

بررسی تاثیر طول گیج در داده‌های حسگر صوتی توزیع شده (DAS) و پردازش آن‌ها: مطالعه موردی در منطقه Nevada داده‌های آرایه PoroTomo

مونا علی اکبرخان افجه^۱، حسین هاشمی شاهدانی^{۲*} و محمد رضا حاتمی^۳

^۱ دانشجوی دکتری، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ دانشیار، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ دانشیار، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۸، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۵)

چکیده

در سیستم‌های حسگر صوتی توزیع شده (DAS)، پارامتر طول گیج به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در تعیین دقت و کارایی داده‌های ثبت‌شده نقشی اساسی ایفا کرده است. طول گیج، که بیانگر اندازه‌ی بخش فیبر نوری استفاده شده برای نمونه‌برداری است، تاثیر مستقیمی بر وضوح مکانی و حساسیت سیگنال‌های ثبت‌شده دارد. در این پژوهش، اثرات مختلف طول گیج بر کیفیت داده‌های حسگر صوتی توزیع شده و عملکرد الگوریتم‌های پردازشی مورد بررسی قرار گرفته است. مقادیر مختلف طول گیج با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده در چشمه‌های آب گرم بردی واقع در ایالت نوادا در آمریکا و مقایسه نتایج حاصل از طول گیج‌های مختلف، چالش‌های مرتبط با بهینه‌سازی این پارامتر تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهند که انتخاب بهینه طول گیج می‌تواند بهبود قابل توجهی در دقت مکانی و کیفیت اطلاعات استخراج شده از داده‌های حسگر صوتی توزیع شده به‌همراه داشته باشد، در حالی که مقادیر طول نامناسب ممکن است منجر به کاهش دقت و بروز خطا در پردازش شوند. این یافته‌ها راهنمایی برای طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های حسگر صوتی توزیع شده با کارایی بالا فراهم کرده‌اند. ما به بررسی طول گیج‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر می‌پردازیم. سپس از تبدیل فوریه و واهمامیخت و نر در حوزه‌های زمانی و فرکانسی بر روی طول گیج‌های مذکور برای فیبر اعمال می‌کنیم. با استفاده از روش‌های پردازش داده مبتنی بر برنامه‌نویسی در پایتون نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است. طول گیج بهینه، با به‌دست آوردن نسبت سیگنال به نویز برای هر مقطع لرزه‌ای به‌دست می‌آید.

کلمه‌های کلیدی: فیبر نوری، حسگر صوتی توزیع شده، طول گیج، لرزه نگاری، واهمامیخت

۱ مقدمه

تکنیک‌های سنجش با استفاده از فیبر نوری، به‌عنوان ابزاری کلیدی در سنجش میزان توسعه زیرساخت‌های اطلاعاتی و ارتباطی یک کشور شناخته شده است (شانگ و همکاران، ۲۰۲۲). گذر از حوزه ارتباطات و استفاده از سنجش با فیبر نوری که امروزه به‌عنوان یک فناوری شناخته‌شده است به‌طور گسترده مورد پذیرش قرار گرفته و نخستین بار در سال ۱۹۶۷ توسط کرتیس دی. کیسینج ثبت اختراع شد. توانایی فیبر نوری در تشخیص تغییرات در فواصل بسیار زیاد و در بازه‌های زمانی گوناگون، برای کاربردهایی که در محیط‌های دورافتاده و دشوار مورد توجه ویژه‌ای قرار دارد. هر دوی این شرایط در صنعت اکتشاف (نفت، معدن و پایش‌های مرتبط) و پایش تاسیسات و شریان‌های حیاتی به‌طور ذاتی وجود دارند و همین مسئله انگیزه زیادی برای بررسی فناوری حسگر فیبر نوری در کاربردهای میدان نفتی فراهم می‌کند (کیمبل، ۲۰۱۳). حدود یک دهه بعد، فیبرهای نوری تک‌مد توسعه یافتند که باعث تحول چشم‌گیری در سنجش نوری شدند. علت این پیشرفت آن است که فیبرهای تک‌مد قابلیت استفاده در تداخل‌سنج‌ها را دارند؛ ابزارهایی که با استفاده از الگوهای تداخل، اندازه‌گیری‌های دقیقی از امواج انجام داده است (کالشاو و کرسی، ۲۰۰۸).

در طول دهه اخیر، حسگر صوتی توزیع شده به‌عنوان یک فناوری جدید برای برداشت لرزه‌ای ظهور کرده است. حسگر صوتی توزیع شده این پتانسیل را دارد که هزینه عملیات نظارت دائمی را در طول زمان کاهش دهد زیرا بقای طولانی مدت تجهیزات را ارائه می‌دهد و به حداقل تعمیر و نگهداری نیاز دارد. با این حال، پذیرش گسترده فناوری حسگر صوتی توزیع شده همچنان با چالش‌هایی مانند حساسیت کم و سطح بالای نویز در مقایسه با حسگرهای لرزه‌ای معمولی مواجه است.

پیشرفت‌های اخیر در سیستم‌های فیبر نوری با هدف غلبه بر این محدودیت‌ها انجام شده است (کوری و همکاران، ۲۰۱۷).

سنجش ارتعاشات توزیع شده که به‌عنوان سنجش صوتی توزیع شده نیز شناخته می‌شود، روشی نسبتاً جدید برای ثبت داده‌های پروفایل لرزه‌ای عمودی با استفاده از کابل فیبر نوری به‌عنوان حسگر است. سیگنال به دست آمده از چنین سیستم‌هایی یک اندازه‌گیری توزیع شده در طول فیبر است که به آن طول گیج گفته می‌شود. در مقاله دین و همکاران (۲۰۱۶) نشان داده شده است که انتخاب طول گیج یکی از مهم‌ترین پارامترهای برداشت برای بررسی سنجش ارتعاشات توزیع شده است. اگر طول گیج خیلی کوچک باشد، نسبت سیگنال به نویز ضعیف خواهد بود. اگر طول گیج خیلی زیاد باشد، وضوح کاهش می‌یابد و شکل موجک مخدوش می‌شود. طول گیج بهینه، تابعی از سرعت و فرکانس امواج لرزه‌ای اندازه‌گیری شده است.

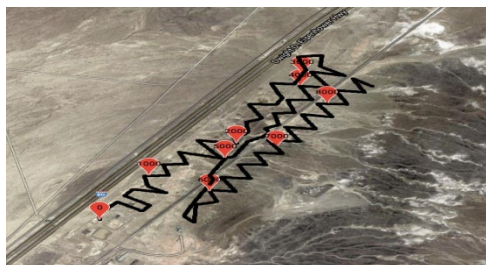
کارهای زیادی بر روی طول گیج‌های مختلف انجام شده است. نینگ و ساوا در سال ۲۰۱۸ و دالی و همکاران در سال ۲۰۱۳ طول گیج یک متر، بررسی را انجام دادند. فرمانده رویز در سال ۲۰۲۰ در طول گیج ۱۰ متر و نسبت سیگنال به نویز قابل قبولی را به دست آورد. و فرهادی روشن و همکاران در سال ۲۰۱۶ طول گیج را تا پنج سانتی متر هم می‌توان کاهش داد در حالی که نسبت سیگنال به نویز مناسبی داشته باشد.

فتتا و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌شان به شکل تحلیلی و عددی به پارامتر طول گیج پرداخته‌اند. آنها در مطالعاتی که داشتند به تاثیر این پارامتر بر وضوح مکانی و نسبت سیگنال به نویز اشاره داشته‌اند. و با بررسی‌هایی که در مطالعات قبل داشته‌اند به این نتایج رسیدند که نسبت بهینه‌ای بین طول گیج و طول موج مکانی وجود دارد. دین و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مقاله‌شان به بررسی تأثیر

واهمامیخت و نر استفاده شده است.

۲ داده‌های حسگر صوتی توزیع شده در آزمایش انفجار نوادا

آرایه PoroTomo در میدان زمین گرمایی چشمه‌های آب گرم بردی در سایت آزمایشی نوادا (NTS) مستقر شد. انفجاری با مختصات دقیق انفجار، ۳۷.۱۱۲۴ درجه شمالی و ۱۱۶.۰۶۳۲ درجه غربی می باشد. در تاریخ ۱۹ دسامبر ۲۰۱۸، سیستم ثبت داده های DAS به طور مداوم داده های فیبر نوری را به دست آورد که تقریباً دو ساعت قبل از انفجار شروع شده و تا ۱۵ دقیقه پس از رویداد ادامه دارد. این سیستم این داده ها را در طی یک انفجار ۲.۳ ریشتر در سایت آزمایشی نوادا که تقریباً در ۴۰۰ کیلومتری جنوب شرقی میدان قرار دارد، ثبت کرد. آزمایشگاه میدانی شامل حجمی است که مساحت سطحی ۱۵۰۰ متر طول در ۵۰۰ متر عرض (چن، ۲۰۲۳) را تا عمق ۴۰۰ متر پوشش می دهد. زمین شناسی زیرسطحی از چند صد متر رسوبات آبرفتی تشکیل شده است که زیر آن مخزن زمین گرمایی از سنگ های آتشفشانی دوران سوم زمین شناسی همان سنوزوئیک قرار دارد. آرایه حسگر صوتی توزیع شده از کابل فیبر نوری به طول تقریبی ۸۷۰۰ متر استفاده می شود، طول گیج آن ۱۰ متر و فاصله کانال ها ۱.۰۲۱ متر است و در یک عمق تقریبی یک متر برای فاصله بیش از ۲.۵ کیلومتر در یک الگوی زیگ زاگی قرار می گیرد (کرت، ۲۰۲۴).



