

بررسی توانایی نشانگر ناپیوستگی ساختاری محلی روی داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در شناسایی ریزگسل‌ها

نفسه ظریف کریمی^۱، محمدعلی ریاحی^{۲*} و امین روشندل کاهو^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک (لرزه‌شناسی)، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

^۳ استادیار، دانشکده معدن، ژئوفیزیک و نفت، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(دریافت: ۸۸/۴/۶، پذیرش نهایی: ۹۰/۱۱/۱۱)

چکیده

در این مقاله تفکیک‌پذیری و توانایی نشانگر ناپیوستگی ساختاری محلی روی داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی در شناسایی ریزگسل‌ها بررسی شده‌است. بدین‌منظور سه مدل زمین‌شناسی متفاوت تولید شد. در این مدل‌ها موجک چشمه لرزه‌ای یک موجک ریکر ایستا با فاز صفر است. در ضمن فرض شد اثرات کاهش دامنه لرزه‌ای با افزایش عمق و پدیده جذب جبران شده‌اند. مشخص شد که نشانگر ناپیوستگی ساختاری محلی به تغییرات ابعاد مکعب تحلیل و پارامترهای لرزه‌ای شامل نسبت دامنه سیگنال به نوفه و بسامد غالب موجک لرزه‌ای حساس است. در این تحقیق چگونگی تأثیر تغییر این پارامترها بر نتایج اعمال این نشانگر بررسی شد و برای هر مدل مقادیری از نسبت دامنه سیگنال به نوفه، بسامد غالب موجک لرزه‌ای و ابعاد مکعب تحلیل که بهترین نتایج را به‌دست داده‌اند، در حکم مناسب‌ترین مقادیر برای این پارامترها پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی: ناپیوستگی ساختاری محلی، گسل، همدوسی، مقدار ویژه، ساختار ویژه، ماتریس همبستگی، شباهت، همبستگی متقابل

Local structural discontinuity attribute robustness on 3-D seismic data to identify subtle faults

ZarifKarimi, N.¹, Riahi, M. A.² and RoshandelKahoo, A.³

¹ Graduate M.Sc. Student Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

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

³ Assistant Professor, School of Mining, Petroleum & Geophysics Engineering, Shahrood University of Technology, Iran

(Received: 27 Jun 2009, Accepted: 31 Jan 2012)

Abstract

Limited seismic data quality and complex tectonics make for less than ideal interpretation conditions. However, modern geometric attributes including coherency has shown to be effective in showing the lateral extents of subtle and small-scale geologic features not usually visible in conventional seismic sections. This geometric attributes are better suited than some older generation seismic attributes as they work on the full data volume and eliminate the need for pre-picked horizons for them to be implemented. Coherency attributes applied to 3D seismic data volume have confirmed to be an effective method for imaging geological discontinuities such as fault and stratigraphic features. These geological features are significant since they are often associated with the formation of subsurface traps in which petroleum might accumulate. Coherence calculations can help with the problems mentioned above. 3-D Seismic coherency provides interpreters a

different view, revealing subtle features not easily seen in the seismic data. It calculates the local waveform similarity in both In-line and X-line direction and estimates lateral discontinuity caused by variation in structure, stratigraphy, lithology, porosity, and the presence of hydrocarbons. Small regions of seismic traces cut by a fault surface generally have a different seismic character than the corresponding regions of neighboring traces. This results in a sharp discontinuity in local trace-to-trace coherency. Calculating coherency for each grid point along a time slice results in lineaments of low coherency along faults. When this process is repeated for a series of time slices, these lineaments become fault surfaces, even though fault plane reflections have not been recorded. Stratigraphic boundaries generate similar discontinuities. The technique may be employed to produce coherency horizon slice maps, or to transform a reflection amplitude 3-D data volume into an entirely new volume or "cube" of coherence coefficients. Map views of coherency data afford the opportunity to see stratigraphic changes more clearly. For example, the channel features that are readily apparent to laymen in the coherency time slice are very difficult to see in a traditional amplitude time slice.

Conventional amplitude time slices are often useful for viewing faults that run perpendicular to strike. However, when faults run parallel to strike, they become more difficult to see because the fault lineaments become superimposed on bedding lineaments. The coherence calculation suppresses laterally consistent features, in effect removing the bedding. Because of this, the 3-D coherence algorithm reveals faults in any orientation equally well.

Until recent years, most 3-D surveys covered relatively small areas. But the success of the technique and falling costs have caused surveys to become larger. Now some vast spec 3-D surveys cover hundreds of square kilometers and run to tens of millions of traces. Sorting through that amount of information is a daunting task. However, since calculating coherence is a non interpretive process, it can quickly provide the geoscientist with a view of regional faulting.

The first generation coherence algorithm, cross correlates each trace with its in-line and cross-line neighbor and then combines the two results after normalizing by the energy. Since this approach deals with only three traces, it is computationally very efficient but may lack robustness, especially when dealing with noisy data. The second generation coherency algorithm uses a multi-trace semblance measure. Using more traces in the coherency computations results in greater stability in the presence of noise. The third generation algorithm is also a multi-trace coherency measure. However, it is based on the Eigen-structure of the covariance matrix formed from the traces in the analysis cube.

In this paper, an analysis method is developed for the robust and efficient estimation of 3D seismic local structural entropy, which is a measure of local discontinuity of 3D seismic data to identify its subtle faults. This method avoids the computation of large covariance matrices and eigenvalues, associated with the eigenstructure-based and semblance-based coherency estimates. We introduce a number of local discontinuity measures, based on the relations between subvolumes (quadrants) of the analysis cube. The scale of the analysis is determined by the type of geological feature that is of interest to the interpreter. By combining local structural entropy volumes using various scales, we obtain a higher lateral resolution and better discrimination between incoherent and coherent seismic events. Furthermore, the method developed is computationally much more efficient than the eigenstructure-based coherency method. Its robustness is demonstrated by synthetic and real data examples. To study the robustness of the algorithm and the effective parameters, three synthetic geological model containing faults generated and the best values for these parameters were suggested. This local attributes

was applied on real 3D seismic data of a faulted gas field. Results show the robustness of this algorithm in revealing subtle faults. In this algorithm local similarity in both In-line and X-line direction and in depth direction was calculated based on the relations between sub-volumes (quadrants) of the analysis cube and estimates the lateral and vertical discontinuity. The scale of the analysis cube is determined by the type of geological feature that is of interest to the interpreter.

Not only is this method robust to noise than original three-trace cross-correlation-based algorithm but also is computationally efficient because it avoids the computation of large covariance matrixes and Eigen-values, associated with the Eigen-structure-based and semblance-based coherency estimates.

Key words: Structural features, Fault, Coherency, Cross-correlation, Semblance, Local Structural discontinuity, Eigen-value, Eigen-structure, Covariance matrix

۱ مقدمه

توانایی بیشتری دارد. سومین روش همدوسی، همدوسی بر مبنای ساختار ویژه را گرسنتکون و مارفورت در ۱۹۹۹ عرضه کردند که همانند روش شباهت، چندرذرزه‌ای است.

روش به کار رفته در این مقاله ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) (Local structural entropy) نسبت به روش همدوسی سه‌رذرزه‌ای همبستگی متقابل در مواجهه با نوفه توانمندتر است؛ چرا که به منظور افزایش نسبت دامنه سیگنال به نوفه، می‌توان تعداد رذرزه‌ها را در مکعب تحلیل تا هر تعداد دلخواه و تا جایی که تفکیک پذیری قابل قبول باشد، افزایش داد، به علاوه از نظر محاسباتی نیز بسیار مقرون به صرفه‌اند.

از آنجاکه در این روش نیازی به پیک کردن افق لرزه‌ای نیست، بسیار قابل اعتماد است چرا که پیک کردن افق علاوه بر اینکه فرایند پیچیده و وقت‌گیری است، سوگیری‌های تفسیری نیز به داده اعمال می‌کند. این روش بر یک مکعب سه‌بعدی داده لرزه‌ای اعمال شده است و یک مکعب سه‌بعدی ناپیوستگی در حکم خروجی به دست آمده است به طوری که به خوبی ناپیوستگی‌های ساختاری مانند گسل‌ها و رخساره‌های چینه‌شناسی مثل کانال‌ها را که در مقاطع لرزه‌ای متداول به آسانی قابل شناسایی نیستند، به تصویر در می‌آورد.

یکی از مسائل چالش برانگیز در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی شناسایی ناپیوستگی‌های ساختاری مانند گسل‌ها و نهشته‌های چینه‌شناسی مانند کانال‌ها در داده‌های سه‌بعدی است. این رخساره‌های زمین‌شناسی از آن جهت اهمیت دارند که اغلب با شکل‌گیری تله‌های نفتی زیرسطحی در ارتباطند. به علاوه مفسر با شناسایی ریزگسل‌ها در یک مخزن هیدروکربوری می‌تواند، محل دقیق چاه‌ها را تعیین کند و خطرهای احتمالی در حفاری را کاهش دهد. روش‌های همدوسی از جمله نشانگرهای لرزه‌ای (شریف، ۱۹۹۱، براون، ۱۹۹۶؛ چوپرا و مارفورت، ۲۰۰۵) هستند که به خوبی ناپیوستگی‌های ساختاری همانند گسل‌ها و رخساره‌های چینه‌شناسی مثل کانال‌ها را که در مقاطع لرزه‌ای متداول به آسانی قابل شناسایی نیستند، به تصویر در می‌آورند. روش همدوسی بر مبنای همبستگی متقابل را اولین بار باهوریخ و فارمر در ۱۹۹۵ به منزله یک نشانگر عرضه کردند. این روش از نظر محاسباتی کارا است اما توانایی آن در مواجهه با داده نوفه‌دار کاهش می‌یابد. دومین روش همدوسی، همدوسی بر مبنای شباهت را مارفورت و همکاران در ۱۹۹۸ عرضه کردند. در این روش از تعداد رذرزه‌های بیشتری در محاسبه همدوسی استفاده می‌شود و بنابراین نسبت به روش سه‌رذرزه‌ای همبستگی متقابل در مواجهه با داده نوفه‌دار

ظریف مثل ریزگسل‌ها و کانال‌ها را که در داده‌های لرزه‌ای غیرقابل تشخیص هستند، شناسایی کند. برای محاسبه یک مکعب LSE، اولین مرحله تعدیل کردن (Modification) هر ردلرزه است، این کار با کم کردن میانگین هر ردلرزه از همان ردلرزه صورت می‌پذیرد (کهن و کویفمن، ۲۰۰۲):

$$\hat{d}_{xyt} = d_{xyt} - E_1 \{d_{xyt}\} = d_{xyt} - \frac{1}{N_t} \sum_{k=1}^{N_t} d_{xyk} \quad (1)$$

که در آن، d_{xyt} ، نمونه t ام از ردلرزه اصلی در موقعیت (X, Y) ، \hat{d}_{xyt} ، نمونه t ام از ردلرزه تعدیل شده در موقعیت (X, Y) و dt ، تعداد کل نمونه‌ها در یک ردلرزه است. سپس مفسر، زیرمجموعه کوچکی از ردلرزه‌های مکعب اصلی را که در اصطلاح به آن مکعب تحلیل گفته می‌شود انتخاب می‌کند. ابعاد مکعب تحلیل بستگی به نوع رخساره زمین‌شناسی، نحوه لایه‌بندی، نسبت دامنه سیگنال به نوفه و نوع گسل‌های موجود در مکعب داده‌لرزه‌ای دارد، این مکعب تحلیل در کل حجم داده لرزه‌ای سه‌بُعدی تعدیل شده حرکت می‌کند و برای هر نقطه یک اندازه LSE درحکم خروجی به دست می‌دهد. اندازه و شکل مکعب تحلیل براساس توزیع هندسی ردلرزه‌ها و نمونه‌هایی که باید برای محاسبات LSE استفاده شوند، تعریف می‌شود.

