. اگر چه توصیه می‌شود بیش از انجام هر آنالیز سرعتی از تضعیف نوفه‌های همدوسی اطلاع دقیق حاصل شود. شکل ۱۲ منحنی‌های سرعتی تخمین زده شده را ارائه می‌دهد.

تاکنون نوع موجک دایچی ۲ بود؛ که در نوع خود موجکی است با ۴ نمونه زمانی و طول کوتاه‌تری نسبت به سایر موجک‌های هم خانواده خود دارد (Daubechies, 1992).

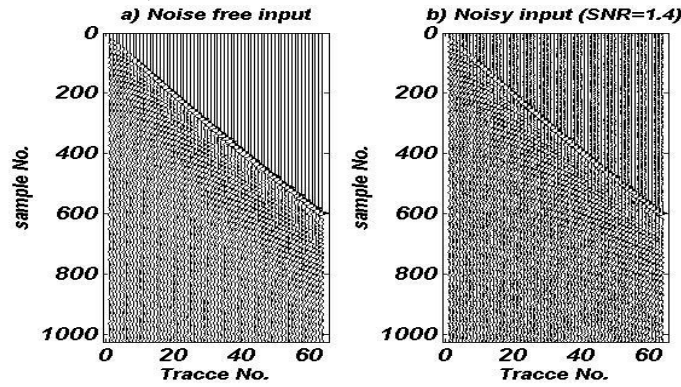
حال سؤال اینجاست: آیا آنالیز سرعتی با موجک‌های با طول بزرگ‌تر (مانند محو بیشتر) می‌تواند نتایج دقیق‌تری داشته باشد؟ برای پاسخ به این سؤال از موجک دایچی ۲۰ استفاده شد. داده‌های مصنوعی مورد استفاده در این مورد در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. نسبت سیگنال به نوفه  $1/4$  دسی بل است؛ که نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل سرعتی در حیطه زمان و موجک در شکل ۱۴ آورده شده است. منحنی سرعتی تخمین زده شده (شکل ۱۵) نشان از آن دارد که خطای آنالیز سرعتی در حیطه موجک تا ۲۳ درصد افزایش یافته است (خطای سرعتی  $\pm 575$  متر بر ثانیه)؛ که به هیچ وجه قابل قبول نیست. همان‌طور که نشان داده شده، استفاده از موجک با طول بیشتر سبب می‌شود که آنالیز سرعتی دقت خود را از دست بدهد و در نهایت وجود لوب در موجک‌ها می‌تواند ضرایب سیگنال در حیطه موجک را دچار تغییرات فاحش کرده و خطای بزرگی ایجاد نماید و لزوم استفاده از موجک با طول کوتاه‌تر و کوتاه‌ترین طول ممکن در خانواده موجک دایچی یعنی db2 مدنظر قرار داده شد.

گذر در شکل‌ها با اندیس (L) و زیر باندهای بالاگذر با اندیس (H) نمایش داده شده‌اند. الگوریتم تحلیل سرعتی بر تک تک زیر باندها پیاده گردید. این پیاده‌سازی در شکل‌های ۲-d تا ۲-i قابل مشاهده است. سپس طیف‌های سرعتی ارائه شده از تک تک این زیر باندها جمع زده شد و طیف تجمیعی در شکل (۲-c) ارائه گردید. در مقایسه با شکل‌های (۲-a و ۲-b) درمی‌یابیم که آنالیز سرعتی تجمیعی در حوزه موجک نسبت به داده در حوزه زمانی طیف دقیق‌تری را ارائه داده است. شکل ۳، (منحنی آبی رنگ) منحنی سرعتی تخمین زده شده برای طیف تجمیعی است. افت و خیزهای منحنی آبی رنگ در مقایسه با منحنی قرمز رنگ (حوزه زمان) بسیار کمتر بوده و خطای تخمین سرعتی تا میزان ۲ درصد کاهش یافته است؛ یا به عبارت دیگر این خطا از  $\pm 200$  متر برای حوزه زمانی  $\pm 50$  متر به صورت میانگین کاهش یافته است (توجه شود نسبت سیگنال به نوفه استفاده شده نشان‌دهنده نوفه بالا است).

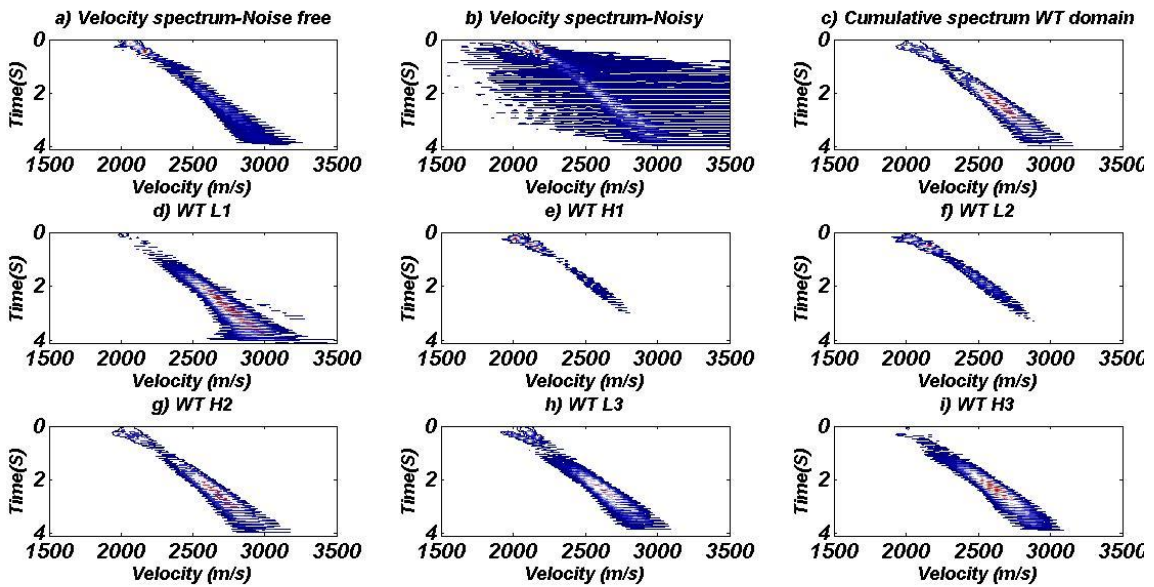
سپس برای همین داده میزان نسبت سیگنال به نوفه باز هم کاهش یافت و به مقدار  $-1\text{dB}$  رسید؛ که در شکل (۴-b) نشان داده شده است. به دلیل افزایش میزان نوفه نتیجه تحلیل سرعتی در حوزه زمانی شکل (۵-b) شش (منحنی قرمز رنگ) مبین افزایش خطای تخمینی برای این حوزه تا سطح ۱۰ درصد به صورت میانگین یا  $\pm 250$  متر بر ثانیه است؛ که پس از اعمال تبدیل موجک و آنالیز سرعتی در این حوزه (شکل ۵-c، شش (منحنی آبی رنگ)) این خطا تا میزان  $3/5$  درصد یا  $\pm 87/5$  متر بر ثانیه کاهش یافت.

