

## استفاده از نشانگر لرزه‌ای شباهت در شناسایی ریزگسل‌های سازند گازی خانگیران

علی هاشمی‌گازار<sup>۱</sup> و عبدالرحیم جواهریان<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد بازنشسته، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران و استاد دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

(دریافت: ۸۸/۲/۲۶، پذیرش نهایی: ۸۸/۱۲/۱۸)

### چکیده

امروزه استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای برای تفسیر بهتر داده‌های لرزه‌ای کاربرد فراوانی یافته است. از جمله این نشانگرها می‌توان به نشانگرهای هم‌دوسی اشاره کرد. هم‌دوسی لرزه‌ای، یک نشانگر ردلرزه مختلط و هندسی است که روی مکعبی از داده‌های لرزه‌ای سه‌بُعدی اعمال می‌شود. هم‌دوسی لرزه‌ای کمی از تغییرات جانبی در مقاومت لرزه‌ای است که بر اثر تغییرات ساختاری، چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، تخلخل و وجود هیدروکربور به وجود می‌آید. هنگامی که نشانگرهای هم‌دوسی روی داده‌های لرزه‌ای اعمال شوند، پیوستگی میان دو یا چند ردلرزه را در پنجره تحلیل نشان می‌دهند که میزان پیوستگی لرزه‌ای، خود نشانه‌ای از پیوستگی زمین شناسی است. مکعب لرزه‌ای سه‌بُعدی هم‌دوسی در تشخیص گسل‌ها بسیار موثر است. سه راه حل موجود برای محاسبه هم‌دوسی عبارت‌اند از شباهت، همبستگی عرضی و ساختار ویژه. در این مقاله الگوریتم هم‌دوسی شباهت که گد مربوط به آن در محیط Matlab نوشته شده است روی داده‌های سه‌بُعدی مصنوعی و نیز داده‌های واقعی یکی از مناطق نفتی واقع در شمال شرق ایران اعمال می‌شود تا کارایی آن در شناسایی گسل‌های کوچک‌مقیاس مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این روش با روش ساختار ویژه که روی همین داده‌ها اعمال شده بود، مقایسه می‌شود. این تحقیق نشان می‌دهد که الگوریتم هم‌دوسی شباهت، مکعب هم‌دوسی بهتری را نسبت به مکعب ساختار ویژه فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نشانگر لرزه‌ای هم‌دوسی، مکعب داده‌های لرزه‌ای سه‌بُعدی، نشانگر شباهت، همبستگی عرضی، ساختار ویژه، ریزگسل‌ها

## Using semblance based coherency to detect micro faults in the Khangiran gas field

Hashemi Gazar, Ali.<sup>1</sup> and Javaherian, A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M. Sc. in Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> Retired Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran and presently at the Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 16 May 2009, Accepted: 9 March 2010)

### Abstract

Seismic attributes are very useful in seismic data interpretation. One of these attributes is the coherency attribute. Seismic coherency is a complex trace and a geometrical attribute that is applied to a 3D cube of seismic data. It is a measure of lateral changes in acoustic impedance caused by the variation in structure, stratigraphy, lithology, porosity, and the presence of hydrocarbons. When coherency attributes are applied to seismic data, they show the continuity between two or more traces of the seismic window. The rate of the seismic continuity is a sign of geological continuity. The 3D seismic coherency cube can be extremely effective in delineating faults. To calculate the attribute of coherency, there are three solutions: semblance, eigenstructure and cross correlation. Inputs of these

algorithms are 3D seismic data. Similar traces are mapped with high coherence coefficients and dissimilar traces take lower coefficients. In this paper, we designed the semblance based coherency algorithm in Matlab and applied it to the synthetic data. For this purpose, we generated several 3D synthetic seismic cubes including micro-faulted horizontal, dipping, and cross dipping layers. We also studied the effect of the dominant frequency, signal to noise ratio and the size of the analysis cube in calculating coherency attributes. We used a Ricker wavelet with the dominant frequency of 30 Hz for horizontal layers and 35 Hz for dipping layers and signal to noise ratio of 1. We applied all three approaches of coherency attributes on a data set from the Khangiran gas field in NE Iran.

This method is employed using, as narrow as possible, a temporal window analysis typically determined by the highest usable frequency in the input seismic data. Near-vertical structural features, such as faults are better enhanced when using a longer temporal analysis window. By this algorithm, we were able to balance the conflicting requirements between maximizing lateral resolution and increasing S/N ratio. We studied the applicability of this algorithm to detect faults with minor-displacements and compared the results of this method with eigenstructure and cross correlation over the same data set. It provides better results compared with the other two methods. This study shows that the semblance-based coherency algorithm provides a better coherency cube than the eigenstructure-based coherency cube.

**Key words:** Seismic coherency attribute, 3D Seismic data cube, semblance, eigenstructure, cross correlation, micro faults

## ۱ مقدمه

منحنی بازتاب استفاده می‌شود. از پیشرفت‌های مهم در این زمینه می‌توان به محاسبات حجمی منحنی بازتاب از سوی الدوساری و مارفورت (۲۰۰۶) و چوپرا و مارفورت (۲۰۰۷) اشاره کرد. در حال حاضر نشانگرهای لرزه‌ای فراوانی برای تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی، رخساره‌های چینه‌شناسی و خصوصیات مایعات درون‌حفره‌ای یا سنگ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که پیدایش آنها مرهون پیشرفت‌های فناوری رایانه‌ای است (چوپرا و مارفورت، ۲۰۰۵).

## ۲ نشانگرهای لرزه‌ای همدوسی

همدوسی لرزه‌ای یک مقیاس بین صفر تا یک است که تشابه بین ردلرزه‌ها را نشان می‌دهد. هنگامی که این الگوریتم روی داده‌های لرزه‌ای به کار برده می‌شود، همدوسی نشانه‌ای از پیوستگی بین دو یا تعداد بیشتری از ردلرزه‌های پنجره لرزه‌ای را نشان می‌دهد و میزان

نشانگرهای لرزه‌ای همانند یک موتور جستجوگر لرزه‌ای اند که اگر داده‌های لرزه‌ای درون آن قرار گیرند ممکن است بتوانند ویژگی داده‌های لرزه‌ای را مشخص کنند و اطلاعات مفیدی از داده‌های لرزه‌ای در اختیار کاربر قرار دهند. نشانگرهای ردلرزه مختلط نخستین بار در دهه ۱۹۷۰ معرفی شدند. تانر و همکاران (۱۹۷۹) پنج نشانگر لرزه‌ای ردلرزه مختلط شامل دامنه لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، قطبیت لحظه‌ای، بسامد لحظه‌ای و بسامد وزن‌دار میانگین را معرفی کردند. پس از آن نشانگرهای جدید به سرعت تکثیر یافتند تا اینکه باهوریچ و فارمر (۱۹۹۵) نشانگر لرزه‌ای همدوسی را که یک نشانگر لرزه‌ای سه‌بعدی است، معرفی کردند. سپس نشانگرهای همدوسی شباهت (مارفورت و همکاران، ۱۹۹۸) و ساختار ویژه (گرستنکورن و مارفورت، ۱۹۹۹) عرضه شدند که ناهنجاری‌های چینه‌شناسی و ساختاری را به نمایش در می‌آورند. اخیراً برای آشکار ساختن شکستگی‌ها از خمش

