

مقایسه برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک و فیلتر فرکانس-عددموج در تضعیف نوفه زمین غلت

سید علی فعال رستگار*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر • عبدالرحیم جواهریان، دانشگاه صنعتی امیرکبیر • ناصر کشاورز فرج خواه، پژوهشگاه صنعت نفت • مهرداد سلیمانی منفرد، دانشگاه صنعتی شاهرود • عباس زارعی، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۳/۱۲

تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۴/۲۶

تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۷/۱۴

واژگان کلیدی:

امواج زمین غلت، دگرنامی، سطح بازتاب مشترک، فیلتر فرکانس-عددموج، تضعیف

امواج زمین غلت به عنوان نوعی از نوفه همدوس بازتابها را در داده‌های لرزه‌ای بازتابی می‌پوشانند. بنابراین باید این امواج را در مراحل پردازش تضعیف کرد. در این مقاله، روش برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک برای تضعیف نوفه‌های زمین غلت بهینه‌سازی شد. عملکرد برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک، به شکل یک هذلولی و بر هر پدیده با زمان سیر هذلولی مانند بازتابها در داده‌های پیش از برانبارش منطبق است. زمانی که این عملگر روی داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش اعمال شود، می‌توان به وسیله تحلیل همدوسی بازتابها را از پدیده‌های دیگر مانند امواج زمین غلت تشخیص داد. زمانی که پدیده‌ها از یکدیگر تفکیک شد، می‌توان هر پدیده‌ای با زمان سیر غیرهذلولی مانند امواج زمین غلت را تضعیف کرد. در این مطالعه روش پیشنهادی روی داده واقعی اعمال و با روش فیلتر فرکانس-عدد موج مقایسه شد. نتایج نشان داد که برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک، علاوه بر تضعیف نوفه زمین غلت، سیگنال بازتابها را نیز تقویت می‌کند. همچنین این روش امواج زمین غلتهای که دچار دگرنامی مکانی شده‌اند و توسط فیلتر فرکانس-عدد موج قابل تضعیف نیستند، را نیز به خوبی تضعیف می‌کند.

مقدمه

بازتابی می‌پوشانند [۴]. امواج زمین غلت در برداشت‌های برداشت چشمه مشترک به صورت بادبزنی^۵ در اطراف چشمه منتشر می‌شوند. چون این امواج در میدان برداشت داده‌ها به صورت افقی حرکت می‌کنند، می‌توان با آرایش صحیح گیرنده‌ها ضبط و برداشت آنها را به حداقل رساند [۵]. اما باقیمانده امواج زمین غلت که ضبط می‌شوند، باید تضعیف شوند. روش‌های رایج تضعیف امواج زمین غلت شامل انواع فیلترهای بالاگذر^۶ و فرکانس-عدد موج^۷ است. هر کدام از این روش‌ها، معایب خود را دارند. فیلترهای بالاگذر فرکانس‌های پایین سیگنال و نوفه را با هم کاهش می‌دهند. فیلتر فرکانس-عددموج سریع و ارزان است، اما باعث انحراف موجک و به وجود آمدن پدیده‌های کرمی شکل می‌شود [۶]. بنابراین تضعیف امواج زمین غلت همچنان مسئله‌ای مهم پیش‌روی محققین است. در ادامه تئوری برانبارش CO CRS و روش پیشنهادی تشریح و کارایی آن روی داده‌های واقعی نشان داده می‌شود. همچنین روش مفروض با فیلتر فرکانس-عددموج مقایسه می‌شود.