مکعب تحلیل یک حجم سه‌بُعدی شامل $2L_1$ ردلرزه در راستای خط گیرنده، $2L_2$ ردلرزه در راستای خط چشمه و N نمونه زمانی در نظر گرفته می‌شود (به عبارت دیگر، مکعب تحلیل در راستای خط چشمه و گیرنده بایستی ابعاد زوج داشته باشد). مکعب تحلیل به چهار ربع $L_1 \times L_2 \times N$ تقسیم می‌شود. سپس این چهار ربع به صورت بردارهای ستونی مرتب و a_i نامیده می‌شوند. ماتریس همبستگی مکعب تحلیل از همبستگی بین این چهار ربع به دست می‌آید و ماتریس S نامیده می‌شود (کهن و کویفمن، ۲۰۰۲):

تشابه محلی ردلرزه‌ها در راستای خط چشمه، در راستای خط گیرنده و عمق بر مبنای روابطی بین ربع‌های مکعب تحلیل محاسبه می‌شود و ناپیوستگی لرزه‌ای جانبی و قائم به دست می‌آید. نشانگر ناپیوستگی ساختاری محلی به تغییرات ابعاد مکعب تحلیل و پارامترهای لرزه‌ای شامل نسبت دامنه سیگنال به نوفه و بسامد غالب موجک لرزه‌ای حساس است. در این تحقیق چگونگی تأثیر تغییر این پارامترها بر نتایج اعمال این نشانگر روی داده‌های مصنوعی بررسی شد و برای هر مدل مقادیری از نسبت دامنه سیگنال به نوفه، بسامد غالب موجک لرزه‌ای و ابعاد مکعب تحلیل که بهترین نتایج را به دست داده‌اند، به‌منزله مناسب‌ترین مقادیر برای این پارامترها پیشنهاد شدند (این مقادیر در هر بخش معین شده‌اند). سپس به منظور نشان دادن کارایی روش ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE)، این روش و روش‌های همدوسی سه-ردلرزه‌ای همبستگی متقابل، همدوسی بر مبنای شباهت و روش همدوسی بر مبنای ساختار ویژه روی داده‌های واقعی اعمال شد. این روش نسبت به روش همدوسی سه-ردلرزه‌ای همبستگی متقابل در مواجهه با نوفه توانمندتر است. همچنین از نظر محاسباتی نسبت به روش همدوسی بر مبنای شباهت و روش همدوسی بر مبنای ساختار ویژه کم هزینه‌تر است چرا که در این روش نیازی به محاسبه ماتریس‌های کوواریانس بزرگ و مقادیر ویژه آنها نیست.

۲ روش ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE)

درونگشتی ساختاری محلی (LSE) یک سنجه (معیار) از ناپیوستگی در محدوده صفر تا ۱ است، که نشان دهنده درجه پیوستگی داده‌های لرزه‌ای درون یک زیرحجم معین از مکعب لرزه‌ای است. با تبدیل یک حجم سه‌بُعدی داده لرزه‌ای به یک حجم ناپیوستگی ساختاری محلی LSE، مفسر قادر خواهد بود، پدیده‌های زمین‌شناسی

وجود دارد) $\varepsilon \leq 1, trs \leq 2|s|$ به دست می‌آید.

تابع درونگشتی ساختاری، تابعی است که میزان بی‌نظمی (عدم قطعیت) را در داخل مکعب تحلیل اندازه می‌گیرد.

اگر در هر راستا یک ردلرزه به هر ربع اضافه شود مکعب تحلیل به صورت $2L_2 + 1 \times 2L_1 + 1$ در می‌آید و در این حالت می‌توان مقدار LSE به دست آمده را به مرکز مکعب تحلیل نسبت داد.

۳ پارامترهای مؤثر بر الگوریتم ناپیوستگی ساختاری

محلی (LSE)

پارامترهای تأثیرگذار بر الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی عبارت‌اند از ابعاد مکعب تحلیل و پارامترهای لرزه‌ای شامل نسبت دامنه سیگنال به نوفه و بسامد غالب موجک لرزه‌ای. به‌منظور بررسی تأثیر تغییرات ابعاد مکعب تحلیل، نسبت دامنه سیگنال به نوفه و بسامد غالب موجک لرزه‌ای، بر نتایج اعمال این الگوریتم بر داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی، سه مدل زمین‌شناسی متفاوت تولید شد که به ترتیب عبارت‌اند از: ۱- مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی افقی، ۲- مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی شیب‌دار و ۳- مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی متقاطع. در این مدل‌ها موجک چشمه لرزه‌ای یک موجک ریکر ایستا (static) فرض می‌شود با زمان تغییر نمی‌کند) با فاز صفر است. در ضمن فرض می‌شود پدیده کاهش دامنه لرزه‌ای با افزایش عمق اثر واگرایی (divergence effect) و پدیده جذب (جذب مؤلفه‌های بسامدی زیاد و کاهش محتوای بسامدی با افزایش عمق) در مرحله پردازش جبران شده‌اند.

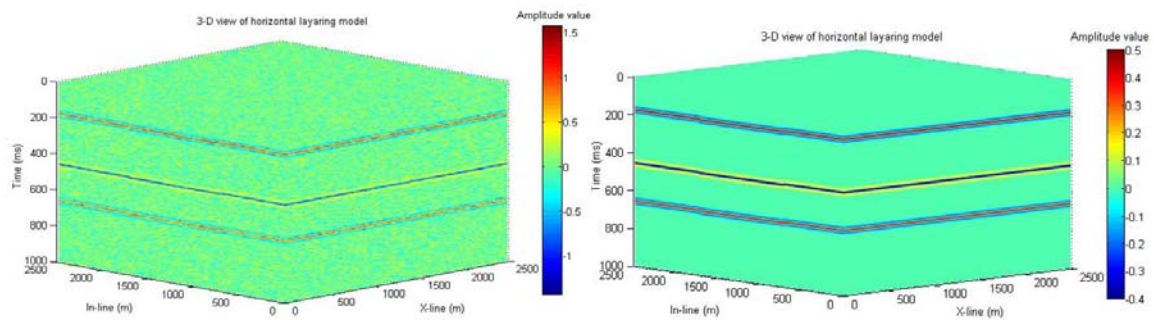
$$S = \frac{1}{NL_1 L_2} \begin{bmatrix} a_1^T a_1 & \cdots & a_1^T a_4 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_4^T a_1 & \cdots & a_4^T a_4 \end{bmatrix} \quad (2)$$

مؤلفه‌های قطری این ماتریس خودهمبستگی‌های a_1 تا a_4 هستند و سایر مؤلفه‌ها، همبستگی متقابل a_j, a_i هستند. این ماتریس متقارن است و ۶ مؤلفه غیرقطری مستقل دارد که عبارت‌اند از: ۲ مؤلفه مربوط به همبستگی متقابل در راستای خط چشمه، ۲ مؤلفه مربوط به همبستگی متقابل در راستای خط گیرنده و ۲ مؤلفه مربوط به همبستگی متقابل فضایی در راستای قطری.

اندازه LSE به یک نقطه معین در مکعب تحلیل نسبت داده می‌شود که به‌طور کلی با (x, y, t) مشخص می‌شود. مقدار LSE برابر رد نرمال شده ماتریس همبستگی خواهد بود که با رابطه (۳) نشان داده می‌شود (کهن و کویفمن، ۲۰۰۲):

$$\varepsilon(x, y, t) = \frac{trS}{\|S\|} - 1 = \frac{\sum_{i=1}^4 a_i^T a_i}{\sqrt{\sum_{i,j=1}^4 [a_i^T a_j]^2}} - 1 \quad (3)$$

که در آن، $\|.\|$ سمبل روش نرمال‌سازی هیلبرت-اشمیت است (نرم اقلیدسی) (گلوب و ون‌لون، ۱۹۸۹). هنگامی که هر چهار ربع مکعب تحلیل کاملاً همبسته باشند (در شرایط زمین‌شناسی که کمترین ناپیوستگی وجود دارد)، مؤلفه‌های ماتریس همبستگی برابر می‌شوند، بنابراین $\varepsilon = 0, trs = 1$ به دست می‌آید. وقتی هیچ همبستگی بین ربع‌های مکعب تحلیل وجود ندارد (در شرایطی که بیشترین ناپیوستگی



شکل ۱. مکعب لرزه‌ای سه‌بُعدی از مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی افقی شامل سه لایه گسل‌خورده با بسامد غالب موجک لرزه‌ای برابر 30 Hz ، (الف) مدل بدون نوفه، (ب) مدل با نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱.