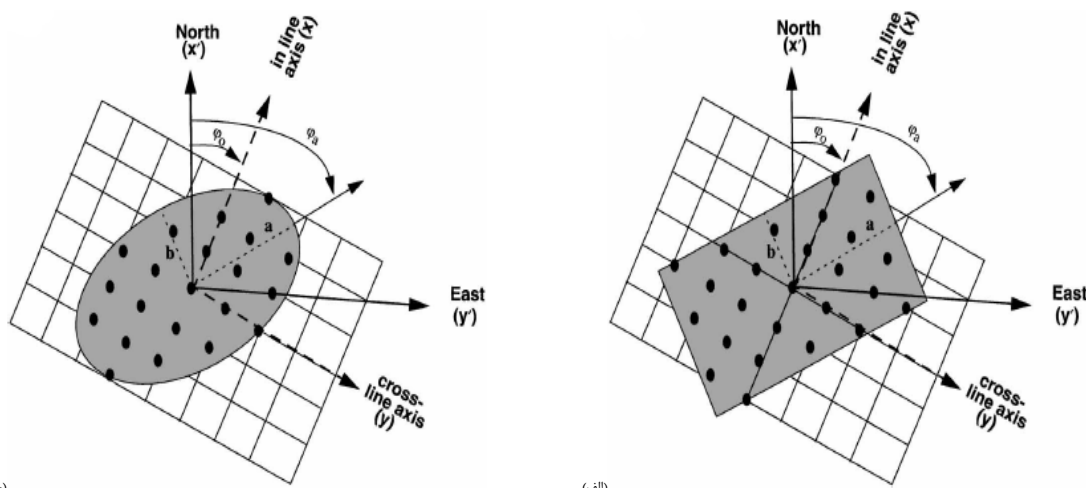
### ۳ نشانگر لرزه‌ای همدوسی شباهت

این نشانگر را مارفورت و همکاران (۱۹۹۸) معرفی کردند. در این روش علاوه بر اندازه‌گیری دقیق همدوسی، شیب و آزیموت، می‌توان حتی در داده‌های دارای نوفه، پنجره تحلیل قائم را به تعداد نمونه‌های زمانی کمتری محدود کرد و این امکان را فراهم ساخت تا رخساره‌های چینه‌شناسی با ضخامت کم به تصویر در آیند. در این الگوریتم ابتدا یک پنجره تحلیل به صورت مستطیل یا بیضی تعریف می‌شود که تعداد  $J$  ردلرزه نسبت به نقطه تحلیل که در مرکز پنجره قرار گرفته است، مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۱). اگر مرکز پنجره تحلیل به عنوان محور اصلی  $(x, y)$  در نظر گرفته شود، همدوسی بر مبنای شباهت به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (مارفورت و همکاران، ۱۹۹۸).

پیوستگی لرزه‌ای، نشانه مستقیمی از پیوستگی زمین‌شناسی است. اندازه‌گیری‌های همدوسی در سه‌بعد، تشابه بین ردلرزه‌ها را بیان می‌کند. ردلرزه‌های مشابه که ضرایب همدوسی بزرگی دارند به‌خوبی به نقشه در می‌آیند و مناطقی از ردلرزه‌ها که با گسل‌ها برش می‌خورند، همدوسی کوچکی دارند و در هر راستا تشخیص داده می‌شوند.

نشانگر همدوسی شامل سه الگوریتم همبستگی عرضی، شباهت و ساختار ویژه است که دو روش آخر نسبت به روش اول برتری محسوسی دارند. در این مقاله، از الگوریتم شباهت به‌منظور شناسایی گسل‌ها استفاده می‌شود و کارایی آن روی داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی مورد آزمایش قرار می‌گیرد؛ و در انتها با دو روش همبستگی عرضی و ساختار ویژه مقایسه می‌شود.

$$\sigma(\tau, p, q) = \frac{\left[ \sum_{j=1}^J u(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ \sum_{j=1}^J u^H(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2}{J \sum_{j=1}^J \left\{ \left[ u(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ u^H(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 \right\}} \quad (1)$$



شکل ۱. الف) پنجره تحلیل مستطیلی شکل و ب) پنجره تحلیل بیضی شکل که هر یک تعداد  $J$  ردلرزه را در بر گرفته‌اند. نقطه تحلیل در مرکز هرکدام از پنجره‌ها با سه پارامتر  $a$  (طول بزرگ‌ترین محور)،  $b$  (طول کوچک‌ترین محور) و  $\varphi_0$  (آزیموت بزرگ‌ترین محور با شمال جغرافیایی) مشخص می‌شود (مارفورت و همکاران، ۱۹۹۸).

به یک رخداد بازتابی که با  $\hat{p}$  و  $\hat{q}$  نشان داده می‌شوند، برآورد شود. فرض می‌شود حداکثر شیب واقعی  $d_{\max}$  (برحسب میلی‌ثانیه بر متر) براساس داده‌های لرزه‌ای در راستای خط گیرنده و خط چشمه را می‌توان برآورد کرد، بنابراین محدوده شیب‌های ظاهری را به صورت رابطه (۴) می‌توان بیان کرد:

$$\sqrt{p^2 + q^2} \leq +d_{\max} \quad (۴)$$

۴ اعمال الگوریتم شباهت روی داده‌های مصنوعی  
به منظور آزمایش توانایی الگوریتم شباهت، مدل‌های مصنوعی با لایه‌های افقی و شیب‌دار گسل خورده تهیه شد و عوامل موثر روی نشانگر شباهت مورد بررسی قرار گرفت (هاشمی گازار، ۱۳۸۶).

#### ۱-۴ بسامد غالب موجک لرزه‌ای

یکی از پارامترهای اثرگذار روی الگوریتم شباهت، بسامد غالب موجک لرزه‌ای است. به منظور بررسی اثر بسامد غالب موجک لرزه‌ای بسامدهای متعددی روی داده‌ها اعمال شد که برای بسامدهای کمتر از ۲۰ هرتز گسل‌ها به‌خوبی نمایان نیستند. اما برای بسامدهای بیشتر از ۲۰ هرتز، گسل‌ها به‌خوبی نمایان شدند. در این مقاله برای لایه‌های افقی بسامد ۳۰ هرتز و برای لایه‌های شیب‌دار بسامد ۳۵ هرتز در نظر گرفته شد.

