

بررسی تغییر رخساره لرزه‌ای براساس خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی نشانگرهای لرزه‌ای: بررسی موردی در یکی از میدان‌های نفتی ایران

حمید ثابتی^۱، بابک نجار اعرابی^۲ و عبدالرحیم جواهریان^{۳*}

^۱دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند، ایران

^۲دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، ایران

^۳بازنشسته موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، در حال حاضر دانشکده مهندسی نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۹)

چکیده

تحلیل رخساره لرزه‌ای در حکم ابزاری در شناسایی تغییرات جانبی رخساره‌ها می‌تواند مورد استفاده مفسران قرار گیرد. در تحلیل رخساره لرزه‌ای، با استفاده از یک یا چند نشانگر لرزه‌ای می‌توان نمونه‌های زمانی مربوط به بازتاب‌های لرزه‌ای را در گروه‌های مشابه طبقه‌بندی کرد. در نتیجه این طبقه‌بندی رخساره‌های لرزه‌ای و تغییرات جانبی رخساره‌ها در بازتاب‌ها آشکار می‌شوند.

در این مقاله، با استفاده از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تغییرات جانبی رخساره لرزه‌ای در سه مدل مصنوعی و همچنین داده واقعی مورد ارزیابی قرار گرفته است. ورودی الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی یک یا چند نشانگر لرزه‌ای است. اما قبل از ورود داده به الگوریتم، ممکن است لازم باشد داده‌های اضافی که به هم وابسته هستند و تغییرات آنها شبیه یکدیگر است، کاهش یابند. این عمل با تحلیل مؤلفه اصلی قابل اجرا است. در این صورت ابتدا کل داده ورودی نرمال و سپس وارد الگوریتم تحلیل مؤلفه اصلی می‌شود. در تحلیل مؤلفه اصلی براساس مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس داده ورودی عمل کاهش داده‌های اضافی صورت می‌گیرد. داده به‌دست آمده از تحلیل مؤلفه اصلی براساس فاصله تعریف شده بین نمونه‌های زمانی گوناگون در مراحل متفاوت خوشه‌بندی می‌شود و هر نمونه زمانی در خوشه مربوط به خود قرار می‌گیرد. نتیجه این عمل تبدیل مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده به یک مقطع خوشه‌بندی شده است که در آن رخساره‌های لرزه‌ای آشکار شده‌اند. نتایج حاصل از خوشه‌بندی در مدل‌های مصنوعی تا نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل به خوبی تغییر رخساره لرزه‌ای را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از به کارگیری روش روی داده واقعی که به دو صورت داده سه‌بعدی و خط (مقطع) استخراج شده از داده سه‌بعدی صورت گرفته است، نشان می‌دهد که در حالتی که کل داده سه‌بعدی خوشه‌بندی شده است، به علت ورود اطلاعات بیشتر به الگوریتم خوشه‌بندی، توان تفکیک قائم و افقی رخساره‌های لرزه‌ای بهبود می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: رخساره لرزه‌ای، خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مجتمع‌شونده، تحلیل مؤلفه اصلی، نشانگر لرزه‌ای

Seismic facies analysis based on hierarchical clustering of seismic attributes: A case study of an Iranian oil field

Hamid Sabeti¹, Babak Nadjar Araabi² and Abdolrahim Javaherian^{3*}

¹Birjand University of Technology, Iran

²School of Electrical and Computer Engineering, University of Tehran, Iran

³ Formerly, Institute of Geophysics, University of Tehran, presently, Department of Petroleum Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran

(Received: 27 April 2013, accepted: 31 July 2014)

Summary

Seismic data interpretation methods provide useful information about underground structures. Since many years ago, several methods have been developed to aim this goal. Seismic facies analysis is one of the new methods in seismic interpretations. This method can produce a classified section using reflection seismic data and/or seismic attributes. Classified sections can reveal lateral changes in seismic facies which may relate to geological facies changes. Using different pattern recognition methods, several seismic facies analysis methods have been developed in recent years. However, in this study, an agglomerative hierarchical clustering algorithm has been utilized to produce classified sections. Seismic facies is a group of data whose attributes are different from those of neighbor groups. Each attribute can extract additional information about underground. Using a single attribute makes it difficult to get more information. However, by combining several attributes in a hierarchical clustering algorithm, it is possible to interpret seismic data in a more appropriate way. In hierarchical clustering, all time samples are divided into similar clusters. At first, each sample is assigned to one cluster. Dissimilarity matrix is constructed based on a distance definition such as Euclidean distance between samples. This matrix is then used to cluster all samples in a hierarchical procedure. In each step, more similar clusters merge into a new cluster and the dissimilarity matrix is updated. Finally, all samples merge into one cluster. Before clustering it is common to perform a principal components analysis, PCA. PCA is a statistical technique to perform dimension reduction. Using PCA, we can find the directions in data with the highest variation and reduce the dimensionality of a large data set with interrelated variables without considerable loss of information. In this study, the PCA was utilized to attenuate the redundant and random noisy data. Prior to the PCA, it is necessary to normalize the data. Clustering algorithm in this study was applied to three synthetic models as well as 2D and 3D real seismic data of an oilfield, Southwest of Iran. The first model was a horizontal-layer one with lateral changes in facies. The second model was a horizontal-layer one with a normal fault which caused a movement of layers. The third model was an anticline one with lateral changes at the top of the anticline. Real seismic data from an oilfield in the Southwest of Iran was used for this study. Nine seismic attributes were calculated using the Paradigm software to extract more information from migrated seismic data. These nine attributes and the primary seismic data were normalized and entered into the PCA. Seven principal components were selected based on the PCA. These data were used to apply to clustering algorithm. Our results showed that the seismic facies analysis can provide useful information about the underground structures and lateral changes. In the cases of the first and second models, lateral facies changes were revealed for signal-to-noise ratios of up to 4 dB. Regarding the third model, the results were acceptable for signal-to-noise ratios of up to 8 dB. In addition, it was shown that defining more number of clusters could not lead to better results. By comparing 2D and 3D data clustering, it is concluded that the resolution of seismic facies in 3D clustering is quite related to 2D one.

Keywords: Seismic facies, agglomerative hierarchical clustering, principal component analysis, seismic attribute

اکتشاف نفت و گاز بوده است. تحلیل رخساره لرزه‌ای به منزله یک ابزار در شناسایی تغییرات جانبی رخساره‌ها و چینه‌شناسی در اختیار مفسران قرار دارد ولی روش‌های

۱ مقدمه

تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی درحکم یک روش عملی در مدل‌سازی لایه‌بندی زمین از دیرباز مورد توجه محققان

گروه‌بندی ردلرزه‌ها به منظور بررسی تغییرات افقی تخلخل استفاده کرد. متلاک و همکاران (۱۹۸۵) روشی را بیان کردند که در آن از یک تابع تصمیم خطی بیزی برای تشخیص سریع مرز رخساره‌های ماسه‌سنگی استفاده می‌شد. دامی و فورنیر (۱۹۸۸) تحلیل مؤلفه اصلی و همچنین تابع تحلیل ضریب تفکیک را برای شناخت رخساره‌ها از روی داده‌های لرزه‌ای به کار بردند. سیماآن (۱۹۹۱) برای تقسیم‌بندی مقاطع لرزه‌ای براساس بافت، یک الگوریتم دانش‌منا عرضه کرد. یانگ و هوانگ (۱۹۹۱) برای یافتن ناهنجاری رخساره‌های لرزه‌ای از یک شبکه عصبی پس‌انتشار استفاده کردند. سگاف و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از شبکه‌های عصبی رقابتی، روشی برای شناسایی و طبقه‌بندی رخساره‌های لرزه‌ای بیان کردند. لیزری و همکاران (۲۰۰۳) و فرزندی (۲۰۰۶) با به کارگیری نشانگرهای لرزه‌ای درحکم ورودی الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، روشی برای طبقه‌بندی رخساره‌های لرزه‌ای عرضه کردند. ایشان با استفاده از نرم‌افزار Stratimagic الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی فقط برای داده واقعی سه‌بعدی استفاده کردند و مدل‌سازی مصنوعی نداشتند. ماروکوئین و همکاران (۲۰۰۹) یک روش داده‌کاوی را برای بررسی رخساره لرزه‌ای به کار بردند. ماتوس و همکاران (۲۰۰۷)، روی و همکاران (۲۰۱۰) و ساراسوات و سن (۲۰۱۲) کاربرد تبدیل موجک و نقشه‌های خودسازمانده را در تحلیل رخساره لرزه‌ای مورد بررسی قرار دادند. در این مقاله، تحلیلی از کاربرد خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی در طبقه‌بندی رخساره‌های لرزه‌ای عرضه می‌شود و ضمن بررسی مدل‌های مصنوعی، تفاوت نتایج اعمال این روش روی داده‌های دو‌بعدی و سه‌بعدی مورد توجه قرار گرفته است. همه این اهداف با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط مت‌کب MATLAB و نرم‌افزار Stratimagic حاصل شده است.

گونگونگون برای تحلیل رخساره لرزه‌ای روز به روز در حال گسترش است. تحلیل رخساره لرزه‌ای با استفاده از روش‌های بازشناسی الگو صورت می‌پذیرد و عمل بازشناسی الگو با طبقه‌بندی همراه است. طبقه‌بندی به معنی افراز یک مجموعه به زیرمجموعه‌ها یا طبقه‌هایی است به طوری که عضوهای یک طبقه شبیه به هم و عضوهای دو طبقه متفاوت، متمایز هستند. معمولاً ویژگی‌هایی برای اشیاء تعریف می‌شود و شباهت آنها اندازه‌گیری می‌شود. به این عمل استخراج ویژگی می‌گویند. ویژگی‌های استخراج شده به صورت مجموعه‌ای عدد (بردار) هستند. برای مثال نشانگرهای لرزه‌ای می‌توانند بردارهای ویژگی داده‌های لرزه‌ای باشند. عمل بازشناسی الگو معمولاً داده‌محور است یعنی دانشی از قبل متصور نیست که از خارج طبقه را معرفی کند بلکه از روی داده‌ها عمل طبقه‌بندی صورت می‌پذیرد. روش‌های بازشناسی الگو به دو خانواده بزرگ تقسیم‌بندی می‌شود: (۱) روش‌های طبقه‌بندی با سرپرستی و (۲) روش‌های طبقه‌بندی بدون سرپرستی. طبقه‌بندی با سرپرستی، براساس داده برچسب خورده صورت می‌گیرد. منظور از داده برچسب خورده داده‌ای است که براساس مشاهدات قبلی (دانش قبلی)، طبقه یا رسته هر نمونه مشخص است و در نتیجه تعداد طبقات نیز معلوم است. در روش‌های طبقه‌بندی بدون سرپرستی یا خوشه‌بندی، هیچ داده‌ای که از قبل برچسب خورده باشد وجود ندارد اما تعداد طبقات ممکن است معلوم باشد. بنابراین خوشه‌بندی در واقع کشف نظم در داده‌ها است.