شکل ۱. آزمایشگاه طبیعی PoroTomo شبکه و آرایش کابل DAS در چشمه های آب گرم بردی، در کنار بزرگراه دوايت دی. آیزنهاور (اصلاح شده از مدیا).

طول گیج بر نسبت سیگنال به نویز با استفاده از حسگر ارتعاشی توزیع شده (DVS) پرداخته اند. و سپس طول گیج بهینه را برای یک چاه با استفاده از نسبت سیگنال به نویز و وضوح مکانی به دست آورده اند. آن ها به این نتیجه رسیدند که طول گیج بین ۲۰ تا ۶۰ متر طول گیج بهینه است. کیمورا (۲۰۲۰) در مقاله شان به پارامتر طول گیج پرداختند و با استفاده از داده های زمین لرزه ای ثبت شده با استفاده از فیبر نوری و حسگر ارتعاشی توزیع شده ناهم فاز hDVS از سال ۲۰۱۷ در ژاپن به بررسی پارامتر طول گیج پرداختند. افزایش طول گیج باعث بهبود نسبت سیگنال به نویزی می شود، اما به طور هم زمان موجب کاهش وضوح مکانی نیز خواهد شد.

تمام سیگنال های مشاهده شده از سیستم های اندازه گیری مختلف نیاز به تکنیک های پردازش سیگنال مانند وهمامیخت دارند. وهمامیخت و نر یک تکنیک پردازش سیگنال است که به طور گسترده ای برای بازیابی سیگنال استفاده می شود. اغلب، اگر چگالی طیفی توان سیگنال و نویز ناشناخته باشد، دقت سیگنال بازیابی شده به یک پارامتر فیلتر ناشناخته بستگی دارد (گاپتا و ردی، ۲۰۱۷). با گسترش فناوری حسگرهای صوتی توزیع شده، امکان ثبت داده های لرزه ای با وضوح بالا و پوشش مکانی گسترده فراهم شده است. یکی از پارامترهای کلیدی در ثبت داده های حسگر صوتی توزیع شده، طول گیج است؛ پارامتری که به طور مستقیم بر کیفیت، حساسیت، وضوح مکانی و محتوای فرکانسی داده های ثبت شده تأثیر می گذارد.

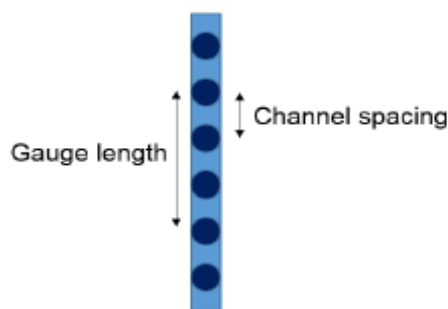
در این مطالعه، ابتدا سایت آزمایشی نوادا و آرایه حسگر صوتی توزیع شده در پروژه PoroTomo معرفی شده است. سپس به اهمیت و روش های تشخیص طول گیج بهینه پرداخته می شود. در ادامه، طول های مختلف گیج مورد بررسی قرار گرفته و برای تحلیل نسبت سیگنال به نویز و پردازش تصویر، از تبدیل فوریه و روش

۳ روش تشخیص طول گیج بهینه

در ابتدا باید در مورد پارامتر طول گیج توضیح داده شود که چیست و چرا این پارامتر برای این تحقیق اهمیت فراوانی دارد.

کرنش در طولی از فیبر نوری اندازه گیری می شود که می توان آن را مشابه با یک فیلتر میانگین گیری متحرک در نظر گرفت. طولی از فیبر که کرنش در آن حس می شود، طول گیج نامیده می شود (مطابق شکل ۲). بنابراین، طول گیج یک پارامتر کلیدی در مرحله ثبت یا پردازش داده ها است. (دین و همکاران، ۲۰۱۵)

در این مقاله، ابتدا تأثیر طول های گیج مختلف را بررسی کرده و سپس یک روش ساده برای تعیین طول بهینه طول گیج ارائه داده شده است، برای بررسی روش پردازشی که واهمامیخت و نر است و از روش تبدیل فوریه برای بررسی دقیق تر داده ها از نظر کیفی و کمی پرداخته شده است، این روش می تواند به طور مستقیم ساختار فرکانسی داده ها قبل و بعد از اعمال واهمامیخت و نر را مورد بررسی قرار دهد.



شکل ۲. تصویری از طول گیج و فاصله کانال (دین و همکاران، ۲۰۱۵).

با فرض اینکه داده های حسگر صوتی توزیع شده در معادله ۱ کرنش بسیار کوچک را در طول فیبر، که مربوط به انتشار یک موج صفحه ای است، اندازه گیری می کنند، معادله ۱ رابطه بین داده های حسگر صوتی توزیع شده و سرعت ذرات را نشان می دهد (مزونو و همکاران،

(۲۰۱۹).

(۱)

$$d(x, t) \approx \epsilon(x, t) = -\frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} A \exp i(kx - \omega t) = \frac{1}{c} v(x, t),$$

که در آن x مختصات در امتداد مسیر است، t زمان، A دامنه جابه جایی، k عدد موج، ω فرکانس زاویه ای، c سرعت فاز و v سرعت ذره ای است. معادله موج صفحه ای به شکل معادله زیر در نظر گرفته شده است (بونا و همکاران، ۲۰۱۷).

$$u = A \exp i(kx - \omega t) \quad (۲)$$

بنابراین، سرعت ذره ای را می توان مطابق با معادله ۲، بدون در نظر گرفتن طول گیج، برآورد کرد.

$$v(x, t) \approx cd(x, t) \quad (۳)$$

یک رابطه مهم در مشتقات زنجیره ای برای جابه جایی یک موج به صورت زیر ارائه شده است.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial t}{\partial x} \quad (۴)$$

در معادلات موج، گاهی رابطه ای بین x و t داریم که از مسیرهای مشخصه ناشی می شود. در این حالت، شیب این مسیرها به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{1}{c} = \frac{\partial t}{\partial x} \quad (۵)$$

که در آن c سرعت فاز موج است. که معمولاً در محاسبات مربوط به کرنش استفاده می شود. با مشتق گرفتن معادله ۲ به معادله ۱ رسیده است. با استفاده از فرمول مشتق مرکزی به این صورت می باشد:

$$f'(x) \approx \frac{f(x + h/2) - f(x - h/2)}{h}$$

که در اینجا $h = GL$ و $u(x, t) = f(x)$ است.

در مقاله بونا و همکاران (۲۰۱۷) بر خلاف حسگرهای نقطه ای سنتی، کرنش در حسگر صوتی توزیع شده با اندازه گیری تفاوت فاز بین دو نقطه که به اندازه ای به نام طول گیج از هم فاصله دارند، برآورد شده است. از سوی دیگر، با در نظر گرفتن طول گیج، می توان

جدول ۱. اطلاعات در طول گیج ۱۰ متر.

پارامتر	مقدار
فرکانس نمونه برداری	۱۰۰۰ هرتز
فاصله کانال	۱۰۲۱ متر
طول گیج	۱۰ متر
طول زمانی کانال	۳۰ ثانیه
تعداد کانال	۳۱۳۶
تعداد نمونه‌ها	۳۰۰۰۰

فرکانس ۱۰۰۰ هرتز و نرخ نمونه برداری در این کابل ثانیه ۰.۰۰۱ است که حدودا سرعت ۱۰۰۰ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد. در این داده‌ها از آرایه Poro Tomo، طول گیج حساسیت بر فرکانس بلند را نشان می‌دهد فرکانس نسبت معکوسی با طول موج دارد در این مقاله طول موج تقریباً ۱ متر می‌باشد.

حسگر صوتی توزیع شده توانایی بالایی در ثبت داده‌ها دارد و الگوی زیگزاگی آن حساسیت حسگر صوتی توزیع شده را بالاتر می‌برد. و بازتاب‌ها نشان می‌دهند که سیگنال‌ها همراه با نویزهای فراوان هستند. به خاطر همجواری بزرگراه، نویز ناهمدوس وجود دارد و با وجود موجهای حجمی و موجهای سطحی نویز همدوس را در نظر گرفته‌ایم به دلیل طرح زیگزاگی امکان وجود بازتاب‌های تکرار یا بازتاب‌های چند گانه وجود دارد.

۴ روش تحقیق

نویز محیطی به سیگنال‌های ناخواسته اشاره دارد که از منابع خارجی مانند ارتعاشات محلی، باد، ترافیک، یا حتی لرزش‌های دستگاه ثبت داده از حسگر صوتی توزیع شده ناشی می‌شوند. این نویزها با سیگنال اصلی زمین لرزه مانند موج P و S رقابت می‌کنند و کیفیت داده‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸). در این مقاله، نویز محیطی مورد بررسی قرار گرفته می‌شود، در کنار بزرگراه قرار گرفتن مزید بر همین علت است و حضور باد و نویزهایی که با انفجار شاتل فضایی در جو زمین

سیستم حسگر صوتی توزیع شده را به شکل زیر فرمول بندی کرد (بونا و همکاران، ۲۰۱۷):

$$(6)$$

$$d(x, t) = \frac{1}{GL} \left[u \left(x - \frac{GL}{2}, t \right) - u \left(x + \frac{GL}{2}, t \right) \right]$$

GL طول گیج می‌باشد. در منطقه چشمه‌های آب گرم بردی در نوادا، سه مقدار ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر انتخاب شده است تا تأثیر طول گیج‌ها را بر داده‌ها و تبدیل فوریه آنها، قبل و بعد از اعمال واهمامیخت و نر مورد بررسی قرار داده و نتیجه را نشان داده است.