#### ۲-۴ نسبت سیگنال به نوفه

نسبت انرژی سیگنال در بخش معینی از ردلرزه به کل انرژی نوفه در همان بخش را نسبت سیگنال به نوفه گویند (تلفورد و همکاران، ۱۹۷۶). به منظور مشخص ساختن اثر سیگنال به نوفه روی الگوریتم شباهت، نسبت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ از سیگنال به نوفه روی داده‌ها اعمال شد و نتیجه حاصل از هر یک، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که یکی از پارامترهای تاثیرگذار روی داده‌های

که  $\sigma(\tau, p, q)$  یک رخداد صفحه‌ای محلی در زمان  $\tau$  برحسب ثانیه،  $p$  و  $q$  شیب‌های ظاهری در راستاهای  $x$  و  $y$  برحسب میلی‌ثانیه بر متر و  $u^H$  تبدیل هیلبرت ردلرزه واقعی  $u$  هستند. برای برآورد هم‌دوسی بر مبنای شباهت به ازای هر نقطه درون مکعب  $u(t, x, y)$ ، باید یک پنجره تحلیل به مرکزیت نقطه موردنظر تعیین کرد و همه محاسباتی که طبق رابطه (۱) صورت می‌گیرد را، درحکم مقدار هم‌دوسی، به این نقطه نسبت داد.  $U(\tau, p, q)$  در رابطه (۲)، تبدیل سه‌بعدی  $(\tau, p, q)$  از داده‌های ورودی  $u(t, x, y)$  است و به تبدیل رادون با حداقل مربعات برای فیلتر کردن شیب و درونیابی ردلرزه در سه‌بعد نسبت داده شده است که به صورت رابطه (۲) نشان داده می‌شود.

$$U(\tau, p, q) = \sum_{j=1}^J u[\tau - (px_j + qy_j), x_j, y_j] \quad (۲)$$

بنابراین از راهکار یکسانی که در تحلیل سرعت بر مبنای شباهت موجود است، استفاده می‌شود و شباهت میانگین روی یک پنجره تحلیل قائم به ارتفاع  $2w$  میلی‌ثانیه محاسبه می‌شود. این شباهت میانگین برای برآورد هم‌دوسی به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

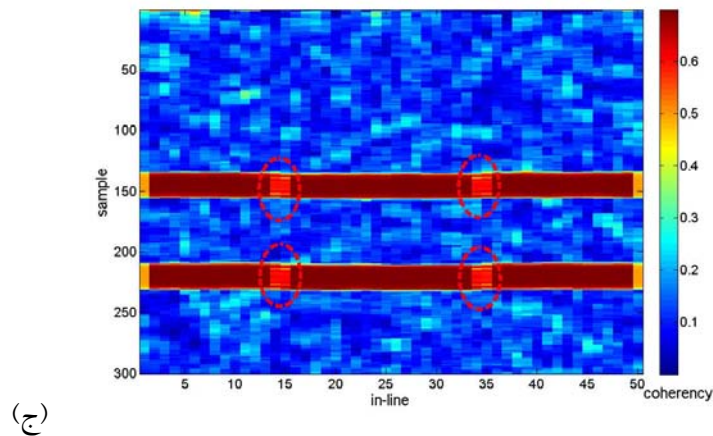
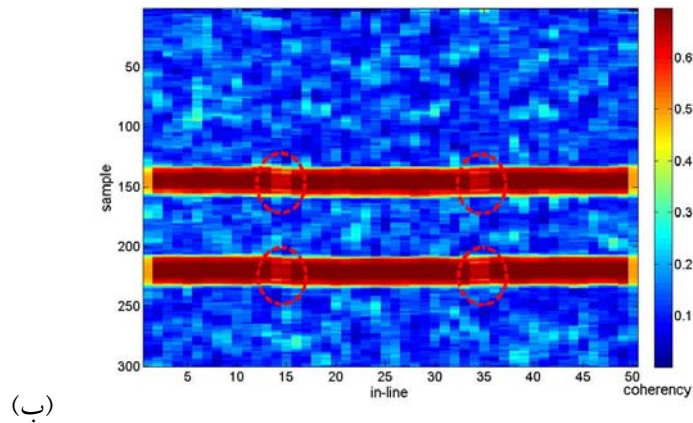
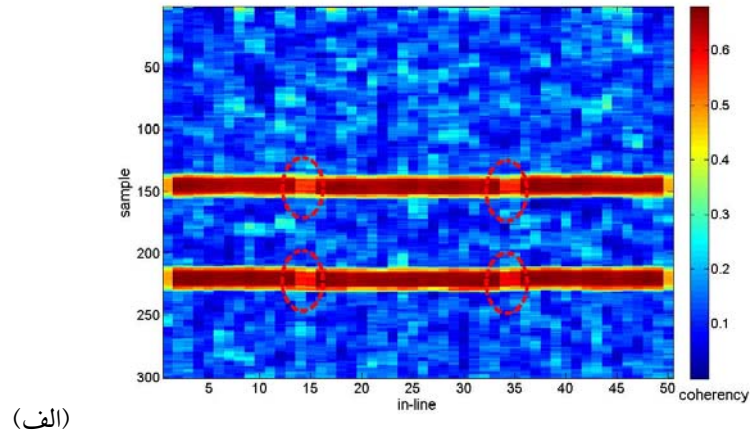
$$c(\tau, p, q) = \frac{\sum_{k=-K}^{+K} \left[ \sum_{j=1}^J u(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ \sum_{j=1}^J u^H(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2}{J \sum_{k=-K}^{+K} \sum_{j=1}^J \left[ u(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ u^H(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2} \quad (۳)$$

که  $\Delta t$  افزایش (نمو) نمونه لحظه‌ای است. از آنجاکه پنجره تحلیل معمولاً مرکز آن  $(x=0, y=0)$  است، زمان قطع  $\tau$  با  $t$  مشخص می‌شود.

به‌طور کلی، سعی می‌شود بهترین مقادیر  $p$  و  $q$  مربوط

سیگنال به نوفه ۱ به بالا قادر است گسل‌ها را شناسایی کند. البته با نسبت سیگنال به نوفه ۰/۵ هم تا حدودی گسل‌ها را شناسایی می‌کند، اما قدرت تفکیک آن کم است (شکل ۲).