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های گونگون بازشناسی الگو در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی افزایش چشمگیری داشته است. کاربرد روش‌های بازشناسی الگو در تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی را اولین بار ماتيو و رایس (۱۹۶۹) بیان کردند. آنان از تابع تحلیل ضریب تفکیک برای تعیین نسبت ماسه به شیل در سنگ مخزن استفاده کردند. هاگن (۱۹۸۲) از تحلیل مؤلفه اصلی برای

۲ تحلیل رخساره لرزه‌ای

رخساره لرزه‌ای، یک گروه از بازتاب‌های لرزه‌ای است که نشانگرهای مربوط به آن متفاوت از گروه مجاور باشد (کانتسنی، ۱۹۸۴). هر نشانگر لرزه‌ای اطلاعات جدیدی در مورد لایه‌های زیرسطحی به دست می‌دهد. به کارگیری تک‌تک این نشانگرها و ترکیب اطلاعات حاصل از آن، کاری مشکل و وقت‌گیر است؛ ضمن اینکه بسیاری از اطلاعات نهفته در نشانگرهای لرزه‌ای از چشم مفسر دور می‌ماند. با ترکیب کردن نشانگرهای لرزه‌ای به دست آمده از بازتاب‌های لرزه‌ای می‌توان تصویر بهتری از زمین‌شناسی زیرسطحی ترسیم کرد (بدلی، ۱۹۸۵). استفاده از خوشه‌بندی نشانگرهای لرزه‌ای به مفسر کمک می‌کند تا اطلاعات حاصل از نشانگرهای گوناگون لرزه‌ای را با هم ترکیب کند و نتیجه واحدی از آنها بگیرد. خوشه‌بندی رخساره‌های لرزه‌ای با محاسبه یک شباهت بین نشانگرهای لرزه‌ای صورت می‌گیرد. نتیجه این طبقه‌بندی به صورت رنگ‌های متفاوت مربوط به رخساره‌های گوناگون نشان داده می‌شود تا مفسر قادر باشد رخساره‌های متفاوت را در کنار یکدیگر به تفکیک ببیند. یکی از مهم‌ترین مراحل خوشه‌بندی انتخاب تعداد خوشه با رخساره از سوی کاربر است. روش‌های گوناگونی برای انتخاب تعداد رخساره وجود دارد. استفاده از نمودارهای تقاطعی، در نرم‌افزارهای تجاری مرسوم است. نمودار تقاطعی یک نمودار دو بُعدی است که هر محور آن مربوط به یک نشانگر یا مؤلفه است. هر نمونه زمانی براساس مقداری که در این دو نشانگر دارد در صفحه دو بُعدی مشخص می‌شود. سپس رنگ مربوط به رخساره این نمونه بعد از عمل خوشه‌بندی به آن داده می‌شود. در این حالت مفسر می‌تواند کل داده طبقه‌بندی شده را براساس دو نشانگر خاص ببیند. این عمل با تعداد گوناگونی از رخساره‌ها تکرار می‌شود و مفسر براساس کمترین هم‌پوشانی بین نمونه‌های طبقه‌بندی شده تعداد

مناسب رخساره را انتخاب می‌کند. این روش وقت‌گیر است چون برای رسم هر نمودار تقاطعی باید کل داده‌ها طبقه‌بندی شود. روش دیگر استفاده از منحنی زمان دوام است. این منحنی فقط برای روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی قابل رسم است. در این روش فقط یک بار عمل خوشه‌بندی صورت می‌گیرد. سپس نمودار پایداری هر مرحله از ادغام نمونه‌ها براساس معیار فاصله استفاده شده در عمل خوشه‌بندی رسم می‌شود (نمودار زمان دوام). بیشینه این منحنی مربوط به پایدارترین مرحله ادغام خوشه‌ها است و در نتیجه، تعداد رخساره بهینه مشخص می‌شود.

۳ خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی

در خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی داده به صورت مرحله به مرحله براساس یک ملاک شباهت، خوشه‌بندی می‌شود. خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به دو نوع خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تقسیم‌شونده و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مجتمع‌شونده تقسیم‌بندی می‌شود (دودا و همکاران، ۲۰۰۱). در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی تقسیم‌شونده، ابتدا همه داده‌ها در یک خوشه قرار داده می‌شود و سپس این خوشه بزرگ براساس معیار شباهت داخلی در مراحل گوناگون به خوشه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود. در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مجتمع‌شونده که در این مقاله از آن استفاده شده است، ابتدا هر نمونه در یک خوشه قرار می‌گیرد. بنابراین در مرحله اول به تعداد نمونه‌های داده، خوشه وجود دارد. آن‌گاه خوشه‌های نزدیک به هم، با محاسبه معیار شباهت با هم ادغام می‌شوند. این روند تا زمانی که همه نمونه‌ها در یک خوشه بزرگ قرار بگیرند، ادامه می‌یابد. مراحل ادغام خوشه‌ها در نموداری به نام نمودار درختی یا شاخه‌ای قابل نمایش است.

الگوریتم‌های متفاوتی برای فرایند خوشه‌بندی وجود دارد. در این مقاله از الگوریتم اتصال میانگین استفاده شده است. در الگوریتم اتصال میانگین فاصله خوشه جدید در

برای کاهش بُعد داده‌ها است (کندال، ۱۹۷۵ و گرنی، ۱۹۹۷). در واقع از راه تحلیل مؤلفه اصلی، وابستگی خطی بین متغیرها پیدا می‌شود (جکسون، ۱۹۹۱). به هر ترکیب خطی از متغیرهای موجود در داده، یک مؤلفه گفته می‌شود (لاروز، ۲۰۰۶). با استفاده از این تحلیل می‌توان در فضای چندبُعدی داده‌ها، جهت‌هایی را یافت که در راستای این جهت‌ها، داده‌ها بیشترین تغییرپذیری را دارند (جولیف، ۲۰۰۲). بنابراین با تصویر کردن داده‌ها روی این جهت‌ها می‌توان ابعاد داده‌ها را کاهش داد؛ بدون اینکه اطلاعات قابل‌توجهی حذف شود. تحلیل مؤلفه اصلی دارای مراحل است که در زیر به آنها اشاره می‌شود.

۱- نرمال کردن داده‌ها: نرمال کردن به این علت صورت می‌گیرد که مقادیر عددی داده‌ها در بازه مشابه قرار داشته باشند. روش‌های گوناگونی برای نرمال کردن داده‌ها وجود دارد. برای مثال رابطه زیر مقدار عددی داده‌ها را به بازه $[-1, 1]$ نرمال می‌کند (کرزانوسکی، ۱۹۸۸):

$$v_n = 2 \frac{v_r - \min\{\mathbf{v}\}}{\max\{\mathbf{v}\} - \min\{\mathbf{v}\}} - 1, \quad (5)$$

که v_n مقدار نرمال شده، v_r مقدار خام و $\min\{\mathbf{v}\}$ و $\max\{\mathbf{v}\}$ به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه بردار \mathbf{v} است.

۲- ماتریس کوواریانس

درایه‌های ماتریس کوواریانس با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (پرس و همکاران، ۲۰۰۲):

$$C_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)(y_i - m_y), \quad (6)$$

که C_{xy} مقدار کوواریانس متقابل متغیرهای x و y ، m_x و m_y به ترتیب میانگین متغیرهای x و y ، و N تعداد کل نمونه‌های هر متغیر است. درایه‌های قطر اصلی ماتریس کوواریانس (نظیر $x=y$) همان مجذور انحراف معیار متغیرها است. درایه‌های خارج قطر اصلی ماتریس کوواریانس، در واقع کوواریانس متقابل یک زوج از متغیرهای تشکیل دهنده بردار متغیرها را به دست می‌دهند.

هر مرحله از ادغام با میانگین‌گیری از فواصل دو به دوی کل عضوهای دو خوشه محاسبه می‌شود. رابطه این الگوریتم به صورت زیر است (وب، ۲۰۰۲):

$$d(r,s) = \frac{1}{n_r n_s} \sum_{i=1}^{n_r} \sum_{j=1}^{n_s} \text{dist}(\mathbf{x}_{ri}, \mathbf{x}_{sj}), \quad (1)$$

که $d(r,s)$ فاصله جدید بین خوشه r و s ، dist فاصله بین دو نمونه، x_{ri} نمونه i ام از خوشه r ، x_{sj} نمونه j ام از خوشه s و n_r و n_s به ترتیب تعداد نمونه‌های خوشه‌های r و s است. فاصله بین دو نمونه با استفاده از فاصله همبستگی محاسبه شده است که به صورت زیر تعریف می‌شود (دزا و دزا، ۲۰۰۶):

$$d_{rs} = 1 - \frac{(\mathbf{x}_r^T - \bar{\mathbf{x}}_r)(\mathbf{x}_s - \bar{\mathbf{x}}_s)}{\left[(\mathbf{x}_r^T - \bar{\mathbf{x}}_r)(\mathbf{x}_r - \bar{\mathbf{x}}_r) \right]^{\frac{1}{2}} \left[(\mathbf{x}_s^T - \bar{\mathbf{x}}_s)(\mathbf{x}_s - \bar{\mathbf{x}}_s) \right]^{\frac{1}{2}}}, \quad (2)$$

که d_{rs} فاصله همبستگی بین بردارهای ستونی \mathbf{x}_r و \mathbf{x}_s است و $\bar{\mathbf{x}}_r$ و $\bar{\mathbf{x}}_s$ میانگین درایه‌های دو بردارند که به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\bar{\mathbf{x}}_r = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{rk}, \quad (3)$$

$$\bar{\mathbf{x}}_s = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{sk}, \quad (4)$$

که x_{rk} و x_{sk} به ترتیب درایه‌های k ام از بردارهای \mathbf{x}_r و \mathbf{x}_s است.

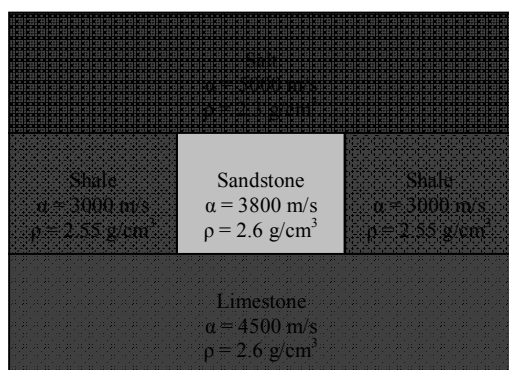
۴ تحلیل مؤلفه اصلی

با افزایش تعداد ویژگی‌های استفاده شده در روش‌های خوشه‌بندی، هزینه محاسباتی افزایش می‌یابد. بنابراین اطمینان حاصل کردن از اینکه ویژگی‌های اضافی وجود ندارد ضروری است. در واقع هر ویژگی اضافی که سهم کافی در خوشه‌بندی نداشته باشد، نوفه محسوب می‌شود و باید حذف شود. کاهش ویژگی‌ها با تحلیل مؤلفه اصلی صورت می‌پذیرد. تحلیل مؤلفه اصلی یک روش آماری

۱-۵ داده‌های مصنوعی

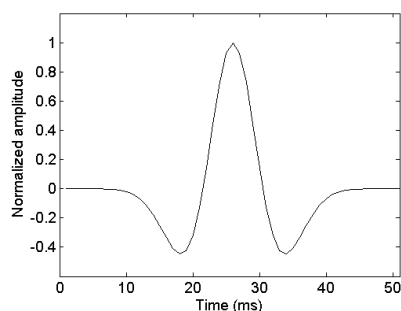
۱-۱-۵ مدل مصنوعی اول

برای بررسی روش تحلیل رخساره لرزه‌ای با استفاده از طبقه‌بندی سلسله‌مراتبی، ابتدا از مدل لایه‌های افقی با تغییر جانبی نوع رخساره استفاده شده است. مدل زمین‌شناسی استفاده شده در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مدل زمین‌شناسی اول استفاده شده برای تحلیل رخساره لرزه‌ای. سرعت موج تراکمی و چگالی مربوط به هر لایه آورده شده است (ثابتی و همکاران، ۲۰۱۱).

برای تولید مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده از موجک فاز صفر ریکر با بسامد غالب ۵۰ هرتز استفاده شده است. نمودار این موجک در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. موجک ریکر با بسامد غالب ۵۰ هرتز برای تولید مقطع لرزه‌ای.