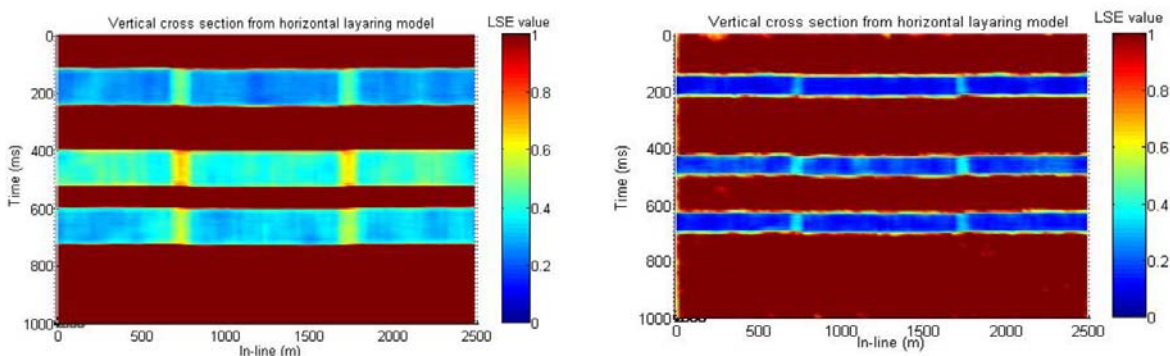
۱-۳ مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی افقی

برای بررسی تأثیر و عملکرد الگوریتم‌های نوین همدوسی بر داده‌های لرزه‌ای سه‌بُعدی، یک مکعب لرزه‌ای سه‌بُعدی مصنوعی دارای سه لایه افقی گسل‌خورده تولید شد.

مکعب داده شامل 250 نمونه زمانی، 100 ردلرزه در راستای خط گیرنده و 100 ردلرزه در راستای خط چشمه است. طول نمونه‌برداری زمانی این داده‌ها 4 میلی‌ثانیه و طول نمونه‌برداری مکانی یا فاصله بین ردلرزه‌ها در راستای خط گیرنده و در راستای خط چشمه برابر با 25 متر است. بنابراین ابعاد مکعب داده برابر است با $250\text{ m} \times 250\text{ m} \times 1000\text{ ms}$ (شکل ۱).

۱-۳-۱ بهینه‌سازی ابعاد مکعب تحلیل

ابعاد مکعب تحلیل بیش از همه به نوع رخساره زمین‌شناسی، نحوه لایه‌بندی و میزان افتادگی گسل‌های موجود در مکعب داده لرزه‌ای و سپس نسبت سیگنال به نوفه در داده‌های لرزه‌ای بستگی دارد. در این بخش به منظور بررسی تأثیر تغییرات ابعاد مکعب تحلیل بر نتایج دو مکعب تحلیل با ابعاد $4, 4, 15$ و با ابعاد $6, 6, 31$ (شکل ۲) برای اعمال الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) در نظر گرفته شد و ابعاد مکعب تحلیل برای این مدل پس از تجزیه و تحلیل $6, 6, 31$ پیشنهاد شد. در این مدل نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ و بسامد غالب موجک لرزه‌ای 30 Hz در نظر گرفته شد.

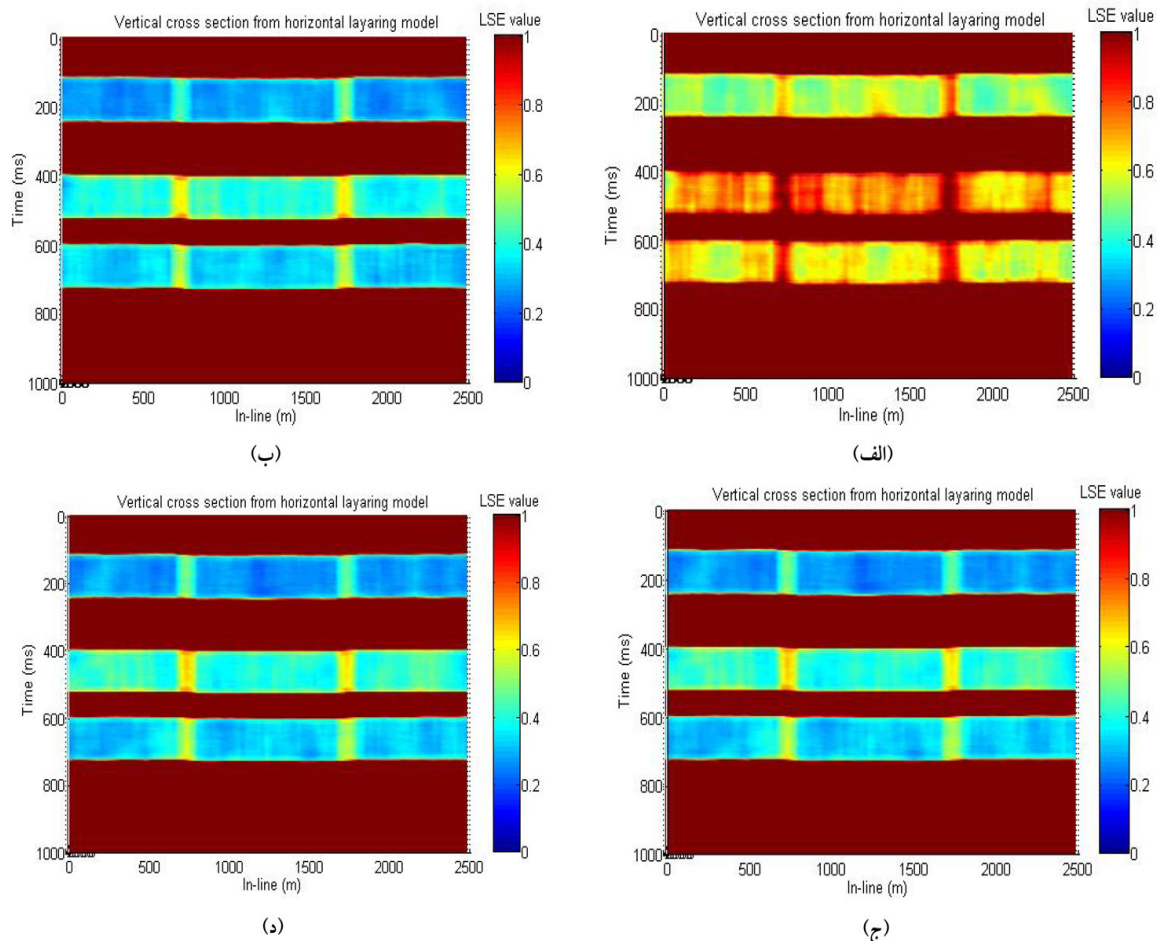


شکل ۲. تغییرات ابعاد مکعب تحلیل و نشان‌دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی افقی و بسامد غالب 30 Hz و نسبت سیگنال به نوفه ۱، (الف) مکعب تحلیل با ابعاد $15, 4, 4$ ، (ب) مکعب تحلیل با ابعاد $31, 6, 6$.

کم یعنی با نسبت سیگنال به نوفه ۰/۵ هم قادر به شناسایی گسل‌ها هست اگرچه قدرت تفکیک آن کم است. با توجه به این شکل‌ها کاملاً مشخص است که با افزایش نسبت دامنه سیگنال به نوفه، تفکیک پذیری افزایش می‌یابد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، این الگوریتم قادر است تا نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ گسل‌ها را با تفکیک پذیری مناسبی شناسایی کند. بنابراین برای بررسی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ انتخاب شد.

۳-۱-۲ نسبت دامنه سیگنال به نوفه

در این بخش در بررسی تأثیر تغییرات نسبت دامنه سیگنال به نوفه و نشان دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE)، چهار نسبت دامنه سیگنال به نوفه متفاوت به کار رفته است. شکل‌های ۳-الف، ۳-ب، ۳-ج و ۳-د به ترتیب نسبت‌های سیگنال به نوفه ۰/۵، ۱، ۲، ۳ را نشان می‌دهند. ابعاد مکعب تحلیل با توجه به بخش قبل، ۳۱،۶،۶ و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۰ Hz در نظر گرفته شد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود این الگوریتم حتی برای داده‌های با کیفیت بسیار



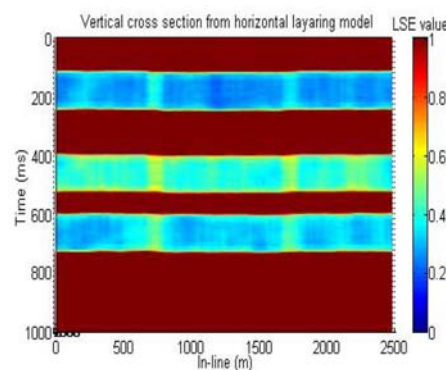
شکل ۳. تغییرات نسبت دامنه سیگنال به نوفه و نشان دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی افقی و بسامد غالب ۳۰ Hz، مکعب تحلیل با ابعاد ۳۱،۶،۶، (الف) نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۰/۵، (ب) نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱، (ج) نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۲ و (د) نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۳.

۳-۱-۳ بسامد غالب موجک لرزه‌ای

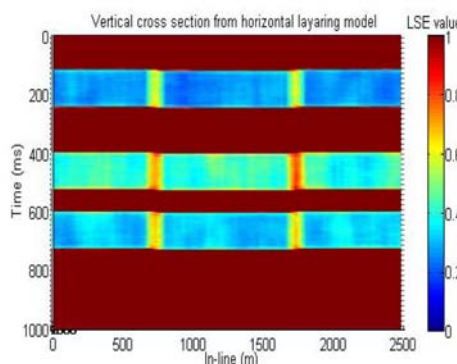
بسامد غالب موجک لرزه‌ای از دیگر پارامترهای مؤثر بر الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) در شناسایی گسل‌ها است. در این بخش به منظور بررسی تأثیر تغییرات بسامد غالب موجک لرزه‌ای بر نتایج اعمال این الگوریتم به ترتیب بسامدهای غالب ۲۰ Hz (شکل ۴-الف)، بسامد غالب ۲۵ Hz (شکل ۴-ب)، بسامد غالب ۳۰ Hz (شکل ۴-ج) به کار برده شد. در این مدل‌ها با توجه به دو بخش قبل، ابعاد مکعب تحلیل ۳۱،۶،۶ و نسبت دامنه سیگنال به نوفه مقدار ۱ در نظر گرفته شد. با مشاهده نتایج به خوبی مشخص است که افزایش یافتن بسامد غالب، تفکیک پذیری را افزایش می‌دهد.