۳-۱ انتخاب طول گیج مناسب

در مطالعات لرزه‌ای مبتنی بر حسگر صوتی توزیع شده، انتخاب طول گیج مناسب نقش اساسی در دقت برآورد پارامترهای لرزه‌ای ایفا کرده است. طول گیج به عنوان یک فیلتر مکانی بر داده‌های ثبت شده تأثیر گذاشته و می‌تواند منجر به تغییر در دامنه و فاز سیگنال‌های دریافتی شود. بنابراین، تعیین طول گیج بهینه برای حفظ دقت در برآورد پارامترهای لرزه‌ای، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مقاله، از معادله ۶ برای بررسی طول گیج استفاده شده است. طول گیج‌های استفاده شده در این مطالعه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر است. با بهره‌گیری از معادله (۶) و داده‌های به دست آمده از حسگرهای صوتی توزیع شده در شبکه Poro Tomo، شکل‌های ۳ تا ۱۰ ارائه شده‌اند.

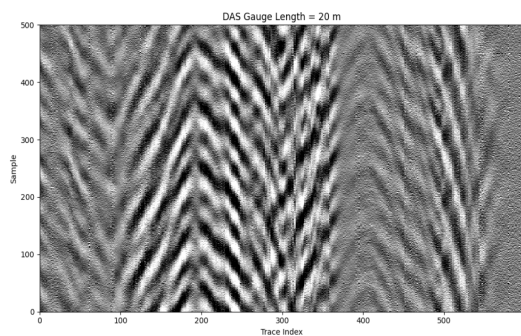
در این داده ۳۰۰۰۰ نمونه و ۳۱۳۶ تا کانال وجود دارد. که در مجموع ۹۴،۰۸۰،۰۰۰ اطلاعات داریم. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به طول گیج ۱۰ متر گذاشته شده است. فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز است و فاصله کانال ۱۰۲۱ متر، بازه زمانی که نور پس پراکنده در داخل کانال حرکت می‌کند ۳۰ ثانیه می‌باشد. در این مقاله کانال ۱۰۳۹ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

تریس‌های لرزه‌ای هستند فاصله‌ها برحسب متر هستند و محور قائم تعداد نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در شکل ۳ طول گیج‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر مورد بررسی قرار گرفته شده است. تعداد نمونه‌هایی که در این شکل ۵۰۰ نمونه است. در کانال ۱۰۳۹ تریس‌های مورد بررسی در طول‌های مختلف طول گیج ۳۰۰ - ۶۰۰ - ۹۰۰ تریس می‌باشد.

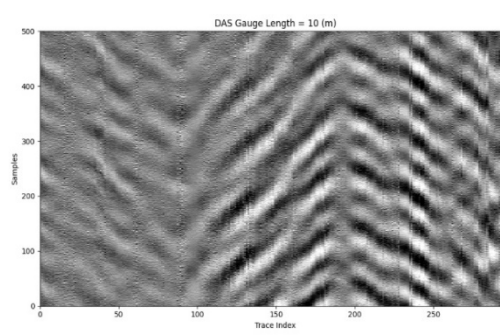
طول کابل ۸۷۰۰ متر است. انتخاب شماره کانال ۱۰۳۹ که در وسط این کابل است و برای ارزیابی نسبت سیگنال به نویز می‌باشد، مناسب است. انتخاب این تعداد تریس‌های لرزه‌ای برای پوشش دادن طول مکانی و برای جبران افت حساسیت به فرکانس‌های بالا می‌باشد. تعداد تریس‌های بیشتری که در این مقاله انتخاب شده است تا ارزیابی نسبت سیگنال به نویز با روش‌های در نظر گرفته شده در این مقاله و طول گیج ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر با استفاده از معادله ۶ مدل‌سازی و انجام شده است.

به وجود می‌آیند می‌توانند نویز محیطی باشند.

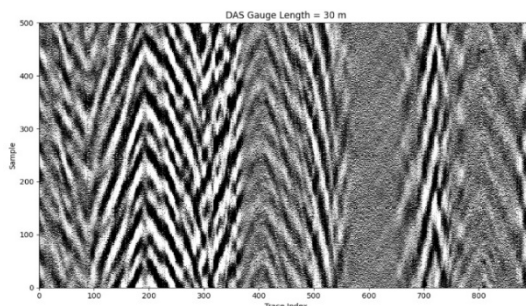
در این مقاله به بررسی طول‌های مختلف طول گیج پرداخته می‌شود، برای کاهش نویزهای حاصل از انفجار در حوزه زمان با استفاده از نسبت سیگنال به نویز به ارزیابی بازتاب‌های داده‌های آرایه Poro Tomo شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۷ و ۹ را به دست آورده شده است، با تبدیل فوریه گرفتن از این داده‌ها از آرایه Poro Tomo طیف فرکانسی را به دست آورده (شکل‌های ۴، ۶، ۸ و ۱۰)، سپس برای پردازش داده‌ها از واهمامیخت و نر استفاده شده است که در هر دو حوزه زمان و فرکانس شکل‌های ۳ و ۱۰ به دست آورده شده است. مقادیر نسبت سیگنال به نویز در جدول‌های ۲ و ۳ نوشته شده است و در قسمت نتایج توضیحات مرتبط با این شکل‌ها آورده شده است. در این تصاویر بازتاب‌هایی دیده می‌شوند که هم حضور نویزهای محیطی را نشان می‌دهند و هم سیگنال‌های لرزه‌ای حاصل از انفجار دیده می‌شوند. محور افقی مکان را نشان می‌دهند که در اینجا محل



(ب)

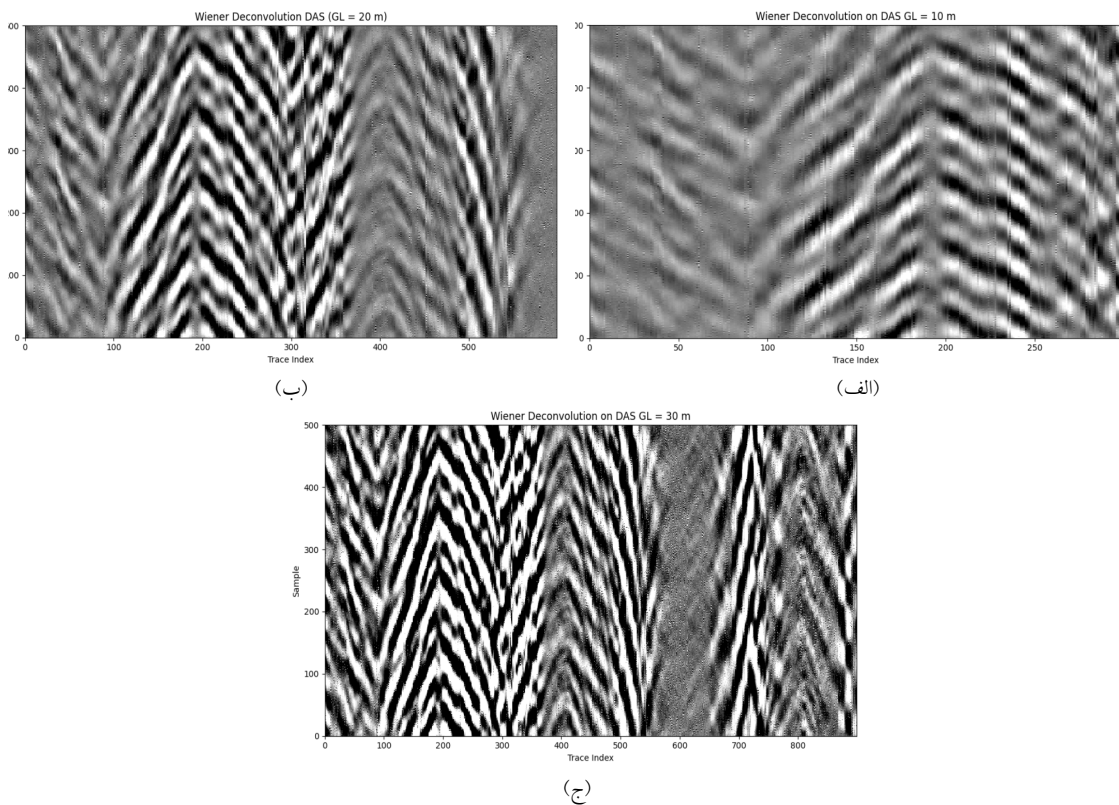


(الف)



(ج)

شکل ۳. داده در بعدی واقعی مربوط به انفجار در هشت دقیقه اول قبل از اعمال پردازش الف) طول گیج ۱۰ متر ب) طول گیج ۲۰ متر ج) طول گیج ۳۰ متر.