برای تأکید بر بهبود وضعیت آنالیز سرعتی در حوزه موجک گسسته غیرکاهشی، داده مذکور با سطح نوفه بسیار بالاتر و میزان نسبت سیگنال به نوفه ۴- دسی بل تهیه شد (شکل ۷-b). نتایج آنالیز تجمیعی سرعت در شکل (۸-c) آمده است؛ که نتایج مبین بهبود قابل توجه آنالیز سرعتی در این حوزه نسبت به حوزه زمان است. خطای تخمینی در حوزه زمان ۱۲ درصد (شکل ۹-a- منحنی قرمز رنگ) و در حوزه موجک  $4/5$  درصد به دست آمد؛ یا به عبارت دیگر از  $\pm 300$  متر بر ثانیه به  $\pm 112/5$  متر بر ثانیه کاهش یافت؛ اما دلیل این برتری این‌گونه مطرح می‌شود که روش آنالیز سرعتی در حیطه زمان به نوفه حساس بوده است. تبدیل موجک گسسته با تجزیه داده به سطوح مختلف در واقع به نوعی داده را فیلتر کرده؛ به نحوی که محتوای فرکانسی هر زیر باند با زیر باند دیگر کاملاً متفاوت است و نوفه‌های اتفاقی لرزه‌ای به دلیل ماهیت فرکانس بالای خود در کلیه مقیاس‌ها توزیع می‌شوند؛ اما تمرکز آن‌ها در زیر باندهای فرکانس بالا بیشتر است. این توزیع نوفه در ۶ سطح به جای تمرکز در یک سطح حیطه زمانی منجر به آن می‌شود که الگوریتم تحلیل سرعت بهتر بتواند رویدادها را شناسایی کرده و نهایتاً یک پیک بزرگ سرعتی دقیق‌تر را ارائه دهد. نکته حائز اهمیت دیگر آن است که تجزیه در فضای موجک منجر به آن می‌شود که فرکانس‌های پایین که عمدتاً با دامنه بزرگ‌تر هستند؛ در مقیاس مجزا نسبت به فرکانس‌های

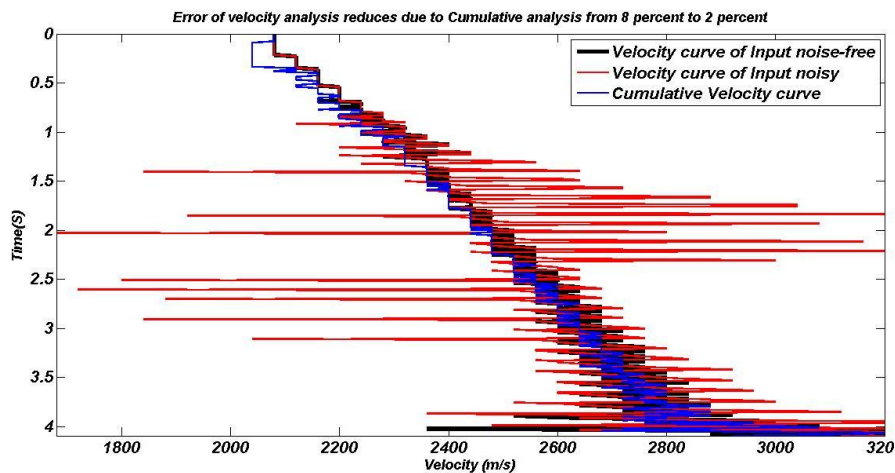
نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۳، شماره ۲، ۱۳۹۶.



شکل ۱: (a) داده مصنوعی و (b) داده مصنوعی با نسبت سیگنال به نوفه ۱/۴ دسی بل.

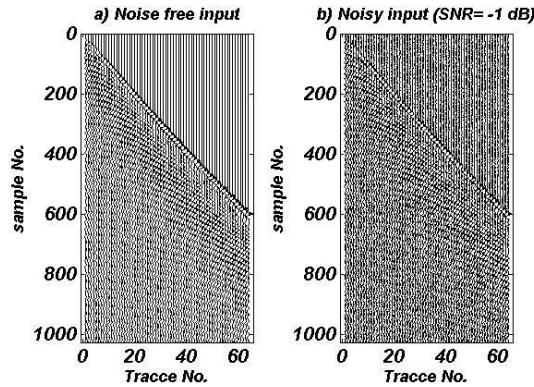


شکل ۲: (a) طیف سرعتی داده بدون نوفه، (b) طیف سرعتی داده با نسبت سیگنال به نوفه ۱/۴ دسی بل و (c) طیف سرعتی تجمیعی معرفی شده؛ (d) تا (i) طیف سرعتی مقیاس‌های ۱ تا ۴ داده در فضای موجک.