۱- برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک

رابطه زمان سیر هذلولی برای برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک به صورت زیر است [۱]:

برانبارش سطح بازتاب مشترک، توسط ژانگ و همکاران برای دورافت‌های مشترک تعمیم داده شد [۱]. برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک^۱، روشی برای تبدیل داده‌های پیش از برانبارش چند پوششی به مدل دوبعدی در مقطع دورافت مشترک خاصی است. در واقع رابطه زمان سیر برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک کلی رابطه‌ی برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت صفر^۲ است. برای استفاده از رابطه زمان سیر برانبارش، سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک باید پنج ضریب شامل دو زاویه و سه انحنای جبهه موج تحت عنوان ضرایب برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک مشخص شوند. تاکنون از برانبارش سطح بازتاب مشترک، دورافت مشترک برای تعیین ضرایب گسترش هندسی، جداسازی تفرق‌ها از بازتابها [۱]، تصویرسازی از ساختارهای پیچیده مانند ساختارهای زیر گنبد نمکی [۲]، کنترل کیفی و تصحیح مدل سرعتی در مناطقی با داده‌های پراکنده و پوشش عمقی کم [۳] و بسیاری موارد دیگر استفاده شده است.

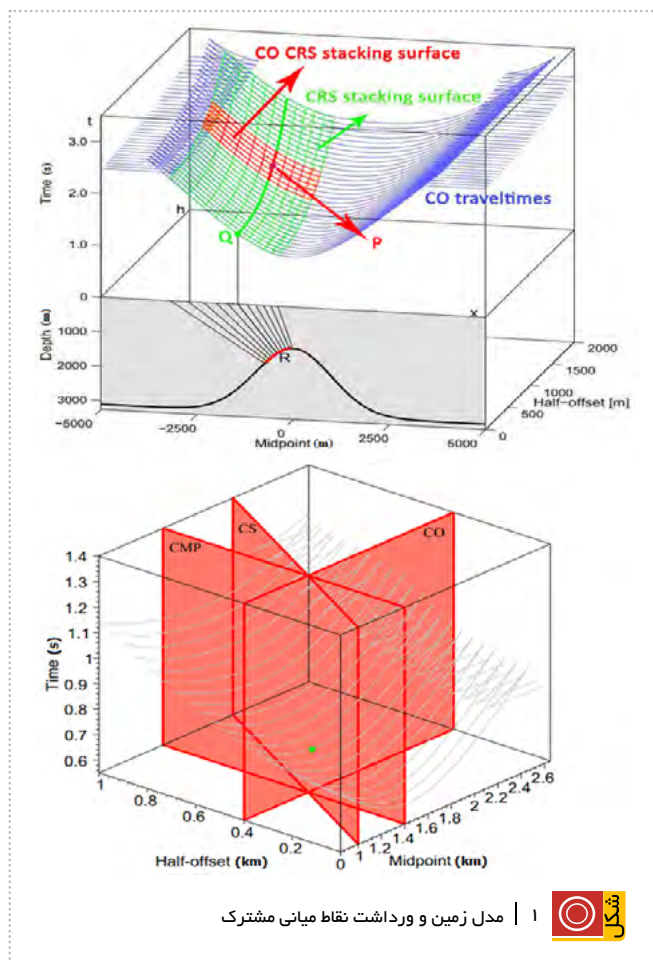
در این مقاله، برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک برای تضعیف امواج زمین غلت^۴ بهینه‌سازی شده است. امواج زمین غلت نوعی از امواج سطحی هستند که با انرژی و دامنه زیاد و سرعت و فرکانس کم، بازتابها را در داده‌های لرزه‌ای

(آبی)، صفحه برانبارش سطح بازتاب مشترک (سبز) و صفحه برانبارش سطح بازتاب مشترک برای دورافت مشترک (قرمز) را نشان می‌دهد. برانبارش سطح بازتاب مشترک، برای دورافت مشترک داده‌ها را در امتداد صفحه قرمز رنگ جمع می‌کند و نتیجه را به نقطه P نسبت می‌دهد [7]. در شکل ۱-ب برداشت نقطه میانی مشترک، مقطع دورافت مشترک و برداشت چشمه مشترک در حجم داده‌های چندپوششی برای محاسبه پنج ضریب برانبارشی در نقطه سبز رنگ استفاده می‌شوند [۱].