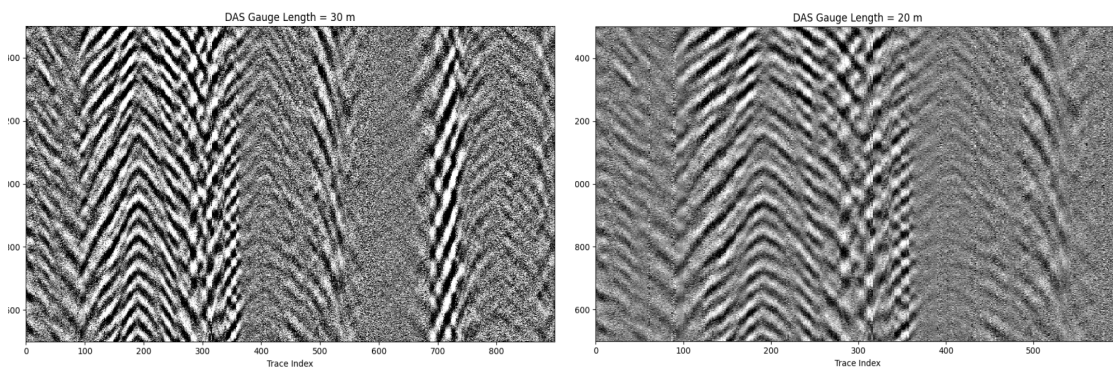


شکل ۴. اعمال واهمامیخت و نر در داده دو بعدی واقعی مربوط به انفجار در هشت دقیقه اول الف) طول گيج ۱۰ متر ب) طول گيج ۲۰ متر ج) طول گيج ۳۰ متر.

نتایج نوشته شده است. محور افقی تریس های لرزه ای در طول گيج های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر را نشان می‌دهد و محور عمودی تعداد نمونه‌ها را بیان می‌کند.

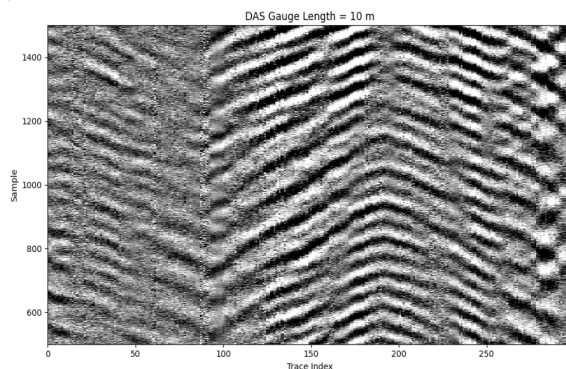
سپس با اعمال واهمامیخت و نر بررسی ارزیابی نسبت سیگنال به نویز در طول گيج های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر در حوزه زمان انجام شده است (شکل ۶). تمامی شرایط در تمام ارزیابی ها در طول گيج های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر یکسان در نظر گرفته شده است. محور ها در حوزه زمان یکسان می باشد محور افقی تریس های لرزه ای را در طول گيج ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر به ترتیب ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ می‌باشد. طیف فرکانسی تمامی بازتاب‌های حاصل از انفجار و نویز های محیطی در شکل های ۷ تا ۱۰ در بازه ۰ تا ۳۰ هرتز دیده می‌شود. محور عمودی فرکانس بر حسب هرتز می‌باشد که از ۰ تا ۷۰ برای همه شکل ها در نظر گرفته می‌شود. محور افقی نشان دهنده تریس ها

در حوزه زمان بازتاب‌ها در شکل ۴ برای پردازش واهمامیخت و نر انجام شده است و ارزیابی های نسبت سیگنال به نویز قبل و بعد از اعمال واهمامیخت در جدول ۲ و توضیحات در قسمت نتایج نوشته شده است. در این شکل طول گيج های ززم مورد استفاده قرار گرفته است فاصله یکسان طول گيج برای ارزیابی نسبت سیگنال به نویز برای انتخاب طول گيج بهینه مناسب می‌باشد. تمامی اطلاعاتی که در صفحه قبل نوشته شده است در این شکل ها یکسان است. محور افقی ردلرزه‌ای است و محور قائم تعداد نمونه ها را نشان می‌دهد. شکل ۵ تعداد نمونه را برای بررسی عمیق‌تر دوبرابر در نظر گرفته شده است یعنی ۱۰۰۰ نمونه می باشد. در شانزده دقیقه دوم طول گيج های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر مورد بررسی قرار گرفته و نسبت سیگنال به نویز را بدست آورده و در جدول ۳ مقدار آن نوشته شده است. توضیحات شکل ۵ در قسمت



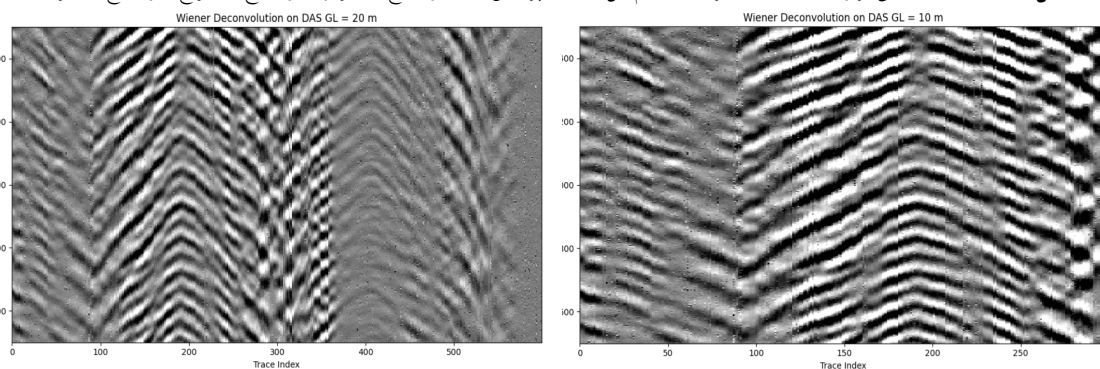
(ب)

(الف)



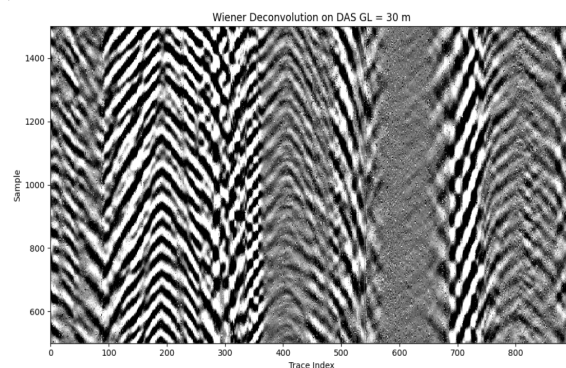
(ج)

شکل ۵. داده دو بعدی واقعی مربوط به انفجار در شانزده دقیقه دوم قبل از اعمال پردازش الف) طول گنج ۱۰ متر ب) طول گنج ۲۰ متر ج) طول گنج ۳۰ متر.



(ب)

(الف)



(ج)

شکل ۶. اعمال واهمامیخت و نر در داده دو بعدی واقع مربوط به انفجار در شانزده دقیقه دوم الف) طول گنج ۱۰ متر ب) طول گنج ۲۰ متر ج) طول گنج ۳۰ متر.

شده است. مقدار آن در جدول ۳ آورده شده و جزییات در قسمت نتایج نوشته شده است.

محور ها در در شکل ۹ همانند شکل ۷ است محور افقی نشان دهنده تریس های لرزه ای برای طول گیج های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر می باشد و محور عمودی فرکانس ها بر حسب هرتز را نمایش می دهد. بازه ای که برای این فرکانس ها در نظر گرفته شده از ۰-۷۰ هرتز می باشد.

از واهمامیخت و نر برای بهبود نسبت سیگنال به نویز و تبدیل فوریه برای بررسی فرکانسی بازتابها استفاده شده است. این داده‌ها ابتدا از معادله موج با توجه به طول گیج، مدل سازی در طول گیج‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر انجام شده است. و سپس در حوزه زمان و در حوزه فرکانس تمام این طول گیج‌ها بررسی شده‌اند و از روش واهمامیخت و نر برای بررسی بیشتر نسبت سیگنال به نویز استفاده شده است. و پارامترهای طول پنجره برای طول گیج های مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر به ترتیب ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ رد لرزه‌ای و محدوده فرکانس ها هم برای هر کدام از ۰ تا ۷۰ هرتز است و تمامی این اطلاعات با جزییات کامل در قسمت نتایج نوشته شده است.

این شکل‌ها نتایج تکنیک‌هایی که برای حذف نویز و ارزیابی نسبت سیگنال به نویز برای یافتن طول گیج بهینه با استفاده از روش واهمامیخت و نر و بررسی آنها در دو حوزه زمان و فرکانس که در این تحقیق انجام داده شده را نشان دادند. علاوه بر این باید تاکید شود که واهمامیخت و نر در بهینه کردن نسبت سیگنال به نویز موثر بوده است. تمام یافته‌ها و بررسی‌ها در قسمت نتایج و در جدول ۲ و ۳ نوشته شده است.