۳-۲ مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی شیب‌دار

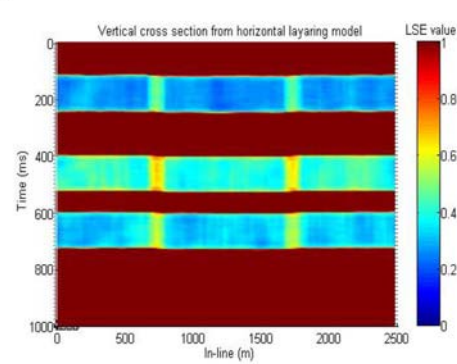
در این بخش در بررسی تأثیر و عملکرد الگوریتم‌های نوین هم‌دوسی در شناسایی گسل‌های یک لایه شیب‌دار، یک مکعب لرزه‌ای سه‌بُعدی مصنوعی دارای یک لایه شیب‌دار گسل خورده با شیب تقریبی ۳۰ درجه تولید شد. مکعب داده شامل ۲۵۰ نمونه زمانی، ۱۰۰ ردلرزه در راستای خط گیرنده و ۱۰۰ ردلرزه در راستای خط گیرنده و طول نمونه‌برداری زمانی این داده‌ها ۴ میلی‌ثانیه و طول نمونه‌برداری مکانی یا فاصله بین ردلرزه‌ها در راستای خط گیرنده و در راستای خط چشمه برابر با ۲۵ متر است. بنابراین ابعاد مکعب داده برابر است با $2500\text{m} \times 2500\text{m} \times 1000\text{ms}$ (شکل ۵).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴. تغییرات بسامد غالب موجک لرزه‌ای و نشان‌دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی افقی و نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱، مکعب تحلیل با ابعاد ۳۱،۶،۶، (الف) بسامد غالب ۲۰ Hz، (ب) بسامد غالب ۲۵ Hz، (ج) بسامد غالب ۳۰ Hz.

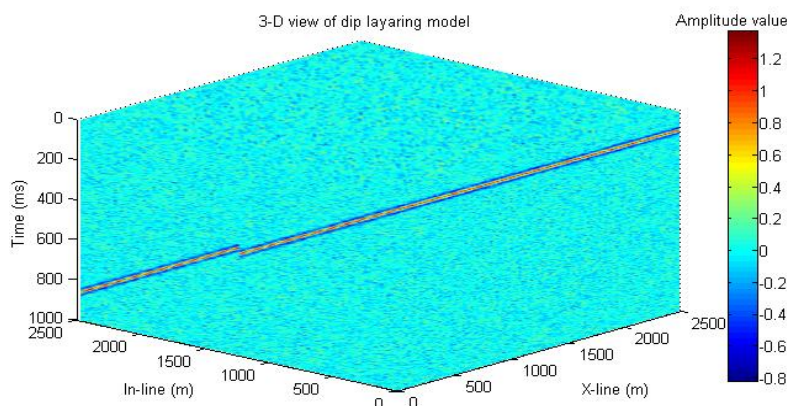
۱-۲-۳ بهینه‌سازی ابعاد مکعب تحلیل

در ابتدا لازم به ذکر است از این بخش به بعد، به منظور افزایش تباین رنگی، علاوه بر مقیاس رنگی صفر تا یک، مقیاس رنگی اصلاح شده‌ای نیز برای نمایش نتایج آورده شده است. در این مقیاس مقادیر به دست آمده برای مکعب ناپیوستگی در عدد ۲ ضرب شده و سپس به توان دو رسیده‌اند، بنابراین مقادیر پایین مقدار ۰/۵ کوچک‌تر و مقادیر بالای مقدار ۰/۵ بزرگ‌تر شده‌اند. در این بخش به منظور بررسی تأثیر تغییرات ابعاد مکعب تحلیل بر نتایج دو مکعب تحلیل با ابعاد ۱۵،۴،۴ (شکل ۶-الف و شکل ۶-ب)، و با ابعاد ۳۱،۶،۶ (شکل ۶-ج و شکل ۶-د) برای اعمال الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) در نظر گرفته شد و ابعاد مکعب تحلیل برای این مدل پس از تجزیه و تحلیل ۳۱،۶،۶ پیشنهاد شد. در این مدل نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۰ Hz در نظر گرفته شد.

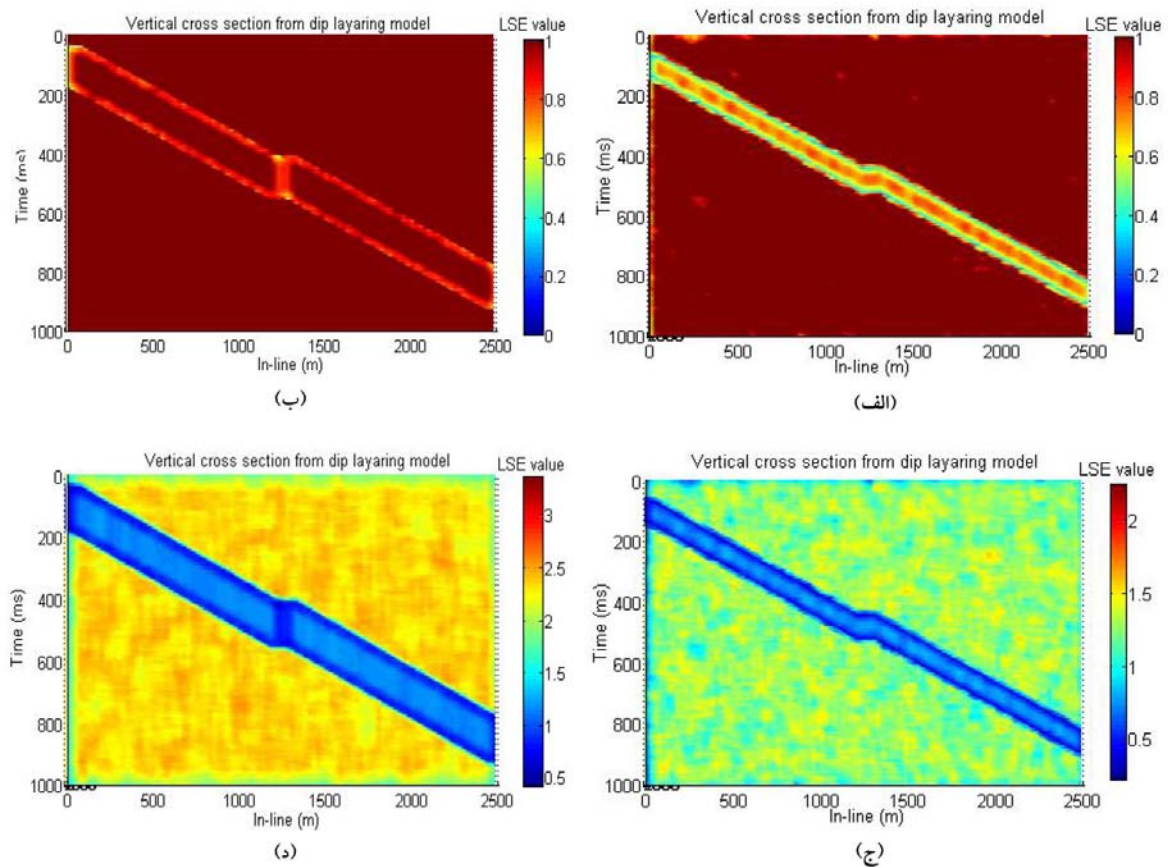
۲-۲-۳ نسبت دامنه سیگنال به نوفه

در این بخش برای بررسی تأثیر تغییرات نسبت دامنه سیگنال به نوفه و نشان دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین با لایه‌بندی

شیب‌دار و نیز به منظور بررسی تأثیر شیب لایه‌ها بر این الگوریتم همان نسبت‌های دامنه سیگنال به نوفه به کار رفته در بخش قبل به کار گرفته شد. شکل‌های ۷-الف و ۷-ب، ۷-ج و ۷-د، ۷-ه و ۷-و، ۷-ح و ۷-ط، به ترتیب نسبت‌های سیگنال به نوفه ۰/۵، ۱، ۲، ۳ را برای هر دو مقیاس رنگی نشان می‌دهند. ابعاد مکعب تحلیل با توجه به بخش قبل، ۳۱،۶،۶ و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۰ Hz در نظر گرفته شد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود این الگوریتم حتی برای داده‌های با کیفیت بسیار کم یعنی با نسبت سیگنال به نوفه ۰/۵ هم قادر به شناسایی گسل‌ها هست اگرچه قدرت تفکیک آن کم است. با توجه به این شکل‌ها کاملاً مشخص است که با افزایش نسبت دامنه سیگنال به نوفه، تفکیک پذیری افزایش می‌یابد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، این الگوریتم قادر است تا نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ گسل‌ها را با تفکیک پذیری مناسبی شناسایی کند. بنابراین برای بررسی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ انتخاب شد. در مورد زمین با لایه‌بندی شیب‌دار، تفکیک پذیری برای همه نسبت‌های سیگنال به نوفه به کار برده شده در مقایسه با زمین با لایه‌بندی افقی، کاهش می‌یابد (مقایسه شکل‌های ۳ و ۷).



شکل ۵. مکعب لرزه‌ای سه‌بُعدی از مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی شیب‌دار شامل یک لایه گسل خورده، با بسامد غالب موجک لرزه‌ای ریکر ۳۰ Hz و نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱.



شکل ۶. تغییرات ابعاد مکعب تحلیل و نشان دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی شیب‌دار و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۰ Hz. نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱، مکعب تحلیل با ابعاد ۱۵، ۴، ۴ (الف) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ب) با مقیاس رنگی اصلاح شده، مکعب تحلیل با ابعاد ۳۱، ۶، ۶ (ج) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (د) با مقیاس رنگی اصلاح شده.

۳-۲-۳ بسامد غالب موجک لرزه‌ای

برای بررسی تأثیر تغییرات بسامد غالب موجک لرزه‌ای بر نتایج اعمال این الگوریتم بر مدل زمین با لایه‌بندی شیب‌دار به ترتیب بسامدهای غالب ۲۰ Hz (شکل ۸-الف و ۸-ب)، بسامد غالب ۳۰ Hz (شکل ۸-ج و ۸-د)، بسامد غالب ۴۰ Hz (شکل ۸-ه و ۸-و) به کار برده شد. در این مدل‌ها ابعاد مکعب تحلیل با توجه به بخش قبل، ۳۱، ۶، ۶ و نسبت دامنه سیگنال به نوفه با توجه به بخش قبل، مقدار ۱ در نظر گرفته شد. با مشاهده نتایج به خوبی مشخص است که افزایش بسامد غالب، تفکیک پذیری را افزایش می‌دهد. در این بخش نیز از مقایسه نتایج مدل زمین با لایه‌بندی

شیب‌دار (شکل ۸)، با مدل زمین با لایه‌بندی افقی (شکل ۴)، مشاهده می‌شود که تفکیک پذیری برای همه بسامدهای غالب موجک لرزه‌ای به کار برده شده، کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر با در نظر گرفتن یک مقدار ثابت برای نسبت دامنه سیگنال به نوفه، بسامد غالب موجک لرزه‌ای و ابعاد مکعب تحلیل در دو مدل، لایه‌ها در مدل زمین با لایه‌بندی شیب‌دار پهن تر تصویر شده‌اند.