بنابراین رابطه (۱)، معادله یک هذلولی است و بر هر پدیده با زمان سیر هذلولی مانند بازتاب‌ها در داده‌های پیش از برانبارش^۴ منطبق است. زمانی که این عملگر روی داده‌های لرزه‌ای پیش از برانبارش اعمال شود، می‌توان به وسیله تحلیل همدوسی^۱ بازتاب‌ها را از پدیده‌های دیگر تشخیص داد. رابطه همدوسی مورد استفاده در معادله ۲- نشان داده شده است. [۸]

$$S = \frac{\sum_{j=k(i)-W/2}^{k(i)+W/2} (\sum_{i=1}^M f_{i,j(i)})^2}{M \sum_{j=k(i)-W/2}^{k(i)+W/2} \sum_{i=1}^M f_{i,j(i)}^2}, \quad (0 \leq S \leq 1) \quad (2)$$

که در این معادله:
S: مقدار همدوسی



۱ | مدل زمین و برداشت نقاط میانی مشترک



$$T^2(\Delta x_m, \Delta h) = \left[t_0 + \left(\frac{\sin \beta_G}{v_G} + \frac{\sin \beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m + \left(\frac{\sin \beta_G}{v_G} - \frac{\sin \beta_S}{v_S} \right) \Delta h \right]^2 + 2t_0 \Delta x_m \left(K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} + K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right) \Delta h + \frac{1}{2} \Delta x_m \left((4K_1 - 3K_3) \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right) \Delta x_m + \frac{1}{2} \Delta h \left(K_3 \frac{\cos^2 \beta_G}{v_G} - K_2 \frac{\cos^2 \beta_S}{v_S} \right) \Delta h \quad (1)$$

که در این معادله:

T: زمان سیر موج از چشمه تا گیرنده

$$\Delta x_m = x_m - x_0$$

x_m : نقطه میانی یک جفت چشمه و گیرنده دلخواه

x_0 : نقطه میانی نزدیک‌ترین جفت چشمه و گیرنده

$$\Delta h = h - h_0$$

h: نصف فاصله بین چشمه و گیرنده دلخواه

h_0 : نصف فاصله بین نزدیک‌ترین چشمه و گیرنده

t_0 : زمان سیر موج در حالت دورافت صفر

β_S : زاویه پرتو موج با محور قائم در محل چشمه

β_G : زاویه پرتو موج با محور قائم در محل گیرنده

v_S و v_G : سرعت نزدیک به سطح در محل گیرنده و محل چشمه

K_1 : انحنای^۵ جبهه موج در نقطه گیرنده G مربوط به برداشت

چشمه مشترک

K_2 و K_3 : انحناهای جبهه موج در نقطه چشمه S و در نقطه گیرنده G

مربوط به مقطع نقطه میانی مشترک

پنج نشانگر زوایای β_S و β_G و انحناهای جبهه موج K_1 ، K_2 ، K_3 ، ضرایب برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک است. برای یک نقطه (x_0, h_0, t_0) در مقطع دورافت مشترک که قرار است شبیه‌سازی شود، باید این ضرایب برانبارش مشخص شوند. سپس داده‌های پیش از برانبارش می‌توانند در امتداد سطوح برانبارشی که توسط این پنج ضریب تعریف شده‌اند، جمع شده و به نقطه مورد نظر نسبت داده شوند (شکل ۱-الف). اما جستجوی همزمان پنج ضریب از لحاظ محاسباتی بسیار زمان‌بر و پرهزینه است و می‌توان جستجوها را به چند قسمت جداگانه تقسیم کرد تا زمان و هزینه کاهش پیدا کند. در این صورت پنج ضریب برانبارش فقط در امتداد منحنی‌هایی که قسمتی از سطح برانبارش سه‌بعدی هستند، مشخص می‌شود. این منحنی‌ها توسط تقاطع سطح برانبارش با برداشت نقطه میانی مشترک در x_0 با مقطع دورافت مشترک در h_0 و با برداشت چشمه مشترک بدست می‌آیند (شکل ۱-ب) که در آنها عملگرهای برانبارش ساده‌سازی می‌شوند. در واقع یک جستجوی پنج ضریبی به دو جستجوی دو ضریبی و یک جستجوی یک ضریبی تبدیل می‌شود.

