

شناسایی گسل‌ها در داده‌های لرزه‌ای بازتابی به کمک نشانگر سوپل

فاطمه اعظم‌پور¹، امین روشندل کاهو^{2*}، علیرضا احمدی‌فرد³ و علیرضا حیدریان⁴

¹ دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

² استادیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

³ دانشیار، دانشکده مهندسی برق و ریاضیات، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

⁴ شرکت نفت فلات قاره ایران، تهران

(تاریخ دریافت: 94/05/20، تاریخ پذیرش: 95/07/05)

چکیده

گسل‌ها یکی از مهم‌ترین رویدادهای زمین‌شناسی هستند که در اکتشافات معدنی، هیدروکربنی و مطالعات زمین‌شناختی از اهمیت بسیار زیادی برخوردارند. گسل‌ها به‌منزله یک تله ساختاری هیدروکربنی می‌باشند و از این‌رو شناخت و تعیین محل دقیق آنها عامل مهمی در توصیف مخازن هیدروکربنی است. در داده‌های لرزه‌ای بازتابی، گسل‌ها به‌صورت ناپیوستگی در امتداد بازتابنده‌ها و تغییر دامنه مشاهده می‌شوند. به‌دلیل ماهیت داده‌های لرزه‌ای، شناسایی صفحه گسل در این داده‌ها، فرایندی دشوار است و تعیین محل دقیق آنها به‌تنهایی از روی داده لرزه‌ای به‌ندرت امکان‌پذیر است. نشانگرهای لرزه‌ای، ابزاری هستند که اطلاعات نهفته در داده‌های لرزه‌ای را آشکار می‌نمایند و امکان تفسیر کمی را در اختیار مفسر لرزه‌نگاری فراهم می‌آورند. در این مقاله، صافی سوپل دوبعدی و سه‌بعدی به‌منزله یک نشانگر لرزه‌ای برای شناسایی و تعیین موقعیت گسل‌ها در داده لرزه‌ای بازتابی معرفی می‌شود. این صافی، یکی از ابزارهای پرکاربرد در فرایند تشخیص لبه در پردازش تصاویر است که گرادیان تصویر را محاسبه می‌کند و به تغییرات دامنه حساس است. به‌منظور بررسی عملکرد این روش در شناسایی گسل‌ها، نشانگر سوپل بر روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی در دو حالت دوبعدی و سه‌بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصل با نتایج نشانگر همدوسی مقایسه می‌شود. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که نشانگر سوپل می‌تواند به‌مثابه یک نشانگر مناسب برای شناسایی گسل‌ها در داده‌های لرزه‌ای بازتابی مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: لرزه‌نگاری بازتابی، گسل، تشخیص لبه، نشانگر سوپل

1 مقدمه

علم ژئوفیزیک از اصول فیزیک برای مطالعه زمین استفاده می‌کند و با اندازه‌گیری خواص فیزیکی و تحلیل آنها می‌تواند ویژگی‌ها و ساختارهای زیر سطحی را آشکار سازد (کری و همکاران، 2002). لرزه‌شناسی بازتابی یکی از روش‌های مهم ژئوفیزیکی است که در زمینه اکتشافات نفت و گاز بسیار کاربرد دارد (شریف و جلدارت، 1995). شناسایی رویدادهای مختلف زمین‌شناختی نظیر گسل‌ها، گنبد‌های نمکی، کانال‌های مدفون در داده‌های لرزه‌ای بازتابی همواره یکی از چالش‌های بزرگ در مقابل مفسران بوده است. این رویدادها هرچند اثراتی در داده‌های لرزه‌ای دارند، اما با این وجود به دلیل ماهیت داده‌های لرزه‌ای، شناسایی و تعیین مرز این رویدادها به صورت مستقیم از روی داده لرزه‌ای بازتابی به ندرت امکان‌پذیر می‌باشد. نشانگرهای لرزه‌ای که عبارتند از هر کمیت و اطلاعات به دست آمده از داده‌های لرزه‌ای، با افزایش کیفیت و کمیت داده‌های لرزه‌ای به شناسایی رویدادهای مختلف زمین‌شناختی درون داده‌های لرزه‌ای بازتابی کمک کند (چاپرا و مارفورت، 2007). در واقع یک نشانگر لرزه‌ای را می‌توان به منزله یک صافی (فیلتر) در نظر گرفت که پس از کار بست آن بر روی داده لرزه‌ای، اطلاعات رویدادهای ساختاری و چینه‌ای نهفته در آن را آشکارتر می‌سازد و منجر به تحلیل سریع‌تر داده‌ها می‌شود (ایسکه و راندن، 2005).

گسل، یکی از مهم‌ترین رویدادهای زمین‌شناختی است که به صورت یک ناپیوستگی در امتداد یک لایه یا رویداد زمین‌شناختی تعریف می‌شود و ناشی از شکست آن لایه یا رویداد در برابر تنش‌های وارده به آن است (گروشنوگ، 2006). گسل‌ها یکی از مهم‌ترین تله‌های هیدروکربنی هستند که شناخت و تعیین محل دقیق آنها امری ضروری در توصیف مخازن است. طبق مطالعات انجام شده، حدود 75 درصد میدان‌های نفتی با گسل‌ها در ارتباط هستند

(گیسون و همکاران، 2005). گسل‌ها با بهبود نفوذپذیری و ایجاد محیط متخلخل در مخازن می‌توانند در بهره‌وری از آنها تأثیرگذار باشند. با تعیین و توصیف دقیق سامانه شکستگی و گسل‌ها می‌توان برای تخلیه مؤثر مخازن روش‌های مناسبی را طراحی کرد (چاپرا و مارفورت، 2007). لذا شناسایی و تعیین موقعیت این رویداد زمین‌شناختی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

تا کنون روش‌های بسیار زیادی برای شناسایی گسل‌ها در داده‌های لرزه‌ای بازتابی معرفی شده‌اند. یکی از روش‌های مرسوم تفسیر گسل‌ها، شناسایی و تفسیر دستی ناپیوستگی‌ها در افق‌های مختلف داده لرزه‌ای است که فرایندی زمان‌گیر است (اکراوی و همکاران، 2011). همان‌طور که گفته شد، به دلیل ماهیت داده‌های لرزه‌ای بازتابی، بازتاب‌های صفحه گسل در برش‌های افقی و قائم داده‌های لرزه‌ای بازتابی اغلب به وضوح قابل مشاهده نیستند. راه دیگر شناسایی گسل درون داده لرزه‌ای بازتابی، استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای است. از جمله نشانگرهای لرزه‌ای متداول مورد استفاده برای این منظور می‌توان به نشانگرهای همدوسی (مارفورت و همکاران، 1998)، خمش (رابرتز، 2001)، آشفتگی (ایسکه و راندن، 2005) و واریانس (چاپرا و مارفورت، 2007) اشاره کرد. در این مقاله، نشانگر لرزه‌ای سوبل معرفی می‌شود که قابلیت شناسایی مرز رویدادهایی نظیر گسل، گنبد نمکی، کانال‌های مدفون را داراست. این نشانگر بر مبنای صافی سوبل (سوبل و فلدمن، 1968) ساخته می‌شود که یکی از عملگرهای پرکاربرد در تشخیص لبه بر مبنای گرادیان است و مشتق اول مکانی را در راستای سطرها و ستون‌ها به طور تقریبی محاسبه می‌کند و به تغییرات دامنه حساس است (گنزالز و وود، 2008). این صافی به منظور تشخیص لبه در شاخه‌های مختلفی از علوم نظیر ماشین بینایی (اسلام و همکاران، 2010)، تصاویر و داده‌های پزشکی (ویلسون،

