

کاربرد تحلیل مؤلفه‌ی اصلی در تفسیر افق‌های لرزه‌یی

حمید ثابتی (کارشناس ارشد)

گروه معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند

عبدالرحیم جواهریان (استاد)

استاد دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

بابک نجار اعرابی (دانشیار)

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران

یکی از مهم‌ترین مراحل تفسیر داده‌های لرزه‌یی، ردیابی افق‌های خاصی است که از نظر چینه‌شناسی حافز اهمیت‌اند. وجود نوفه در داده‌ها این مرحله از تفسیر را دچار مشکل می‌کند. در این نوشتار، با به‌کارگیری روش تحلیل مؤلفه‌ی اصلی و انتخاب پنجره‌یی باریک از مقطع مهاجرت داده شده، که در آن بازتاب‌ها^۱ تقریباً افقی‌اند، یک ردلرزه به دست می‌آید که در آن نوفه تضعیف شده و افق‌های ضعیف ممکن است آشکار شوند. در این مطالعه، این روش با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB روی داده‌های مصنوعی و واقعی اعمال شده است. مدل مصنوعی اول همان مدل لایه‌های افقی، و مدل مصنوعی دوم یک طاق‌دیس است که در هر دو مدل لایه‌هایی با اختلاف مقاومت صوتی کم تعبیه شده است. در مدل‌های مصنوعی نوع موجک لرزه‌یی، فرکانس غالب آن و پهنای پنجره‌ی انتخابی داده مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که این روش قادر است بازتاب‌های ضعیف را تا نسبت سیگنال به نوفه‌ی ۲/۰ بر روی مقاطع لرزه‌یی مصنوعی آشکار کند. نتایج حاصل روی مدل طاق‌دیس نشان می‌دهد که انتخاب پنجره‌ی داده در محل بازتاب‌های افقی شرط لازم برای کارایی این روش است. همچنین بازدهی این روش به نوع موجک لرزه‌یی بستگی ندارد. داده‌ی واقعی استفاده شده، قسمتی از مقطع لرزه‌یی منطقه‌ی جفیر در جنوب غربی ایران است.

واژگان کلیدی: تجزیه‌ی بردار تکین، تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، مقدار ویژه، بردار ویژه، ردیابی افق لرزه‌یی.

hamid.sabeti@gmail.com
javaheri@ut.ac.ir
araabi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

در بسیاری از اهداف اکتشافی، لازم است مفسر بازتاب‌هایی را که از نظر ستون چینه‌شناسی منطقه اهمیت دارند بیابد و آنها را در امتداد مقاطع لرزه‌یی دنبال کند. این فرایند ممکن است با استفاده از الگوریتم‌های متعدد و به صورت خودکار انجام شود. به‌طور کلی ردیاب‌های خودکار^۲ با فرض این که داده‌ها پیوسته باشند، به تغییرات نسبت سیگنال به نوفه حساس‌اند.^۱ نوفه باعث پنهان شدن بازتاب‌های ضعیف می‌شود و دنبال کردن آنها را در مقاطع لرزه‌یی مشکل می‌سازد. تحلیل مؤلفه‌ی اصلی^۳ روشی برای یافتن وابستگی خطی بین متغیرهاست.^۴ به هر ترکیب خطی از متغیرهای موجود در داده، یک مؤلفه گفته می‌شود.^۴ تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، یکی از ابزارهای کاهش بعد داده‌ها به‌شمار می‌رود. در سال ۱۹۹۶، ردیابی افق‌های لرزه‌یی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه شد.^۵ اما در صورتی