۳- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه

مرحله بعدی در تحلیل مؤلفه اصلی محاسبه مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس است. تجزیه ماتریس کوواریانس از راه تجزیه مقدار تکین صورت می‌گیرد. هر ماتریس با درایه‌های حقیقی $A_{m \times n}$ را می‌توان به صورت حاصل ضرب یک ماتریس متعامد $U_{m \times n}$ ، یک ماتریس قطری $S_{n \times n}$ با درایه‌های حقیقی مثبت یا صفر (همان مقادیر ویژه) و ترانهاده یک ماتریس متعامد $V_{n \times n}$ نوشت (پرس و همکاران، ۲۰۰۲):

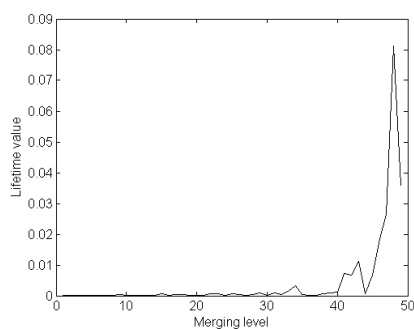
$$A_{m \times n} = U_{m \times n} S_{n \times n} V_{n \times n}^T \quad (7)$$

در صورتی که ماتریس A مربعی و متقارن باشد n بردار ویژه متمایز داشته باشد، ماتریس‌های U و S و V هر سه مربعی خواهند بود و ماتریس‌های U و V یکسان می‌شوند. به علاوه در این صورت درایه‌های قطر اصلی ماتریس S مقادیر ویژه و ستون‌های ماتریس V (یا به طور معادل U) بردارهای ویژه ماتریس A هستند. این حالت خاص از تجزیه مقدار تکین در تجزیه ماتریس کوواریانس به کار می‌رود. با بررسی مقادیر ویژه، مؤلفه‌هایی که بیشترین سهم را در واریانس داده‌ها دارند، مشخص می‌شوند. برای این منظور مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس را به ترتیب نزولی مرتب می‌کنند. بردارهای ویژه متناظر با مقادیر ویژه مرتب می‌شوند. با تصویر کردن داده‌ها روی چند مؤلفه اصلی نظیر بزرگ‌ترین مقادیر ویژه، بُعد بردار ویژگی کاهش می‌یابد بدون اینکه اطلاعات قابل توجهی از دست داده شود.

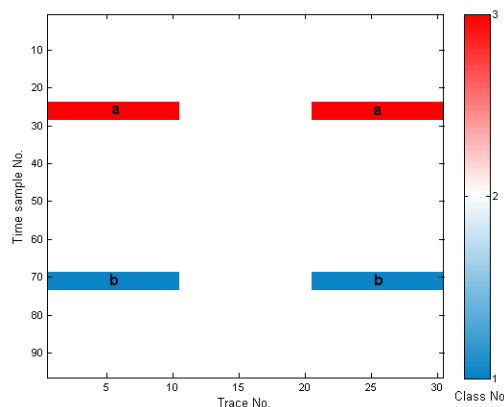
۵ مثال‌ها

در این بخش کاربرد روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی روی سه مدل مصنوعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین در ادامه، این روش روی داده واقعی قسمتی از مناطق نفتی جنوب‌غربی ایران اعمال شده است.

می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تغییر ناگهانی رخساره تا نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل قابل تفسیر است. ولی با کاهش سیگنال به نوفه بسیاری از نمونه‌های زمانی به درستی طبقه‌بندی نشده‌اند و لایه‌بندی کاذب ایجاد شده است.



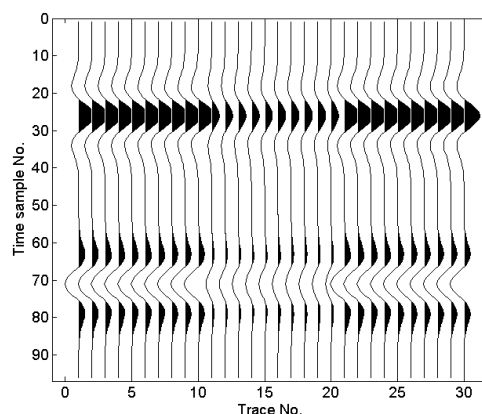
شکل ۴. نمودار زمان دوام مربوط به خوشه‌بندی مقطع لرزه‌ای شکل ۳ که برای ۵۰ مرحله نهایی رسم شده است. بیشینه نمودار در یک مرحله قبل از مرحله پایانی، نشان‌دهنده انتخاب سه خوشه برای خروجی الگوریتم است.



شکل ۵. نتیجه خوشه‌بندی مربوط به مقطع لرزه‌ای شکل ۳. سه خوشه برای خروجی فرض شده است. a مرز جدایش شیل و نمک و b مرز جدایش شیل و سنگ آهک است. همچنین قطع‌شدگی ناگهانی مربوط به تغییر رخساره شیل به ماسه‌سنگ مشاهده می‌شود.

۵-۱-۲ مدل مصنوعی دوم

به‌منظور بررسی کارایی روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی در شرایط گسلسش، یک مدل سه لایه افقی با گسل خوردگی نرمال به کار گرفته شده است. مشخصات مدل مصنوعی زمین در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۳. مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده مربوط به مدل شکل ۱ با استفاده از موجک ریکر نشان داده شده در شکل ۲.

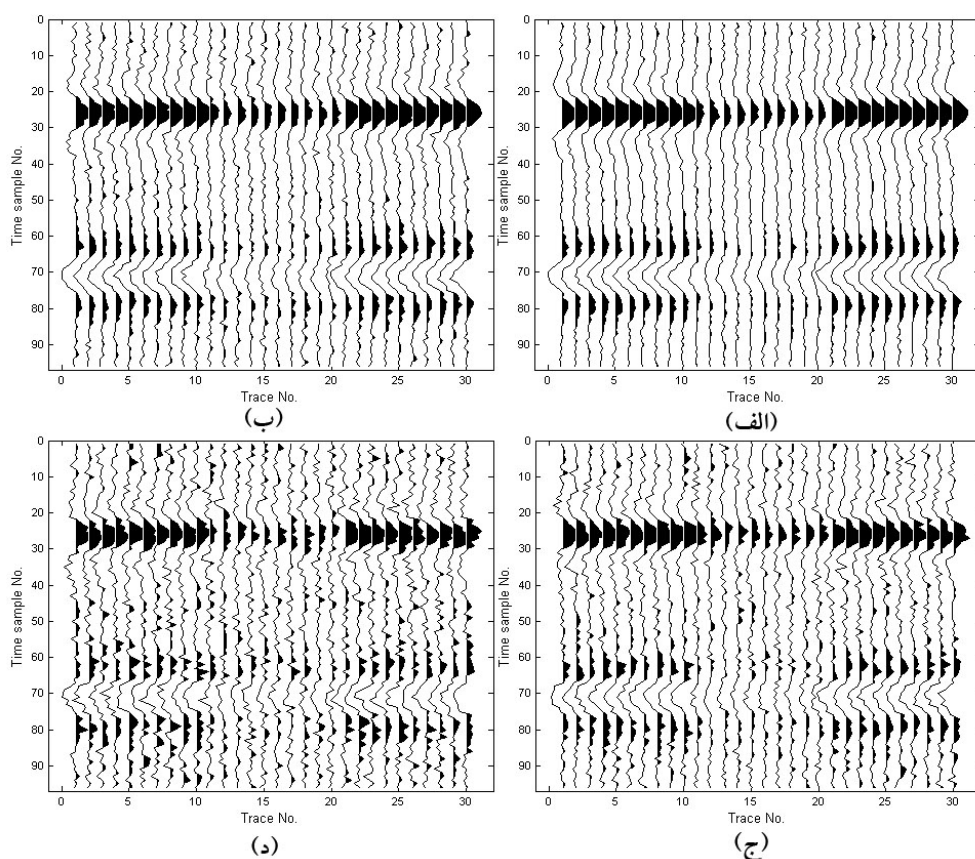
شکل ۳ مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده مربوط به مدل شکل ۱ را نشان می‌دهد.

داده‌های ورودی برای خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی در این مدل همان دامنه لرزه‌ای است. نمودار زمان دوام این مدل در شکل ۴ نشان داده شده است که سه خوشه برای خروجی را پیشنهاد می‌کند.

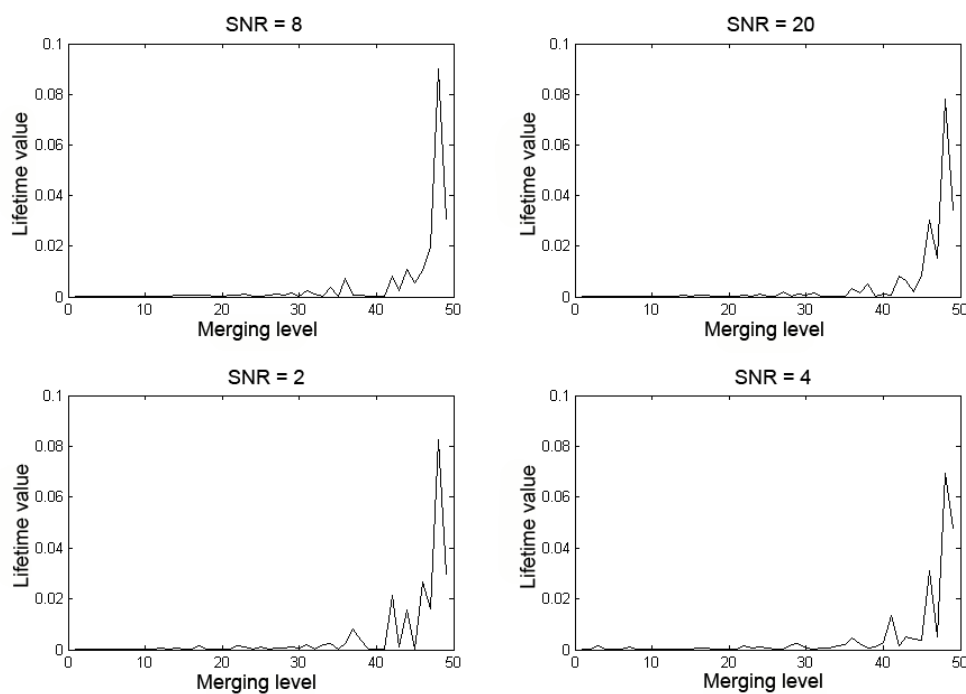
شکل ۵ نتیجه خوشه‌بندی را در حالتی که سه خوشه برای خروجی فرض شده است نشان می‌دهد. در این شکل، مرزی که با حرف a نشان داده شده است مربوط به مرز جدایش شیل و نمک و مرزی که با حرف b نشان داده شده است مربوط به مرز جدایش شیل و سنگ آهک است. قطع‌شدگی ناگهانی این مرزها نشان از تغییرات جانبی رخساره دارد.

برای بررسی این روش در حضور نوفه، از مقاطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده با نسبت‌های سیگنال به نوفه ۲۰، ۴، ۸ و ۲ دسی‌بل استفاده شده است این مقاطع در شکل ۶ آمده است.