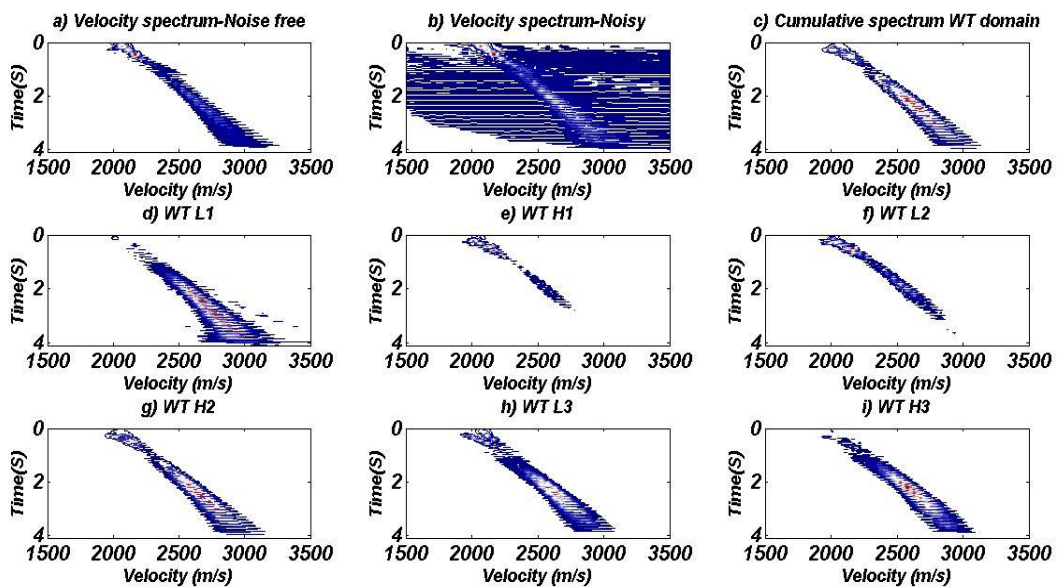


شکل ۳: طیف سرعتی تخمین زده شده برای داده بدون نوفه (سیاه) به همراه نوفه (قرمز) و طیف تجمیعی (آبی)؛ خطای تخمین سرعت از ۸ درصد به دو درصد در روش تجمیعی برای نسبت سیگنال به نوفه ۱/۴ دسی بل کاهش یافته است.

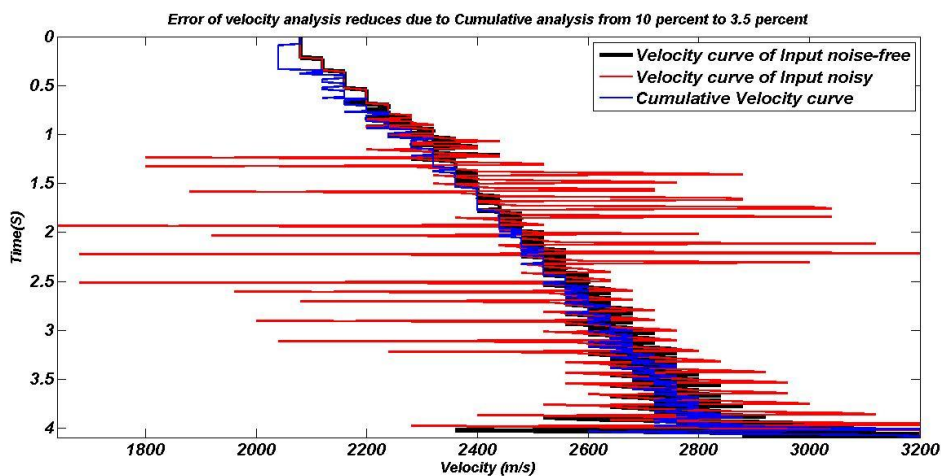
ایازی و همکاران، آنالیز سرعت چند تفکیکی لرزه‌ای در فضای تبدیل موجک گسسته غیر کاهشی، صفحات ۲۱۵-۲۰۳.



شکل ۴: (a) داده مصنوعی و (b) داده مصنوعی به همراه نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱- دسی بل.

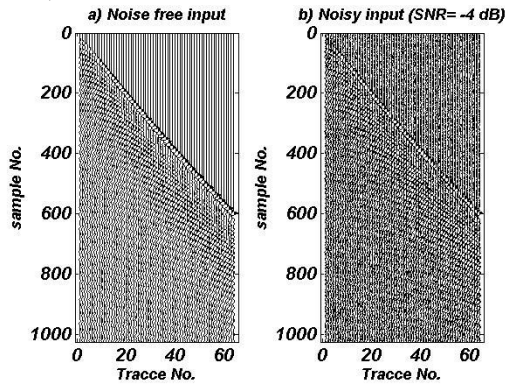


شکل ۵: (a) طیف سرعتی داده بدون نوفه، (b) طیف سرعتی داده با نسبت سیگنال به نوفه ۱- دسی بل و (c) طیف سرعتی تجمیعی معرفی شده و (d) تا (f) طیف سرعتی مقیاس‌های ۱ تا ۴ داده در فضای موجک.