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}, S_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

عملگر سوبل به‌طور معمول با اندازه 3×3 تعریف می‌شود. اما گاهی صافی سوبل برای اندازه بزرگ‌تر نیز تعریف می‌شود. عملگرهای سوبل با اندازه بزرگ‌تر، تصویر ورودی را به میزان بیشتری هموار می‌کنند و حساسیت کم‌تری به نوفه دارند. به‌منظور دستیابی به عملگر سوبل تعمیم‌یافته با اندازه بزرگ‌تر از رابطه (5) استفاده می‌شود.

$$S_x^{n(i)} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} ** S_x^{n(i-1)}, \quad n = \{3, 5, 7, 9, \dots\} \\ i = 2, 3, 4, \dots \quad (5)$$

$$S_y^{n(i)} = (S_x^{n(i)})'$$

در مواردی که داده روی به صافی سوبل سه‌بعدی باشد، بایستی از عملگرهای سه‌بعدی صافی سوبل استفاده کرد. برای حالت سه‌بعدی، گرادیان مطلق $|G|$ از رابطه (6) به دست می‌آید. مشتقات جهتی در سه راستای x ، y و z را می‌توان با کاربست سه عملگر S_x ، S_y و S_z بر روی داده سه‌بعدی I مطابق روابط (7) الی (9) به‌دست آورد:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}, \quad (6)$$

$$G_x = S_x *** I, \quad (7)$$

$$G_y = S_y *** I, \quad (8)$$

$$G_z = S_z *** I, \quad (9)$$

که $***$ نشان‌دهنده هم‌میخت سه‌بعدی است. عملگر S_x با ابعاد $3 \times 3 \times 3$ مطابق رابطه (10) تعریف می‌شود و S_y و S_z از چرخش S_x در فضای سه‌بعدی حول

(2001)، تصاویر و داده‌های نجومی (کاراچنسیو و همکاران، 2007) و داده‌های لرزه‌ای (جینگ و همکاران، 2007؛ اکراوی و همکاران، 2011؛ اکراوی و بوئه، 2011؛ چاپرا و همکاران، 2014؛ اعظم‌پور و همکاران، 1393الف؛ اعظم‌پور و همکاران، 1393ب؛ اعظم‌پور، 1393) به‌کار برده می‌شود.

در این مقاله، پس از معرفی صافی‌های سوبل دوبعدی و سه‌بعدی از آن به‌عنوان یک نشانگر لرزه‌ای برای شناسایی گسل‌ها در داده‌های لرزه‌ای بازتابی مصنوعی و واقعی در دو حالت دوبعدی و سه‌بعدی استفاده می‌شود و در نهایت نتایج آن با نشانگر لرزه‌ای همدوسی مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

2 صافی سوبل دوبعدی و سه‌بعدی

صافی دوبعدی سوبل مشتق تقریبی تصویر را از روی دامنه پیکسل‌های مجاور در راستای سطر و ستون‌ها محاسبه می‌کند به‌گونه‌ای که پیکسل‌های همسایه غیرمورب وزن دو برابر دارند. محاسبه گرادیان مطلق $|G|$ در هر نقطه از یک تصویر دوبعدی با استفاده از صافی سوبل مطابق رابطه (1) معادل جمع برداری مشتقات جهتی (G_x, G_y) در دو راستای عمود بر یکدیگر می‌باشد. این مشتقات جهتی را می‌توان با استفاده از کاربست دو عملگر S_x و S_y بر روی تصویر I مطابق روابط (2) و (3) به‌دست آورد (گوپتا و مازومدار، 2013):

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (1)$$

$$G_x = S_x ** I, \quad (2)$$

$$G_y = S_y ** I, \quad (3)$$

که $**$ نشان‌دهنده هم‌میخت دوبعدی است و عملگرهای S_x و S_y با ابعاد 3×3 با رابطه (4) تعریف می‌شوند (سوبل و فلدمن، 1968):

مختلفی محاسبه کرد (چاپرا و مارفورت، 2007). در این مقاله از روش جستجوی شیب (مارفورت و همکاران، 1998) که بر مبنای انتخاب شیب با بیشینه مقدار همبستگی داده در یک پنجره محلی می‌باشد، استفاده شده است.

3 مثال مصنوعی

به منظور ارزیابی صحت عملکرد الگوریتم معرفی شده، ابتدا روش بر روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی دوبعدی و سه‌بعدی اعمال می‌گردد. در مثال اول برای یک مدل زمین دوبعدی داده لرزه‌ای مصنوعی با موجک چشمه لرزه‌ای ریکر (شریف و جلدارت، 1995) تولید شد که 6 لایه شیب‌دار دارد و هر لایه دارای شیب 2 نمونه در هر ردلرزه است. در شکل 1 داده لرزه‌ای مصنوعی دوبعدی در دو حالت بی‌نوفه و همراه نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه 4 دسی‌بل نشان داده شده است.

در شکل 2 نتایج کاربست نشانگرهای سوبل دوبعدی و متداول همدوسی بر مبنای ساختار ویژه بر روی داده مصنوعی در دو حالت بی‌نوفه و همراه نوفه که با استفاده از پنجره‌ای به اندازه 3×3 محاسبه شده‌اند، نشان داده شده است. در این حالت، عملگرهای صافی سوبل با در نظر گرفتن شیب رویدادها بر روی داده اعمال شده‌اند و مقدار وزن مشتق جهتی در راستای زمان در ضریب صفر ضرب شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، موقعیت گسل در هر دو حالت بی‌نوفه و همراه نوفه به خوبی مشخص شده است. اما در مقابل، نتایج نشانگر همدوسی بیانگر عملکرد ضعیف این نشانگر نسبت به نشانگر سوبل می‌باشد. این عملکرد ضعیف در حضور نوفه بیشتر دیده می‌شود. اندازه بزرگ‌تر پنجره برای محاسبه نشانگرهای سوبل و همدوسی در مقابل کاهش تاثیر نوفه، باعث کاهش توان تفکیک نتایج می‌شود.