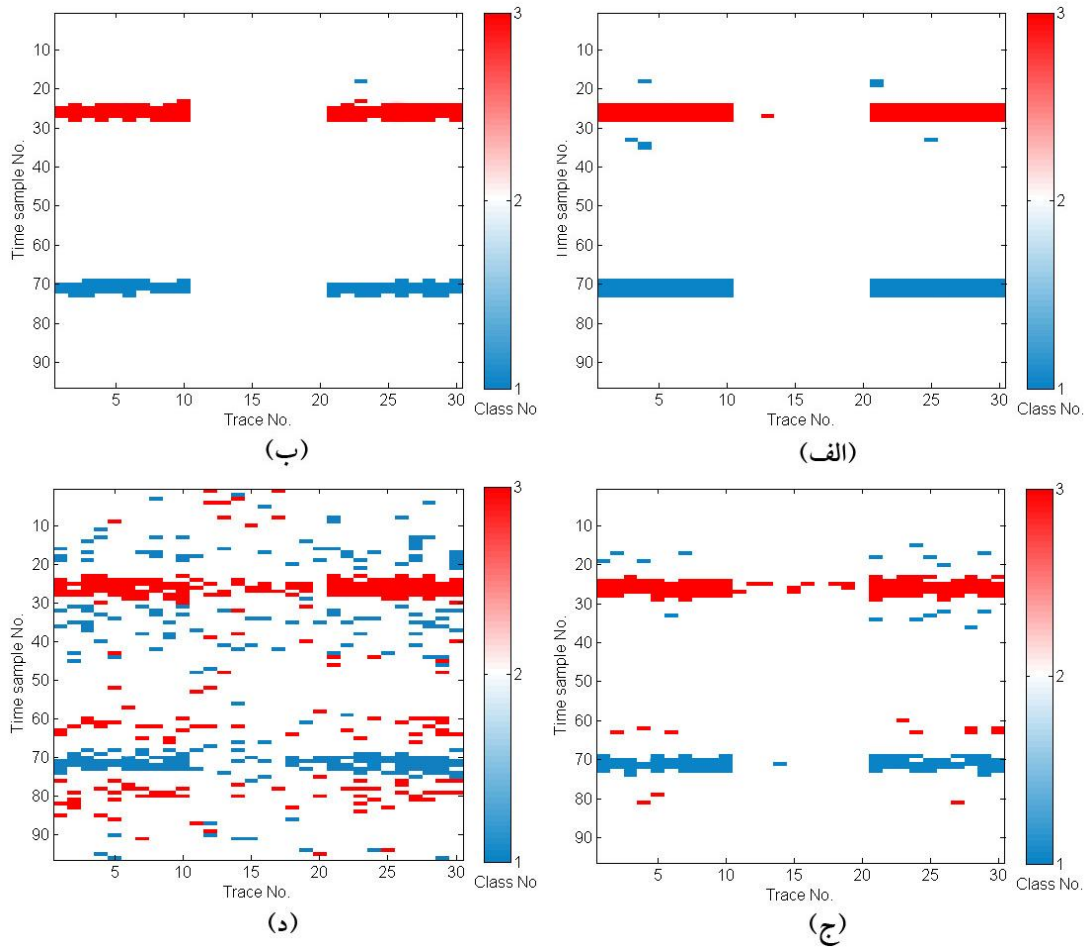
شکل ۷ نمودارهای زمان دوام مربوط به چهار حالت را نشان می‌دهد که در همه آنها یک مرحله قبل از مرحله پایانی بیشینه وجود دارد. بنابراین سه خوشه برای خروجی انتخاب شده است. شکل ۸ نتیجه خوشه‌بندی مربوط به چهار حالت سیگنال به نوفه ۲۰، ۴، ۸ و ۲ دسی‌بل را نشان



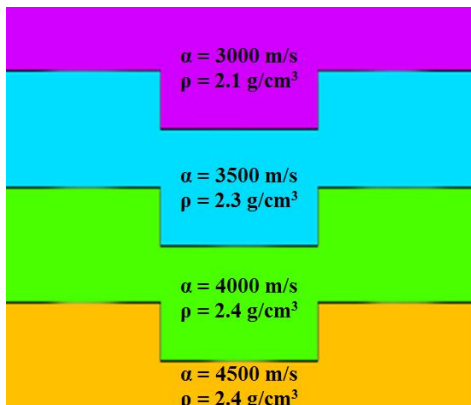
شکل ۶. مقاطع لرزه‌ای مربوط به شکل ۳ با نسبت سیگنال به نوفه: (الف) ۲۰ دسی‌بل، (ب) ۸ دسی‌بل، (ج) ۴ دسی‌بل و (د) ۲ دسی‌بل.



شکل ۷. نمودار زمان دوام مربوط به خوشه‌بندی مقاطع لرزه‌ای شکل ۶ در حالت‌های نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ و ۲ دسی‌بل که برای ۵۰ مرحله نهایی رسم شده است. بیشینه نمودار در یک مرحله قبل از مرحله پایانی برای همه حالت‌ها، نشان‌دهنده انتخاب سه خوشه برای خروجی الگوریتم است.



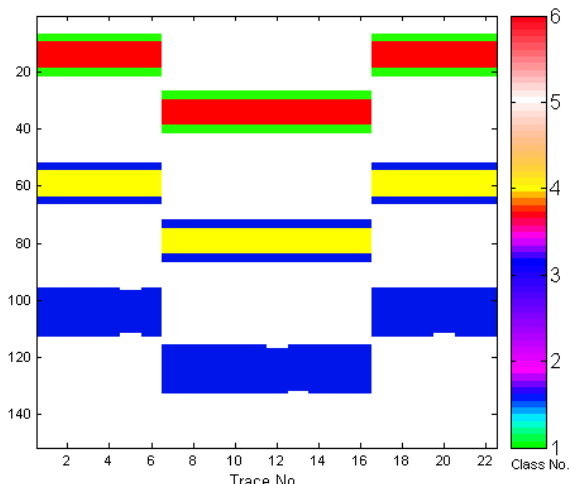
شکل ۸. نتیجه خوشه‌بندی مربوط به مقاطع لرزه‌ای شکل ۶ برای چهار حالت: (الف) نسبت سیگنال به نوفه ۲۰ دسی‌بل، (ب) نسبت سیگنال به نوفه ۸ دسی‌بل، (ج) نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل و (د) نسبت سیگنال به نوفه ۲ دسی‌بل. با توجه به تفسیر نمودار زمان دوام شکل ۷ سه خوشه برای خروجی فرض شده است. خطوط آبی مرز جدایش شیل و نمک و خطوط سرخ مرز جدایش شیل و سنگ آهک است که در شکل‌های (الف)، (ب) و (ج) مشاهده می‌شود. با افزایش نوفه در شکل (د) رخساره‌های لرزه‌ای به‌درستی آشکار نشده‌اند و مرزهای جدایش به سختی قابل تشخیص است.



شکل ۹. مدل مصنوعی زمین. سرعت موج تراکمی و چگالی در هر لایه آورده شده است.

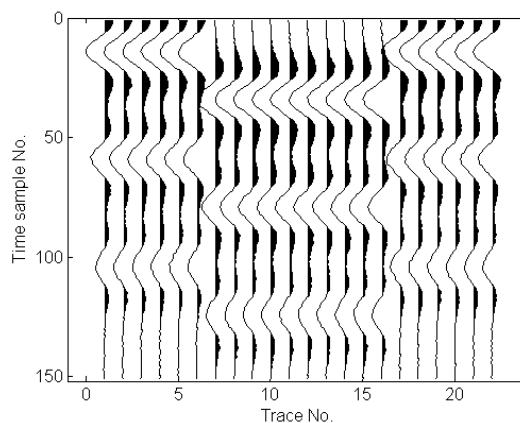
هدف از تحلیل رخساره در این مدل پیگیری لایه‌های گسل خورده است؛ به این معنی که پایین‌افتادگی یا بالاآمدگی لایه‌ها در اثر گسل قابل تحلیل باشد. داده‌های ورودی سه نشانگر لرزه‌ای دامنه لرزه‌ای، دامنه لحظه‌ای و فاز لحظه‌ای است. عمل نرمال کردن نیز به‌منظور یکسان کردن بزرگی عددهای ورودی با استفاده از رابطه (۵) صورت گرفته است. شکل ۱۰ مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده مربوط به مدل شکل ۹ را نشان می‌دهد.

با استفاده از رخساره‌های لرزه‌ای آشکار شده است. در این مدل نیز در چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ و ۲ دسی‌بل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به کار گرفته شده است.



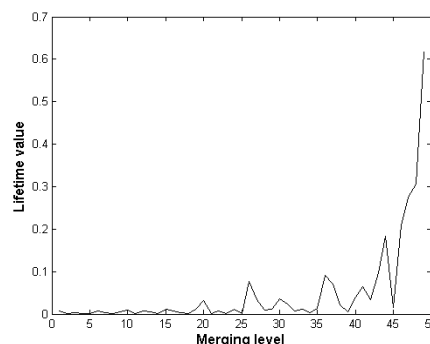
شکل ۹. شش خوشه ۱۲. نتیجه خوشه‌بندی مربوط به مقطع لرزه‌ای شکل ۹. شش خوشه برای خروجی فرض شده است.

مقاطع لرزه‌ای دارای نوفه در شکل ۱۳ نشان داده شده است. به منظور تصمیم‌گیری در مورد تعداد خوشه‌ها نمودارهای زمان دوام مربوط به چهار حالت در شکل ۱۴ آمده است. برای همه حالت‌ها، از آخرین بیشینه محلی قبل از بیشینه مطلق برای تعیین تعداد خوشه‌ها استفاده شده است. این بیشینه محلی برای نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸ و ۴ دسی‌بل چهار مرحله قبل از مرحله پایانی و نشان‌دهنده شش خوشه برای خروجی الگوریتم خوشه‌بندی است. در مورد نسبت سیگنال به نوفه ۲ دسی‌بل چندین بیشینه محلی رخ داده است که می‌تواند ناشی از نسبت سیگنال به نوفه کم باشد. شکل ۱۵ نتیجه خوشه‌بندی برای چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ و ۲ دسی‌بل را نشان می‌دهد. این روش قادر است برای نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل یا بیشتر، پایین‌افتادگی گسل را نشان دهد. در مورد نسبت سیگنال به نوفه ۲ دسی‌بل فقط وجود گسل قابل مشاهده است (شکل ۱۳-د).



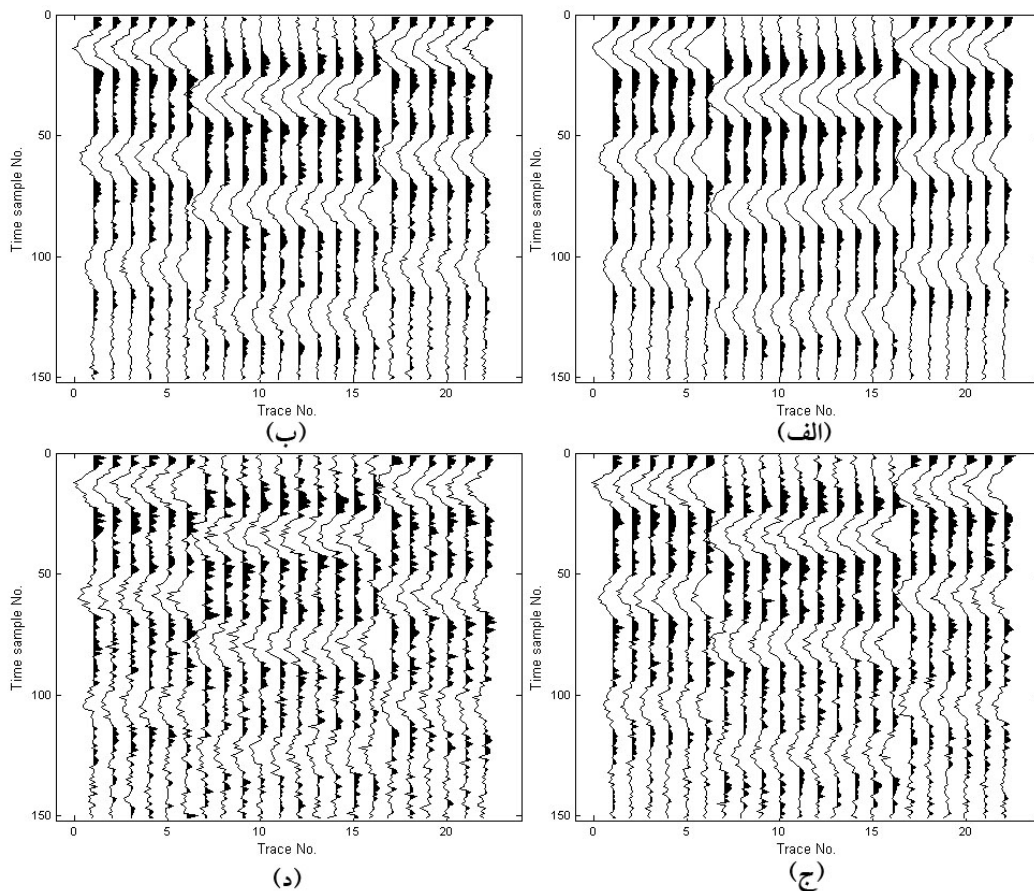
شکل ۱۰. مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده مربوط به مدل شکل ۸ پنجره انتخابی در حکم داده ورودی الگوریتم خوشه‌بندی در شکل نشان داده شده است.