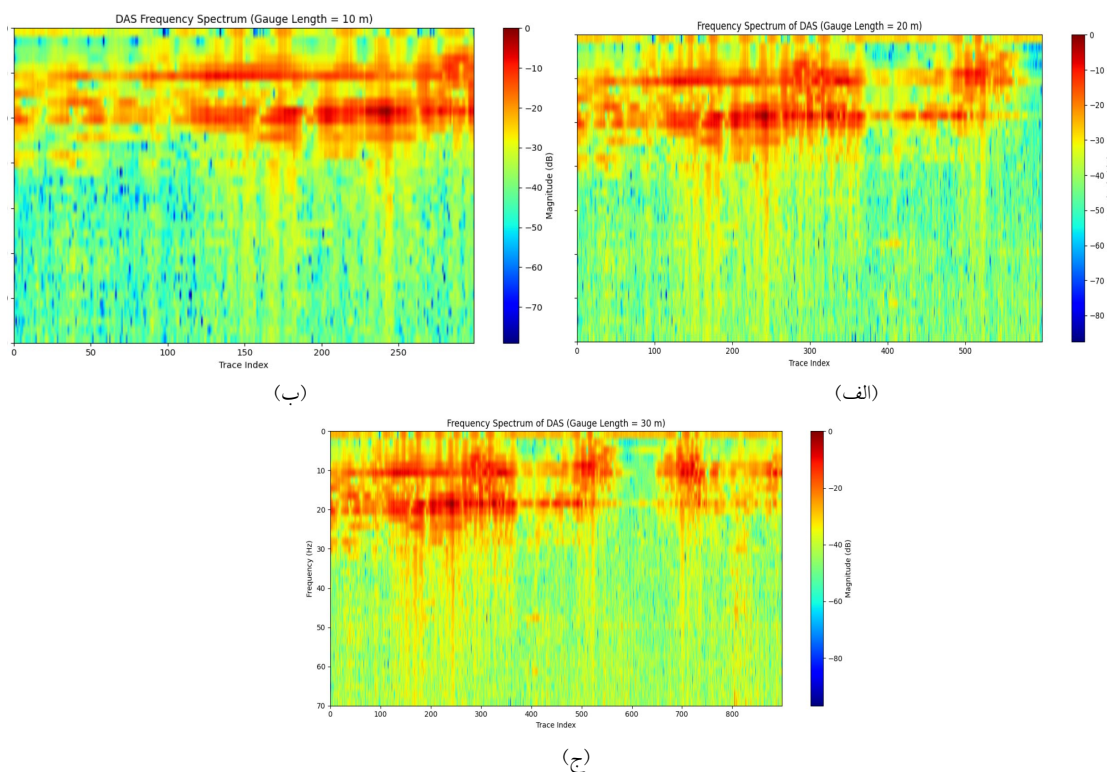
هست که برای طول گیج‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر به ترتیب ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ ردلرزه‌ای انتخاب می‌شود و تمامی شرایط برای ارزیابی نسبت سیگنال به نویز و اعمال واهمامیخت و نر برای همه شکل‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود.

تبدیل فوریه سریع برای این داده اعمال شده است. تعداد نمونه‌ها ۵۰۰ می باشد برای ارزیابی این داده‌ها در آرایه Poro Tomo، نسبت سیگنال به نویز انجام شده است. مقدار آن در جدول ۲ و جزییات در قسمت نتایج نوشته شده است.

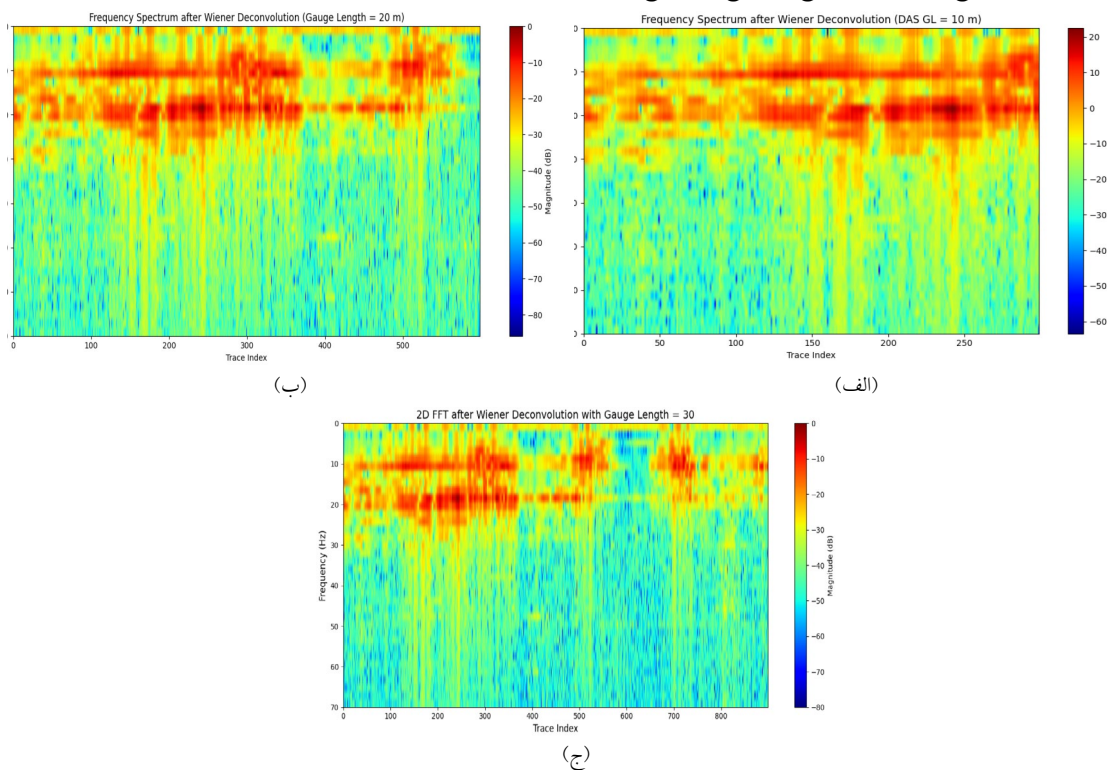
در شکل ۸ واهمامیخت و نر در ۵۰۰ نمونه انجام شده است. بعد از اینکه از این داده‌ها تبدیل فوریه سریع گرفته شده است واهمامیخت و نر اعمال شده است. در تمام طول گیج های ۱۰ تا ۳۰ متر این موارد انجام شده است و تعداد تریس‌ها همان‌طور که ذکر شد ۳۰۰ تا ۹۰۰ می‌باشد. محور افقی تریس هستند و محور عمودی فرکانس بر حسب هرتز می‌باشد و بازه آن ۰-۷۰ هرتز می‌باشد. اطلاعات نسبت سیگنال به نویز در هشت دقیقه اول در جدول ۲ و اطلاعات نسبت سیگنال به نویز در شانزده دقیقه دوم در جدول ۳ آورده شده است. تمام توضیحات مربوط به شکل‌ها در قسمت نتایج آورده شده است.

برای بررسی بیشتر طیف فرکانسی آنها بررسی می‌شود مانند شکل‌های ۳ و ۶ واهمامیخت و نر اعمال می‌شود و ارزیابی طول گیج‌های مختلف ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر در جدول ۲ و ۳ گذاشته شده است و در قسمت نتایج توضیحات این شکل‌ها آورده شده است.

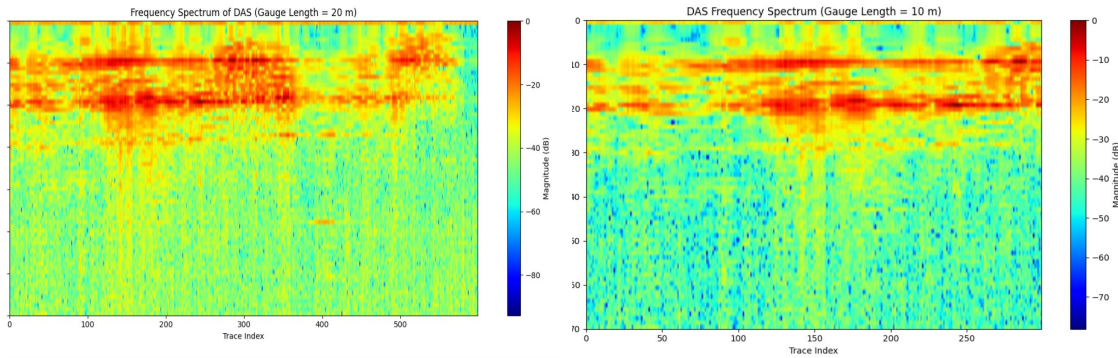
تبدیل فوریه سریع برای این داده‌ها در آرایه Poro Tomo اعمال شده است. تعداد نمونه‌ها در شکل ۹، ۱۰۰۰ می‌باشد، برای ارزیابی، نسبت سیگنال به نویز انجام



شکل ۷. داده دو بعدی واقعی مربوط به انفجار در هشت دقیقه اول قبل از اعمال پردازش با استفاده از تبدیل فوری طیف فرکانسی دامنه ها را نمایش داده است. الف) طول گیج ۱۰ متر (ب) طول گیج ۲۰ متر (ج) طول گیج ۳۰ متر.