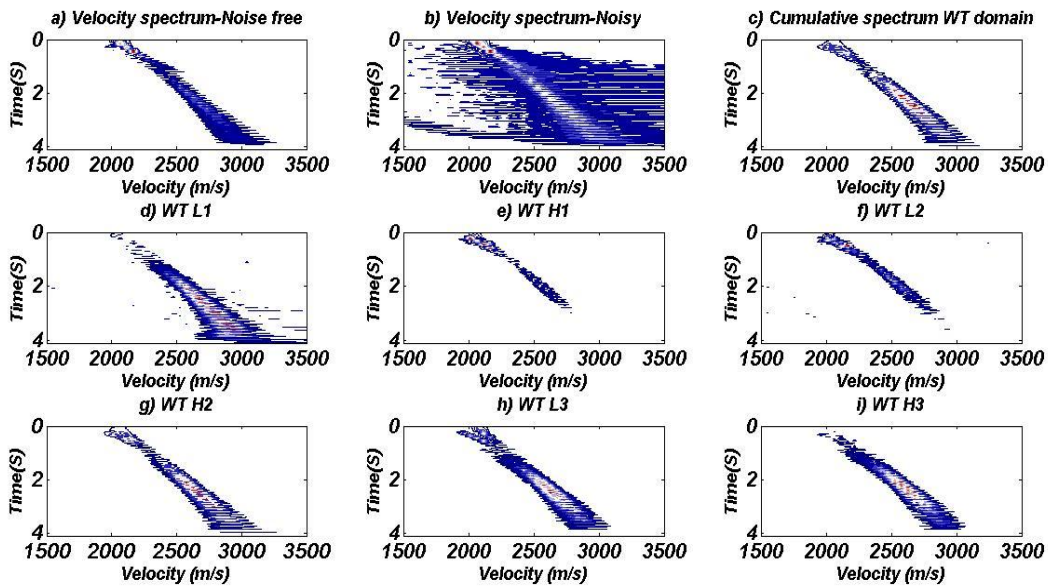


شکل ۶: طیف سرعتی تخمین زده شده برای داده بدون نوفه (سیاه) به همراه نوفه (قرمز) و طیف تجمیعی (آبی): خطای تخمین سرعت از ۱۰ درصد به ۳/۵ درصد در روش تجمیعی برای نسبت سیگنال به نوفه ۱- دسی بل کاهش یافته است.

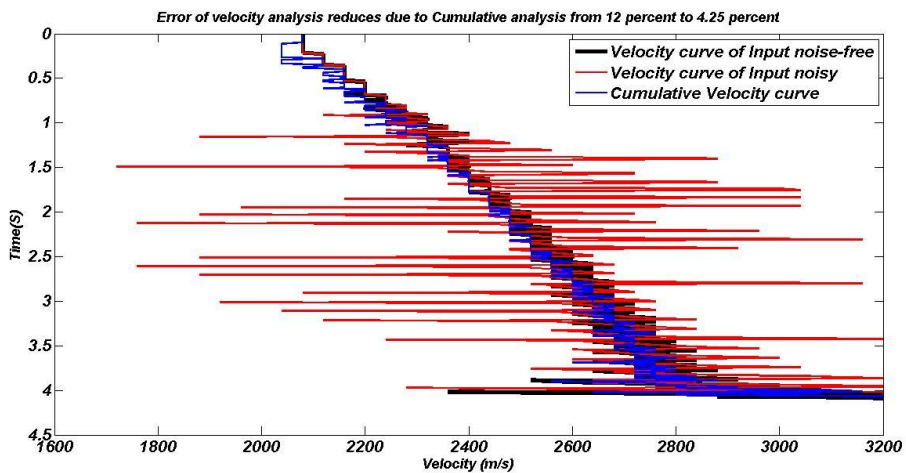




شکل ۷: (a) داده مصنوعی و (b) داده مصنوعی به همراه نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۴- دسی بل.

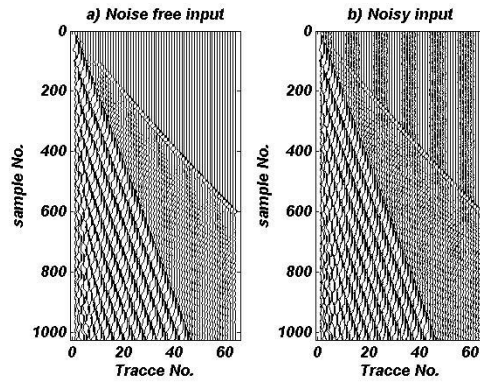


شکل ۸: (a) طیف سرعتی داده بدون نوفه، (b) طیف سرعتی داده با نسبت سیگنال به نوفه ۴- دسی بل، (c) طیف سرعتی تجمیعی معرفی شده و (d تا f) طیف سرعتی مقیاس‌های ۱ تا ۴ داده در فضای موجک.

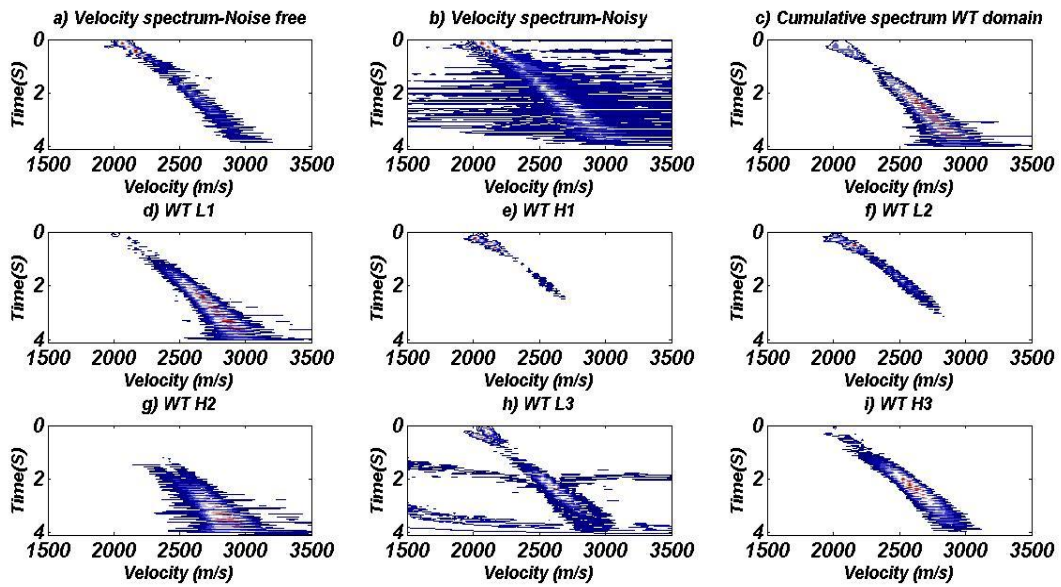


شکل ۹: طیف سرعتی تخمین زده شده برای داده بدون نوفه (سیاه) به همراه نوفه (قرمز) و طیف تجمیعی (آبی)؛ خطای تخمین سرعت از ۱۲ درصد به ۴/۵ درصد در روش تجمیعی برای نسبت سیگنال به نوفه ۴- دسی بل کاهش یافته است.