شکل ۱۱ نمودار زمان دوام مربوط به خوشه‌بندی مقطع لرزه‌ای شکل ۱۰ را نشان می‌دهد. بیشینه این نمودار در مرحله پایانی رخ داده است که معنی‌دار نیست (چون این بیشینه به معنی انتخاب دو خوشه است که در این صورت، رخساره‌های لرزه‌ای آشکار نمی‌شود). بنابراین با انتخاب آخرین بیشینه محلی، تعداد شش خوشه برای الگوریتم انتخاب شده است.



شکل ۱۱. نمودار زمان دوام مربوط به خوشه‌بندی مقطع لرزه‌ای شکل ۹ که برای ۵۰ مرحله نهایی رسم شده است. بیشینه محلی چهار مرحله قبل از مرحله پایانی است که نشان‌دهنده شش خوشه برای خروجی الگوریتم خوشه‌بندی است.

نتیجه این خوشه‌بندی در شکل ۱۲ آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، محل گسل و همین‌طور جهت حرکت گسل که به سمت پایین است،

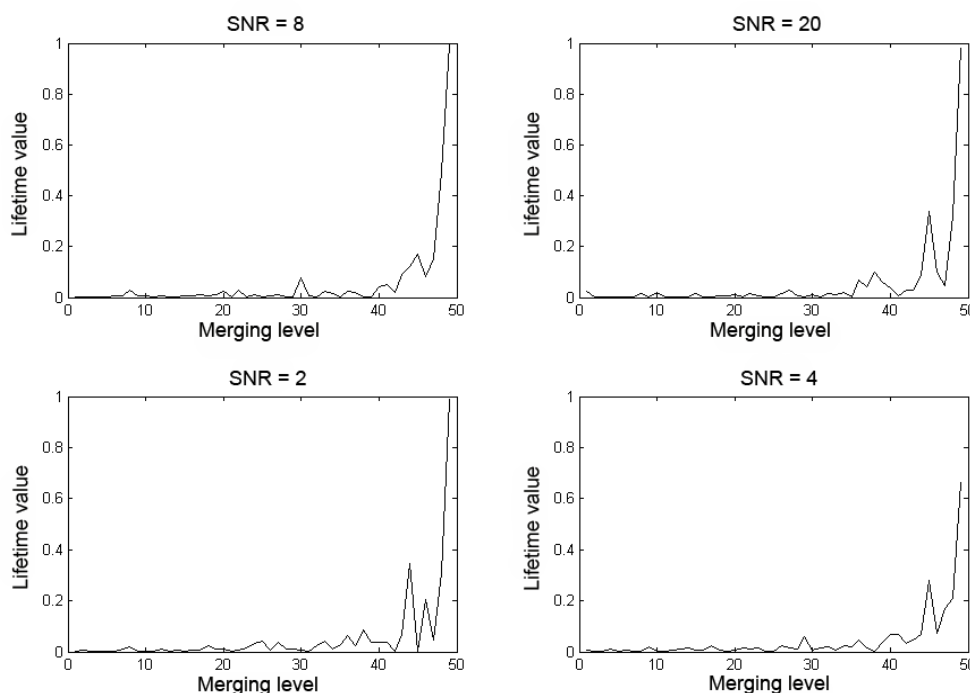


شکل ۱۳. مقاطع لرزه‌ای مربوط به شکل ۱۰ با نسبت سیگنال به نوفه: (الف) ۲۰ دسی‌بل، (ب) ۸ دسی‌بل، (ج) ۴ دسی‌بل و (د) ۲ دسی‌بل.

۳-۱-۵ مدل مصنوعی سوم

سومین مدل مصنوعی مورد بررسی یک مدل تاقدیس است. در بالای این تاقدیس با تغییر دامنه لرزه‌ای، تغییر رخساره ایجاد شده است تا کاربرد این الگوریتم بررسی شود. شکل ۱۶-الف مقطع لرزه‌ای مهاجرات داده شده این تاقدیس را نشان می‌دهد. با توجه به محدودیت داده ورودی به الگوریتم، قسمت بالای این تاقدیس برای ورود به الگوریتم انتخاب شده است. این پنجره داده در شکل ۱۶-ب قابل مشاهده است. در این مدل نیز در چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ و ۲ دسی‌بل خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به کار گرفته شده است. مقاطع لرزه‌ای مربوط به این چهار حالت در شکل ۱۷ آورده شده است. داده‌های ورودی برای خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی در این

مدل همان دامنه لرزه‌ای است. نمودار زمان دوام این مدل در شکل ۱۸ نشان داده شده است که سه خوشه برای خروجی را پیشنهاد می‌کند. نتایج این خوشه‌بندی در شکل ۱۹ آورده شده است. با توجه به این شکل، قطع ناگهانی رخساره تا نسبت سیگنال به نوفه ۸ دسی‌بل قابل مشاهده است. در مورد نسبت سیگنال به نوفه ۴ و ۲ دسی‌بل مرزهای کاذب ایجاد شده است و تغییر رخساره نیز واضح نیست. به‌منظور بررسی این روش در حالتی که تعداد خوشه‌ها بیشتر از سه باشد، بررسی دقیق‌تری در مورد این مدل مصنوعی صورت گرفت. نتایج خوشه‌بندی در حالتی که تعداد خوشه‌ها ۴، ۵ و ۶ عدد انتخاب شود، در شکل ۲۰ آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با این کار، نتایج بهتری حاصل نشده



شکل ۱۴. نمودار زمان دوام مربوط به خوشه‌بندی مقاطع لرزه‌ای شکل ۱۳ در حالت‌های نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ و ۲ دسی‌بل که برای ۵۰ مرحله نهایی رسم شده است. برای همه حالت‌ها، بیشینه نمودار در مرحله پایانی رخ داده است که معنی‌دار نیست. بنابراین از آخرین بیشینه محلی قبل بیشینه مطلق برای تعیین تعداد خوشه استفاده شده است. این بیشینه محلی برای نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸ و ۴ دسی‌بل چهار مرحله قبل از مرحله پایانی است که نشان‌دهنده شش خوشه برای خروجی الگوریتم خوشه‌بندی است. در مورد نسبت سیگنال به نوفه ۲ دسی‌بل چندین بیشینه محلی رخ داده است که می‌تواند ناشی از نسبت سیگنال به نوفه کم باشد.

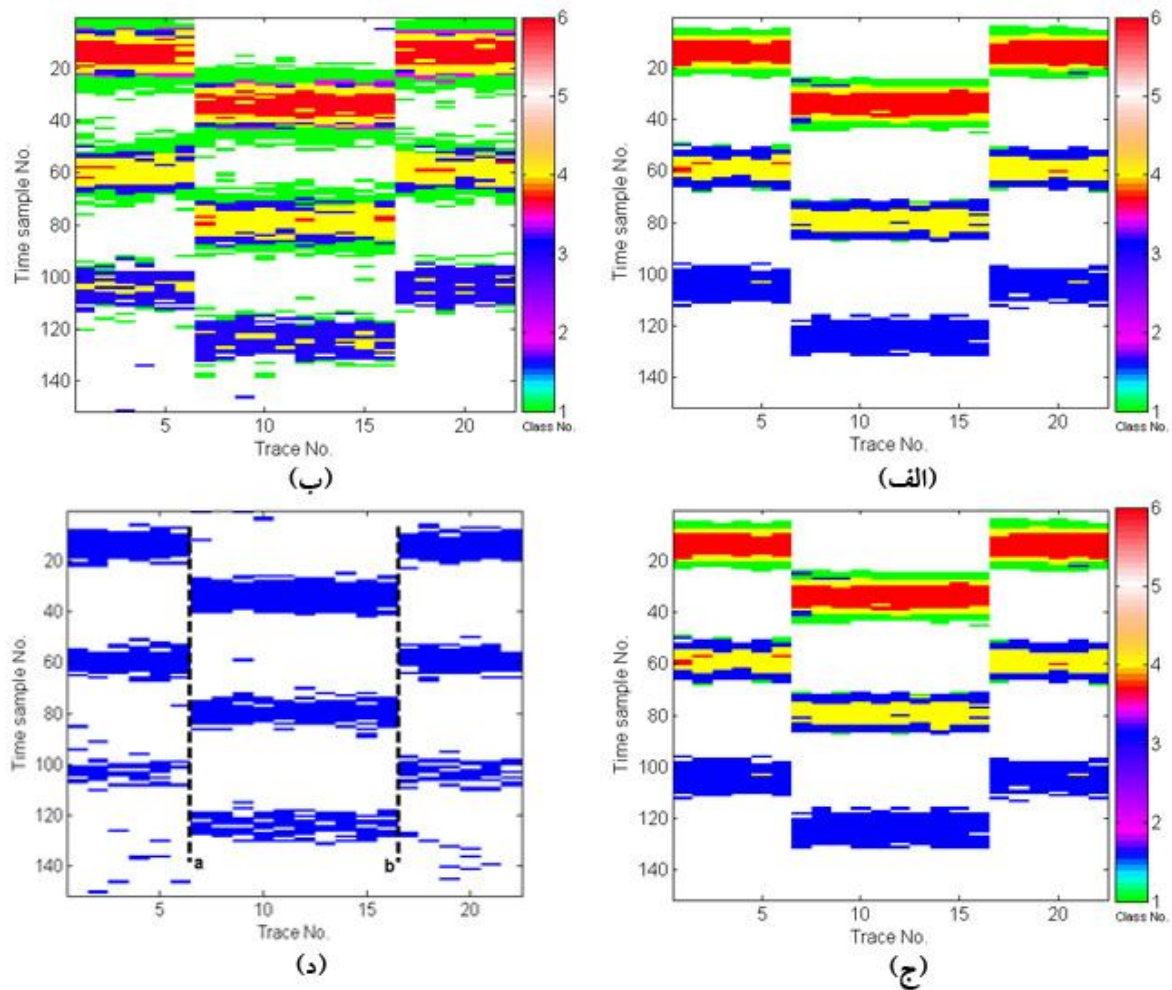
Paradigm ده نشانگر لرزه‌ای ایجاد شد. این نشانگرها عبارت‌اند از: فاز لحظه‌ای، کسینوس فاز لحظه‌ای، بسامد RMS، بسامد غالب، دامنه مطلق ترکیبی، پوش سیگنال، شاخص لایه نازک، مقاومت صوتی نسبی، فاکتور کیفیت لحظه‌ای و دامنه اولیه لرزه‌ای. برای ورود داده‌ها به مرحله خوشه‌بندی ابتدا عمل نرمال کردن و سپس تحلیل مؤلفه اصلی صورت می‌گیرد.

پس از تجزیه ماتریس کوواریانس با استفاده از تجزیه مقدار تکین به کمک رابطه (۷)، مقادیر ویژه و بردارهای این ماتریس به دست آمد. جدول ۱ مقادیر ویژه مربوط به ماتریس کوواریانس را نشان می‌دهد که به ترتیب نزولی مرتب شده‌اند. بزرگی این مقادیر، پراکندگی داده‌ها در راستای بردارهای ویژه نظیر را نشان می‌دهد. همان‌طور که

است. در همه حالت‌ها لایه‌بندی‌های کاذب ایجاد شده که غیر قابل تفسیر است. بنابراین بهترین تعداد خوشه همان عددی است که نمودار زمان دوام به دست می‌دهد.