در حالت سه‌بعدی، داده مصنوعی تولید شده از 3 لایه شیب‌دار است که دارای شیب 1 نمونه زمانی در هر ردلرزه

محورهای مختصات به دست می‌آیند (حافظ و همکاران، 2011).

$$S_x(:, :, 1) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, S_x(:, :, 2) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$S_x(:, :, 3) = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & -4 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}.$$

عملگرهای سوبل سه‌بعدی تعمیم یافته با اندازه بزرگ‌تر را می‌توان مطابق رابطه (11) به دست آورد:

$$S_x^{n(i)} = H *** S_x^{n(i-1)}, \quad n = \{3, 5, 7, 9, \dots\}$$

$$i = 2, 3, 4, \dots$$

$$H(:, :, 1) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, H(:, :, 2) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

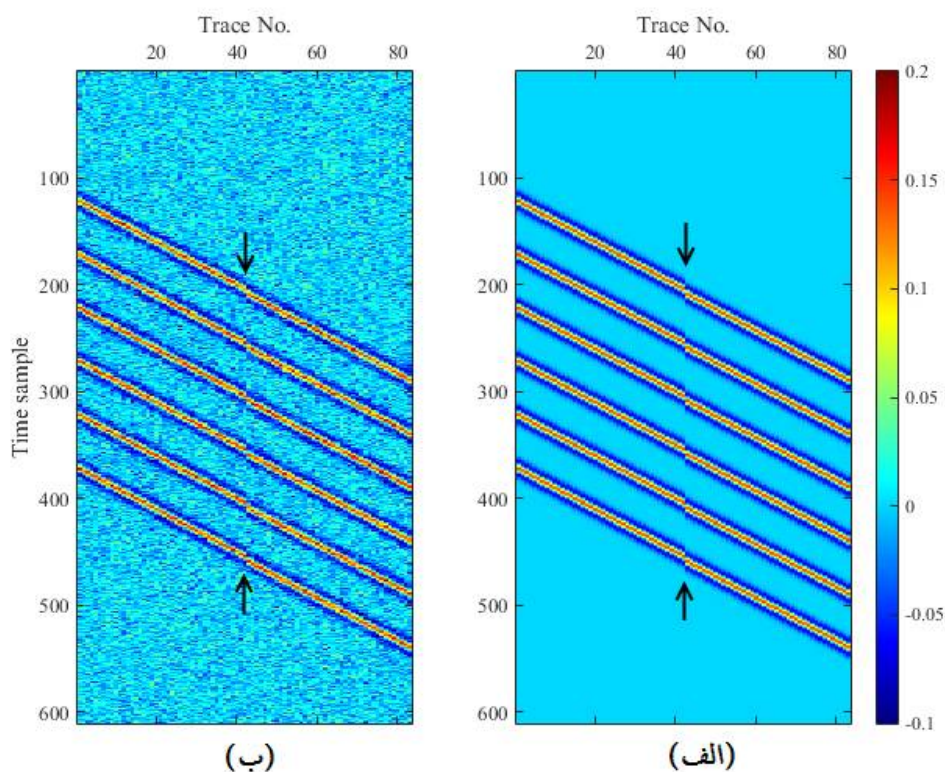
$$H(:, :, 3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

هنگامی که صافی سوبل به عنوان یک نشانگر لرزه‌ای برای شناسایی گسل‌ها به کار برده می‌شود، بایستی یک ضریب وزنی کوچک و حتی صفر برای مولفه گرادیان در جهت محور زمان یا عمق در نظر گرفت. زیرا در غیر این صورت مرزهای ناشی از لایه‌بندی نیز در خروجی حضور پیدا می‌کنند و تفسیر نتیجه حاصل را برای تعیین موقعیت گسل‌ها دچار مشکل می‌کنند (اکراوی و بوئه، 2011).

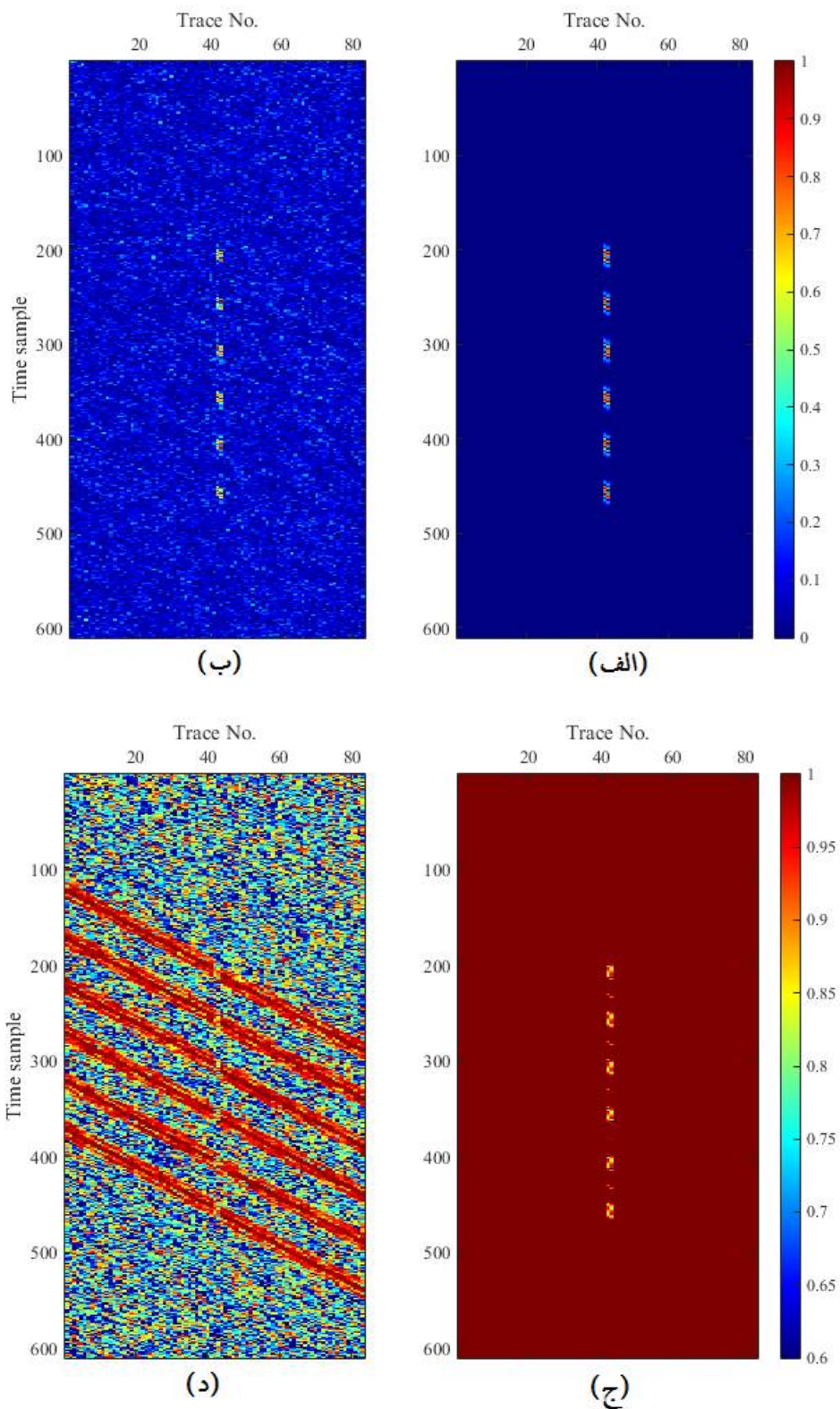
همانند بسیاری از نشانگرهای لرزه‌ای برای شناسایی مرز ناپیوستگی‌ها، عملگر سوبل نیز بایستی با شیب رویدادهای بازتابی در داده لرزه‌ای همسو شود تا مرز رویداد بازتابی شیب‌دار خود به عنوان یک لبه عمل نکند و فقط ناپیوستگی‌های واقعی مورد شناسایی قرار گیرند. شیب محلی رویدادهای بازتابی در داده‌های لرزه‌ای بازتابی دوبعدی و سه‌بعدی را می‌توان از روش‌های

در شکل 4 نتایج کاربرد نشانگر سوبل بر روی داده سه‌بعدی بی‌نوفه و همراه نوفه نشان داده شده است. برای مقایسه نتایج نشانگر همدوسی بر مبنای ساختار ویژه نیز برای داده لرزه‌ای سه‌بعدی مصنوعی بی‌نوفه و همراه نوفه نیز محاسبه گردید که در شکل 5 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت بی‌نوفه نتایج نشانگر سوبل و نشانگر همدوسی بر مبنای ساختار ویژه نتایج تقریباً یکسانی دارد. اما در داده لرزه‌ای همراه نوفه، نوفه تاثیر زیادی بر روی نتایج نشانگر همدوسی دارد و تا حدودی موقعیت ناپیوستگی را پوشانده و محو کرده است.