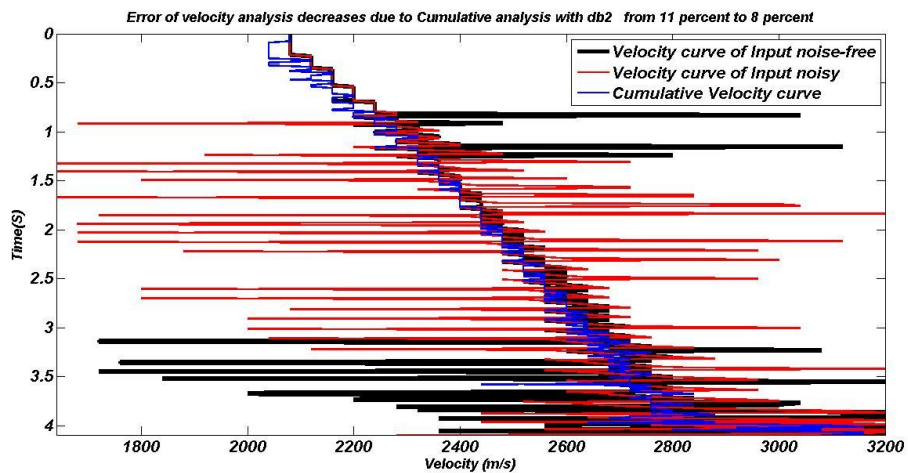
ایازی و همکاران، آنالیز سرعت چند تفکیکی لرزه‌ای در فضای تبدیل موجک گسسته غیر کاهشی، صفحات ۲۱۵-۲۰۳.



شکل ۱۰: (a) داده مصنوعی و (b) داده مصنوعی در حضور زمین غلت.



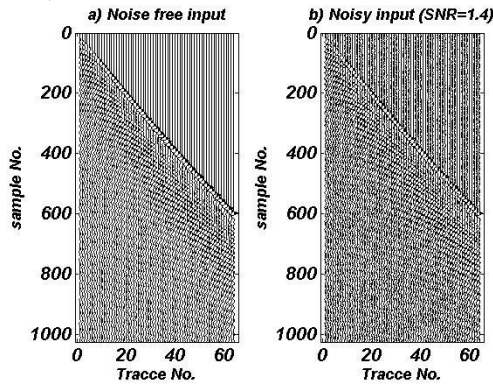
شکل ۱۱: (a) طیف سرعتی داده بدون نوفه، (b) طیف سرعتی داده در حضور زمین غلت، (c) طیف سرعتی تجمیعی معرفی شده و (d تا f) طیف سرعتی مقیاس‌های ۱ تا ۴ داده در فضای موجک.



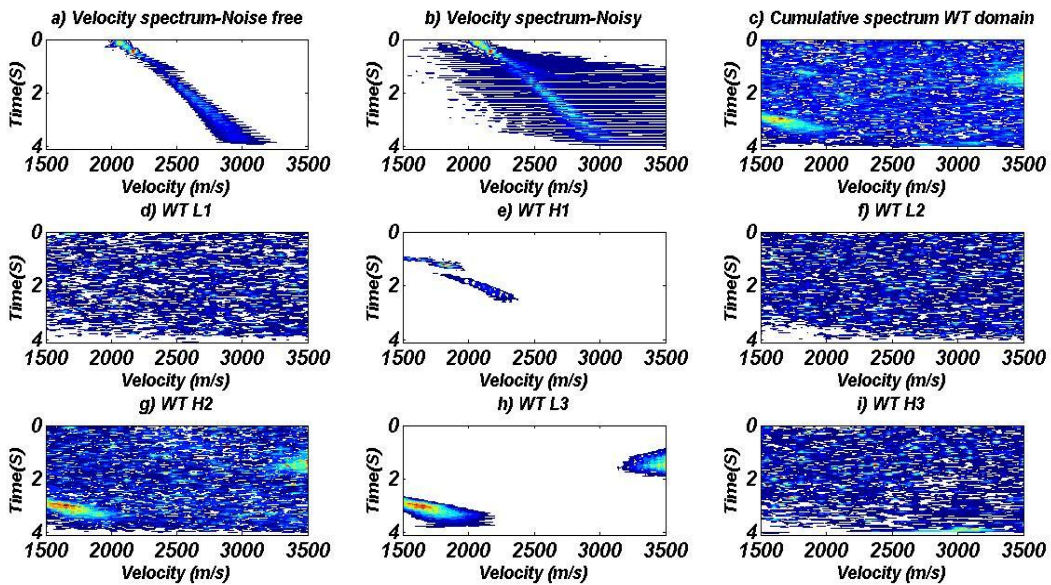
شکل ۱۲: طیف سرعتی تخمین زده شده برای داده بدون نوفه (سیاه) به همراه نوفه (قرمز) و طیف تجمیعی (آبی): خطای تخمین سرعت از ۱۱ درصد به ۸ درصد در روش در حضور زمین غلت کاهش یافته است.