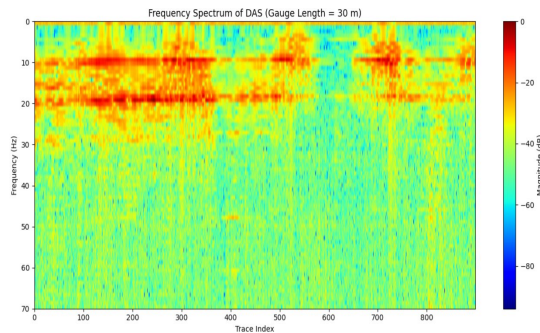


شکل ۸. اعمال واهمامیخت و نر در داده دو بعدی واقعی مربوط به انفجار در هشت دقیقه اول با استفاده از تبدیل فوری طیف فرکانسی دامنه ها را نمایش داده است. الف) طول گیج ۱۰ متر. ب) طول گیج ۲۰ متر (ج) طول گیج ۳۰ متر.



(ب)

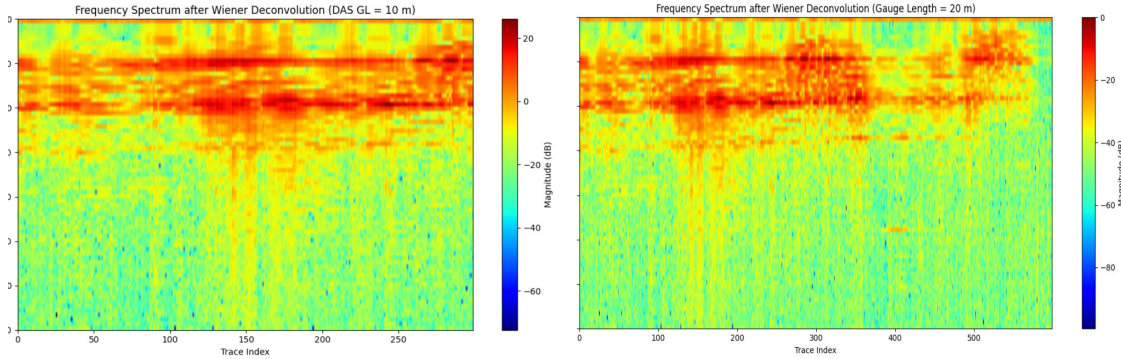
(الف)



(ج)

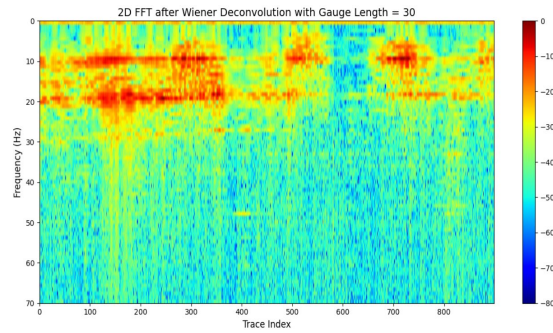
شکل ۹. داده دو بعدی واقعی مربوط به انفجار در شانزده دقیقه دوم قبل از پردازش با استفاده از تبدیل فوریه طیف فرکانسی دامنه‌ها را نمایش داده است.

(الف) طول گیج ۱۰ متر. (ب) طول گیج ۲۰ متر (ج) طول گیج ۳۰ متر.



(ب)

(الف)



شکل ۱۰. اعمال واهمامیخت و نر در داده دو بعدی واقعی مربوط به انفجار در شانزده دقیقه دوم با استفاده از تبدیل فوریه طیف فرکانسی دامنه‌ها را نمایش

داده است. (الف) طول گیج ۱۰ متر. (ب) طول گیج ۲۰ متر (ج) طول گیج ۳۰ متر.

۶ نتایج و بحث

برخی از نواحی دارای تغییرات با فرکانس بالاتر هستند، در حالی که در برخی دیگر تغییرات نسبتاً یکنواخت تر به نظر می‌رسند. در شکل ۳ می‌توان الگوهای موجی یا تغییراتی را مشاهده کرد که نشان‌دهنده رفتار سیگنال‌ها در طول کانال ۱۰۳۹ و ۳۰۰ پنجره زمانی در امتداد آن است. بازتاب‌ها برای هشت دقیقه اول در طول گنج ۱۰ متر در حوزه زمان در شکل ۳ الف دیده شده است و نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۴۷ دسی بل محاسبه شده است در حوزه فرکانس سیگنال‌ها در ۰ تا ۳۰ هرتز ایجاد شده است و نسبت سیگنال به نویز آن ۲.۷۶ دسی بل محاسبه شده است. بعد از اعمال واهمامیخت و نر در حوزه زمان نسبت سیگنال به نویز ۰.۷۲ دسی بل محاسبه گردیده است و بعد از تبدیل فوریه و اعمال واهمامیخت و نر در همان فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز سیگنال ایجاد شده است و نسبت سیگنال به نویز در آن ۱۱.۳۷ دسی بل دیده شده است. در طول گنج ۲۰ متر بازتاب‌ها در هشت دقیقه اول که در شکل ۳ ب دیده شده است نشان‌دهنده رفتار سیگنال‌ها در طول کانال‌های ۱۰۳۹ و ۶۰۰ پنجره زمانی در امتداد آن است. نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۵۸ دسی بل است. در حوزه فرکانس سیگنال‌ها در فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز دیده شده است نسبت سیگنال به نویز آن ۳.۱۷ دسی بل محاسبه شده است. در حوزه زمان بعد از اعمال واهمامیخت و نر نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۹۱ دسی بل محاسبه گردیده است و در حوزه فرکانس بعد از اعمال واهمامیخت و نر در فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز دیده شده است و نسبت سیگنال به نویز آن ۹.۰۸ دسی بل محاسبه شده است. در طول گنج ۳۰ متر در هشت دقیقه اول در حوزه زمان بازتاب‌ها در شکل ۳ ج دیده شده است و نشان‌دهنده رفتار سیگنال‌ها در طول کانال‌های ۱۰۳۹ و ۹۰۰ پنجره زمانی در امتداد آن است. نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۴۱ محاسبه گردیده است.

جدول ۲. نسبت سیگنال به نویز (دسی بل) در طول گنج‌های مختلف در هشت دقیقه اول.

طول گنج	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر
نسبت سیگنال به نویز حوزه زمان	۰.۴۷	۰.۵۸	۰.۴۱
نسبت سیگنال به نویز در حوزه زمان بعد از پردازش	۰.۷۲	۰.۹۱	۰.۷۷
نسبت سیگنال به نویز حوزه فرکانس	۲.۷۶	۳.۱۷	۲.۸۶
نسبت سیگنال به نویز حوزه فرکانس بعد از پردازش	۱۱.۳۷	۹.۰۸	۷.۱۳

بعد از تبدیل فوریه در حوزه فرکانس، سیگنال‌ها در فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز دیده شده است و نسبت سیگنال به نویز آن ۲.۸۶ دسی بل محاسبه گردیده است. بعد از اعمال واهمامیخت و نر در حوزه زمان نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۷۷ دسی بل محاسبه شده است. بعد از اعمال واهمامیخت و نر در حوزه فرکانس در فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز نسبت سیگنال به نویز ۷.۱۳ دسی بل محاسبه گردیده است. طول گنج‌های ۱۰ تا ۳۰ متر در حوزه زمان در هشت دقیقه اول در شکل‌های ۳ دیده شده است و در حوزه فرکانس در هشت دقیقه اول شکل‌های ۷ ررسی انجام شده است. تبدیل فوریه خاصیت "میانگین‌گیری" روی انرژی فرکانسها دارد؛ لذا اگر یک واقعه، صرفاً برای مدت کوتاهی رخ دهد، اثر آن در حوزه فرکانس متوسط میشود، به خصوص وقتی آن واقعه شامل فرکانسهای پایین نباشد یا انرژی قابل توجهی در فرکانس‌های پایین تولید نکند. اگر رخداد‌های حوزه زمان، فرکانس غالب و انرژی قابل توجهی نداشته باشند، در حوزه فرکانس تبدیل شده اثر چندانی نمی‌گذارند. به بیان ساده، دامنه تغییرات در حوزه زمان نمیتواند همیشه به تغییرات قابل توجهی در حوزه فرکانس منجر شود، به خصوص در بخشهایی که سیگنال انرژی پایین و پراکندگی زیاد دارد.

ونر سیگنال‌ها در فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز دیده شده و نسبت سیگنال به نویز آن ۶.۴۸ دسی بل محاسبه شده است. طول گیج‌های ۱۰ تا ۳۰ متر قبل از اعمال واهمامیخت ونر در حوزه زمان در کانال یا رد لرزه‌های ۱۰۳۹ بررسی شده است. نسبت سیگنال به نویز هم به ترتیب برای هشت دقیقه اول و شانزده دقیقه دوم در جدول ۲ و ۳ نوشته شده است. واهمامیخت ونر را بر روی کانالهای موردنظر و تبدیل فوریه برای به دست آوردن طیف فرکانسی در طول گیج‌های موردنظر اعمال شده است.

جدول ۳. نسبت سیگنال به نویز (دسی بل) در طول گیج‌های مختلف در ۱۶ دقیقه دوم.