۵-۲ داده واقعی

روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی روی داده واقعی قسمتی از یکی از مناطق نفتی جنوب‌غربی ایران اعمال شده است. این داده دارای فاصله دو ردلرزه متوالی ۲۵ متر و فاصله نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه است. برای استخراج اطلاعات بیشتر از داده‌های لرزه‌ای، از نشانگرهای لرزه‌ای استفاده شده است. امکان استفاده از تعداد دلخواه از نشانگرهای لرزه‌ای در حکم داده ورودی در الگوریتم خوشه‌بندی وجود دارد. در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار

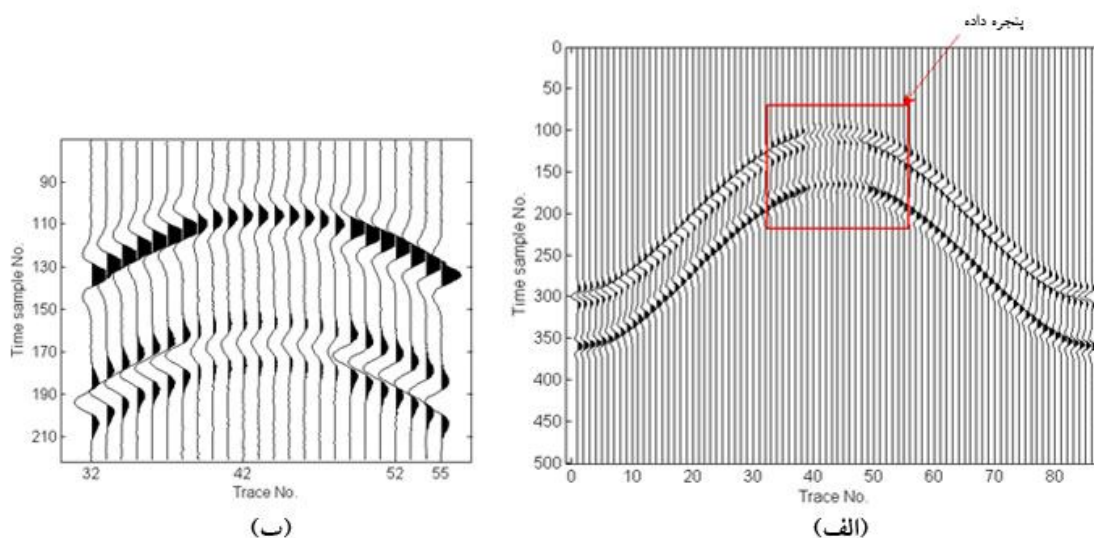


شکل ۱۵. نتیجه خوشه‌بندی مربوط به پنجره داده نشان داده شده در مقاطع لرزه‌ای شکل ۱۳ برای چهار حالت: (الف) نسبت سیگنال به نوفه ۲۰ دسی‌بل، (ب) نسبت سیگنال به نوفه ۸ دسی‌بل، (ج) نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل و (د) نسبت سیگنال به نوفه ۲ دسی‌بل. با توجه به تفسیر نمودار زمان دوام شکل ۱۴ در مورد نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ دسی‌بل، شش خوشه برای خروجی فرض شده است. بنابراین در شکل‌های (الف)، (ب) و (ج) تغییر رخساره جانبی و پایین‌افتادگی لایه‌ها مطابق با مدل اولیه شکل ۹ قابل مشاهده است. در مورد نسبت سیگنال به نوفه ۲ دسی‌بل با توجه به افزایش نوفه امکان بررسی تغییر رخساره وجود ندارد و فقط وجود گسل‌های a و b مشاهده می‌شود.

جدول ۱. مقادیر ویژه مربوط به ماتریس کواریانس به ترتیب نزولی.

Order of component	Eigenvalue
1 st	2.488
2 nd	1.837
3 rd	1.265
4 th	1.138
5 th	0.937
6 th	0.906
7 th	0.565
8 th	0.385
9 th	0.320
10 th	0.159

در جدول ۱ مشاهده می‌شود تفاوت بزرگی اولین مؤلفه با مؤلفه‌های آخر قابل ملاحظه است. این بدین معنی است که تغییرات بعضی از متغیرها (نشانگرهای لرزه‌ای) به یکدیگر شباهت دارد. بنابراین می‌توان با کاهش بُعد فضای برداری، ویژگی این وابستگی را کاهش داد و داده‌های اضافی را حذف کرد. با این کار حجم محاسباتی الگوریتم نیز کاهش می‌یابد. شکل ۲۱ نمودار درصد تجمعی مربوط به مقادیر ویژه جدول ۱ را نشان می‌دهد.



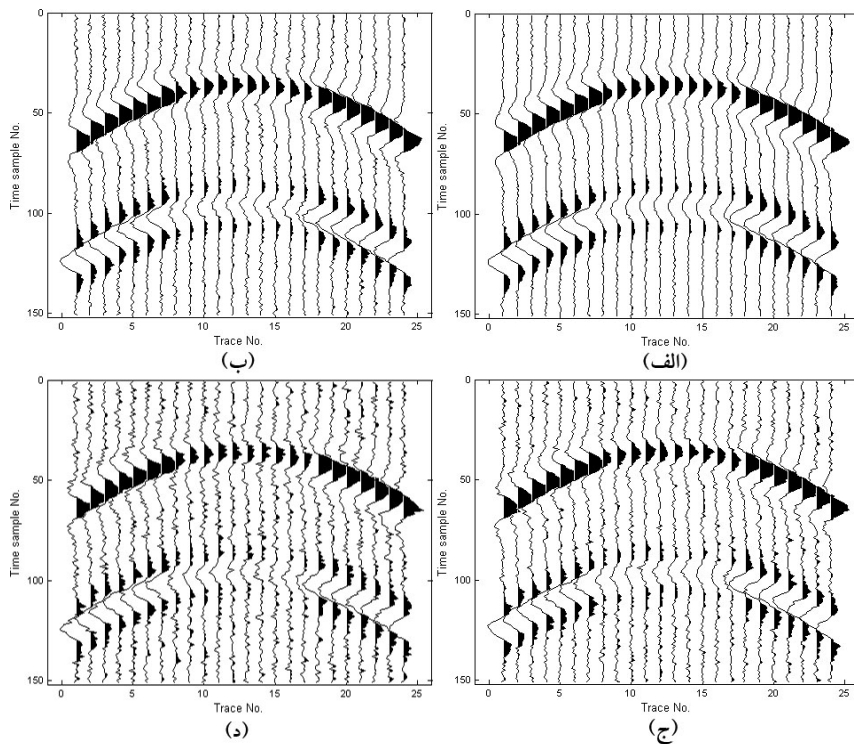
شکل ۱۶. (الف) مقطع لرزه‌ای مهاجرت داده شده مربوط به مدل مصنوعی سوم (مدل تاقدیس). پنجره انتخابی درحکم داده ورودی الگوریتم خوشه‌بندی نشان داده شده است. (ب) پنجره داده مربوط به شکل (الف).

سوم و شکل ۲۳-ب نمودار تقاطعی مربوط به مؤلفه‌های دوم و چهارم به‌دست آمده از تحلیل مؤلفه اصلی را نشان می‌دهد که در آن پنج خوشه درحکم خروجی برای الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی در نظر گرفته شده است. مربع‌های نشان داده شده در این شکل مرکز جرم نمونه‌های طبقه‌بندی شده در هر رده است. هم‌پوشانی نمونه‌های طبقه‌بندی شده در این نمودارها کمینه شده است. نتایج حاصل از اعمال روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی روی داده واقعی سه‌بعدی و خط استخراج شده از داده سه‌بعدی با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط مت‌کب و نرم‌افزار Stratimagic در شکل ۲۴ آورده شده است. شکل ۲۴-الف مربوط به حالتی است که خط گیرنده ۳۸۷۶ از مکعب داده سه‌بعدی استخراج شده است. سپس عمل خوشه‌بندی روی داده‌های مربوط به این خط صورت گرفته است. بنابراین خط گیرنده ۳۸۷۶ به مقطع خوشه‌بندی شده شکل ۲۴-الف تبدیل شده است. در حالت دوم بدون توجه به خط گیرنده موردنظر، کل داده سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار Stratimagic وارد الگوریتم خوشه‌بندی شده است که نتیجه آن یک مکعب

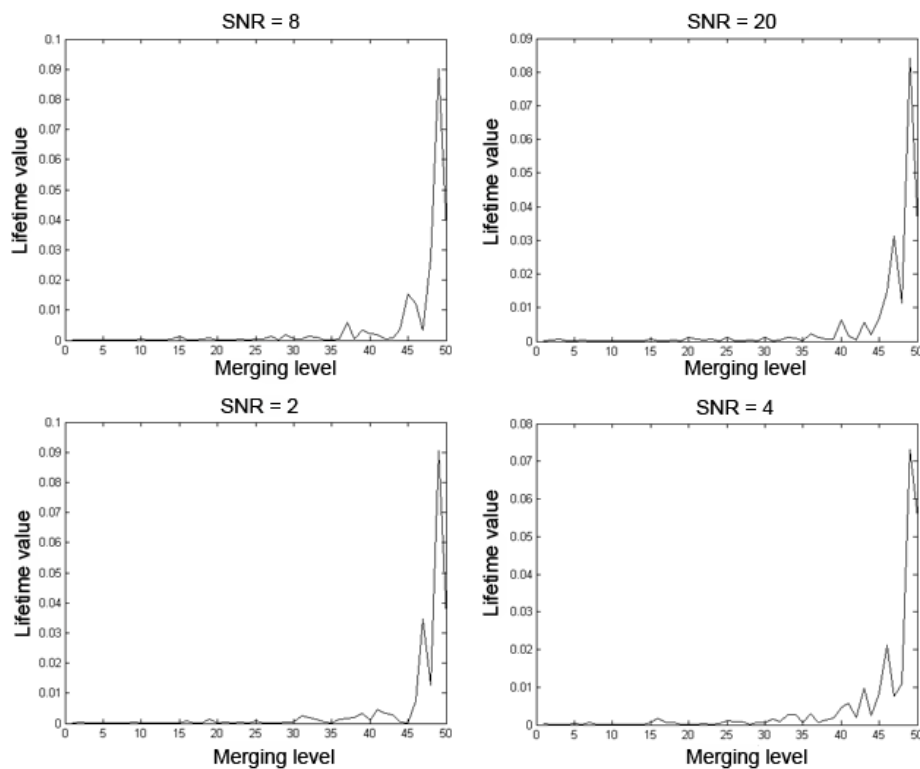
با انتخاب هفت مؤلفه، ۹۱/۳ درصد تغییرپذیری داده‌ها حفظ می‌شود. با تصویر کردن داده‌ها روی هفت بردار ویژه نظیر این هفت مقدار ویژه، بُعد داده‌ها از ده به هفت کاهش می‌یابد.

بعد از تحلیل مؤلفه اصلی، داده آماده ورود به الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی است. اعمال روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به دو صورت صورت گرفته است. روش اول برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزاری مت‌کب است. با توجه به حجم محاسباتی بسیار زیاد الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی امکان پردازش مکعب داده‌های لرزه‌ای وجود ندارد. بنابراین داده‌های مربوط به یک مقطع انتخاب و قسمتی از این مقطع درحکم ورودی الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده شده است. برای این منظور خط گیرنده ۳۸۷۶ انتخاب شده است. شکل ۲۲ این مقطع لرزه‌ای را نشان می‌دهد.