شکل ۱-الف یک مدل زمین با خطوط زمان سیر دورافت مشترک

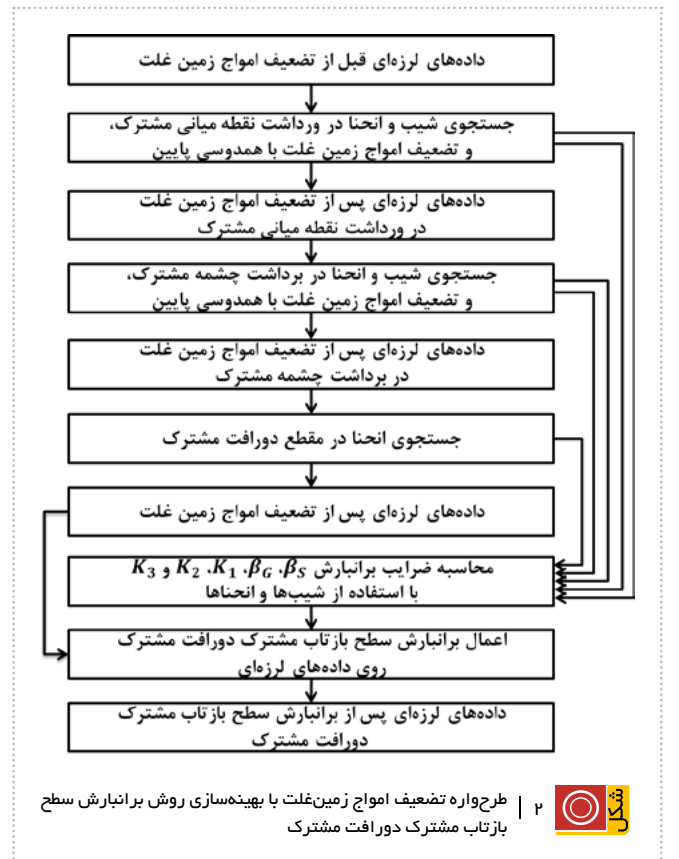
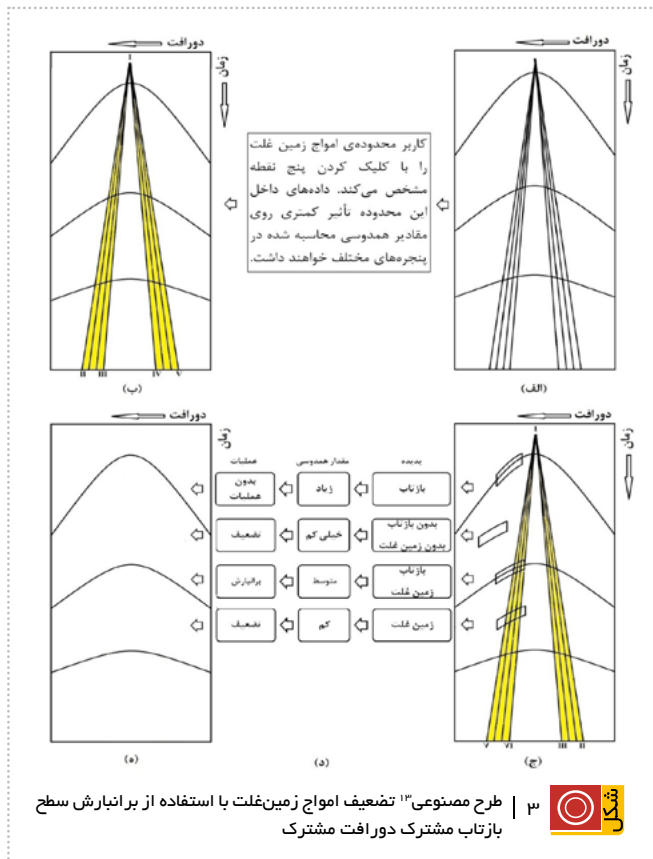
برابارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک را نشان می‌دهد. در ابتدا برداشت‌های نقطه میانی مشترک یا برداشت‌های چشمه مشترک وارد الگوریتم می‌شوند. روی آنها، کاربر محدوده امواج زمین‌غلت را با کلیک کردن پنج نقطه مشخص می‌کند. با این پنج نقطه، چهار خط ساخته می‌شوند که محدوده امواج زمین‌غلت را نشان می‌دهند. این کار به دو دلیل انجام می‌شود: اول، با اعمال ضریب کاهنده دامنه، داده‌های داخل این محدوده تأثیر کمتری بر مقادیر همدموسی محاسبه شده در پنجره‌های مختلف خواهند داشت. در نتیجه مقادیر همدموسی تحت تأثیر دامنه‌های زیاد امواج زمین‌غلت قرار نمی‌گیرند. دوم، در مراحل جستجوی ضرایب برابارش روی برداشت‌های نقطه میانی مشترک و برداشت‌های چشمه مشترک، فقط نقاط داخل این محدوده برابارش می‌شوند. در واقع با این کار، حداقل آسیب به دامنه بازتاب‌ها در مرحله جستجوی ضرایب می‌رسد و کاربر لازم نیست روی تمام برداشت‌ها، محدوده امواج زمین‌غلت را مشخص کند. این کار روی تعدادی برداشت انجام و روی برداشت‌های باقیمانده، محدوده امواج زمین‌غلت با درون‌یابی مشخص می‌شود. سپس برای هر نمونه در برداشت‌های نقطه میانی مشترک یا برداشت‌های چشمه مشترک چندین پنجره با شیب و انحنای مختلف تعریف و مقدار همدموسی آنها محاسبه می‌شود. پنجره‌ها بسته به مقدار همدموسی و محل قرارگیری