که مشخصات موجک لرزه‌یی با داده‌ی آموزش تفاوت داشته باشد، این روش دارای خطای زیادی است. محققان دیگری نیز در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ انواعی از شبکه‌های عصبی مصنوعی ارائه دادند.^۶ استفاده از روش‌های شبکه‌ی عصبی از دقت زیادی برخوردار است، اگرچه اجرای الگوریتم‌های آن بسیار زمان‌بر است. در این نوشتار با انتخاب قسمتی از مقطع لرزه‌یی با بازتاب‌های افقی، به‌عنوان ورودی الگوریتم تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، یک ردلرزه به دست می‌آید که پنجره‌ی حاصل از آن در تفسیر افق‌های لرزه‌یی قابل استفاده است. در ادامه ضمن تشریح نظریه‌ی روش مورد استفاده، نتایج حاصل از اعمال این روش بر روی مدل مصنوعی لایه‌های افقی، مدل طاق‌دیس و همچنین داده‌های لرزه‌نگاری یکی از مناطق نفتی جنوب غربی ایران ارائه شده است. در قسمت مدل‌های مصنوعی پهنای پنجره‌ی انتخابی، نوع موجک لرزه‌یی و همچنین افقی یا شیب‌دار بودن لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. روش‌شناسی

۱.۲. تجزیه‌ی مقدار تکین

«تجزیه‌ی مقدار تکین» یکی از روش‌های تجزیه‌ی ماتریسی است که در حالت خاص، هنگامی که ماتریس مربعی باشد، به تجزیه‌ی مقادیر ویژه و بردارهای ویژه تبدیل می‌شود. هر ماتریس $A_{m \times n}$ را می‌توان به صورت حاصل ضرب یک ماتریس متعامد $U_{m \times m}$ ، یک ماتریس قطری $S_{n \times n}$ با درایه‌های مثبت یا صفر (همان مقادیر تکین) و ترانزاده‌ی یک ماتریس متعامد $V_{n \times n}$ نوشت:

$$A_{m \times n} = U_{m \times m} S_{n \times n} V_{n \times n}^T \quad (1)$$

در صورتی که ماتریس A مربعی باشد، ماتریس‌های U و S و V هر سه مربعی خواهند بود و ماتریس‌های U و V یکسان می‌شوند. در این صورت، درایه‌های قطر اصلی ماتریس S معرف مقادیر ویژه، و ستون‌های ماتریس U یا V معرف بردارهای ویژه‌ی ماتریس A هستند.^[۸]

۲.۲. تحلیل مؤلفه‌ی اصلی

تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، روشی آماری برای کاهش بعد داده‌هاست.^[۱۰،۹] با استفاده از این تحلیل می‌توان در فضای چندبعدی داده‌ها جهاتی را یافت که در راستای آنها داده‌ها بیشترین واریانس را دارند.^[۱۱] بنابراین با تصویرکردن داده‌ها بر این جهات می‌توان از ابعاد داده‌ها کاست بدون این که اطلاعات قابل توجهی از آن حذف شود. یکی از روش‌های تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، محاسبه‌ی مؤلفه‌های اصلی از روی ماتریس کوواریانس است. مراحل مختلف این تحلیل در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. مراحل تحلیل مؤلفه‌ی اصلی از روی ماتریس کوواریانس.^[۱۶]

۳.۲. نرمال کردن داده‌ها

قبل از استفاده از داده‌های ورودی، داده‌ها نرمال می‌شوند تا همه‌ی مقادیر در یک بازه مشابه قرار بگیرند. در این نوشتار، از میان روش‌های مختلفی که برای نرمال کردن داده‌ها وجود دارد، رابطه‌ی ۲ بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته است:

$$v_{st} = \frac{v_r - m}{\sigma} \quad (2)$$

که در آن v_{st} مقدار نرمال‌شده، v_r مقدار خام، m و σ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌ی خام است. بعد از نرمال کردن داده‌ها مقدار میانگین و انحراف معیار هر متغیر به ترتیب صفر و ۱ می‌شود.^[۱۲]

۴.۲. ماتریس کوواریانس

هر درایه‌ی ماتریس کوواریانس مطابق رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید:

$$C_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)(y_i - m_y) \quad (3)$$

که در آن C_{xy} مقدار کوواریانس متقابل متغیرهای x و y ؛ m_x و m_y میانگین متغیرهای x و y ؛ N تعداد کل نمونه‌های هر متغیر است.