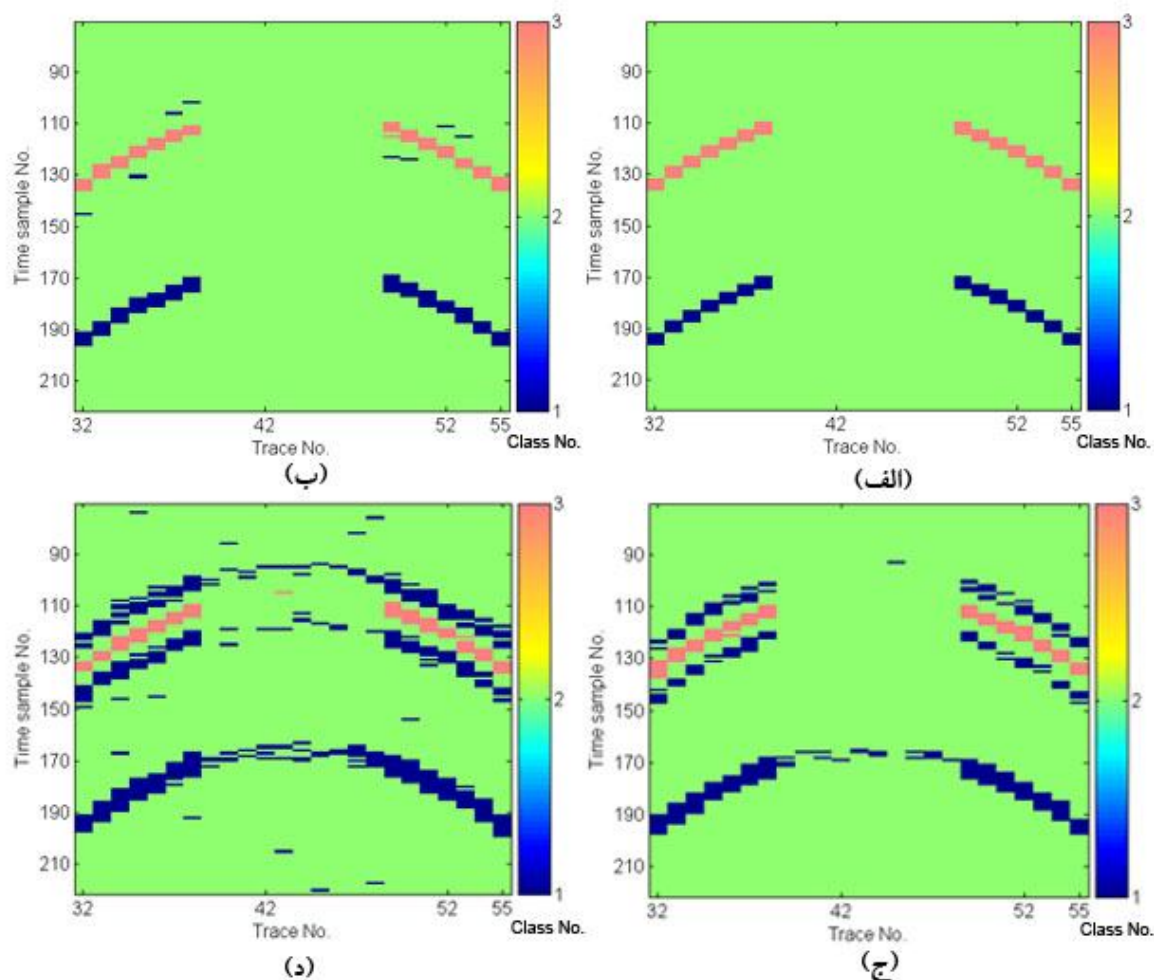
روش دوم استفاده از نرم‌افزار Stratimagic است. به‌منظور تصمیم‌گیری در مورد تعداد رخساره‌ها در این نرم‌افزار از تفسیر نمودارهای تقاطعی استفاده شده است. شکل ۲۳-الف نمودار تقاطعی مربوط به مؤلفه‌های دوم و



شکل ۱۷. مقاطع لرزه‌ای مربوط به شکل ب-۱۶ با نسبت سیگنال به نوفه: (الف) ۲۰ دسی‌بل، (ب) ۸ دسی‌بل، (ج) ۴ دسی‌بل و (د) ۲ دسی‌بل.



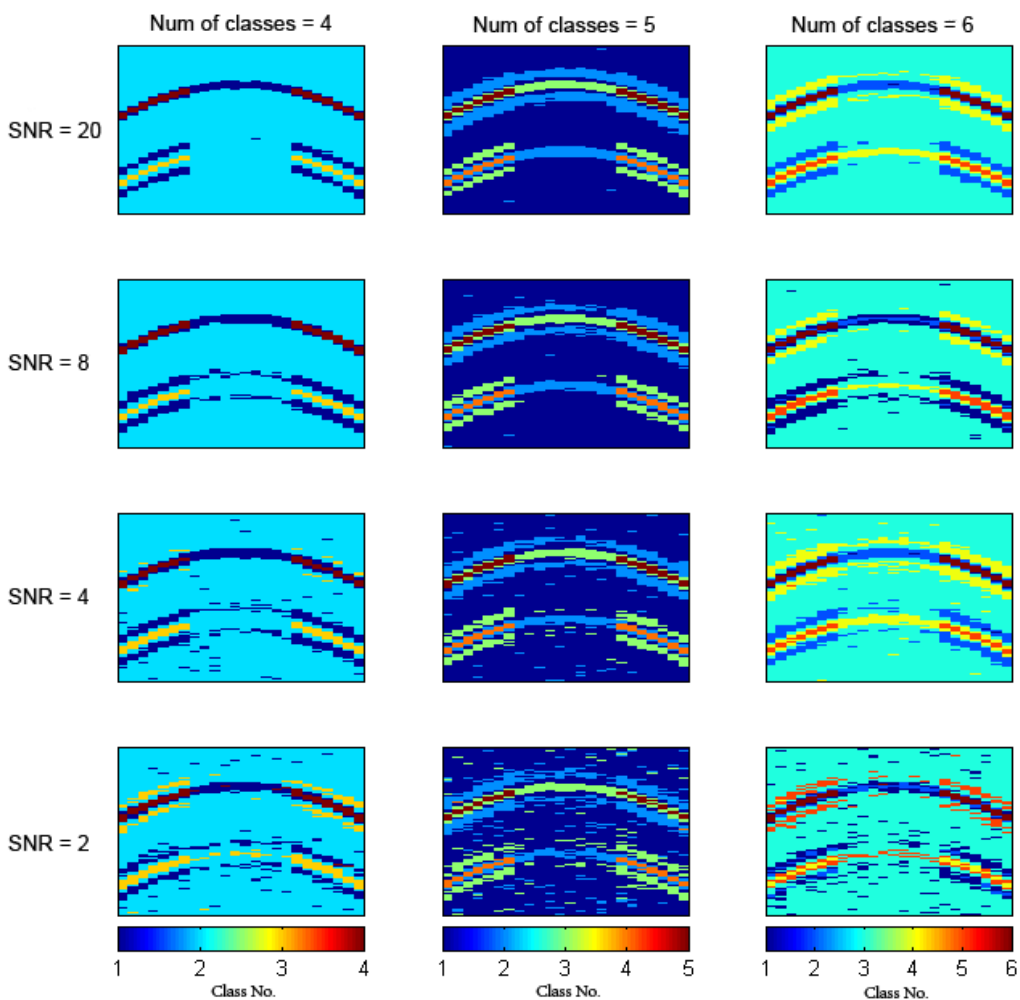
شکل ۱۸. نمودار زمان دوام مربوط به خوشه‌بندی مقاطع لرزه‌ای شکل ۱۷ در حالت‌های نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ و ۲ دسی‌بل که برای ۵۰ مرحله نهایی رسم شده است. پیشینه نمودار در یک مرحله قبل از مرحله پایانی برای همه حالت‌ها، نشان‌دهنده انتخاب سه خوشه برای خروجی الگوریتم است.



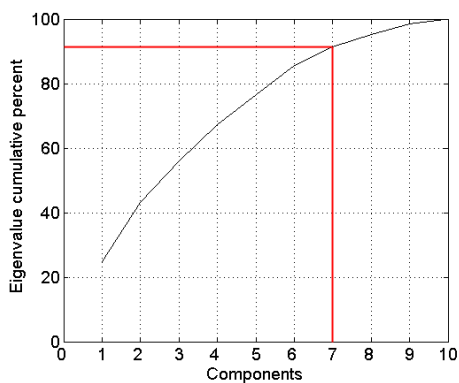
شکل ۱۹. نتیجه خوشه‌بندی مربوط به مقاطع لرزه‌ای شکل ۱۷ برای چهار حالت: (الف) نسبت سیگنال به نوفه ۲۰ دسی‌بل، (ب) نسبت سیگنال به نوفه ۸ دسی‌بل، (ج) نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل و (د) نسبت سیگنال به نوفه ۲ دسی‌بل. قطع‌شدگی ناگهانی مربوط به تغییر رخساره در بالای ناق‌دیس در شکل‌های (الف)، (ب) و (ج) مشاهده می‌شود. با افزایش نوفه تعداد نمونه‌هایی که به درستی خوشه‌بندی نشده‌اند افزایش می‌یابد به طوری که در شکل (د) تغییر رخساره‌ها به سختی قابل تشخیص است.

می‌شوند. ولی در شکل ۲۴-ب که مربوط به حالتی است که کل داده سه‌بُعدی برای خوشه‌بندی استفاده شده است، این رخساره‌ها به صورت منسجم قابل مشاهده هستند. این امر نشان می‌دهد که در حالتی که از کل داده سه‌بُعدی برای خوشه‌بندی استفاده شده، توان تفکیک قائم و افقی رخساره‌های لرزه‌ای بهبود یافته است.

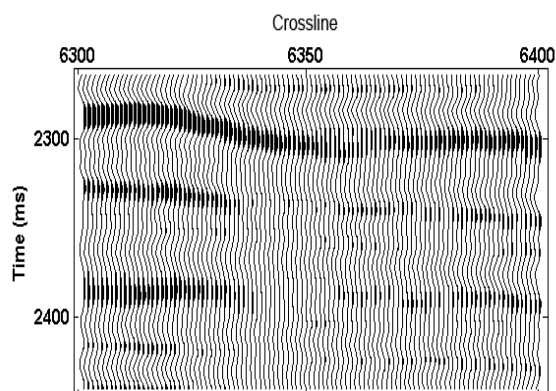
خوشه‌بندی شده است. سپس، به منظور مقایسه با حالت قبل، خط گیرنده موردنظر از مکعب خوشه‌بندی شده استخراج شده و در شکل ۲۴-ب آمده است. رخساره‌های آبی، سرخ و زرد که به ترتیب مربوط به رده‌های اول، دوم و سوم هستند، تغییر رخساره لرزه‌ای را نشان می‌دهند. در شکل ۲۴-الف که مربوط به خط استخراج شده از داده سه‌بُعدی است، این رخساره‌ها به صورت پراکنده مشاهده



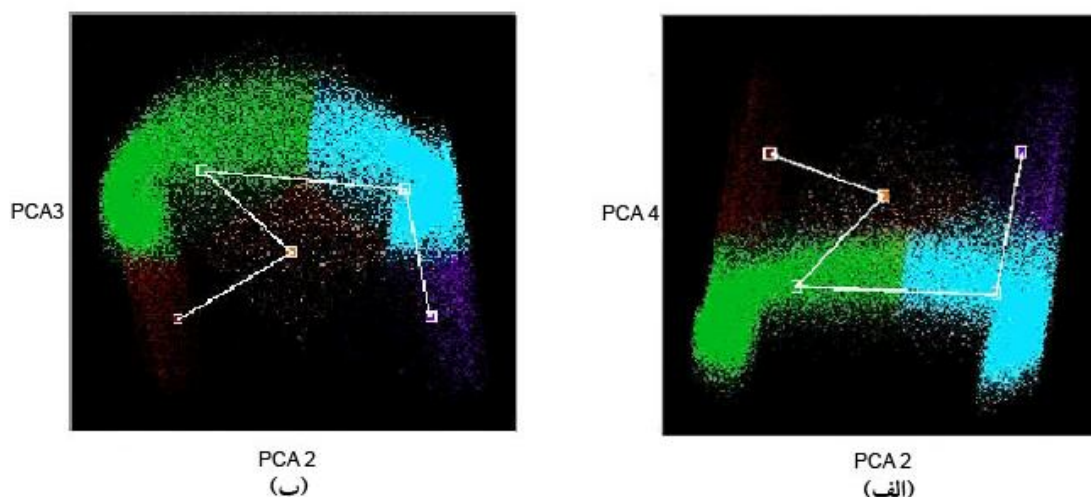
شکل ۲۰. نتیجه خوشه‌بندی مربوط به مقاطع لرزه‌ای شکل ۱۷ برای چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۲۰، ۸، ۴ و ۲ دسی‌بل و سه حالت تعداد خوشه ۴، ۵ و ۶ با افزایش تعداد خوشه‌ها لایه‌های کاذب ایجاد شده و نتیجه بهتری حاصل نشده است.