(i) f_1, f_2 : دامنه نمونه زام در آمین ردلرزه

M: تعداد ردلرزه

همدموسی در امتداد منحنی‌های $k(i)$ و بصورت متقارن و موازی در اطراف ردلرزه نام و بین پنجره زمانی $\pm \frac{N}{2}$ محاسبه می‌شود. مقادیر همدموسی بالا مربوط به بازتاب‌ها است و مقادیر همدموسی پایین نشانگر عدم وجود پدیده‌ای با زمان سیر هذلولی است. بنابراین وقتی پدیده‌های لرزه‌ای شناخته شوند، می‌توان پدیده‌هایی با زمان سیر غیرهذلولی را تضعیف کرد. امواج زمین‌غلت در برداشت‌های نقطه میانی مشترک و برداشت‌های چشمه مشترک شکل خطی دارند. بنابراین با عملگر برابارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک می‌توانند از بازتاب‌ها تفکیک و تضعیف شوند. برای اعمال روش فرض شده، برنامه‌ای در محیط متلب^{۱۱} نوشته و به منظور افزایش سرعت پردازش از الگوریتم پردازش موازی آن استفاده شد. شکل ۲- طرح‌واره^{۱۲} تضعیف امواج زمین‌غلت به کمک بهینه‌سازی برابارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک را نشان می‌دهد. چون امواج زمین‌غلت در برداشت‌های نقطه میانی مشترک و برداشت‌های چشمه مشترک شکل خطی دارند، در روش مفروض جستجوی ضرایب برابارش در آنها قبل از مقطع دورافت مشترک انجام می‌شود.