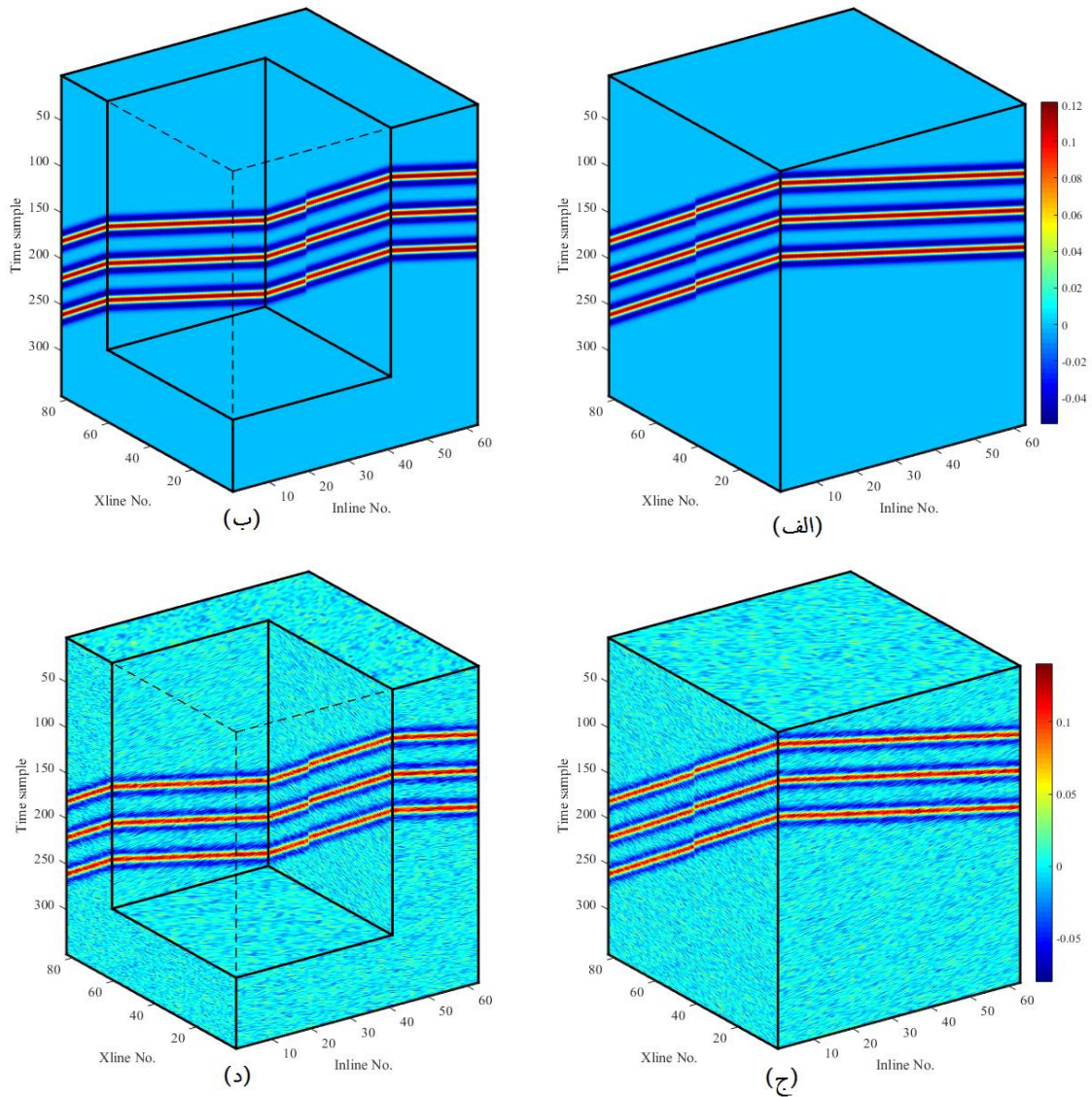
در راستای خط گیرنده و 2 نمونه زمانی در هر ردلرزه در راستای خط چشمه می‌باشد. داده مورد نظر دارای 63 خط گیرنده، 83 خط چشمه و 369 نمونه زمانی است. در شکل 3 داده مصنوعی سه‌بعدی در هر دو حالت بی‌نوفه و همراه نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه 3/6 دسی‌بل نشان شده است. در داده مذکور، یک ناپیوستگی در راستای خط گیرنده بین دو خط چشمه 41 و 42 ایجاد شده است. برای درک بهتر داده سه‌بعدی مذکور، داده سه‌بعدی برش‌خورده نیز رسم شده است تا نحوه شیب لایه‌ها و موقعیت گسل مصنوعی نشان داده شود.



شکل 1. داده لرزه‌ای مصنوعی دوبعدی با 6 لایه شیب‌دار با شیب 2 نمونه زمانی در هر ردلرزه (الف) بدون نوفه و (ب) همراه نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه 3 دسی‌بل. پیکان‌ها موقعیت گسل را بر روی داده مصنوعی نشان می‌دهد.



شکل 2. نشانگر سوپل دو بعدی برای داده لرزه‌ای مصنوعی در حالت (الف) بدون نوفه و (ب) همراه نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه 3 دسی‌بل. نشانگر همدوسی بر مبنای ساختار ویژه برای داده لرزه‌ای مصنوعی در حالت (ج) بدون نوفه و (د) همراه نوفه.



شکل 3. داده لرزه‌ای مصنوعی سه‌بعدی با 3 لایه شیب‌دار با شیب 1 نمونه زمانی در هر ردلرزه در راستای خط گیرنده و 2 نمونه زمانی در هر ردلرزه در راستای خط چشمه. (الف) و (ب) داده بی‌نوفه و برش‌خورده آن. (ج) و (د) داده آغشته به نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه 3/6 دسی‌بل و برش‌خورده آن.

خط چین نشان داده شده است. در شکل‌های 6-ب و 6-ج به ترتیب نتایج نشانگر سوبل و همدوسی بر مبنای ساختار ویژه که در راستای شیب رویدادها بر روی داده اعمال گردیده، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گسل مذکور در نتیجه حاصل از نشانگر سوبل به مراتب بهتر از نتیجه نشانگر همدوسی مشخص شده است.