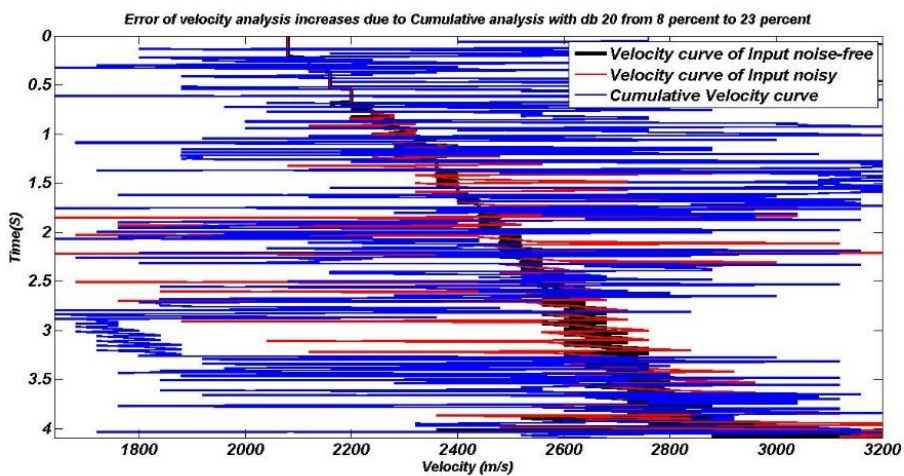
نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۳، شماره ۲، ۱۳۹۶.



شکل ۱۳: (a) داده مصنوعی و (b) داده مصنوعی به همراه نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۱/۴ دسی بل.



شکل ۱۴: (a) طیف سرعتی داده بدون نوفه، (b) طیف سرعتی داده با نسبت سیگنال به نوفه ۱/۴ دسی بل، (c) طیف سرعتی تجمیعی معرفی شده و (d تا f) طیف سرعتی مقیاس‌های ۱ تا ۴ داده در فضای موجک با استفاده از موجک ۲۰ دسی بل.

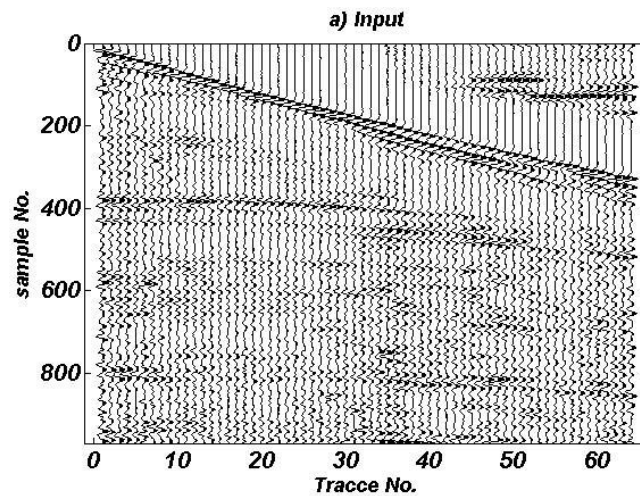


شکل ۱۵: طیف سرعتی تخمین زده شده برای داده بدون نوفه (سیاه) به همراه نوفه (قرمز) و طیف تجمیعی (آبی)؛ خطای تخمین سرعت از ۸ درصد به ۲۰ درصد در روش تجمیعی برای نسبت سیگنال به نوفه ۱/۴ دسی بل افزایش یافته است.

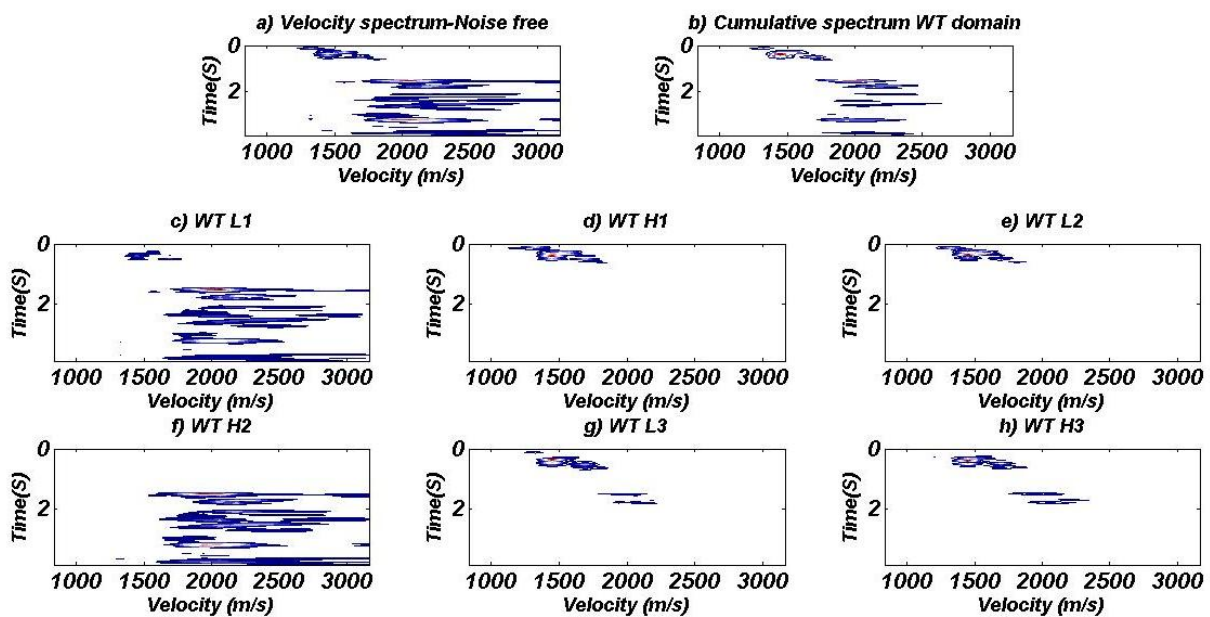
حیطه موجک ( منحنی قرمز رنگ) در شکل ۱۸ بیشتر و به ویژه در زمان نزدیک به ۳ ثانیه و ۲/۵ ثانیه این اختلاف مشهود است. دلیل این امر آن است که مؤلفه‌های هم سنگ از لحاظ فرکانسی و نهایتاً دامنه‌ای در هر کدام از زیرباندهای موجک (شکل ۱۷- c تا h) همزمان آنالیز شده است و ضعف الگوریتم آنالیز سرعتی در حوزه موجک به نحو محسوسی جبران شده است. بدیهی است که روش‌های دیگر آنالیز سرعتی که دقت و کارآمدی بالاتری نسبت به روش مرسوم مورد استفاده ارائه می‌دهند؛ می‌توانند باعث افزایش دقت آنالیز سرعتی شوند.