لرزه‌ای در هنگام اجرا شدن الگوریتم همدوسی، شباهت میزان سیگنال به نوفه است. در همه موارد بالا بسامد، غالب موجک لرزه‌ای ریکر ۳۰ هرتز در نظر گرفته شد. پس از بررسی‌هایی که صورت گرفت، این الگوریتم از نسبت



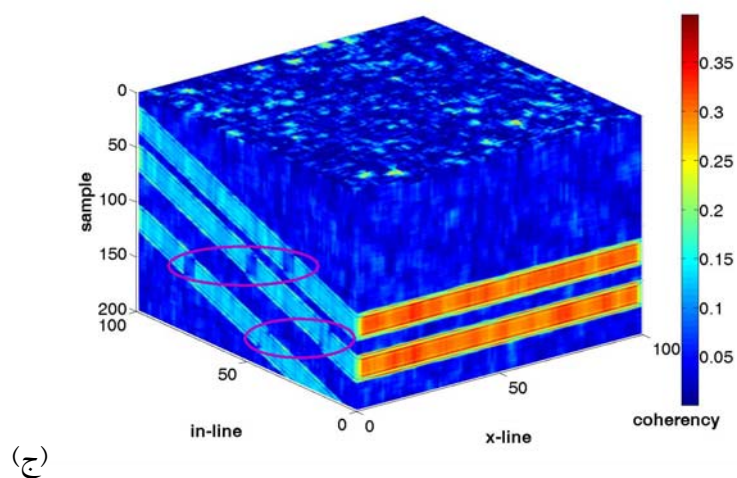
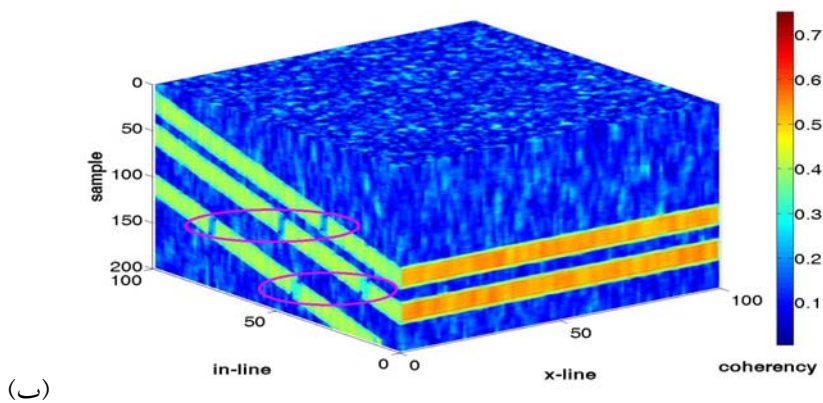
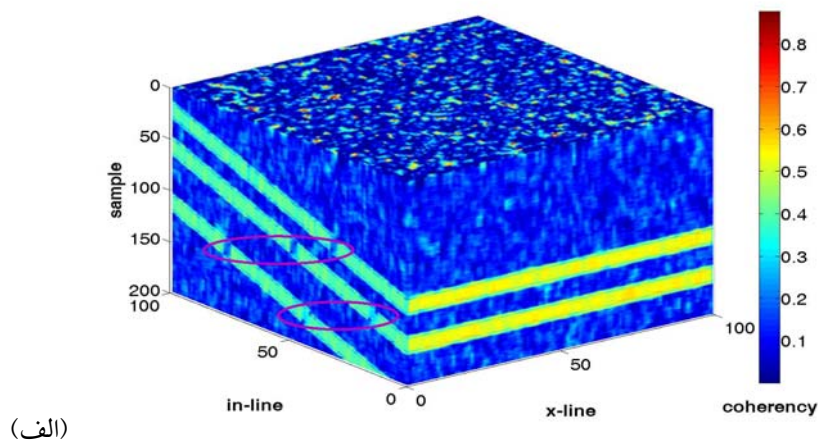
شکل ۲. اثر نسبت سیگنال به نوفه روی الگوریتم شباهت برای شناسایی ریزگسل‌ها: (الف) نسبت سیگنال به نوفه ۰/۵، (ب) نسبت سیگنال به نوفه ۱، (ج) نسبت سیگنال به نوفه ۲. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش این نسبت از ۰/۵ به ۲، وضوح تصویر بیشتر می‌شود.

## ۳-۴ ابعاد مکعب تحلیل

برای به دست آوردن ابعاد مکعب بهینه اثرات پنجره‌های تحلیل قائم و افقی بررسی می‌شود و مقدار بهینه مشخص می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که مکعب تحلیل با طول

$10 \times 10 \times 8$  نسبت به دو مکعب  $10 \times 5 \times 8$  و  $15 \times 10 \times 8$

نتیجه بهتری به دست می‌دهد، زیرا مکان ریزگسل‌ها با وضوح بیشتری نشان داده شده‌اند و نیز لایه‌ها خود را با ضخامت واقعی‌تر نمایان می‌سازند (شکل ۳).



شکل ۳. اثر مکعب تحلیل روی الگوریتم شباهت. بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۵ هرتز و نسبت سیگنال به نوفه برابر ۱ در نظر گرفته شد: (الف) مکعب تحلیل با ابعاد  $10 \times 5 \times 8$ ، (ب) مکعب تحلیل با ابعاد  $10 \times 10 \times 8$ ، (ج) مکعب تحلیل با ابعاد  $15 \times 10 \times 8$ . نتایج نشان می‌دهد مکعب قسمت (ب) دارای وضوح بیشتری نسبت به دو مکعب دیگر است.

پنجره تحلیل افقی با توجه به نسبت سیگنال به نوفه، زمان محاسبات و قدرت تفکیک جانبی برابر  $10 \times 10$  در نظر گرفته شد.