4 داده صحرائی

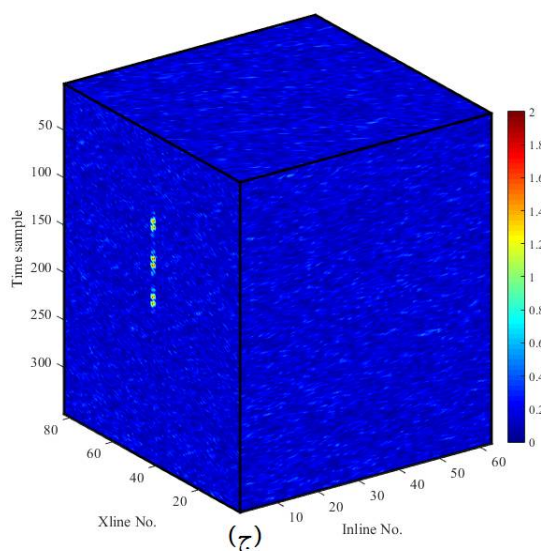
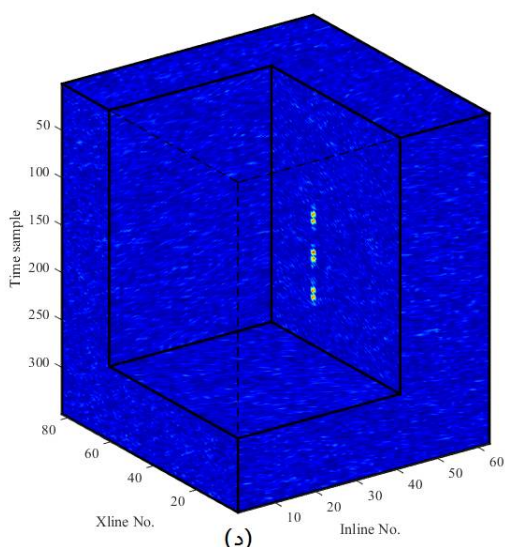
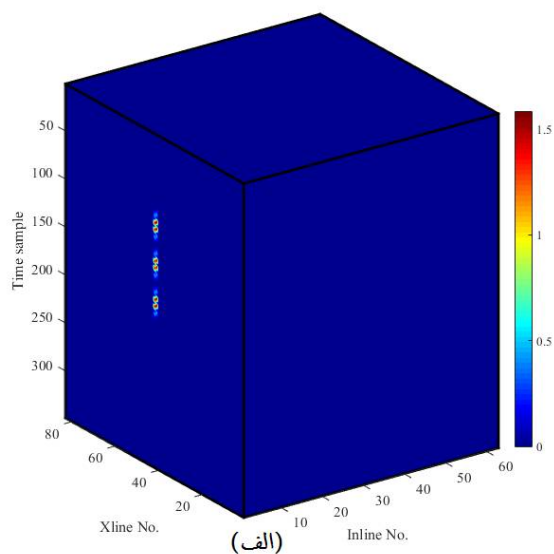
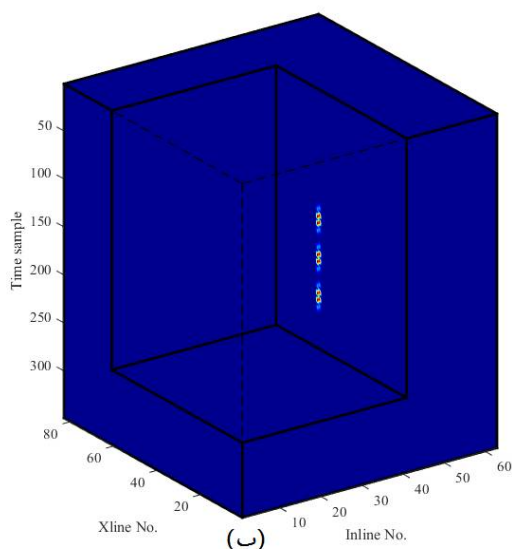
به منظور بررسی عملکرد نشانگر سوبل در مورد داده‌های لرزه‌ای واقعی، ابتدا الگوریتم بر روی بخشی از یک داده دوبعدی اعمال شد. مقطع لرزه‌ای دوبعدی مورد استفاده شامل 210 نمونه زمانی و 51 ردلرزه است.

در شکل 6-الف داده مورد نظر نشان داده شده است. در این شکل موقعیت یک گسل بر روی داده به صورت

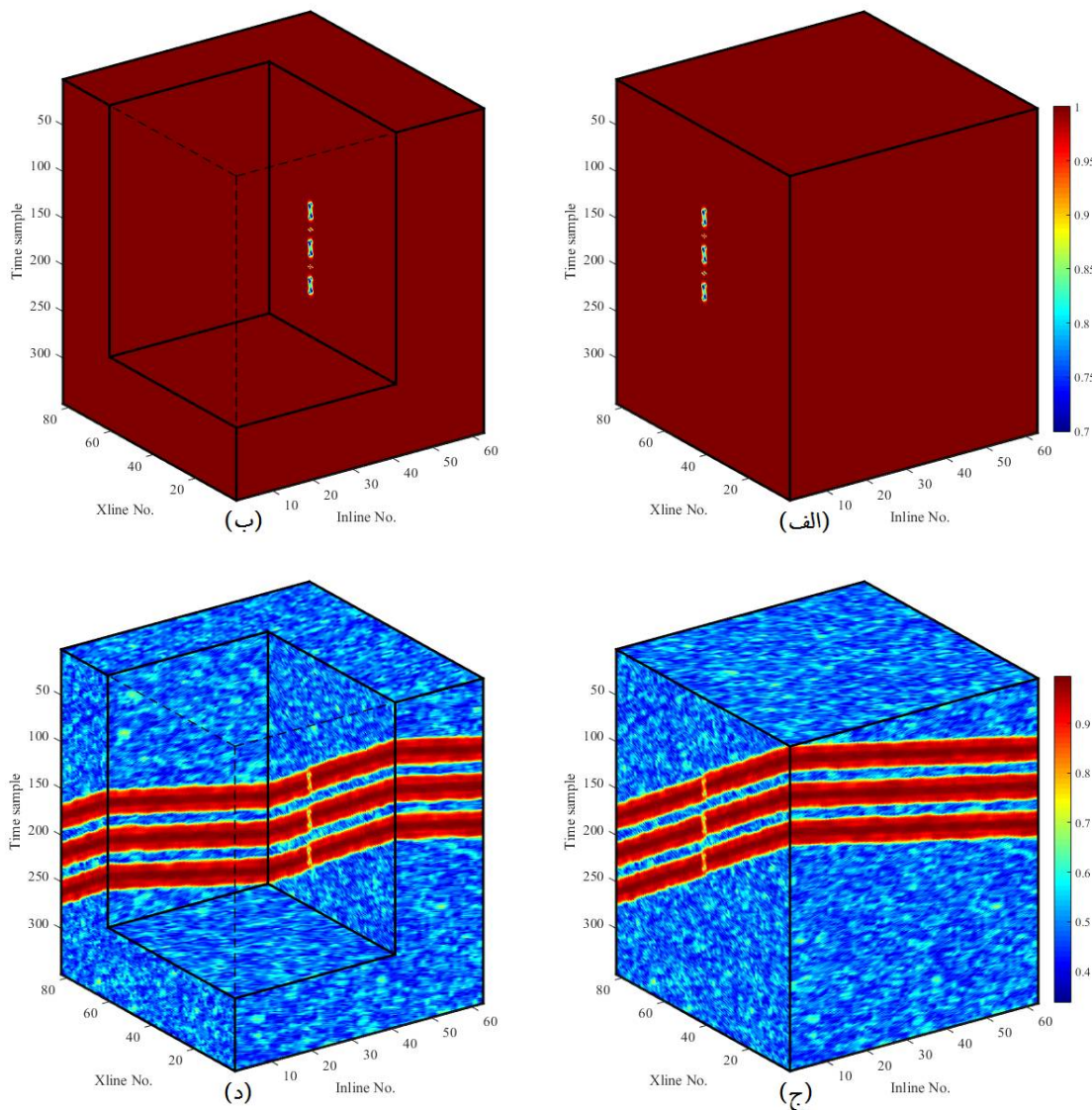
انتخاب گردید که در شکل 7 نشان داده شده است. در شکل دو نمای برش خورده از داده لرزه‌ای مورد نظر نیز رسم شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، ناپیوستگی در بازتابنده قوی وجود دارد که می‌تواند ناشی از گسل باشد.