طول گیج	۱۰ متر	۲۰ متر	۳۰ متر
نسبت سیگنال به نویز حوزه زمان	۰.۸۱	۱.۲۴	۰.۸۳
نسبت سیگنال به نویز در حوزه زمان بعد از پردازش	۱.۰۳	۲.۱۲	۱.۵۴
نسبت سیگنال به نویز حوزه فرکانس	-۰.۱۷	-۴.۷۱	-۰.۲۴
نسبت سیگنال به نویز حوزه فرکانس بعد از پردازش	۱۱.۳۴	۸.۱۰	۶.۴۸

در رابطه با تفسیر این شکل‌ها در طول گیج‌های مختلف با استفاده از تبدیل فوریه و بعد از اعمال واهمامیخت ونر تغییراتی دیده می‌شود که هر چه قدر طول گیج بزرگتر گرفته شود، نشان دهنده این است که در طول گیج‌های بزرگتر فاصله نمونه‌ها زیاد می‌شود و وقتی فاصله‌ها زیاد شود کاهش تفکیک مکانی وجود دارد نسبت سیگنال به نویز در حوزه فرکانس در بازه‌های زمانی هشت دقیقه اول و شانزده دقیقه دوم متغیر دیده شده است.

در مقاله وانگ و همکاران، ۲۰۱۸ دیده شد که طول

اما در شانزده دقیقه دوم بازتاب‌ها در طول گیج ۱۰ متر در کانال مرکزی ۱۰۳۹ و ۳۰۰ رد لرزه بعد از آن بررسی شده است همانطور که در شکل ۵ الف دیده شده است. و نسبت سیگنال به نویز ۰.۸۱ دسی بل محاسبه شده است. بعد از تبدیل فوریه گرفتن در حوزه فرکانس در محدوده ۰ تا ۳۰ سیگنال دیده شده است که نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۱۷- دسی بل محاسبه گردیده است. بعد از اعمال واهمامیخت ونر در حوزه زمان نسبت سیگنال به نویز ۱.۰۳ دسی بل محاسبه شده است. که بعد از تبدیل فوریه و اعمال واهمامیخت ونر در حوزه فرکانس سیگنال‌ها در همان فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز ایجاد شده که نسبت سیگنال به نویز در آن ۱۱.۳۴ دسی بل محاسبه گردیده است. در طول گیج ۲۰ متر بازتاب‌ها در حوزه زمان در شکل ۵ ب دیده شده است و در کانال مرکزی ۱۰۳۹ و ۶۰۰ رد لرزه بعد از آن بررسی شده است نسبت سیگنال به نویز آن ۱.۲۴ دسی بل محاسبه شده است. در حوزه فرکانس سیگنال‌ها در فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز دیده شده است و نسبت سیگنال به نویز آن ۴.۷۱- دسی بل محاسبه گردیده است. بعد از اعمال واهمامیخت ونر در حوزه زمان نسبت سیگنال به نویز آن ۲.۱۲ دسی بل محاسبه شده است. در حوزه فرکانس بعد از اعمال واهمامیخت ونر و در همان فرکانس ۰ تا ۳۰ هرتز سیگنال‌ها مشاهده شده است. نسبت سیگنال به نویز ۸.۱۰ دسی بل محاسبه شده است. در طول گیج ۳۰ متر در حوزه زمان بازتاب‌ها در شکل ۵ ج دیده شده است و در کانال مرکزی ۱۰۳۹ و ۹۰۰ رد لرزه بعد از آن بررسی شده است نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۸۳ دسی بل محاسبه شده است. در حوزه فرکانس سیگنال‌ها در فرکانس ۰ تا ۴۰ هرتز در شکل ۷ ج دیده شده است و نسبت سیگنال به نویز آن ۰.۲۴- دسی بل محاسبه گردیده است. بعد از اعمال واهمامیخت ونر در حوزه زمان، نسبت سیگنال به نویز ۱.۵۴ دسی بل محاسبه شده است. در حوزه فرکانس بعد از اعمال واهمامیخت

به نویز افزایش داشته است. که اگر نسبت سیگنال به نویز مثبت و بزرگ باشد، به این معنی است که سیگنال اصلی قوی تر از نویز است. و اگر نسبت سیگنال به نویز منفی باشد به این معنی است که نویز قوی تر از سیگنال اصلی است. در بررسی هایی که انجام شده است نسبت سیگنال به نویز داده های حاصل از حسگر صوتی توزیع شده در طول گيج های ۱۰ تا ۳۰ متر در حوزه زمان در بازه زمانی اول قبل از اعمال واهمامیخت و نر، نسبت سیگنال به نویز اول افزایش و سپس کاهش داشته و در بازه زمانی دوم طول گيج های ۱۰ تا ۳۰ متر هم به همین شکل بوده است که بعد از اعمال واهمامیخت و نر در حوزه زمان به ترتیب در هشت دقیقه اول افزایش و سپس کاهش و در شانزده دقیقه دوم به شکل قبل دیده شده است. بعد از اعمال تبدیل فوریه نسبت سیگنال به نویز در طول گيج های مد نظر مقادیر متغیر دیده شده که در بازه اول، روند افزایشی و سپس کاهشی را نشان داده است و در بازه دوم هم نسبت سیگنال به نویز روند کاهشی و سپس افزایشی داشته است. بعد از اعمال واهمامیخت و نر در حوزه فرکانسی در هشت دقیقه اول روند به صورت کاهشی بوده است و در شانزده دقیقه دوم هم کاهشی شده است. در رابطه با تصاویر ۷-۸ در حوزه فرکانس در بازه ۰ تا ۳۰ هرتز سیگنال های قوی تر و با انرژی بیشتر هستند، اما در حوزه زمان در تصاویر ۳-۴ بازتاب های قوی دیده می شود چون طول گيج ها مانند فیلتر پایین گذر عمل می کنند و محتوای فرکانس های بالا کمتر ثبت شده است.

۷ نتیجه گیری

از آرایه ای افقی حسگر صوتی توزیع شده در چشمه ی آب گرم بردی استفاده شده و سه طول گيج متفاوت را بررسی و تبدیل فوریه آن ها را برای طیف فرکانسی انجام شده است. همچنین با اعمال واهمامیخت و نر، مقایسه ای انجام داده و به نتایجی دست یافته است. هر چند که روش

گيج ده متری در سیستم حسگر صوتی توزیع شده نسبت سیگنال به نویز مناسبی ایجاد می کند.

با این حال، هرچه طول گيج بلندتر بشود، دقت محلی سازی کمتر می شود. در این تحقیق، سعی شد تا با تغییر اندازه طول گيج و ارزیابی کردن نسبت سیگنال به نویز، اندازه ی مناسب طول گيج، با اطلاعات واقعی منطقه PoroTomo پیدا بشود.

نتایج این پژوهش با یافته های اولچر و اونجو (۲۰۱۷) هم راستا است، جایی که فیلتر تطبیقی مبتنی بر واهمامیخت و نر به بهبود قابل توجه نسبت سیگنال به نویز در داده های واقعی حسگر صوتی توزیع شده منجر شده است. به طور مشابه، اعمال واهمامیخت و نر در حوزه زمان در این مطالعه، برای کاهش نویز و کیفیت بهتر تصویر بیشترین تأثیر را در طول گيج های ۱۰ تا ۳۰ متر در هشت دقیقه اول و شانزده دقیقه دوم در حوزه زمان و مکان دیده شده است. همان طور که در جدول شماره ۲ و ۳ دیده شده است. فاصله ی بین تریس ها ثابت گرفته شده است، وقتی طول گيج تغییر داده شود، تعداد ردلرزه هایی که در هر طول گيج قرار داده شده، تغییر داده شده است. طول گيج در حسگر صوتی توزیع شده مثل یک پنجره میانگین گیری مکانی است، اگر فاصله بین نقاط نمونه برداری ثابت باشد، وقتی طول گيج را بزرگ تر می کنی، این پنجره روی تعداد بیشتری از ردلرزه ها کشیده می شود برعکس، اگر طول گيج را کوچک تر کنی، تعداد ردلرزه های شامل شده کمتر می شود.

چون هر طول گيج تعداد متفاوتی از ردلرزه ها را شامل می شود، مقایسه مستقیم دامنه ها یا نسبت سیگنال به نویز بین طول گيج های مختلف نیاز به نرمال سازی دارد. که در هر دو مورد هشت دقیقه اول و شانزده دقیقه دوم این مورد را در نظر گرفته شده است.