#### ۵ اعمال الگوریتم شباهت روی داده‌های واقعی

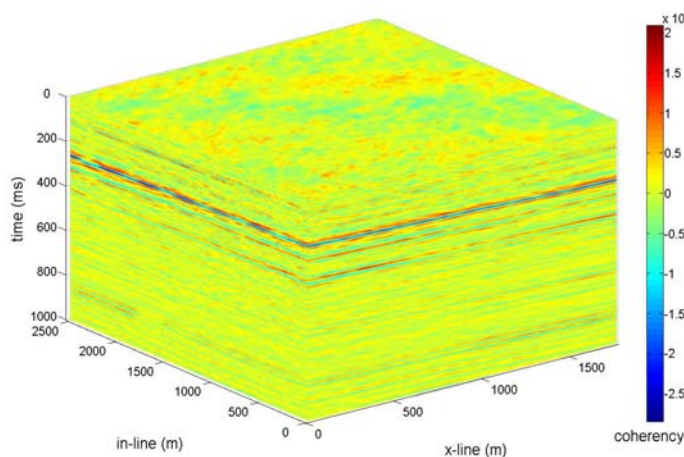
برای بررسی اثر نشانگر لرزه‌ای همدوسی شباهت روی داده‌های واقعی، مکعبی از داده‌های لرزه‌ای واقعی که کوچ زمانی پس از برابارش داده شده است، مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها مربوط به سازند گازی خانگیران در شمال شرق ایران است. نمونه‌برداری زمانی این داده‌ها ۴ میلی‌ثانیه و فاصله بین ردلرزه‌ها در راستای خطوط گیرنده و چشمه برابر ۲۵ متر است. ابعاد مکعب داده‌ها در راستای خطوط گیرنده ۲۵۲۵ متر (۱۰۱ خط گیرنده) و در راستای خطوط چشمه ۱۷۷۵ متر (۷۱ خط چشمه) و بازه زمانی آن ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه است (شکل ۴). همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مکان گسل‌ها روی مکعب داده‌های لرزه‌ای که الگوریتم شباهت روی آنها اعمال نشده است را نمی‌توان تشخیص داد اما پس از اعمال الگوریتم شباهت، گسل‌ها نمایان می‌شوند (شکل‌های ۵ و ۶).

#### ۴-۳-۱ اثر پنجره تحلیل قائم

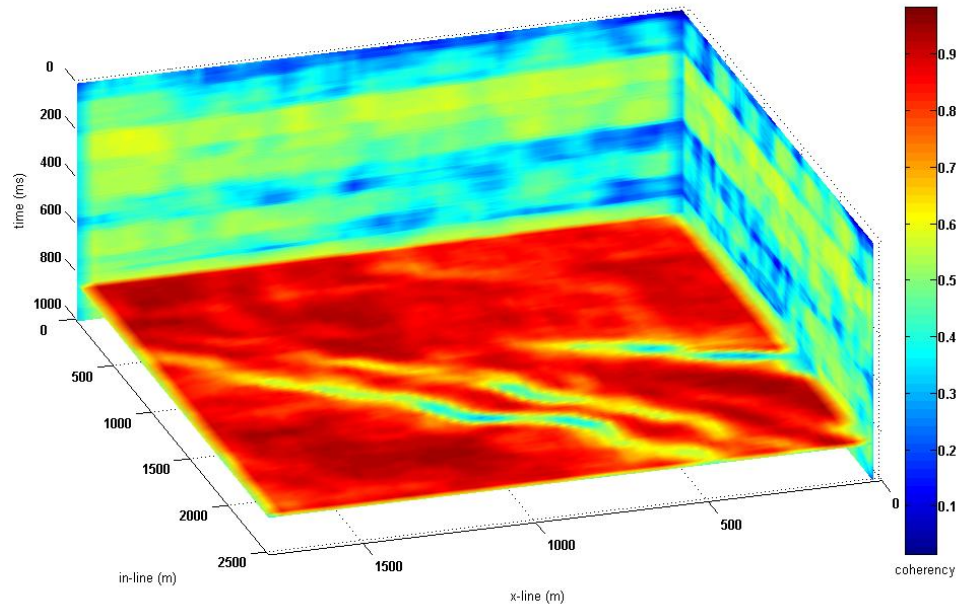
تغییرات اندازه پنجره تحلیل قائم برای شناسایی تغییرات ساختاری و چینه‌شناسی به کار می‌رود. برای افزایش نسبت سیگنال به نوفه برای لایه‌های شیب‌دار تند مانند گسل‌های قائم، با بزرگ کردن اندازه پنجره همبستگی قائم ( $k$ ) در رابطه (۳) نسبت سیگنال به نوفه افزایش می‌یابد. بنابراین در بازتابنده‌های دارای نسبت کم سیگنال به نوفه، اندازه پنجره همبستگی قائم افزایش داده می‌شود که خود این عامل سبب کاهش وضوح جانبی در مورد گسل‌های قائم می‌شود. به‌خاطر جلوگیری از کاهش وضوح جانبی و نیز کاهش زمان محاسبات، اندازه بهینه پنجره تحلیل قائم برابر ۸ در نظر گرفته شد.

#### ۴-۳-۲ اثر پنجره تحلیل افقی

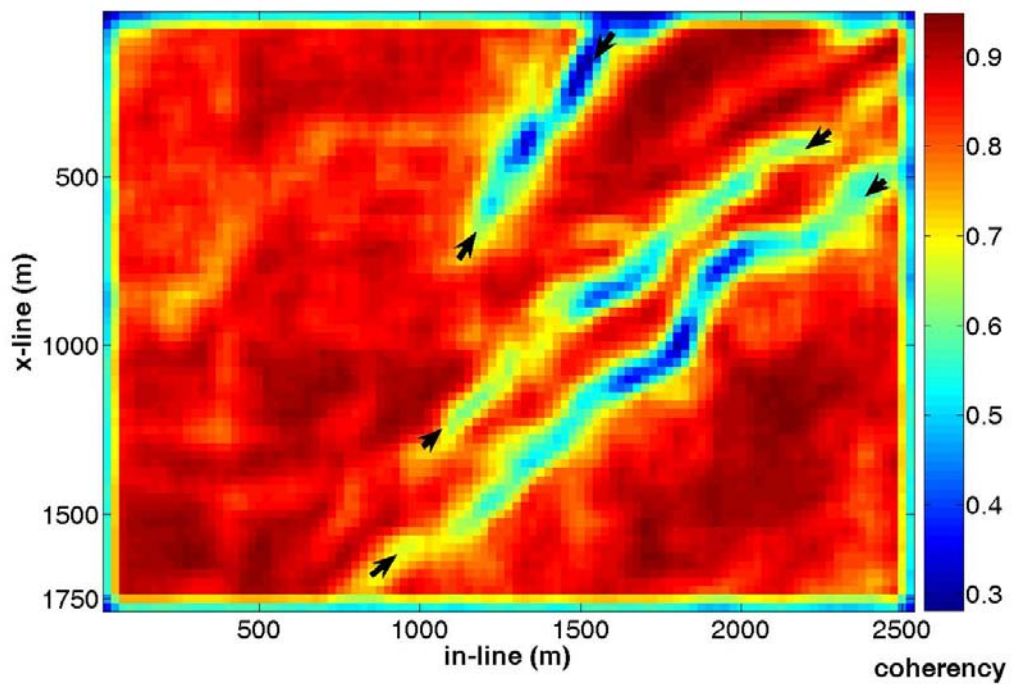
این اثر برای مقایسه قدرت تفکیک جانبی در مقابل نسبت سیگنال به نوفه به کار می‌رود. با افزایش تعداد ردلرزه‌های مکعب تحلیل، به‌طور طبیعی زمان محاسبات بالا می‌رود اما نسبت سیگنال به نوفه نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی با افزایش پنجره تحلیل افقی، نسبت سیگنال به نوفه افزایش ولی قدرت تفکیک جانبی کاهش می‌یابد. اندازه بهینه



شکل ۴. مکعب لرزه‌ای حاصل از داده‌های سه‌بُعدی سازند گازی خانگیران واقع در شمال‌شرق ایران. در این مکعب از ۱۰۱ خط گیرنده با فاصله ۲۵ متر در مجموع به طول (m) ۲۵۲۵، ۷۱ خط چشمه با فاصله ۲۵ متر در مجموع به طول (m) ۱۷۷۵ و ۲۵۱ نمونه زمانی با فاصله ۴ میلی‌ثانیه در جمع به عمق (ms) ۱۰۰۰ استفاده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نمی‌توان گسل‌ها را در مکعب لرزه‌ای شناسایی کرد.