۳-۳ مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی متقاطع

برای بررسی تأثیر و عملکرد الگوریتم‌های نوین هم‌مدوسی در شناسایی گسل‌های مدل زمین‌شناسی با لایه‌بندی

۱۱-ه و ۱۱-و، ۱۱-ح و ۱۱-ط، به ترتیب نسبت‌های سیگنال به نوفه ۰/۵، ۱، ۲، ۳ را برای هر دو مقیاس رنگی نشان می‌دهند. ابعاد مکعب تحلیل با توجه به بخش قبل، ۱۵،۴،۴ و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۵Hz در نظر گرفته شد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود این الگوریتم حتی برای داده‌های با کیفیت بسیار کم یعنی با نسبت سیگنال به نوفه ۰/۵ هم قادر به شناسایی گسل‌ها هست، اگرچه قدرت تفکیک آن کم است. با توجه به این شکل‌ها کاملاً مشخص است که با افزایش یافتن نسبت دامنه سیگنال به نوفه، تفکیک پذیری افزایش می‌یابد. با توجه به بررسی‌های صورت پذیرفته این الگوریتم قادر است تا نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ گسل‌ها را با تفکیک پذیری مناسبی شناسایی کند. بنابراین برای بررسی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ انتخاب شد.

۳-۳-۳ بسامد غالب موجک لرزه‌ای

در بررسی تأثیر تغییرات بسامد غالب موجک لرزه‌ای بر نتایج اعمال این الگوریتم به ترتیب بسامدهای غالب ۳۰Hz (شکل ۱۲-الف و ۱۲-ب)، بسامد غالب ۳۵Hz (شکل ۱۲-ج و ۱۲-د)، بسامد غالب ۴۰Hz (شکل ۱۲-ه و ۱۲-و) به کار برده شد. در این مدل‌ها ابعاد مکعب تحلیل با توجه به بخش قبل ۱۵،۴،۴ و نسبت دامنه سیگنال به نوفه با توجه به بخش قبل، مقدار ۱ در نظر گرفته شد. با مشاهده نتایج به خوبی مشخص است که افزایش بسامد غالب، تفکیک پذیری را افزایش می‌دهد. برای بررسی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) بسامد غالب ۳۵Hz انتخاب شد.

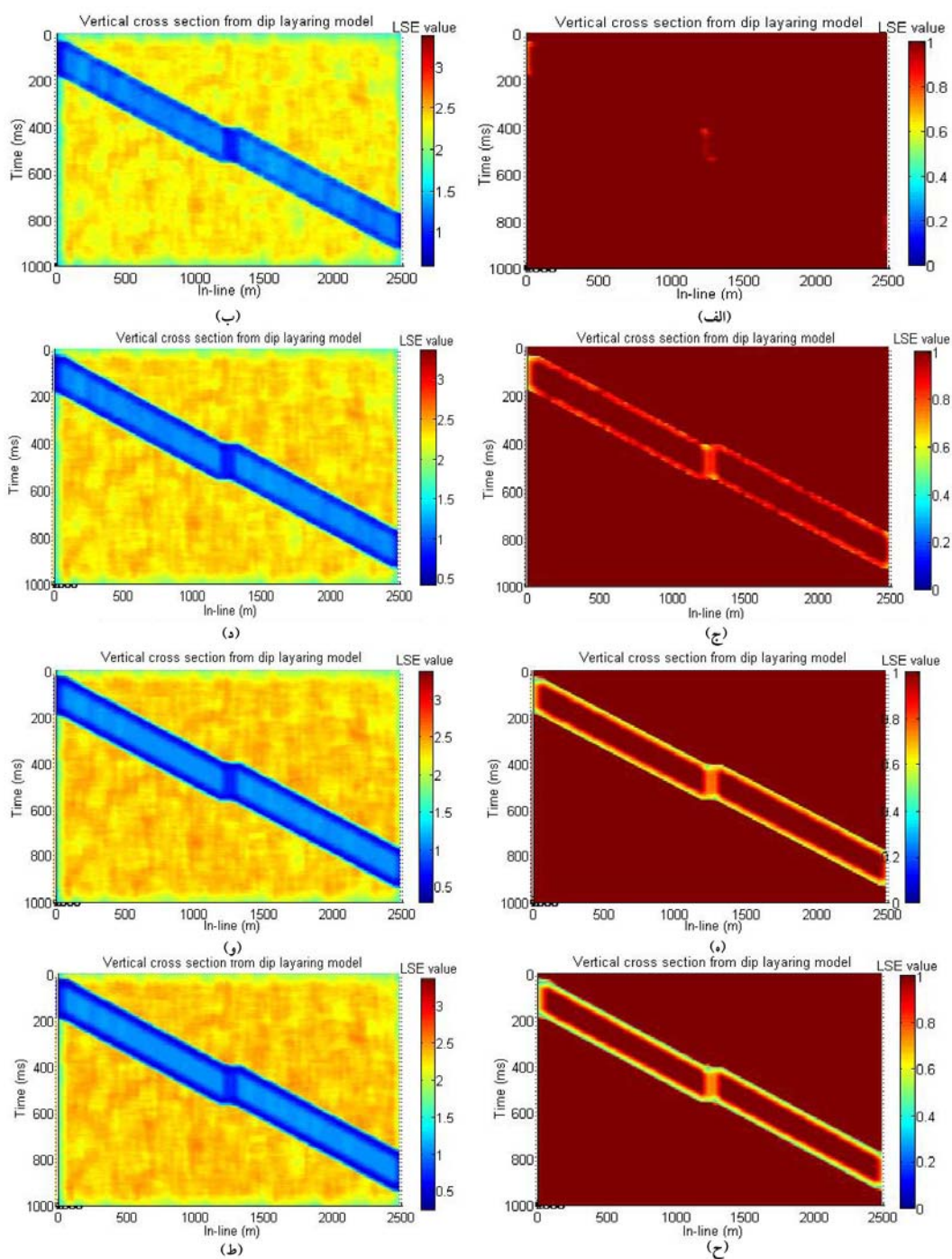
مقاطع، یک مکعب لرزه‌ای سه‌بعدی مصنوعی دارای دو لایه شیب‌دار گسل خورده با شیب تقریبی ۳۰ درجه تولید شد. مکعب داده شامل ۲۵۰ نمونه زمانی، ۱۰۰ ردلرزه در راستای خط گیرنده و ۱۰۰ ردلرزه در راستای خط چشمه است. طول نمونه برداری زمانی این داده‌ها ۴ میلی ثانیه و طول نمونه برداری مکانی یا فاصله بین ردلرزه‌ها در راستای خط گیرنده و در راستای خط چشمه برابر با ۲۵ متر است. بنابراین ابعاد مکعب داده برابر است با $2500m \times 2500m \times 1000ms$ (شکل ۹).

۳-۳-۳-۱ بهینه‌سازی ابعاد مکعب تحلیل

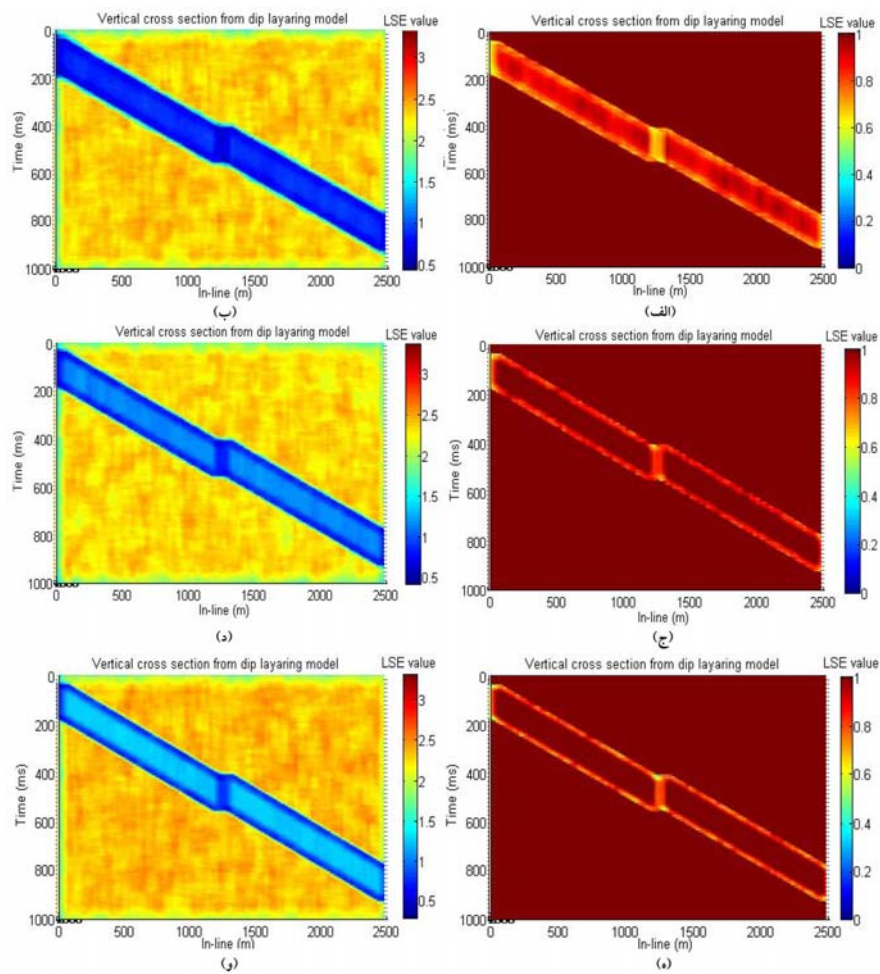
به منظور بررسی تأثیر تغییرات ابعاد مکعب تحلیل بر نتایج دو مکعب تحلیل با ابعاد ۱۵،۴،۴ (شکل ۱۰-الف و شکل ۱۰-ب)، و با ابعاد ۳۱،۶،۶ (شکل ۱۰-ج و شکل ۱۰-د) برای اعمال الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) در نظر گرفته شد. از آنجاکه افتادگی گسل در این مدل نسبت به مدل لایه شیب‌دار کمتر است، مکعب تحلیل با ابعاد ۱۵،۴،۴ گسل‌ها را با تفکیک پذیری بیشتر و لایه‌ها را با اندازه واقعی‌تر تصویر می‌کند. و ابعاد مکعب تحلیل برای این مدل پس از تجزیه و تحلیل ۴،۱۵،۴ پیشنهاد شد. در این مدل نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۵Hz در نظر گرفته شد.