شکل ۳- نمای مصنوعی تضعیف امواج زمین‌غلت با استفاده از



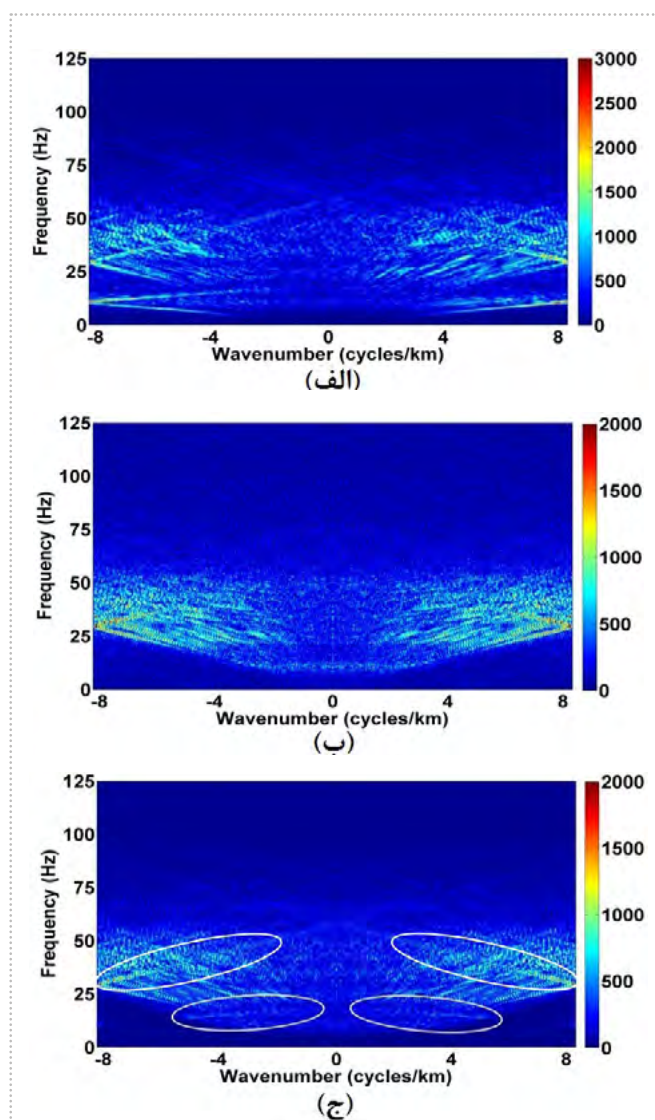
تضعیف امواج زمین غلت تولیدی می‌شود.

۲- اعمال روش پیشنهادی در داده واقعی

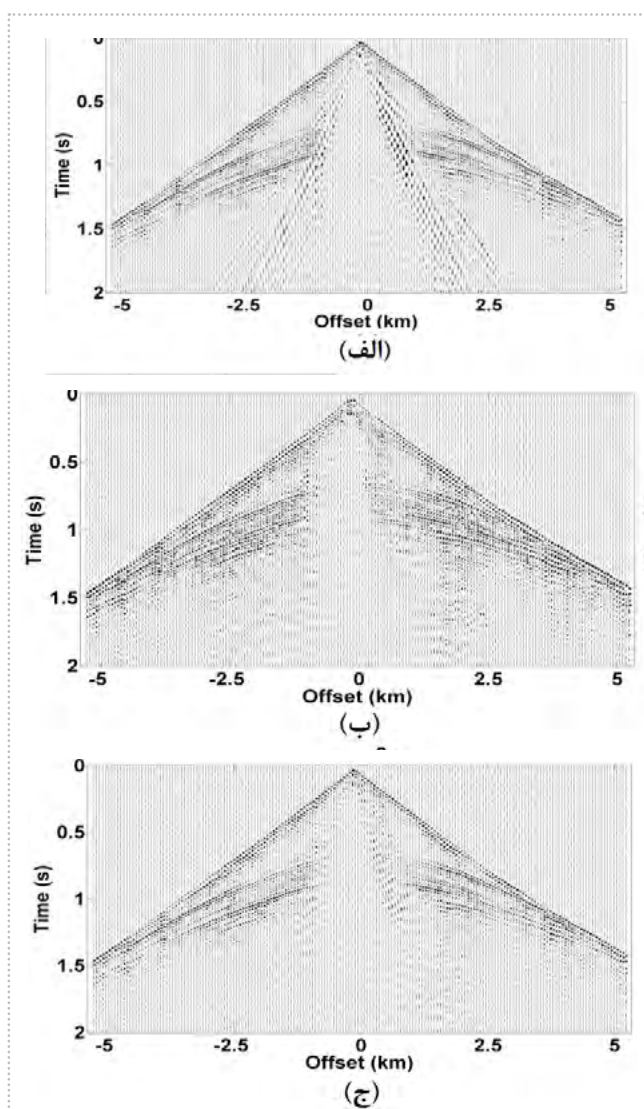
داده واقعی متعلق به برداشت لرزه‌نگاری دوبعدی از یک میدان نفتی واقع در غرب ایران است. نرخ نمونه‌برداری زمانی ۴ میلی ثانیه و فاصله بین ردلرزه‌ها ۶۰ متر است. شکل ۴-الف یک برداشت چشمه مشترک را نشان می‌دهد که دارای پدیده‌های بازتابی، شکستی و زمین‌غلت است. شکل ۴-ب همان برداشت چشمه مشترک را پس از تضعیف امواج زمین‌غلت توسط برانبارش بهینه CO CRS نشان می‌دهد. در این شکل، برانبارش بهینه CO CRS نه تنها امواج زمین‌غلت را به‌خوبی تضعیف کرده است، بلکه پدیده‌های بازتابی را نیز تقویت کرده است. شکل ۴-ج همان