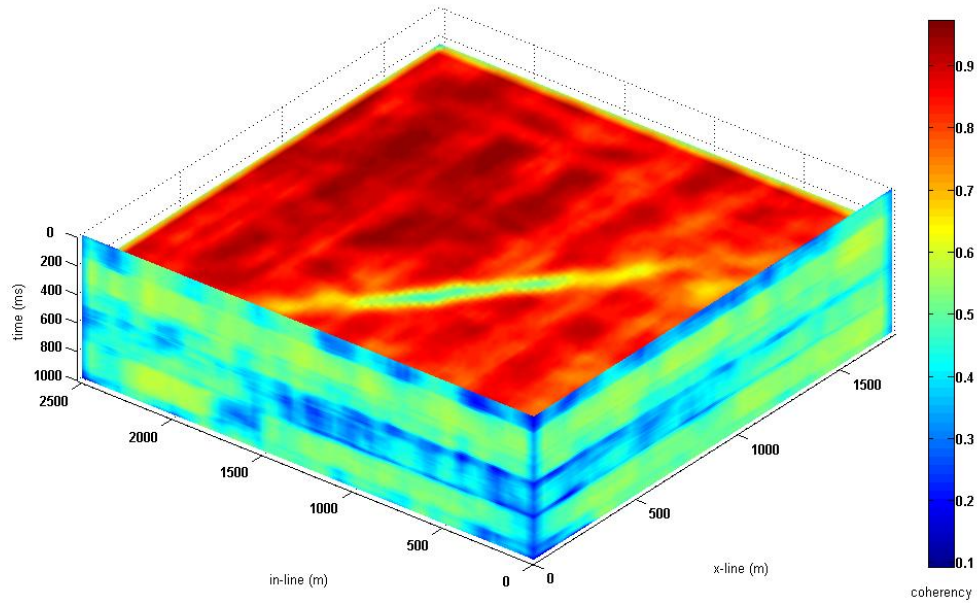
(الف)



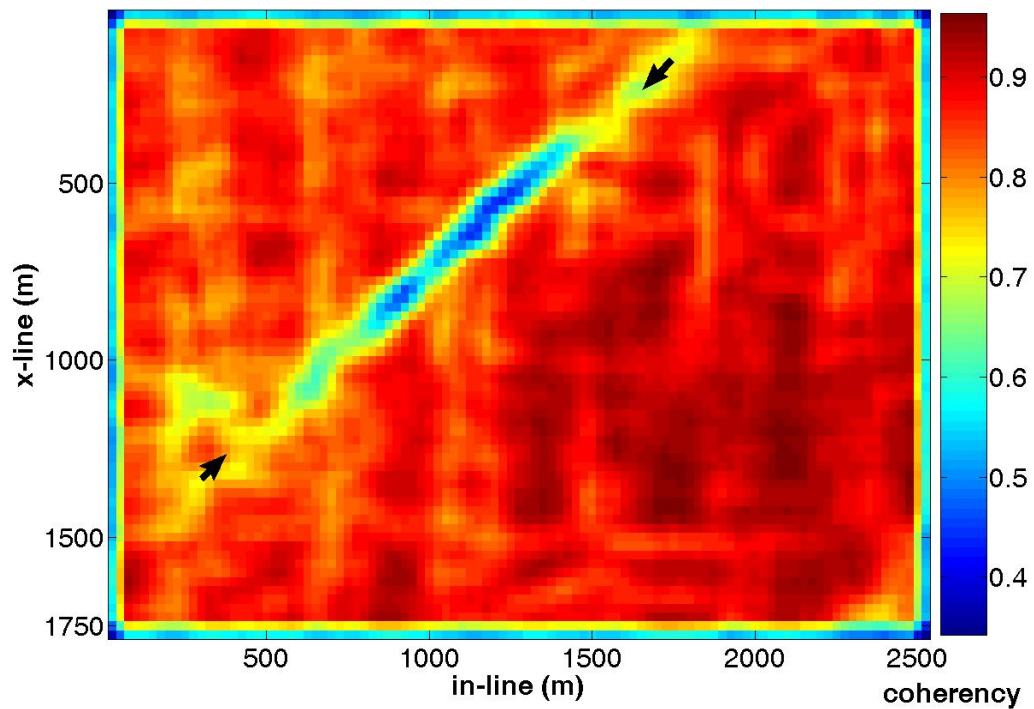
(ب)

**شکل ۵.** توانایی الگوریتم شباهت در شناسایی گسل‌ها برای برش زمانی ۸۴۸ میلی‌ثانیه از درون مکعب لرزه‌ای داده‌های واقعی شکل ۴ با مکعب تحلیل با ابعاد  $10 \times 15 \times 12$ . (الف) نمای سه‌بعدی از مکعب داده‌ها و (ب) نمای دو‌بعدی. رنگ سرخ تیره نشان‌دهنده مناطق با هم‌دوسی زیاد و رنگ آبی تیره نشان‌دهنده مناطق با هم‌دوسی کم است.