در شانزده دقیقه دوم در حوزه زمان در طول گيج های ۱۰ تا ۲۰ متر بدون اعمال واهمامیخت و نر نسبت سیگنال

آرایه PoroTomo، که تحت عنوان 'سنجش صوتی توزیع شده افقی (DAS) در طول انفجار M 2.3 [مجموعه داده‌ها]' منتشر شده و از لینک <https://dx.doi.org/10.15121/2318905> قابل دسترسی است، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

مراجع

- Bona, A., Pevzner, R., Dean, T., 2017. Amplitude and Phase Response of DAS Receivers, 79th EAGE Conference & Exhibition 2017.
- Chen, X., 2023. Source parameter analysis using distributed acoustic sensing – an example with the PoroTomo array, *Geophys. J. Int.* 233, 2208– 2214.
- Correa, J., Egorov, A., Ertysnikov, K., Bona, A., Pevzner, R., Dean, T., Freifeld, B., Marshall, S., 2017. Analysis of signal to noise and directivity characteristics of DAS VSP at near and far offsets — A CO2CRC Otway Project data example.
- Culshaw, B., Kersey, A. 2008. "Fiber-Optic Sensing: A Historical Perspective," *JLT*, Vol 26, No. 9, May 2008, 1064–1078.
- Daley, T, M., Freifeld, B, M., Ajo-Franklin J, Dou S, Pevzner R, Shulakova V et al (2013) Field testing of fiberoptic distributed acoustic sensing (DAS) for subsurface seismic monitoring. *Leading Edge* 32(6):699–706. <https://doi.org/10.1190/tle32.06069.9.1>.
- Dean, T., Cuny, T., Hartog, H, A., 2016. The effect of gauge length on axially incident P-waves measured using fibre optic distributed vibration sensing, *Geophysical Prospecting*, 1–10.
- Dean, T., Cuny, T., Hartog, H, A., 2015. Determination of the Optimum Gauge Length for Borehole Seismic Surveys Acquired Using Distributed Vibration Sensing, Conference Paper, June 2015, DOI: 10.3997/2214-4609.201412740.
- Farhadiroushan, M, Parker, T, Shatalin, S., 2016. Method and apparatus for optical sensing. WO Patent App. PCT/GB2016/050625.
- Fenta, C, M., Potter, K, D., Szanyi, J., 2021. *Fibre Optic Methods of Prospecting: A Comprehensive*

تبدیل فوریه برای بررسی واهمامیخت ونر در حوزه فرکانس انجام شده است، و نتایج عالی داشته است. در تمام بررسی ها در طول گیج های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر مقادیر نسبت سیگنال به نویز متغیر دیده شده است، اما به طور کلی بعد از اعمال واهمامیخت ونر در حوزه های زمانی و فرکانسی طول گیج ۱۰ - ۲۰ متر نتیجه بهتری را نشان داده است، تفسیری که بر روی این داده از آرایه PoroTomo وجود دارد این است که در این مرحله، اطلاعات قبل و بعد از پردازش باید در تصاویر حاصله نشان داده شود. نتایج به دست آمده اهمیت تنظیم طول گیج بر اساس نیازهای کاربردی را نشان می‌دهد. بعد از اعمال واهمامیخت ونر با بررسی طول گیج های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر در هر دو حوزه زمانی و فرکانسی به نتایج جالبی رسیده شده است. طول گیج ۱۰ متر، در هشت دقیقه اول بعد از اعمال واهمامیخت ونر و تبدیل فوریه، نسبت سیگنال به نویز بالاتری را نشان داده است و بعد از اعمال واهمامیخت ونر در طول گیج ۲۰ متر در حوزه زمان در هشت دقیقه اول با افزایش نسبت سیگنال به نویز ۰.۹۱ دسی بل مواجه شده است. و در طول گیج ۲۰ متر در شانزده دقیقه دوم بعد از اعمال واهمامیخت ونر و تبدیل فوریه، نسبت سیگنال به نویز ۸.۱۰ دسی بل شده است. با مقایسه این موارد، بهترین طول گیج نسبت سیگنال به نویز ۲۰-۱۰ متر است. طول گیج یک پارامتر کلیدی برای به دست آوردن نسبت سیگنال به نویز از داده های حسگر صوتی توزیع شده است. در کارهای آتی می توان از آرایه های مایل یا عمودی برای پردازش تصاویر زیر سطح زمین حاصل از داده های حسگر صوتی توزیع شده استفاده کرد تا نسبت سیگنال به نویز را بررسی کنند.

قدردانی

از مرکز برنامه‌های پایش محیطی تحول‌آفرین (CTEMPs) به خاطر ارائه داده‌های ارزشمند

- and Modern Branch of Geophysics, Surveys in Geophysics (2021) 42:551–584.
- Fernandez-Ruiz, M, R., Soto, M, A., Williams, E, F., Martin-Lopez, S., Zhan, Z., Gonzalez-Herraez M., Martins H, F.,(2020). Distributed acoustic sensing for seismic activity monitoring. *APL Photon* 5(030901):1–16. <https://doi.org/10.1063/1.5139602>.
- Gupta, A., Reddy, C, C., 2017. Analytical Insights Into Parameter Estimation for Wiener Deconvolution, [10.1109/TIM.2017.2709551](https://doi.org/10.1109/TIM.2017.2709551) Volume: 66 .
- Kimbell, J, F., (2013). History and Analysis of Distributed Acoustic Sensing (DAS) for Oilfield Applications, Thesis Master of Science, Under the guidance of Hill, A, D., Zhu, D., Sun, Y., Hill, D,A., Texas A&M University.
- Kimura, T., 2020, Importance of using optimum gauge length for DAS measurement to observe geophysical events, JpGU-AGU Joint Meeting 2020
- Kissinger, C, D., 1967. Fiber Optic Proximity Probe, Fied Sept. 9, 1963, Ser. No. 307,6765 Clains.
- Kratt, C., 2024. <https://gdr.openei.org/submissions/1517>.
- Mizuno, T., Leaney, S., Calvez, L, J., Naseer, F., Khaitan, L, M., Schlumberger., 2019. The significance of gauge length in particle velocity estimation from DAS data: VSP and microseismic cases, SEG International Exposition and 89th Annual Meeting, 10.1190/segam2019-3215250.1.
- Ning, I., Sava, P., (2018). Multicomponent distributed acoustic sensing: concept and theory. *Geophysics*,83(2):1–8.<https://doi.org/10.1190/geo2017-0327.1>.
- Ölçer, I., Öncü, A., 2017. Adaptive Temporal Matched Filtering for Noise Suppression in Fiber Optic Distributed Acoustic Sensing, *Sensors* 2017, 17, 1288; doi:10.3390/s17061288.
- Shang, Y., Sun, M., Wang, C., Yang, J., Du, Y., Yi, J., Zhao, W., Wang, Y., Zhao, Y., Ni, J., 2022. Research Progress in Distributed Acoustic Sensing Techniques, *Techniques. Sensors* 2022, 22, 6060. <https://doi.org/10.3390/s22166060>.
- Wang, H, F., Zeng, X., Miller, D, E., Fratta, D., Feigl, K, L., Thurber, C, H., Mellors, R, J., 2018. Ground motion response to an *M*L 4.3 earthquake using co-located distributed acoustic sensing and seismometer arrays, *Geophys. J. Int.* (2018) 213, 2020–2036.

Investigating the Impact of Gauge Length on Distributed Acoustic Sensing (DAS) Data and the Processing: A Case Study in the Nevada Region Using the PoroTomo Array Data

Mona Ali Akbar Khan Afjeh¹, Hosein Hashemi^{2*} and Mohamad Reza Hatami³

¹ Ph.D. Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

² Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 19 August 2025, Accepted: 26 November 2025)

Summary

In distributed acoustic sensing (DAS) systems, the gauge length parameter plays a crucial role in determining the accuracy and efficiency of recorded data. Gauge length refers to the segment of the optical fiber used for sampling and has a direct impact on the spatial resolution and sensitivity of the recorded signals. Selecting an appropriate gauge length is essential for optimizing the performance of DAS-based seismic monitoring systems. This study investigates the effects of different gauge lengths on the quality of DAS data and the performance of signal processing algorithms. By analyzing data collected from the Brady Hot Springs in Nevada, USA, and comparing the results obtained for various gauge lengths, we aim to explore the challenges and opportunities associated with optimizing this parameter. The findings provide insights into how different gauge lengths influence data clarity, spatial resolution, and overall system performance.

Our analysis includes gauge lengths of 10, 20 and 30 meter, examined in both the time domain and the frequency domain using Fourier transform. Each of these lengths has distinct implications for the recorded signals. A shorter gauge length typically offers higher spatial resolution but may introduce higher noise levels. In contrast, longer gauge lengths may enhance signal stability but at the cost of reduced spatial resolution. Finding the optimal balance between these trade-offs is key to improving DAS data quality and maximizing its usability in seismic studies. To further refine the recorded data, we apply Wiener deconvolution to the signals corresponding to the selected gauge lengths. This technique helps to mitigate distortions and improve signal clarity, making it easier to extract meaningful seismic information. The effectiveness of this deconvolution process is assessed by evaluating the signal-to-noise ratio (SNR) for each gauge length. The implementation of data processing is carried out using Python-based algorithms, which enable efficient handling and analysis of large datasets. The results obtained through these computational techniques are discussed in detail in the results section, where we compare the impact of different gauge lengths on seismic data interpretation. The ultimate goal is to determine the optimal gauge length that maximizes SNR while preserving spatial accuracy. Our findings indicate that selecting an appropriate gauge length significantly enhances the quality of DAS data and improves the accuracy of seismic event detection. While shorter gauge lengths provide finer spatial resolution; they may require additional noise filtering techniques to ensure reliable data interpretation. On the other hand, longer gauge lengths can improve the overall signal strength but may compromise detailed spatial resolution. The results of this study provide valuable guidelines for designing and implementing high-performance DAS systems tailored to specific seismic monitoring applications. By systematically analyzing the impact of gauge length and employing advanced data processing techniques, this study contributes to the optimization of DAS-based seismic monitoring. The insights gained from this research can assist in refining DAS system configurations to achieve enhanced accuracy and reliability in seismic data acquisition.

Keywords: Brady's hot springs, Distributed Acoustic Sensing, Gauge Length