۳-۳-۳-۲ نسبت دامنه سیگنال به نوفه

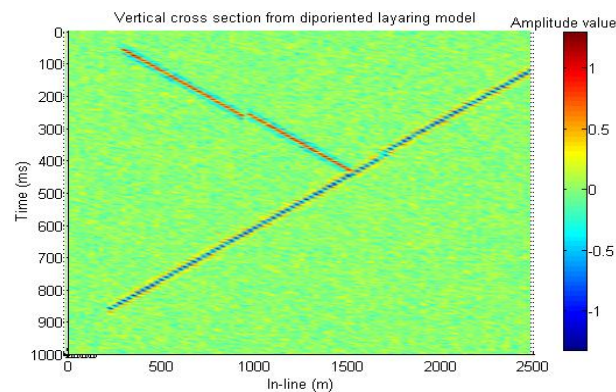
برای بررسی تأثیر تغییرات نسبت دامنه سیگنال به نوفه و نشان دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین با لایه‌بندی متقاطع همان چهار نسبت دامنه سیگنال به نوفه به کار رفته در بخش‌های قبل به کار رفت. شکل‌های ۱۱-الف و ۱۱-ب، ۱۱-ج و ۱۱-د،



شکل ۷. تغییرات نسبت دامنه سیگنال به نوفه و نشان دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی شیب‌دار و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۰ Hz، مکعب تحلیل با ابعاد ۳۱.۶.۶، نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۰/۵ (الف) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ب) با مقیاس رنگی اصلاح شده، نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ (ج) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (د) با مقیاس رنگی اصلاح شده، نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۲ (ه) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (و) با مقیاس رنگی اصلاح شده نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۳، (ح) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ط) با مقیاس رنگی اصلاح شده.



شکل ۸. تغییرات بسامد غالب موجک لرزه‌ای و نشان‌دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE)، بسامد ۲۰ Hz (الف) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ب) با مقیاس رنگی اصلاح شده، بسامد ۳۰ Hz (ج) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (د) با مقیاس رنگی اصلاح شده و، بسامد ۴۰ Hz (ه) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (و) با مقیاس رنگی اصلاح شده.

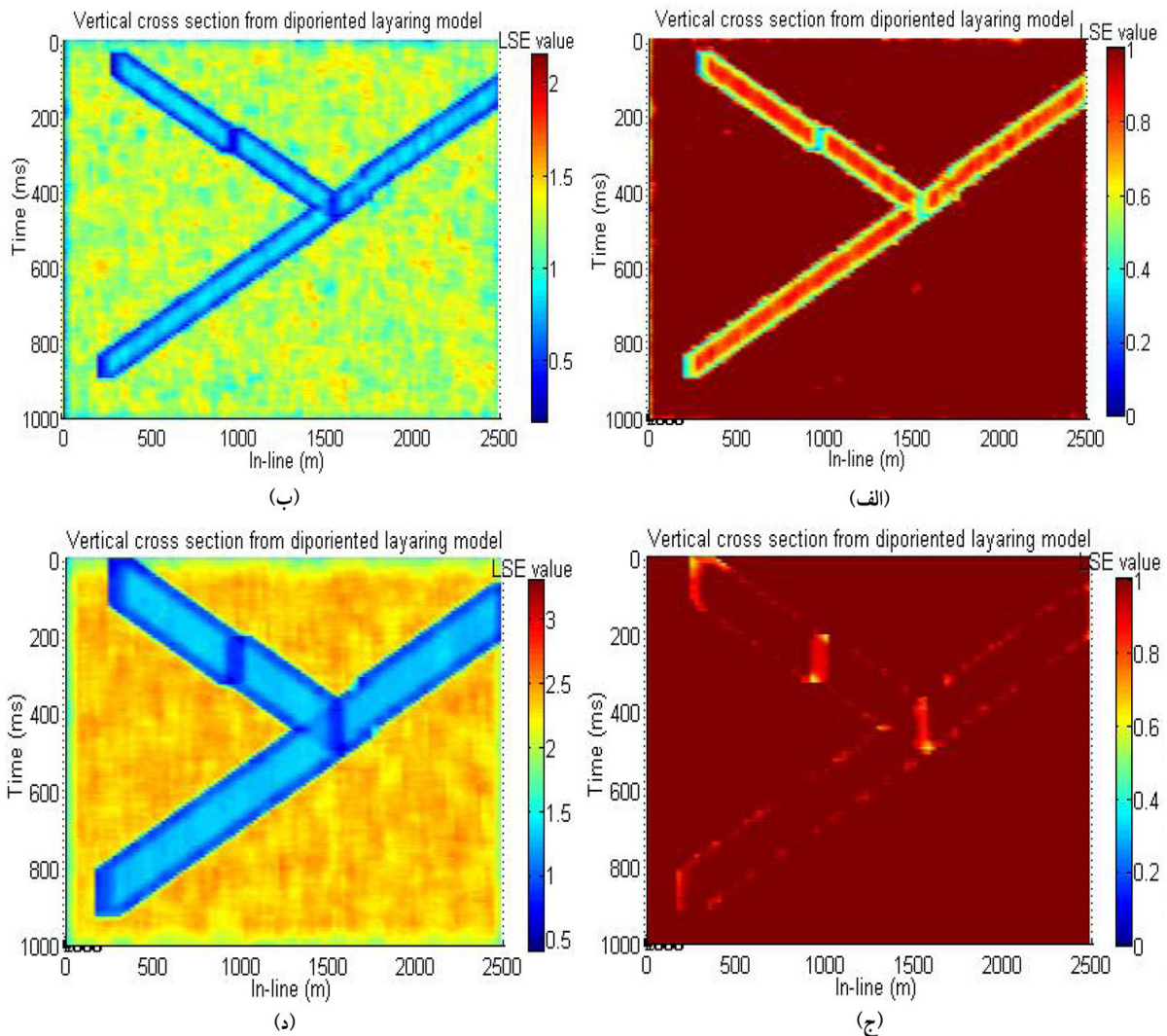


شکل ۹. شکل دو بُعدی، از مدل زمین‌شناسی مصنوعی با لایه‌بندی متقاطع شامل دو لایه شیب‌دار متقاطع گسل‌خورده با بسامد غالب موجک لرزه‌ای ریکر برابر ۳۵Hz با نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱.

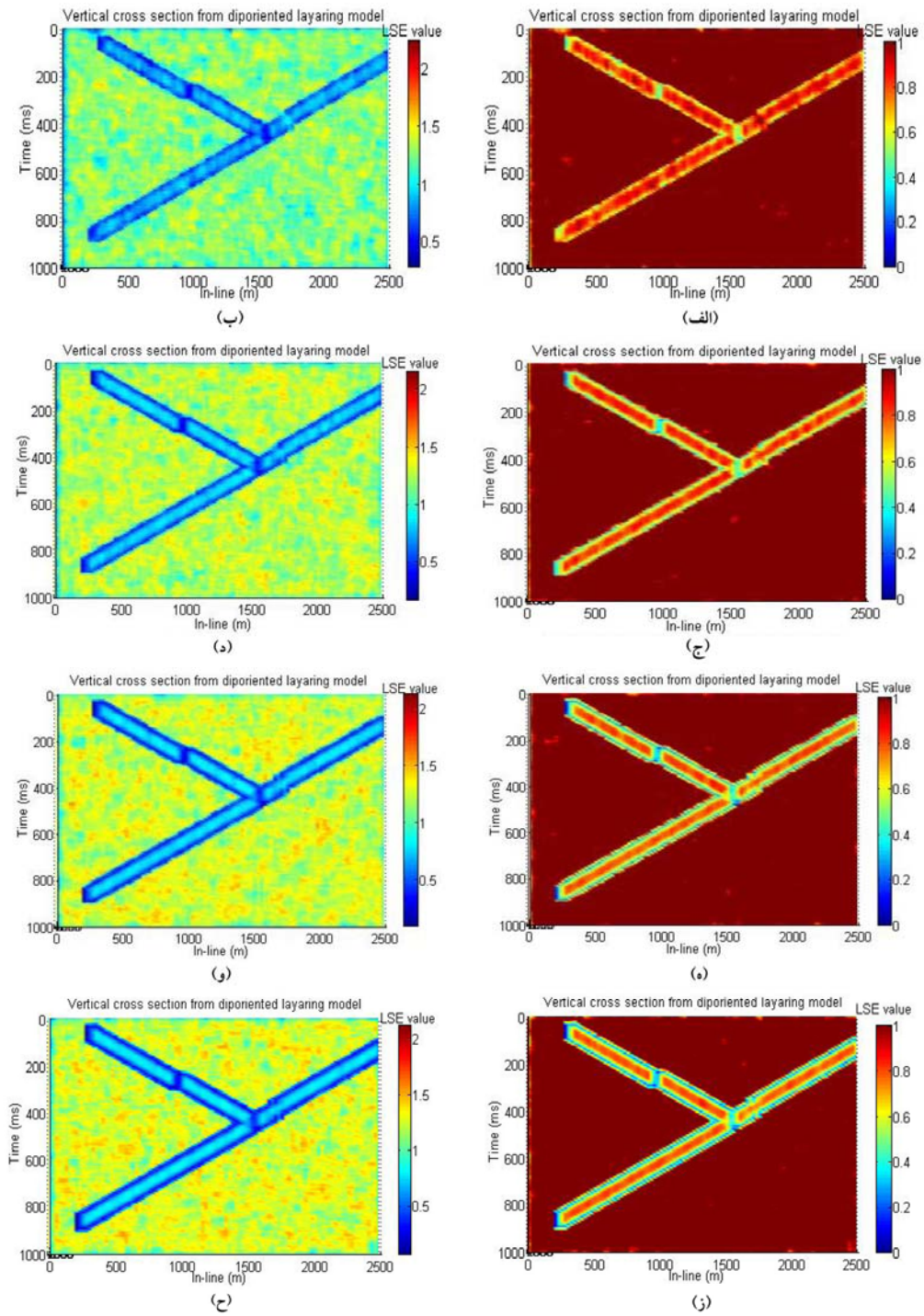
۴ داده واقعی

در این مرحله به منظور اطمینان یافتن از کارایی روش ناپیوستگی ساختاری محلی، این نشانگر، نشانگر همدوسی شباهت و نشانگر همدوسی ساختار ویژه روی مکعبی از داده‌های لرزه‌ای میدان گازی خانگیران که کوچ زمانی پس از برانبارش داده شده‌اند، به کار رفت. فاصله نمونه برداری زمانی ۴ میلی ثانیه، تعداد نمونه‌های زمانی ۲۵۱ نمونه است. فاصله نمونه برداری مکانی در