(الف)

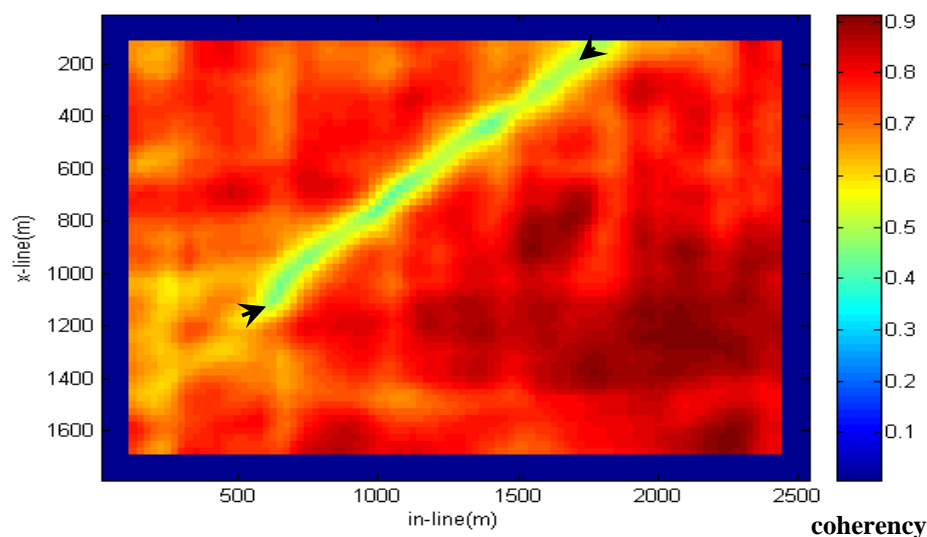


(ب)

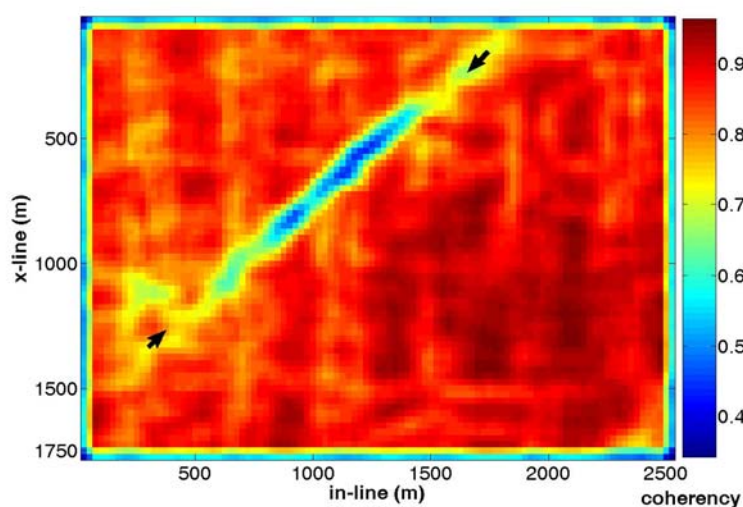
شکل ۶. توانایی الگوریتم شباهت در شناسایی گسل‌ها برای برش زمانی ۲۶۰ میلی‌ثانیه از درون مکعب لرزه‌ای داده‌های واقعی شکل ۴ با مکعب تحلیل با ابعاد  $10 \times 10 \times 12$ . (الف) نمای سه‌بعدی از مکعب داده‌ها و (ب) نمای دو‌بعدی. رنگ سرخ تیره نشان‌دهنده مناطق با هم‌دوسی زیاد و رنگ آبی تیره نشان‌دهنده مناطق با هم‌دوسی کم است.

۱۳۸۷). شکل ۷ نتایج حاصل از اعمال الگوریتم‌های ساختار ویژه و شباهت را روی برش زمانی ۲۶۰ میلی‌ثانیه داده‌های واقعی شکل ۴ نشان می‌دهد. پیکان‌های روی این شکل، مکان ریزگسل‌ها را نشان می‌دهند و همان‌طور که در شکل ۷-ب مشاهده می‌شود، الگوریتم شباهت قادر است مناطقی از درون لایه گسل خورده را که همدوسی کمتری دارند و با رنگ آبی آورده شده‌اند، شناسایی کند، درحالی‌که الگوریتم ساختار ویژه ناتوان از این امر است.

۶ مقایسه الگوریتم شباهت با الگوریتم‌های ساختار ویژه و همبستگی متقابل نتایج حاصل از الگوریتم شباهت با نتایج حاصل از الگوریتم ساختار ویژه و همبستگی متقابل مقایسه می‌شود تا میزان توانایی هر یک در نشان دادن ریزگسل‌ها مشخص شود. همه نتایج از داده‌های سازند گازی خانگیران که مشخصات آن در بخش ۵ بیان شد، حاصل آمده است. نتایج روشن ساخت که الگوریتم همبستگی متقابل قادر به شناسایی ریزگسل‌ها نیست (هاشمی گازار و جواهریان،



(الف)

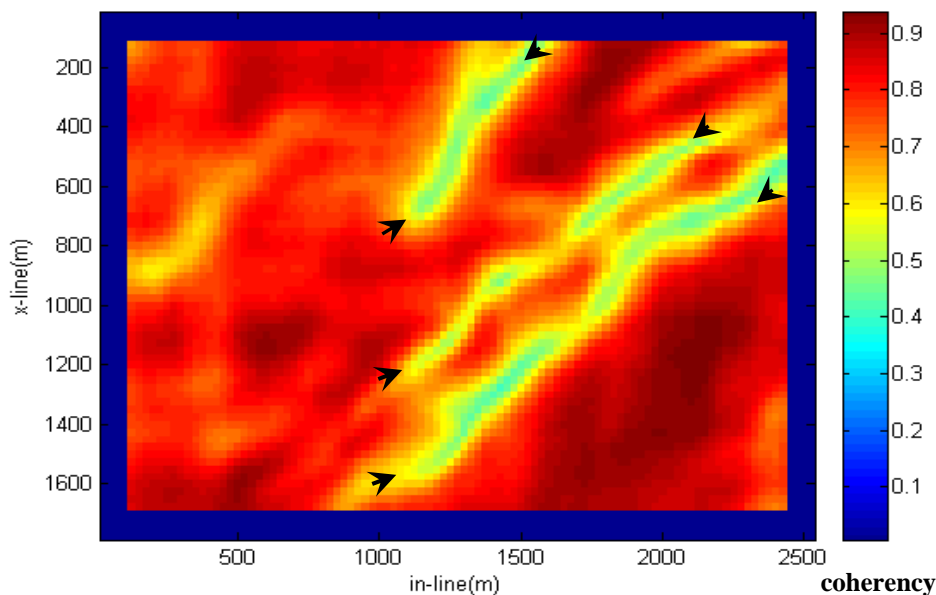


(ب)