درایه‌های قطر اصلی ماتریس کوواریانس همان انحراف معیار متغیرهاست. درایه‌های ماتریس همبستگی نظیر به نظیر درایه‌های ماتریس کوواریانس، و به کمک رابطه‌ی ۴ ساخته می‌شوند:

$$R_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_{xx}\sigma_{yy}} \quad (4)$$

که در آن R_{xy} مقدار همبستگی، C_{xy} مقدار کوواریانس بین متغیر x و y ، و σ_{xx} و σ_{yy} به ترتیب انحراف معیار متغیر x و y است. در حالتی که داده‌های متغیرهای x و y با استفاده از رابطه‌ی ۲ نرمال شده باشند، ماتریس کوواریانس با ماتریس همبستگی برابر است.

۵.۲. مقادیر ویژه و بردارهای ویژه

با استفاده از رابطه‌ی ۱ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه‌ی ماتریس کوواریانس داده‌ها به دست می‌آیند. با بررسی مقادیر ویژه، مؤلفه‌هایی که بیشترین سهم را در پراکندگی داده‌ها دارند، مشخص می‌شوند. به این منظور مقادیر ویژه - بردارهای ویژه متناظر با آن - به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. بردار ویژه نظیر بیشترین مقدار ویژه، جهتی را مشخص می‌کند که بیشترین سهم را در پراکندگی داده‌ها در فضای برداری ویژگی^۵ دارد. با تصویرکردن داده‌ها روی اولین مؤلفه‌ی اصلی، بعد بردار ویژه به ۱ کاهش می‌یابد.

استفاده از این روش در علم لرزه‌شناسی اولین بار در سال ۱۹۸۲ و با استفاده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای گروه‌بندی ردلرزه^۶ بیان شد.^[۱۳] پس از آن در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۶، از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی به منظور کاهش ابعاد نشان‌گرهای لرزه‌ی و حذف داده‌های اضافی^۷ و نوفه استفاده شد.^[۱۵،۱۴] محققین این امر کاربرد این روش در مورد مقاطع لرزه‌ی مهاجرت داده‌شده را بررسی نکردند، بلکه از این روش فقط برای کاهش بعد داده‌های نشان‌گرهای لرزه‌ی و در نتیجه کاهش حجم حافظه و محاسبات مورد نیاز استفاده کرده‌اند.

۳. اعمال روش روی داده‌های لرزه‌ی

این روش با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB، بر روی دو مدل مصنوعی و همچنین داده‌ی واقعی اعمال شده است.

۱.۳. آماده‌سازی داده‌ها

اگر از دیدگاه آماری به داده‌های لرزه‌ی توجه شود، در هر ردلرزه و برای هر نمونه‌ی زمانی، مشاهده‌ی به دست می‌آید که همان دامنه‌ی سیگنال در زمان و مکان خاص است. معمولاً در مقاطع لرزه‌ی شرایطی که در آن بازتاب‌ها تقریباً افقی باشند یافت می‌شود. در این شرایط با انتخاب یک پنجره‌ی زمانی باریک می‌توان فرض کرد که در محدوده‌ی کوچک، برای هر نمونه‌ی زمانی تعداد بیشتر از یک مشاهده در اختیار است. به عبارت دیگر، انتخاب این پنجره معادل این است که از یک محدوده‌ی مکانی، برای هر نمونه‌ی زمانی به تعداد ردلرزه‌های آن پنجره، مشاهده وجود دارد. بنابراین یک فضای برداری ویژه از داده‌ها به دست می‌آید. این فضای برداری ویژه آماده‌ی ورود به الگوریتم تحلیل مؤلفه‌ی اصلی خواهد بود.