### ۳-۲- اعمال آنالیز چند تفکیکی سرعتی بر داده واقعی

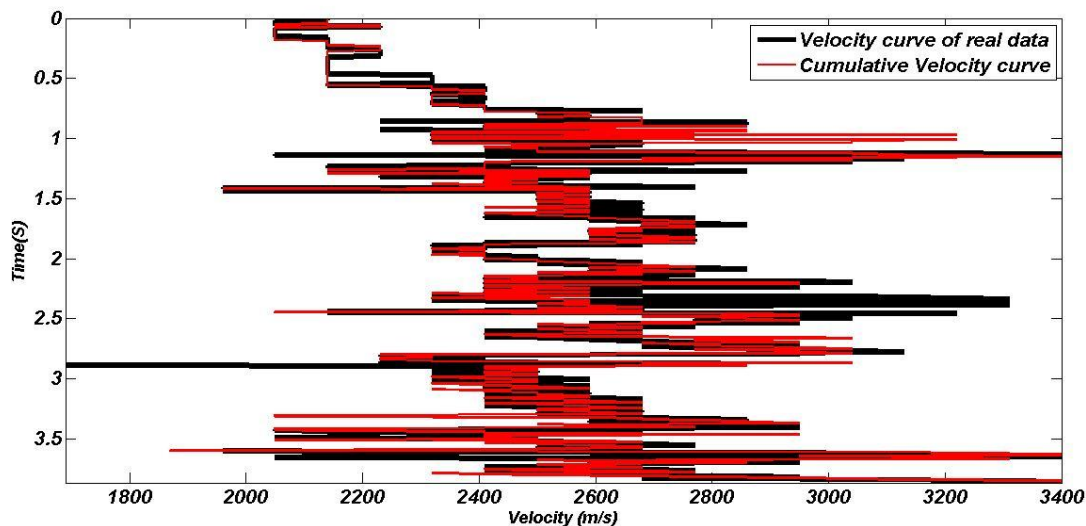
پس از اعمال روش بر داده‌های مصنوعی، داده‌های واقعی مورد مطالعه قرار گرفت. این داده‌ها حاوی ۶۴ ردلرزه با فاصله ۱۲/۵ متر و با نرخ نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه‌اند؛ که از یکی از عملیات‌های لرزه‌نگاری خشکی در جنوب ایران به دست آمده‌اند. داده‌های مورد مطالعه در شکل ۱۶ نشان داده شده است. نتیجه تحلیل سرعتی در حوزه زمان (شکل ۱۷- a) و تحلیل سرعتی چند تفکیکی تجمیعی (شکل ۱۷- b) مبین افزایش دقت آنالیز سرعتی در حوزه موجک برای داده‌های واقعی است. افت و خیزهای منحنی سیاه رنگ ( طیف سرعتی در حیطه زمان) نسبتاً از افت و خیزهای طیف سرعتی در



شکل ۱۶: داده واقعی نقطه میانی مشترک مورد استفاده برای انجام تحلیل سرعت.



شکل ۱۷: (a) طیف سرعتی داده واقعی، (b) طیف سرعتی تجمیعی معرفی شده و (c تا h) طیف سرعتی مقیاس‌های ۱ تا ۴ داده در فضای موجک.



شکل ۱۸: طیف سرعتی تخمین زده شده برای داده واقعی (سیاه) طیف تجمیعی (قرمز).

بالتر یا ممان محو بیشتر که منجر به همواری موجک می‌شود، می‌تواند خطای بزرگی را در آنالیز سرعتی در حوزه موجک ایجاد نماید. بنابراین پیشنهاد می‌شود که از کوتاه‌ترین طول موجک ممکن استفاده شود. نتایج حاصل از داده‌های مصنوعی با سطوح سیگنال به نوفه متفاوت اثبات کرد که فضای موجک می‌تواند یک فضای قابل اتکا برای آنالیز سرعتی باشد. توجه شود که روش‌های غیرکاهشی تبدیل موجک گسسته باید مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا طول سیگنال در هر مقیاس با فاکتور Decimation کاهش نمی‌یابد؛ اما در سایر روش‌ها طول سیگنال کاهش یافته و آنالیز سرعتی خطای غیر قابل جبرانی خواهد داشت.

and anisotropy determination, 74<sup>th</sup> SEG meeting, Denver, Expanded Abstracts, pp. 1627-1629.

Daubechies, I., 1992, Ten lectures on wavelets, Vol. 61 of CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics., SIAM, Philadelphia, Pa, USA.

Fomel, S., 2009, Velocity analysis using AB Semblance, Geophysical Prospecting, 57, 311-321.

Goodwin, D.A., 2008, Wavelet analysis of temporal data PhD Thesis, The University of Leeds.

Goudarzi, A. and Riahi, M.A., 2012, Seismic coherent and random noise attenuation using the undecimated discrete wavelet transform method with WDGA technique, Journal of Geophysics and Engineering, 9 (6), 619-631.

Guo, H., 1995, Theory and applications of the shift-invariant, time-varying and undecimated wavelet transforms, Citeseer.