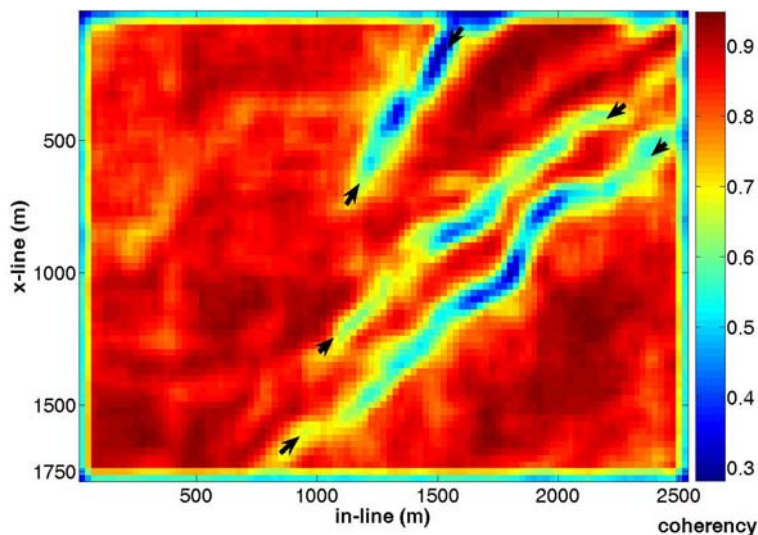
شکل ۷. نتایج حاصل از اعمال الگوریتم‌های: (الف) ساختار ویژه (جواهری نیستانک و همکاران، ۱۳۸۶) و (ب) شباهت روی برش زمانی ۲۶۰ میلی‌ثانیه داده‌های واقعی شکل ۴. پیکان‌ها مکان ریزگسل را نشان می‌دهند. رنگ سرخ تیره نشان‌دهنده مناطق با همدوسی زیاد و رنگ آبی تیره نشان‌دهنده مناطق با همدوسی کم است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شکل (ب) در مقایسه با شکل (الف)، توانایی بیشتری برای نمایش مناطقی که همدوسی کمتری دارند، دارد.

با وضوح بیشتری ریزگسل‌ها را نشان دهد و نیز مناطقی از درون لایه گسل خورده را که هم‌دوسی کمتری دارند و با رنگ آبی آورده شده‌اند شناسایی کند درحالی‌که از الگوریتم ساختار ویژه نمی‌توان برای این موضوع استفاده کرد (هاشمی‌گازار، ۱۳۸۶).

شکل ۸ نتایج حاصل از اعمال الگوریتم‌های ساختار ویژه و شباهت را روی برش زمانی ۸۴۸ میلی‌ثانیه داده‌های واقعی شکل ۴ نشان می‌دهد. پیکان‌ها سه ریزگسل موجود در این برش زمانی را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۸-ب مشاهده می‌شود، الگوریتم شباهت قادر است



(الف)



(ب)

شکل ۸ نتایج حاصل از اعمال الگوریتم‌های: (الف) ساختار ویژه (جوهری نیستانک و همکاران، ۱۳۸۶) و (ب) شباهت روی برش زمانی ۸۴۸ میلی‌ثانیه داده‌های واقعی شکل ۴. پیکان‌ها مکان ریزگسل‌ها را نشان می‌دهند. رنگ سرخ تیره نشان‌دهنده مناطق با هم‌دوسی زیاد و رنگ آبی تیره نشان‌دهنده مناطق با هم‌دوسی کم است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شکل (ب) در مقایسه با شکل (الف)، توانایی بیشتری برای نمایش مناطقی که هم‌دوسی کم‌تری دارند، دارد.

## ۷ نتیجه گیری

الگوریتم شباهت روی داده‌های مصنوعی و نیز داده‌های واقعی مربوط به سازند گازی خانگیران در شمال شرق ایران اعمال شد که نتایج حاصل، توانایی زیاد الگوریتم طراحی شده را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم شباهت با الگوریتم ساختار ویژه، برتری الگوریتم شباهت را روشن می‌سازد. الگوریتم شباهت در مقایسه با الگوریتم ساختار ویژه قادر است مناطقی از درون لایه گسل خورده را که هم‌دوسی کم‌تری دارند شناسایی کند درحالی‌که الگوریتم ساختار ویژه فاقد این توانایی است (شکل‌های ۷ و ۸). به کمک این الگوریتم با تغییر ابعاد مکعب تحلیل می‌توان نسبت سیگنال به نوفه و وضوح جانبی را موازنه کرد. در الگوریتم شباهت با افزایش ابعاد مکعب تحلیل، نسبت سیگنال به نوفه افزایش می‌یابد اما از وضوح جانبی کاسته می‌شود. بیشتر شدن بیش از حد اندازه پنجره مکانی علاوه بر اینکه زمان محاسبات را افزایش می‌دهد، محل گسل خورده را نیز پهن‌تر نمایان می‌سازد. به دلیل اینکه پنجره زمانی در الگوریتم شباهت، به نمونه‌های کمتری محدود می‌شود، این الگوریتم قادر است تغییرات ساختاری و چینه‌شناسی کوچک‌مقیاس را نیز شناسایی کند.

## منابع

- نشانگرهای هم‌دوسی در تفسیر داده‌های لرزه‌ای، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۴، (۳) ۹۳-۱۰۶.
- Al-Dossary, S. and Marfurt, K. J., 2006, Multispectral estimates of reflector curvature and rotation, *Geophysics*, **71**, P41-P51.
- Bahorich, M. S. and Farmer, S. L., 1995, 3-D seismic coherency for faults and stratigraphic features, *The Leading Edge*, 1053-1058.
- Chopra, S. and Marfurt, K. J., 2007, Multispectral volumetric curvature adding value to 3D seismic data interpretation, *CSPG/CSEG Convention*, Calgary.
- Chopra, S. and Marfurt, K. J., 2005, Seismic attributes - A historical perspective: *Geophysics*, **70**, 3SO-28SO.
- Gresztenkorn, A. and Marfurt, K. J., 1999, Eigenstructure-based coherence computations as an aid to 3-D structural and stratigraphic mapping: *Geophysics*, **64**, 1468-1479.
- Marfurt, K. J., Kirlin, R. L., Farmer, S. L., and Bahorich, M. S., 1998, 3-D seismic attributes using a running window semblance-based algorithm, *Geophysics*, **63**, 1150-1165.
- Taner, M. T., Koehler, F. and Sheriff, R. E., 1979, Complex seismic trace analysis: curvature *Geophysics*, **44**, 1041-1063.
- Teleford, W. M., Geldrat, L. P., Sheriff, R. E. and Keys, D. A., 1976, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press.

جواهری نیستانک، ع. ر.، جواهریان، ع. و امینی، ن.، ۱۳۸۶، قدرت تفکیک نشانگر لرزه‌ای هم‌دوسی در شناسایی گسل‌ها: فصل‌نامه علوم زمین، سال هفدهم (۶۵) ۴۸-۵۹.

هاشمی‌گازار، ع.، ۱۳۸۶، کاربرد نشانگر لرزه‌ای شباهت در به تصویر کشیدن ناپیوستگی‌های ساختاری در داده‌های لرزه‌ای سه‌بُعدی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

هاشمی‌گازار، ع.، جواهریان، ع.، ۱۳۸۷، مزایای استفاده از