۲.۳. مدل لایه‌های افقی

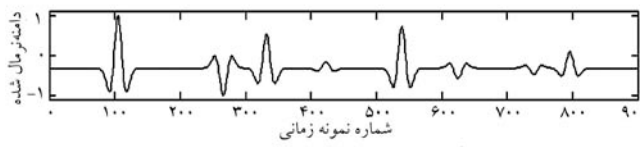
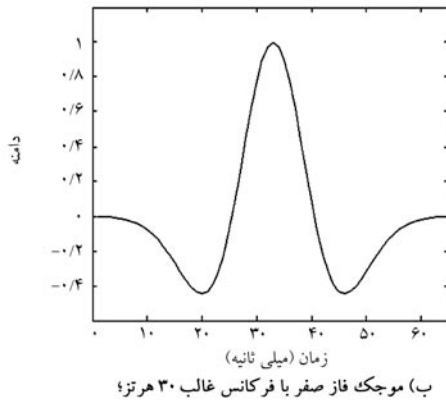
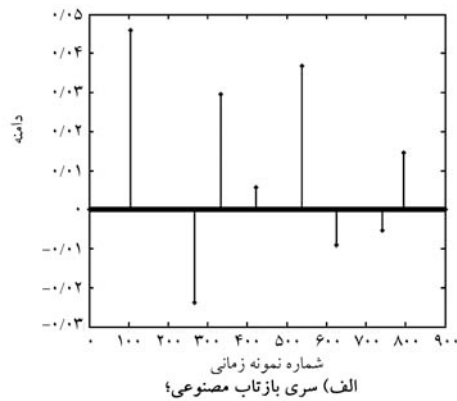
سری بازتاب مصنوعی استفاده شده برای تولید مقطع لرزه‌ی در شکل ۲ الف نشان داده شده است. موجک استفاده شده، موجک ریکر با فاز صفر و فرکانس غالب ۳۰ هرتز است که در شکل ۲ ب ارائه شده است. شکل ۳ مقطع لرزه‌ی با نسبت سیگنال به نوفه‌ی ۴ را نشان می‌دهد.

چنان که مشاهده می‌شود بازتاب‌های a ، b و c توسط نوفه پوشانده شده‌اند و تقریباً غیر قابل تشخیص‌اند. در مرحله‌ی اول، یک پنجره از این مقطع لرزه‌ی شامل ۱۰ ردلرزه به‌عنوان داده‌ی ورودی به الگوریتم تحلیل مؤلفه‌ی اصلی انتخاب شده است. به‌منظور بررسی اثر پهنای پنجره، پنجره‌هایی شامل ۳، ۷ و ۱۰ ردلرزه نیز وارد الگوریتم شده است.

جدول ۱ مقادیر ویژه و ماتریس کوواریانس را به‌ترتیب نزولی برای چهار پنجره‌ی مذکور نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اولین مقدار ویژه در هر چهار حالت دارای تفاوت قابل ملاحظه‌ی است. با انتخاب پنجره با تعداد ردلرزه‌ی بیشتر، اولین مؤلفه دارای اختلاف نسبی بیشتری با سایر مؤلفه‌ها است.

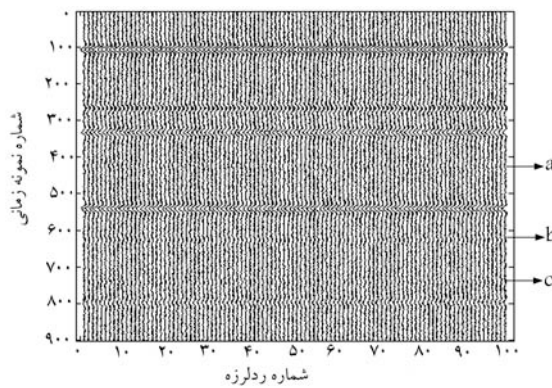
بردار ویژه‌ی مربوط به اولین مقدار ویژه جهت‌ی را در فضای چندبعدی داده‌ها مشخص می‌کند که بیشترین واریانس را دارد. این جهت مربوط به بازتاب‌های و در نتیجه با تصویرکردن داده‌ها روی این جهت، نوفه‌ی تضعیف‌شده و بازتاب‌های ضعیف آشکار می‌شوند. با توجه به اختلاف نسبی بیشتر مؤلفه‌ی اصلی در چهارمین پنجره (پنجره‌ی شامل ۱۰ ردلرزه)، برای تحلیل مؤلفه‌ی اصلی از این پنجره استفاده شده است. نمودار آبی در شکل ۴ ردلرزه‌ی حاصل از تصویرکردن داده‌ها روی اولین مؤلفه‌ی اصلی را نشان می‌دهد. در این شکل ردلرزه‌ی نوفه‌دار با نمودار قرمز به‌منظور مقایسه آورده شده است. چنان که مشاهده می‌شود در ردلرزه‌ی به‌دست آمده از تحلیل، نسبت سیگنال به نوفه به‌طور قابل ملاحظه‌ی افزایش یافته و در نتیجه موجک مربوط به بازتاب‌های a ، b و c بازیابی شده‌اند. پنجره‌ی حاصل از این ردلرزه و ردیابی بازتاب‌های ضعیف با استفاده از این پنجره در شکل ۵ الف و ۵ ب نشان داده شده است.