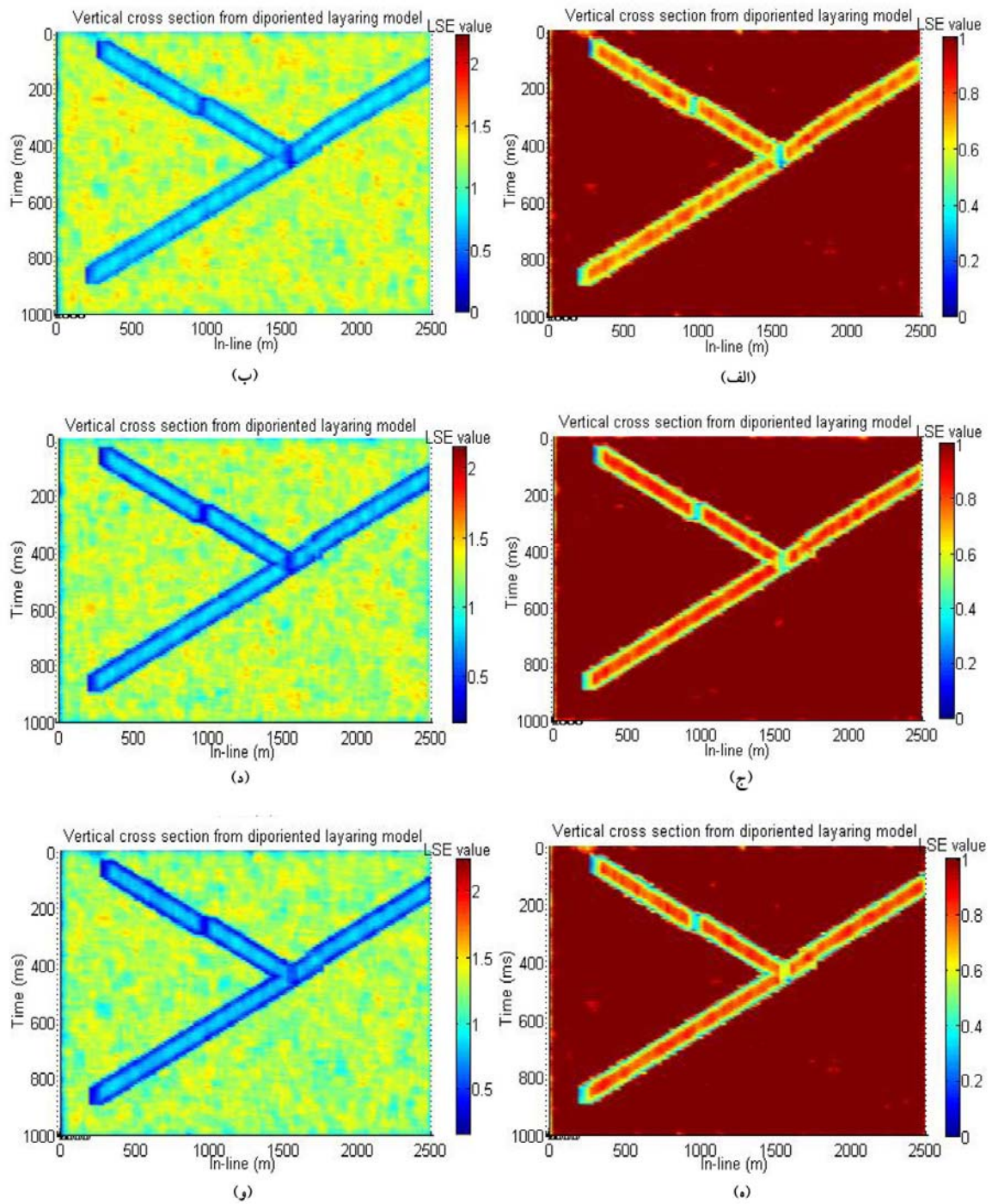
راستای خط گیرنده و چشمه ۲۵ متر، طول خط گیرنده ۲۵۲۵ متر، طول خط چشمه ۱۷۷۵ متر است (۷۱ × ۱۰۱ ردلرزه). ابعاد مکعب داده‌های لرزه‌ای انتخاب شده (۲۵۱ × ۷۱ × ۱۰۱) است. دو برش زمانی و یک مقطع قائم از مکعب دامنه لرزه‌ای برای نشان دادن نتایج انتخاب شد (شکل ۱۳). نتایج اعمال این سه نشانگر بر داده واقعی در شکل‌های ۱۴، ۱۵، ۱۶ آمده است. گسل‌ها به خوبی در مقاطع قائم و برش‌های زمانی همدوسی ظاهر شده‌اند.



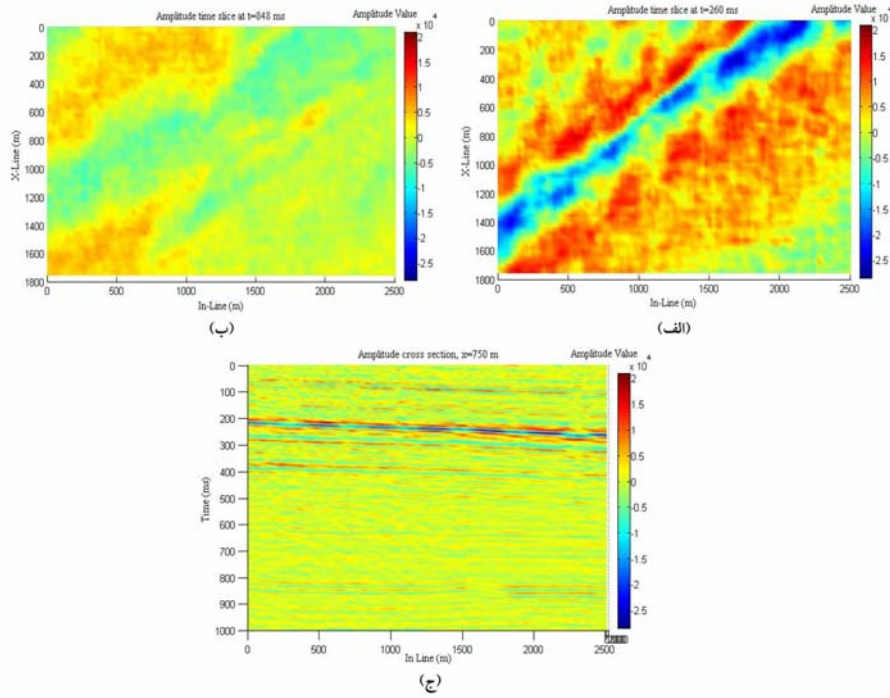
شکل ۱۰. تغییرات ابعاد مکعب تحلیل و نشان دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی شیب‌دار با نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ریکر ۳۵ Hz. مکعب تحلیل با ابعاد ۱۵، ۴، ۴ (الف) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ب) با مقیاس رنگی اصلاح شده، مکعب تحلیل با ابعاد ۳۱، ۶، ۶ (ج) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (د) با مقیاس رنگی اصلاح شده.



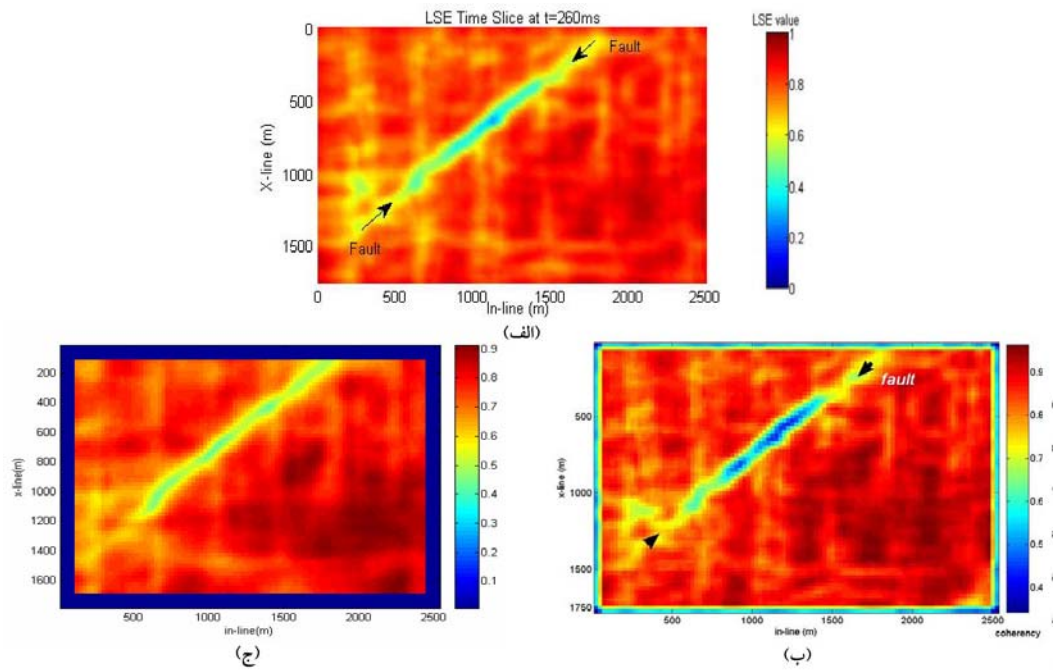
شکل ۱۱. تغییرات نسبت دامنه سیگنال به نوفه و نشان‌دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی متقاطع و بسامد غالب موجک لرزه‌ای ۳۵Hz. مکعب تحلیل با ابعاد ۱۵، ۴، ۴، نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۰/۵ (الف) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ب) با مقیاس رنگی اصلاح شده، نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱ (ج) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (د) با مقیاس رنگی اصلاح شده، نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۲ (ه) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (و) با مقیاس رنگی اصلاح شده و نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۳ (ز) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ح) با مقیاس رنگی اصلاح شده.