Hill, P., Achim, A. and Bull, D., 2012, The undecimated dual tree complex wavelet transform and its

#### ۴- نتیجه گیری

ارتقای آنالیز سرعتی یکی از اهداف مطالعه حاضر بوده است. اهمیت و ضرورت ارتقای مذکور بر کسی پوشیده نیست. تعدد روش‌های ارتقای آنالیز سرعتی نشان‌دهنده پیشرفت در زمینه مذکور است؛ اما در این مقاله برتری‌ها و کاستی‌های حوزه موجک گسسته غیرکاهشی بر آنالیز سرعتی در حوزه زمانی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این چنین حاصل شد:

آنالیز چند تفکیکی سرعتی می‌تواند منجر به بهبود نتایج آنالیز سرعتی حتی با روش‌های حساس به نوفه گردد. روش مطرح شده به خوبی توانست در حضور نوفه همدوس زمین غلت دقت آنالیز سرعتی را نسبت به حوزه زمانی ارتقا بخشد. استفاده از موجک‌های با طول

#### ۵- منابع

بشر دوست، م.، ترابی، س. و نبی بیدهدی، م.، ۱۳۹۱، مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سرعت بر اساس همبستگی در پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی، مجله ژئوفیزیک ایران، ۶ (۲)، ۴۰-۵۵.

صفایی، ص.، روش‌اندل کاهو، او. کریمی، ف.، ۱۳۹۲، افزایش قدرت طیف سرعت داده لرزه‌ای با استفاده از روش خود راه‌انداز، پژوهش نفت، ۸۴، ۱۱۵-۱۲۴.

هاشم‌پور، ر.، سیاه‌کوهی، ح.ر. و جمالی هندری، ا.، ۱۳۹۳، تحلیل سرعت لرزه‌ای با استفاده از شباهت حساس به دامنه و قطبش بازتاب‌های غیرهذلولی، شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ۲۳-۲۵ اردیبهشت؛ صفحات ۱-۴.

Arnaud, J., Rappin, D., Dunand, J.P. and Curinier, V., 2004, High density picking for accurate velocity

Taner, M.T. and Koehler, F., 1969, Velocity spectra-Digital computer derivation and applications of velocity functions, *Geophysics*, 34, 859-881.

Yilmaz, Öz, 2001, *Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data*, Society of exploration geophysicists.

application to bivariate image denoising using a cauchy model, 19<sup>th</sup> IEEE International Conference on Image Processing, IEEE.

Neidell, N.S. and Taner, M.T., 1971, Semblance and other coherency measures for multichannel data, *Geophysics*, 34, 482-497.

Archive of SID





## Seismic multi-resolution velocity analysis in UDWT domain

Sara Ayazi<sup>1</sup>, Alireza Goudarzi<sup>2\*</sup> and Meisam Kourki<sup>2</sup>

1- M.Sc. Student, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

2- Assistant Professor, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

Received: 22 January 2017; Accepted: 11 April 2017

Corresponding author: a.goudarzi@kgut.ac.ir

### Keywords

Velocity Analysis  
Spectrum  
Coherency  
Undecimated Discrete Wavelet Transform (UDWT)

### Extended Abstract

#### Summary

Different methods are used for seismic velocity analysis, including spectral analysis based on semblance, which is a reliable way to estimate the stacking velocity. The proposed method in this research is superior over other seismic velocity analysis methods because in the proposed method, the wave due to the absorption of the earth makes a reduction of the frequency content of the source in time, and results in poor temporal resolution. In this paper, the velocity

analysis performed in the wavelet domain using undecimated discrete wavelet transform (UDWT). Random noise is often placed in high-frequency sub-bands and their effect leads to a reduction in coherency than other sub-bands. In this way, data analyses to high-pass and low-pass sub-bands and velocity analysis at any scale are performed using discrete wavelet transform and scaling filters. A Comparison of the obtained results showed that the spectral analysis of the velocity in the wavelet domain increases the accuracy of the velocity analysis in each band of frequencies.

### Introduction

One of the valuable information that can be obtained using seismic waves is the velocity of the earth layers, which can be useful for identifying the properties and petrophysical parameters of the layers. The velocity information is usually estimated when processing of seismic reflection data using the CMP velocity analysis is made. Velocity analysis is a powerful tool for detecting reflections and determines the stacking velocity of seismic data. Different methods are presented for analysis of seismic velocity. The UDWT method for signal decomposition has been introduced by Guo (1995).

### Methodology and Approaches

For a flat layer, the shape of the move out curve is defined by the hyperbolic relationship between the zero offset time and the velocity. Several methods of velocity analysis have been used in the past, but today, most velocities are selected interactively using combined displays on the processing workstations. Nevertheless, velocity analysis is still one of the most time-consuming parts of seismic processing. This is also the most critical step since velocity analysis is an initial interpretation of the data and it is important as the seismic interpreter is involved in the analysis and quality control steps. Velocity analysis is often performed several times during processing, which results in an iterative improvement in velocity estimation. The velocity spectrum display is calculated by determining how a given hyperbolic event matches actual events on the central CMP gather. These represent much more velocity trials than can be done using CVS or FVS analysis. The maximum coherence amplitude is expected when the hyperbola corresponds best fits to a given large amplitude seismic event. The coherence measurement most often used is called semblance, which is robust to noise, spatial aliasing, and lateral amplitude variations. There are various methods of displaying semblance. The average of too many gathers would increase computation time and could begin to filter geological variations. Wider peaks in the deeper part of the section indicate reduced resolution. The velocity spectrum is also good for identification of multiple reflections.

### Results and Conclusions

In this research, an improvement for the analysis of seismic velocity was made. In this paper, we have investigated the coherence technique based on discrete wavelet transform. We conclude that the cumulative spectrum in the UDWT domain gives a precise velocity spectrum.