شکل ۲۱. نمودار درصد تجمعی مربوط به مقادیر ویژه جدول ۱. با انتخاب هفت مؤلفه اول ۹۱/۳ درصد اطلاعات حفظ می‌شود.



شکل ۲۲. مقطع لرزه‌ای داده واقعی مهاجرت داده شده مربوط به یکی از مناطق نفتی جنوب غربی ایران.

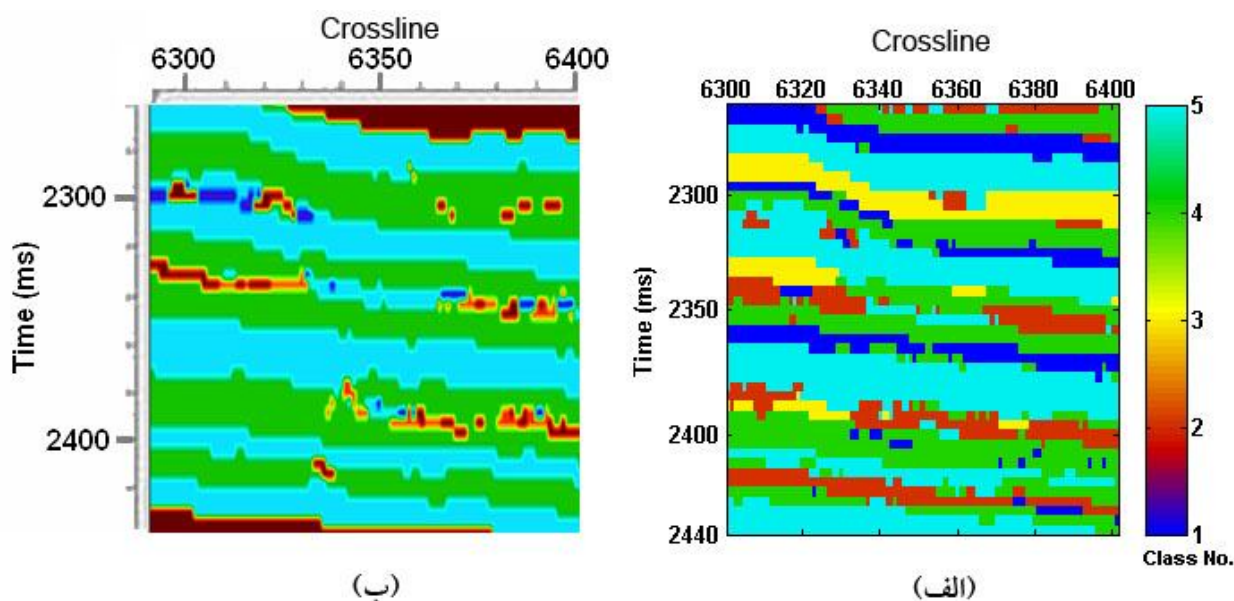


شکل ۲۳. (الف) نمودار تقاطعی مربوط به مؤلفه‌های دوم و سوم و (ب) نمودار تقاطعی مربوط به مؤلفه‌های دوم و چهارم. مربوط به داده واقعی. مربع‌ها مرکز جرم مربوط به نمونه‌های هر رخساره طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. هم‌پوشانی نمونه‌های طبقه‌بندی شده، کمینه شده است.

۶ نتیجه‌گیری

قرار گرفت. بررسی نتایج در مورد این مدل نشان داد که روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی به‌خوبی می‌تواند پایین‌افتادگی بلوک در اثر گسل برای نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل یا بیشتر را آشکار کند. در مدل سوم که یک مدل تاقدیس است، تغییر رخساره لرزه‌ای در بالای این تاقدیس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای نسبت سیگنال به نوفه ۸ دسی‌بل یا بیشتر قطع ناگهانی رخساره قابل تفسیر است. در ضمن با تعریف تعداد بیشتر خوشه‌ها برای این مدل، نتایج بهتری حاصل نشد. این امر بدین معنی است که تعداد خوشه‌های پیشنهاد

در این مقاله روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مجتمع‌شونده بیان شد و کاربرد آن برای بررسی تغییر رخساره لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. در مدل مصنوعی اول بررسی تغییر ناگهانی رخساره مورد نظر بود. نتایج حاصل از خوشه‌بندی برای نسبت سیگنال به نوفه ۴ دسی‌بل یا بیشتر به‌خوبی این تغییر ناگهانی را نشان داد. افزایش نوفه در این مدل باعث شد نمونه‌های زمانی به درستی خوشه‌بندی نشوند و لایه‌بندی کاذب ایجاد شود. در مدل دوم، وجود گسل قائم و حرکت لایه‌ها در اثر این گسل مورد ارزیابی



شکل ۲۴. نتیجه خوشه‌بندی داده واقعی. (الف) نتیجه خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مربوط به حالتی است که خط گیرنده ۳۸۷۶ از مکعب داده سه‌بعدی استخراج شده سپس عمل خوشه‌بندی روی داده‌های مربوط به این خط صورت گرفته است. (ب) نتیجه خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی مربوط به حالتی که کل داده سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار Stratimagic وارد الگوریتم خوشه‌بندی شده است و سپس خط گیرنده موردنظر از نتیجه خوشه‌بندی استخراج شده است. محورهای قائم و افقی در دو شکل هم‌مقیاس شده‌اند. راهنمای رنگ مربوط به هر رده در شکل آورده شده است. رخساره‌های آبی، سرخ و زرد که به ترتیب مربوط به رده‌های اول، دوم و سوم هستند، تغییر رخساره لرزه‌ای را نشان می‌دهند. در شکل (الف) این رخساره‌ها پراکنده هستند. در شکل (ب) که مربوط به حالت سه‌بعدی است، توان تفکیک قائم و افقی رخساره‌های آبی، سرخ و زرد نسبت به شکل (الف) بهبود یافته است.

منابع

- Badley, M. E., 1985, Practical Seismic Interpretation: Prentice Hall Inc.
- Conticini, F., 1984, Seismic facies quantitative analysis: New tool in stratigraphic interpretation: 54th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 680-682.
- Deza, E., and Deza, M. M., 2006, Dictionary of Distances: Elsevier.
- Duda, R.O., Hart, P.O., and Stork, D.G., 2001, Pattern Classification: 2nd edition, John Wiley & Sons Inc.
- Dumay, J., and Fournier, F., 1988, Multivariate statistical analyses applied to seismic facies recognition: Geophysics, **53**, 1151-1159.
- Farzadi, P., 2006, Seismic facies analysis based on 3D multi-attribute volume classification, Dariyan formation, SE Persian Gulf. Journal of Petroleum Geology, **29**, 159-174.
- Gurney, K., 1997, An Introduction to Neural Networks: UCL Press.
- Hagen, D. C., 1982, The application of principal component analysis to seismic data set: Geoprospection, **20**, 93-111.
- Jackson, J. E., 1991, A user's guide to principal

شده از نمودار زمان دوام بهترین نتیجه را حاصل می‌کند. در مورد داده واقعی با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط مت‌لب و نرم‌افزار Stratimagic امکان به کارگیری روش و مقایسه نتایج در دو حالت به وجود آمد. حالت اول استفاده از داده‌های مقطع استخراج شده از داده سه‌بعدی و حالت دوم استفاده از کل مکعب داده سه‌بعدی برای اعمال الگوریتم خوشه‌بندی، است. مقایسه مقاطع خوشه‌بندی شده در این دو حالت نشان داد که در حالتی که از کل مکعب داده سه‌بعدی برای خوشه‌بندی استفاده شود، توان تفکیک قائم و قدرت تفکیک افقی رخساره لرزه‌ای بهبود می‌یابد. دلیل این امر داده‌محوری الگوریتم خوشه‌بندی است که با ورود اطلاعات بیشتر، نمونه‌های زمانی مربوط به مقطع خاص به نحوی مناسب‌تر خوشه‌بندی می‌شوند.

- and Flannery, B. P., 2002, Numerical Recipes in C: The art of scientific computing: Cambridge University Press.
- Roy, A., Matos, M. C., and Marfurt, K. J., 2010, Applying self-organizing maps of multiple attributes, an example from the Red-Fork, Anadarko Basin: 80th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1591-1595.
- Sabeti, H., Javaherian, A., and Nadjar Araabi, B., 2011, Seismic facies classification using 2-D and 3-D multi-attribute hierarchical clustering algorithms: 81st Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 1160-1164.
- Saggaf, M. M., Toksöz, M. N., and Marhoon, M. I., 2003, Seismic facies classification and identification by competitive neural networks: Geophysics, **68**, 1984-1999.
- Saraswat, P., and Sen, M. K., 2012, Artificial immune-based self-organizing maps for seismic-facies analysis: Geophysics, **77**, 045-053.
- Simaan, M. A., 1991, A knowledge-based computer system for segmentation of seismic sections based on texture: 61st Annual International Meeting, SEG, Expanded abstracts, 289-292.
- Yang, F. M., and Huang, K. Y., 1991, Multi-layer perception for the detection of seismic anomalies: 61st Annual International Meeting, SEG, Expanded abstracts 309-312.
- Webb, A. R., 2002, Statistical Pattern Recognition: 2nd edition, John Wiley and Sons Inc.
- components, John Wiley and Sons Inc.
- Jolliffe, I. T., 2002, Principal Component Analysis: 2nd edition, Springer.
- Kendall, M., 1975, Multivariate Analysis: Charles Griffin.
- Krzanowski, W. J., 1988, Principles of Multivariate Analysis: Oxford University Press.
- Larose, D. T., 2006, Data Mining Methods and Models: John Wiley and Sons Inc.
- Linari, V., Santiago, M., Pastore, C., Azbel, K., and Poupon, M., 2003, Seismic facies analysis based on 3D multi-attribute volume classification: La Palma field, Maracaibo, Venezuela: The Leading Edge, **22**, 32-36.
- Marroquin, I. D., Brault, J., and Hart, B.S., 2009, A visual data-mining methodology for seismic facies analysis: Part 1 —Testing and comparison with other unsupervised clustering methods: Geophysics, **74**, 1-11.
- Mathieu, P. G., and Rice, G. W., 1969, Multivariate analysis used in the detection of stratigraphic anomalies from seismic data: Geophysics, **34**, 507-515.
- Matlock, R. J., McGowen, R. S., and Asimakopoulos, G., 1985, Can seismic stratigraphy problems be solved using automated pattern analysis and recognition?: 55th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstracts, 582-586.
- Matos de, M. C., Osorio, P. L. M., and Schroeder, P. R., 2007, Unsupervised seismic facies analysis using wavelet transform and self-organizing maps: Geophysics, **72**, 9-21.
- Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T.