برانبارش، تضعیف یا دست نخورده باقی می‌مانند. در نتیجه امواج زمین‌غلت با زمان سیر خطی، تضعیف و بازتاب‌ها با زمان سیر هذلولی، تقویت می‌شوند.

در شکل ۳-طرح مصنوعی تضعیف امواج زمین‌غلت با استفاده از برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک نشان داده شده است که در بخش (الف) وارد شدن برداشت نقطه میانی مشترک یا برداشت چشمه مشترک به الگوریتم، در بخش (ب) تعیین محدوده امواج زمین‌غلت توسط کاربر با کلیک کردن روی پنج نقطه، در بخش (ج) برای هر نمونه تعریف چندین پنجره با شیب و انحنای مختلف و محاسبه مقدار همدوسی آنها، در بخش (د) بسته به مقدار همدوسی و محل قرارگیری، پنجره‌ها برانبارش یا تضعیف می‌شوند و یا دست نخورده باقی می‌مانند و در بخش (ه) داده خروجی پس از



شکل ۵ | طیف $f-k$ شکل ۴- بیضی‌ها در (ج) امواج زمین‌غلت دگرنامی شده باقیمانده. مقایسه (ب) با (ج) نشان می‌دهد که برانبارش بهینه CO CRS بهتر از فیلتر $f-k$ می‌تواند امواج زمین دگرنامی شده باقیمانده را تضعیف کند.



شکل ۴ | اعمال برانبارش بهینه CO CRS روی داده‌های واقعی. یک برداشت چشمه مشترک (الف) قبل و (ب) بعد از تضعیف امواج زمین‌غلت به روش برانبارش بهینه CO CRS. (ج) بعد از تضعیف امواج زمین‌غلت با فیلتر $f-k$.

می‌کند [۹]. امواج زمین‌غلت دگرنامی نشده/شده از لحاظ شکل هردو خطی هستند و در نتیجه هردو توسط برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک تضعیف می‌شوند.

نتیجه‌گیری

امواج زمین‌غلت با انرژی و دامنه زیاد و سرعت و فرکانس کم، بازتاب‌ها را در داده‌های لرزه‌ای بازتابی می‌پوشانند و باید تضعیف شوند. در این مقاله روش برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک برای تضعیف امواج زمین‌غلت بهینه‌سازی شد. روش مفروض روی داده‌های واقعی امتحان و کارایی روش با فیلتر فرکانس-عدد موج مقایسه شد. نتایج نشان داد که برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک بهینه‌سازی شده، امواج زمین‌غلت دگرنامی شده/نشده را به خوبی تضعیف و بازتاب‌ها را نیز تقویت می‌کند، اما فیلتر فرکانس-عدد موج امواج زمین‌غلت دگرنامی شده را نمی‌تواند به صورت کامل تضعیف کند و مقداری از آنها باقی می‌مانند.