علاوه بر آن، سرعت محاسبات نشانگر سوپل به مراتب بیشتر از نشانگر همدوسی است.

به‌منظور بررسی عملکرد نشانگر سوپل در مورد داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی، بخشی از داده لرزه‌ای با تعداد 84 ردلرزه در خط گیرنده و 54 ردلرزه در خط چشمه و 180 نمونه زمانی از یکی از میداین گازی شمال شرق ایران



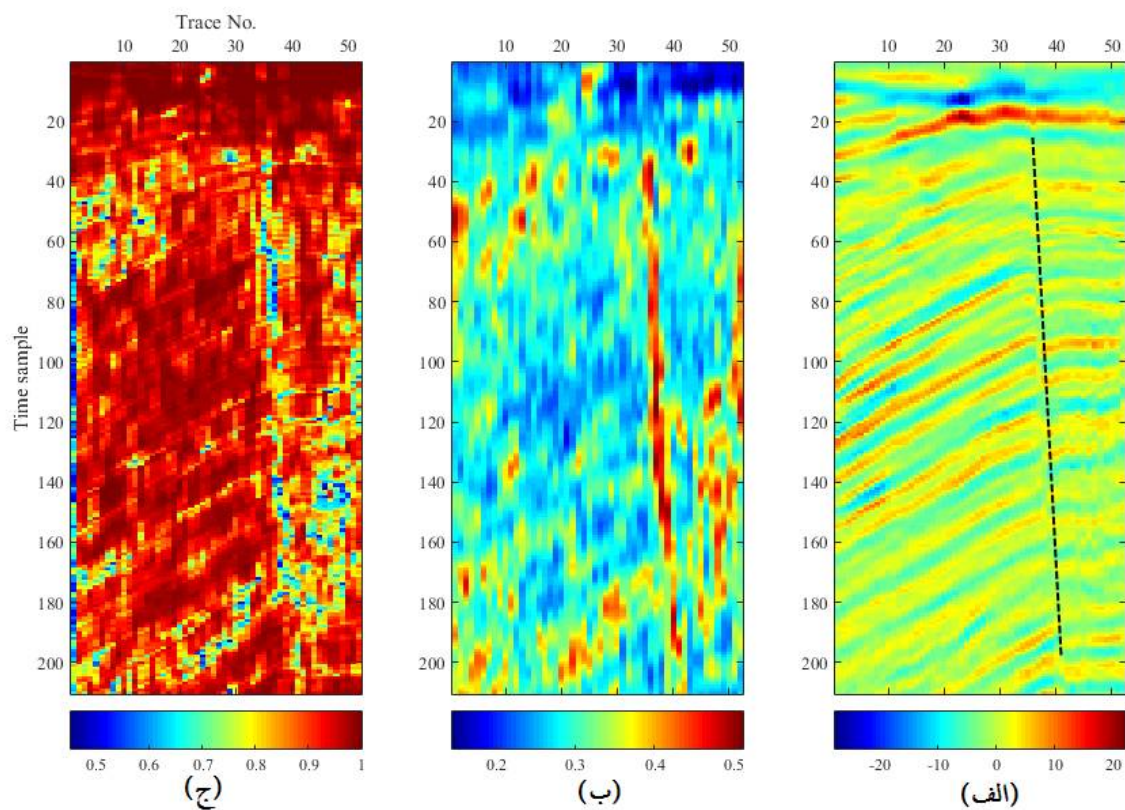
شکل 4. حاصل اعمال نشانگر سوپل سه‌بعدی بر روی داده لرزه‌ای مصنوعی (الف) و (ب) بدون نوفه و (ج) و (د) همراه نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه 3/6 دسی‌بل. نتایج برش خورده برای نمایش بهتر در حالت نشان داده شده است.



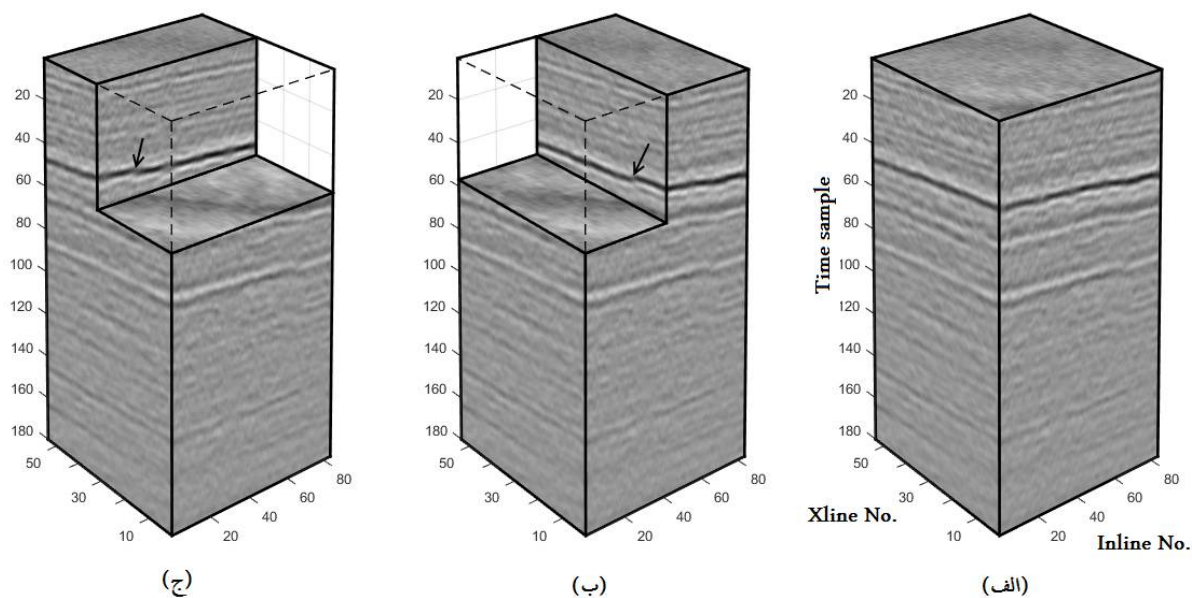
شکل 5. حاصل اعمال نشانگر همدوسی بر مبنای ساختار ویژه بر روی داده لرزه‌ای مصنوعی (الف) و (ب) بدون نوفه و (ج) و (د) همراه نوفه تصادفی با نسبت سیگنال به نوفه 3/6 دسی‌بل. نتایج برش خورده به منظور نمایش بهتر در حالت نشان داده شده است.