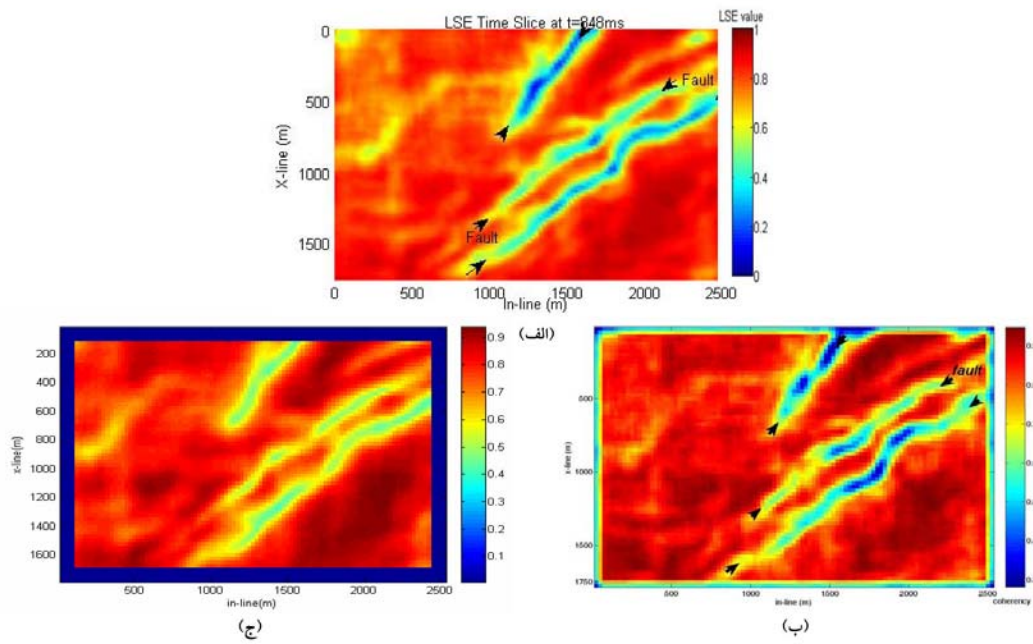
شکل ۱۲. تغییرات بسامد غالب موجک لرزه‌ای و نشان‌دادن توانایی الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی (LSE) برای مدل زمین‌شناسی مصنوعی تولید شده با لایه‌بندی متقاطع با نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱۰ و مکعب تحلیل با ابعاد ۱۵، ۴، ۴، بسامد ۳۰ Hz (الف) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (ب) با مقیاس رنگی اصلاح شده، بسامد ۳۵ Hz (ج) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (د) با مقیاس رنگی اصلاح شده، بسامد ۴۰ Hz، (ه) با مقیاس رنگی صفر تا یک، (و) با مقیاس رنگی اصلاح شده.



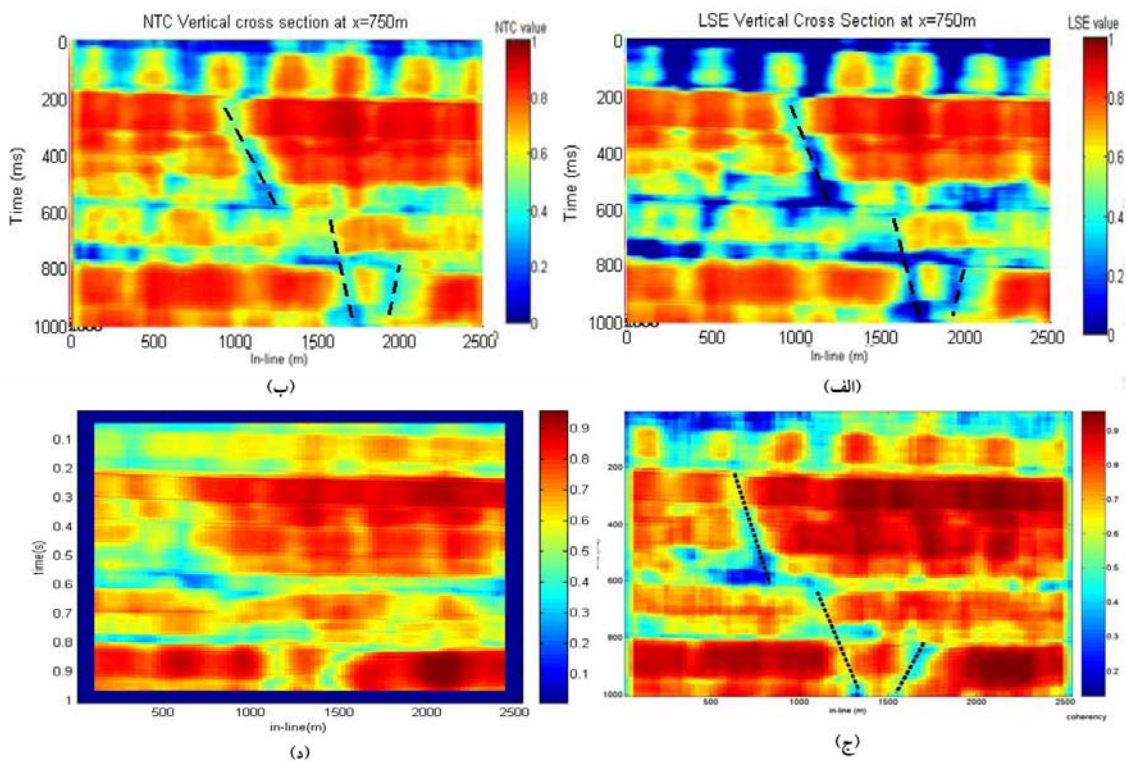
شکل ۱۳. برش‌های زمانی از مکعب دامنه لرزه‌ای در (الف) $t = 260 \text{ ms}$ ، (ب) $t = 848 \text{ ms}$ ، (ج) مقطع قائم از مکعب دامنه لرزه‌ای در $x = 750$.



شکل ۱۴. برش‌های زمانی در $t = 260 \text{ ms}$ ، (الف) از مکعب LSE، (ب) از مکعب شباهت (هاشمی گازار و همکاران، ۱۳۸۶)، (ج) از مکعب ساختارویژه (جوهری نیستانک و جوهریان، ۱۳۸۵).



شکل ۱۵. برش‌های زمانی در $t = 848\text{ms}$ از مکعب LSE، (ب) از مکعب شباهت (هاشمی گازار و جواهریان، ۱۳۸۶)، (ج) از مکعب ساختارویژه (جوهری نیستانک و جواهریان، ۱۳۸۵).



شکل ۱۶. مقطع قائم در $x = 750\text{m}$ از مکعب LSE (الف) از مکعب شباهت (هاشمی گازار و جواهریان، ۱۳۸۶)، (ب) از مکعب NTC (ج) از مکعب شباهت (هاشمی گازار و جواهریان، ۱۳۸۶)، (د) از مکعب ساختارویژه (جوهری نیستانک و جواهریان، ۱۳۸۵).

۵ نتیجه‌گیری

درحالی‌که در روش همبستگی متقابل از آنجا که فقط از سه ردلرزه استفاده می‌شود، در صورتی که داده‌های ورودی نوفه‌دار باشند این روش توانایی شناسایی گسل‌ها را از دست می‌دهد (که این مزیت روش‌های پیش‌گفته بر روش همبستگی متقابل است) (جوهری نیستانک و همکاران، ۱۳۸۵).

تشکر و قدردانی

نگارندگان لازم می‌دانند تا قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه که امکان اجرای این طرح را میسر ساخت و همچنین از جناب آقای دکتر امین روشندل کاهو، دانشجوی دوره دکتری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران گرایش لرزه‌شناسی به دلیل راهنمایی‌های علمی در تهیه برنامه رایانه‌ای در این تحقیق ابراز دارند.

منابع

جوهری نیستانک، ع. ر.، جوهریان، ع.، و امینی، ن.، ۱۳۸۵، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

هاشمی گازار، ع.، و جوهریان، ع.، ۱۳۸۶، کاربرد نشانگر لرزه‌ای شباهت در به تصویر کشیدن ناپیوستگی‌های ساختاری در داده‌های لرزه‌ای سه‌بُعدی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

Bahorich, M. S., and Farmer, S. L., 1995, 3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features, the coherence cube, *The Leading Edge*, **14**, 1053-1058.

Brown, A. R., 1996, Seismic attributes and their classification: *The Leading Edge*, **15**(10), 1090.

Cohen, I., and Coifman, R. R., 2002, Local discontinuity measures for 3-D seismic data. *Geophysics*, **67**(6), 1933-1945.

Chopra, S., and K. J., Marfurt, 2005, Seismic attributes— A historical perspective, *Geophysics*, **70**(5), 3SO-28SO.

Golub, G. H., and Van Loan, C. F., 1989, *Matrix computations*, John Hopkins Univ. Press.

الگوریتم ناپیوستگی ساختاری محلی به بسامد غالب موجک لرزه‌ای، نسبت دامنه سیگنال به نوفه و ابعاد مکعب تحلیل وابسته است. افزایش بسامد غالب موجک لرزه‌ای و نسبت دامنه سیگنال به نوفه تفکیک‌پذیری را افزایش می‌دهند. در مورد بسامد غالب موجک لرزه‌ای، منظور از افزایش تفکیک‌پذیری جلوگیری از پهن شدن بیش از حد لایه‌ها، تصویر کردن لایه با ضخامت واقعی‌تر و همچنین بهتر مشخص ساختن مرز لایه‌ها و مرز نواحی گسل‌خورده است. در مورد نسبت دامنه سیگنال به نوفه، منظور از افزایش تفکیک‌پذیری، افزایش تضاد رنگی بین نواحی همدوس و غیر همدوس است.

از آنجا که در این روش‌ها، برخلاف روش ساختار ویژه، می‌توان ابعاد مکعب تحلیل را به هر اندازه دلخواه تغییر داد، می‌توان تأثیر معکوس نسبت سیگنال به نوفه بر تفکیک‌پذیری و وضوح تصاویر را تعدیل کرد. برای مثال هنگامی که نسبت سیگنال به نوفه کم داده‌ها موجب کاهش تفکیک‌پذیری می‌شود با افزایش ابعاد مکعب تحلیل می‌توان نسبت سیگنال به نوفه و در نتیجه تفکیک‌پذیری را افزایش داد. با وجود اینکه افزایش ابعاد مکعب تحلیل نسبت سیگنال به نوفه را افزایش می‌دهد، زمان محاسبات را افزایش می‌دهد. به‌علاوه تفکیک‌پذیری جانبی و قائم را کاهش می‌دهد و باعث می‌شود نواحی گسل‌خورده و لایه‌ها خود را پهن‌تر نشان دهند. به‌علاوه در این روش‌ها می‌توان تعداد نمونه‌های زمانی درون مکعب تحلیل را به هر تعداد دلخواهی کاهش داد، بنابراین قادر به شناسایی تغییرات ساختاری و چینه‌شناسی با طول مدت دوام قائم بسیار کوتاه (ضخامت کم) نیز هستیم. کیفیت تصاویر این روش‌ها مستقیماً وابسته به کیفیت داده‌های ورودی است. چنانچه داده‌های ورودی دارای نوفه زیادی باشند، با توجه به هدف مفسر می‌توان ابعاد مکعب تحلیل را تغییر داد تا بهترین نتیجه حاصل شود.

- Gresztenkorn, A., and Marfurt, K. J., 1999, Eigen-structure-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 semblance-based coherency algorithm, *Geophysics*, **63**(4), 1150-1165.
- Sheriff, R. E., 1991, *Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics*:SEG .