برداشت چشمه مشترک را بعد از تضعیف امواج زمین‌غلت با فیلتر $f-k$ نشان می‌دهد. شکل ۵-طیف $f-k$ شکل ۴ را نشان داده و بیضی‌ها در شکل ۵-ج امواج زمین‌غلت دگرنامی شده باقیمانده را نشان می‌دهند. مقایسه شکل ۵-ب با شکل ۵-ج نشان می‌دهد که برانبارش بهینه CO CRS بهتر از فیلتر $f-k$ می‌تواند امواج زمین‌غلت دگرنامی شده باقیمانده را تضعیف کند.

تمام روش‌های تضعیف امواج زمین‌غلت از معیاری برای فیلتر و جداسازی امواج زمین‌غلت از بازتاب‌ها مانند فرکانس، سرعت، همدوسی، دامنه و شکل ظاهری پدیده‌ها استفاده می‌کنند. فیلتر فرکانس-عدد موج از فرکانس به عنوان وجه تمایز امواج زمین‌غلت فرکانس پایین از بازتاب‌ها استفاده می‌کند. حال اگر امواج زمین‌غلت دچار دگرنامی شوند، معمولاً دارای فرکانس‌های بیشتر می‌شوند و بازتاب‌ها را می‌پوشانند. در این حالت تضعیف آنها توسط فیلتر فرکانس-عدد موج به خوبی امکان‌پذیر نیست. برانبارش سطح بازتاب مشترک دورافت مشترک از شکل ظاهری به عنوان یک معیار برای جداسازی امواج زمین‌غلت از بازتاب‌ها استفاده

پانویس‌ها

- | | | |
|---|-------------------------------|---------------|
| 1. Common offset common reflection surface (CO CRS) | 5. Fan Shape | 10. Coherency |
| 2. Zero offset | 6. High-Pass Filter | 11. Matlab |
| 3. Fold | 7. Frequency-Wavenumber (f-k) | 12. Flowchart |
| 4. Ground roll | 8. Curvature | 13. Schematic |
| | 9. Pre-stack | |

منابع

- [1] Zhang, Y., Bergler, S., and Hubral, P., Common-reflection-surface (CRS) stack for common offset, *Geophysical Prospecting*, 49, pp. 709-718, 2001
- [2] Bergler, S., Mann, J., Hocht, G., and Hubral, P., The Finite-Offset CRS stack: an alternative stacking tool for subsalt imaging, 72nd Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, pp. 1-4, 2002
- [3] Li, D., Li, Z., Sun, X., Qin, N., and Zhou, X., Prestack seismic data enhancement with the common-offset common reflection surface (CO CRS) stack, 3rd International Conference on Bio-medical Engineering and Informatics, Yantai, China, pp. 3065-3069, 2010
- [4] Halliday, D. F., Curtis, A., Vermeer, P., Strobbia, C., Glushchenko, A., Manen, D., and Robertsson, J., Interferometric ground-roll removal: Attenuation of scattered surface waves in single-sensor data, *Geophysics*, 75 (2), pp. SA15-SA25, 2010
- [5] Stewart, R.R., Ground roll filtering using local instantaneous polarization, The CREWES project research report 2, University of Calgary, pp. 116--118, 1990
- [6] Askari, R., and Siahkoochi, H.R., Ground roll attenuation using the S and x-f-k transforms, *Geophysical Prospecting*, 56, pp. 105-114, 2008
- [7] Mann, J., Jager, R., Muller, T., Hocht, G., and Hubral, P., "Common reflection surface stack; a real data example," *Journal of Applied Geophysics*, vol. 42, no. 3, 4, pp. 301-318, 1999
- [8] Yilmaz, O., *Seismic data analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data*, SEG, Tulsa, 2001
- [9] Fa'al Rastegar, S.A., Javaherian, A., Keshavarz Farajkhah, N., Soleimani Monfared, M., Zarei, A., "Ground-roll attenuation using modified common offset-common-reflection-surface stacking" *Applied Geophysics*, vol. 13, no. 2, pp. 353-363, 2016