زمانی 46 در شکل 8 نشان داده شده است. در شکل 9 نیز برای درک بهتر نتایج و تفسیر آنها با استفاده از روند داده‌های لرزه‌ای، برش‌های مذکور در موقعیت واقعی خود به صورت رنگی بر روی نمای برش خورده از داده لرزه‌ای نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، محل گسل به دست آمده از دو نشانگر به خوبی با ناپیوستگی داده لرزه‌ای همپوشانی دارد.

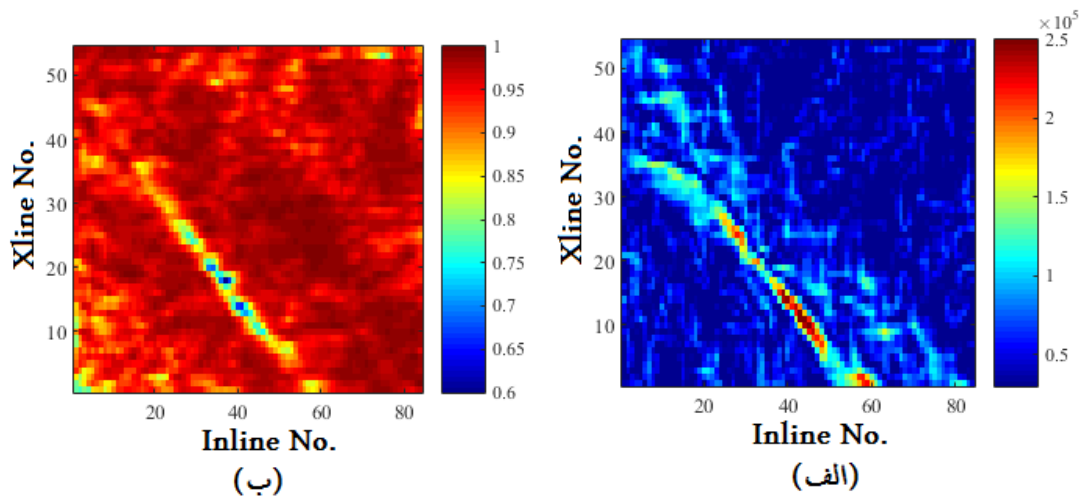
این ناپیوستگی با استفاده از بیکان در نماهای برش خورده مشخص شده‌اند. نشانگر لرزه‌ای سوبل با ابعاد $3 \times 3 \times 3$ بر روی داده مورد نظر با در نظر گرفتن شیب زمانی ظاهری محاسبه شد. به منظور مقایسه نتایج با یک روش متداول، نشانگر لرزه‌ای همدوسی مبتنی بر ساختار ویژه نیز بر روی داده مورد نظر اعمال گردید. برش زمانی از دو نشانگر لرزه‌ای سوبل و همدوسی در افق زمانی مربوط به نمونه



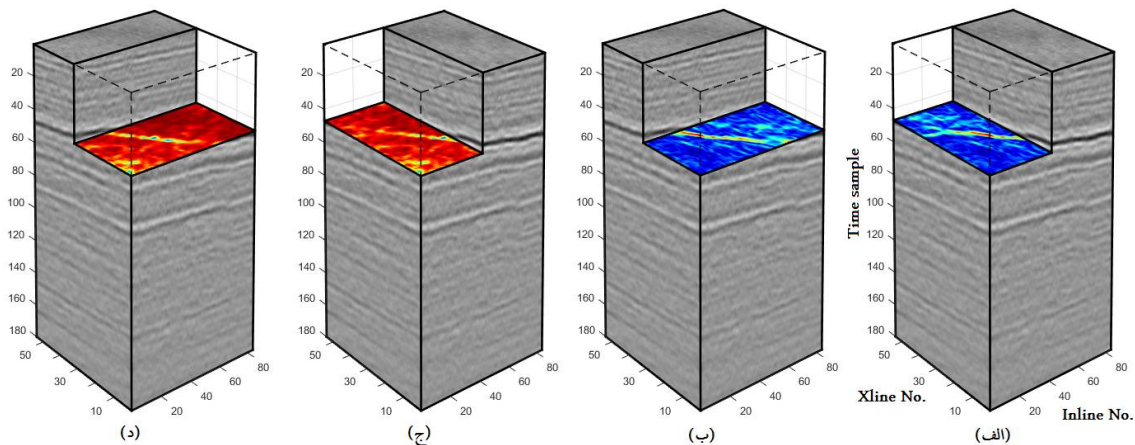
شکل 6. داده لرزه‌ای دوبعدی واقعی (گسل به صورت خط چین مشخص شده است) و نتایج (ب) نشانگر سوپل و (ج) همدوسی بر مبنای ساختار ویژه.



شکل 7. (الف) بخشی از داده لرزه‌ای سه‌بعدی مربوط به ناحیه‌ای از میدان گازی در شمال شرق ایران و (ب) برش‌خورده داده مذکور که موقعیت گسل‌های تفسیر شده روی آن مشخص شده‌اند.



شکل 8. برش زمانی در نمونه زمانی 46 از نتایج نشانگر لرزه‌ای (الف) سوبل سه‌بعدی و (ب) همدوسی بر مبنای ساختار ویژه.



شکل 9. نمایش برش زمانی در افق نمونه زمانی 46 از نشانگر (الف) و (ب) سوبل سه‌بعدی و (ج) و (د) همدوسی بر مبنای ساختار ویژه بر روی دو داده لرزه‌ای برش‌خورده.

5 نتیجه‌گیری

گسل‌ها از مهم‌ترین رویدادهای زمین‌شناسی هستند که شناخت و تعیین محل دقیق آنها در داده‌های لرزه‌ای عامل مهمی در توصیف مخازن هیدروکربن و مطالعات ژئومکانیکی مخازن محسوب می‌شود. در این مقاله، از نشانگر سوبل دوبعدی و سه‌بعدی برای شناسایی گسل‌ها در داده‌های لرزه‌ای دوبعدی و سه‌بعدی استفاده و نتایج آن با نشانگر متداول همدوسی بر مبنای ساختار ویژه مقایسه شد. بر اساس نتایج حاصل از دو نشانگر در داده‌های

مصنوعی و واقعی می‌توان گفت که نشانگر سوبل در شناسایی و تعیین موقعیت گسل‌ها عملکرد و دقت بهتری نسبت به نشانگر همدوسی بر مبنای ساختار ویژه دارد. همچنین پایداری نشانگر سوبل در مقابل نوفه نیز بیشتر از نشانگر همدوسی است. از نظر زمان محاسبات نیز به دلیل محاسبات ساده‌تر، نشانگر سوبل دارای سرعت بیشتری از نشانگر همدوسی و زمان اجرای آن در حدود نصف زمان اجرای الگوریتم همدوسی بر مبنای ساختار ویژه است. لذا می‌توان گفت که نشانگر سوبل یک نشانگر جایگزین

- Gupta, S., and Mazumdar, S. G., 2013, Sobel edge detection algorithm: *Int. J. Computer Science and Management Res.*, **2**, 1578–1583.
- Hafiz, D. A., Sheta, W. M., Bayoumi, S., and Youssef, B. A., 2011, A new approach for 3D range image segmentation using gradient method: *J. Computer Science*, **7**, 475–487.
- Iske, A., and Randen, T., 2005, *Mathematical Methods and Modelling in Hydrocarbon Exploration and Production*: Springer.
- Islam, S. Z., Islam, S. Z., Jidin, R., and Mohd. Alauddin Mohd, A., 2010, Execution time optimization analysis on multiple algorithms performance of moving object edge detection: *AIP Conference Proceedings*, **1239**, No. 1, 289–295.
- Jing, Z., Yanqing, Z., Zhigang, C., and Jianhua, L., 2007, Detecting boundary of salt dome in seismic data with edge-detection technique: *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, **26**, No. 1, 1392–1396.
- Karachentsev, I. D., Tully, R. B., Dolphin, A., Sharina, M., Makarova, L., Makarov, D., Sakai, S., Shaya, E. J., Kashibadze, O. G., Karachentseva, V., and Rizzi, L., 2007, The Hubble Flow around the Centaurus A/M83 Galaxy Complex: *The Astronomical Journal*, **133**, 534–537.
- Kearey, P., Brooks, M., and Hill, I., 2002, *An Introduction to Geophysical Exploration*: Wiley, 272 pp.
- Marfurt, K. J., Kirlin, R. L., Farmer, S. L., and Bahorich, M. S., 1998, 3-D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm: *Geophysics*, **63**, 1150–1165.
- Roberts, A., 2001, Curvature attributes and their application to 3D interpreted horizons: *First Break*, **19**, 85–100.
- Sheriff, R. E., and L. P. Geldart, 1995, *Exploration Seismology*: Cambridge University Press, 628 pp.
- Sobel, I., and Feldman, G., 1968, A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing: presented at the Stanford Artificial Project in Pattern Classification and Scene Analysis, Duda, R., and Hart, P., Eds., John Wiley & Sons, 271–272.
- Wilson, K. S., 2001, Comparing edge-detection algorithm performance under degrading signal-to-noise ratio conditions: *Proc. SPIE 4387, Optical Pattern Recognition XII*, **186**, 186–191.
- مناسب برای نشانگر همدوسی در امر شناسایی گسل‌هاست.
- منابع
- اعظم پور، ف.، 1393، استفاده از نشانگر لرزه‌ای سوبل در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- اعظم پور، ف.، روشندل کاهو، ا.، احمدی فرد، ع.، و حیدریان، ع.، 1393 الف، نشانگر لرزه‌ای سوبل متوازن برای شناسایی گنبد نمکی: اولین همایش ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت و گاز، تهران، ایران.
- اعظم پور، ف.، روشندل کاهو، ا.، احمدی فرد، ع.، و حیدریان، ع.، 1393 ب، شناسایی کانال‌های مدفون با استفاده از نشانگر لرزه‌ای سوبل سه‌بعدی: دومین همایش ملی نفت و گاز ایران، کرمان، ایران.
- Aqrabi, A. A., and Boe, T. H., 2011, Improved fault segmentation using a dip guided and modified 3D Sobel filter: *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 999–1003.
- Aqrabi, A. A., Boe, T. H., and Barros, S., 2011, Detecting salt domes using a dip guided 3D Sobel seismic attribute: *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1014–1018.
- Chopra, S., Kumar, R., and Marfurt, K. J., 2014, Seismic discontinuity attributes and Sobel filtering: Presented at 84th Annual International Meeting, SEG, Extended Abstracts.
- Chopra, S., and Marfurt, K. J., 2007, Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization: *Society of Exploration Geophysicists*.
- Gibson, D., Spann, M., Turner, J., and Wright, T., 2005, Fault surface detection in 3-D seismic data: *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **43**, 2094–2102.
- Gonzalez, R. C., and Woods, R. E., 2008, *Digital Image Processing*: Pearson/Prentice Hall.
- Groshong, R. H., 2006, *3-D Structural Geology: A Practical Guide to Quantitative Surface and Subsurface Map Interpretation*: Springer.

Faults detection in seismic reflection data using Sobel attribute

Fatemeh Azampour¹, Amin Roshandel Kahoo^{*2}, Alireza Ahmadyfard³ and Alireza Heydarian⁴

¹ M. Sc. of Geophysics, School of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Assistant Professor, School of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Associate Professor, School of Electrical and Robotic Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁴ Iranian Offshore Oil Company, Tehran

(Received: 11 August 2015, Accepted: 26 September 2016)

Summary

Faults are among the most important geological events for hydrocarbon and mineral exploration and geological studies. They are considered as the major hydrocarbon traps whose detection in seismic reflection data have important roles in hydrocarbon reservoir characterization and geomechanical studies of reservoirs. According to previous studies, approximately 75% of the oil fields are associated with faults. Faults can influence the efficiency of hydrocarbon reservoirs by improving the permeability of a porous medium. Faults are defined as a discontinuity along a geological layer or geological event which is the result of the failure of that layer or event against the tension exerted on it.

Reflection seismology is one of the best geophysical methods for hydrocarbon exploration. Various methods have been introduced to identify faults in seismic reflection data. In seismic reflection data, faults can be seen as discontinuities along the reflectors. One of the conventional methods of interpretation of the faults is a manual interpretation of seismic horizons which is a highly time-consuming process. Due to the nature of the seismic data, identification of faults plane in this data is a difficult process.

Seismic attributes are considered as useful tools that will reveal hidden information in seismic data which can help the interpreters to detect faults. In fact, a seismic attribute can be used as a filter that makes the structural and stratigraphic information more apparent from the seismic data. There are several seismic attributes for faults detection in reflection seismic data such as coherency, curvature, chaos, and variance. The seismic coherence attribute is one of the most common attributes for fault detection. This attribute is calculated by different criteria such as cross-correlation, semblance, eigenstructure, gradient structure tensor.

In this paper, we used a new form of a seismic attribute for edge detection. It is the Sobel filter which is a widely used tool in image processing, computer vision, and edge detection problems. It is the first derivative of the image and is sensitive to amplitude changes. It is a discrete differentiation operator, computing an approximation of the gradient of the image intensity function by convolving the isotropic 3×3 operators. These operators are extensible to higher sizes and dimensions. Therefore, the Sobel attributes can be used in two- and three-dimensional seismic data. It can be used in seismic data for identification of the geological events such as faults, salt dome, and buried channels.

The efficiency of dip guided Sobel attribute is evaluated by applying it to both synthetic and real seismic data. We compared the obtained results with the results of conventional seismic coherency attributes. In this paper, we used the eigenstructure-based coherency attribute. Comparison of the results of synthetic models in both noise-free and noisy cases in two and three dimensions show that the dip guided Sobel filter can be a good alternative for coherence attributes. In comparison with the coherence attributes, dip guided Sobel attribute is a short run time process and has large stability against noise. In real seismic tests in two and three dimensions, the obtained results from two attributes show that the dip guided Sobel attribute performs better than the eigenstructure-based coherency attribute.

Keywords: reflection seismology, fault, edge detection, Sobel attribute

*Corresponding author:

roshandel@shahroodut.ac.ir