به‌منظور بررسی کارایی این روش در حضور نوفه‌ی بیشتر، چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه‌ی ۱، ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ برای مدل شکل ۲ الف استفاده شده است.



ج) ردلرزه حاصل ز هماهنگ موجک و سری بازتاب که برای تولید مدل مصنوعی استفاده شده است (فاصله‌ی دو نمونه زمانی متوالی ۴ میلی ثانیه است).

شکل ۲. مدل‌سازی مصنوعی.

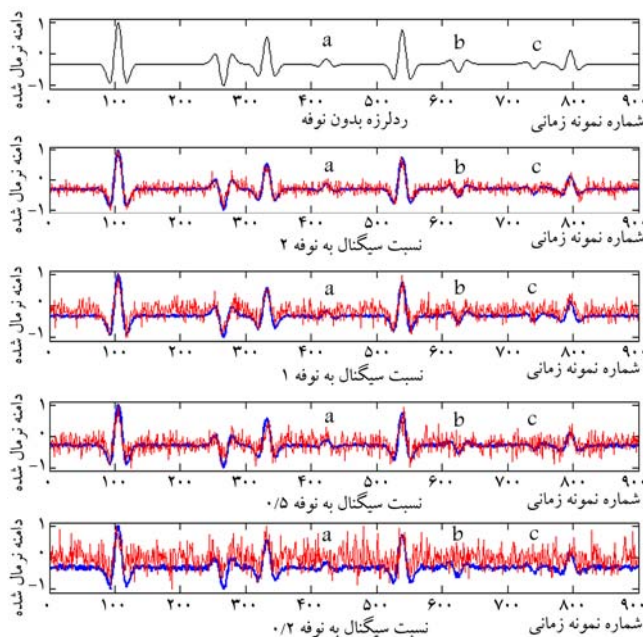


شکل ۳. مقطع لرزه‌ی در حضور نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۴، بازتاب‌های a ، b و c توسط نوفه پوشانده شده‌اند و غیر قابل تشخیص‌اند (فاصله دو نمونه زمانی متوالی ۴ میلی ثانیه است).

شکل ۶ ردلرزه‌های حاصل از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (نمودار آبی) در مقایسه با ردلرزه‌های اولیه (نمودار قرمز) برای این چهار حالت را نشان می‌دهد. با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌ی اصلی می‌توان نسبت سیگنال به نوفه‌ی ۰/۲ بازتاب‌های

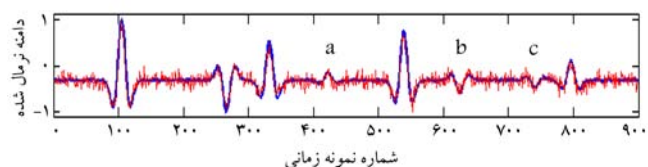
جدول ۱. ده مقدار ویژه ماتریس کوواریانس برای پنجره‌هایی شامل ۱۰، ۳۰، ۷۰ و ۱۰۰ ردلرزه مربوط به مدل شکل ۲، همچنین نتایج مربوط به فرکانس غالب ۲۰، ۳۰ و ۴۰ هرتز در مورد پنجره شامل ۱۰۰ ردلرزه آورده شده است.

مؤلفه‌های اصلی	مقادیر ویژه					
	پنجره شامل ۱۰ ردلرزه	پنجره شامل ۳۰ ردلرزه	پنجره شامل ۷۰ ردلرزه	پنجره شامل ۱۰۰ ردلرزه		
				موجک ۲۰ هرتز	موجک ۳۰ هرتز	موجک ۴۰ هرتز
1 st	۸,۱۶	۲۴,۱۹	۵۶,۱۷	۸۰,۰۶	۸۰,۲۶	۸۰,۱۶
2 nd	۰,۲۳	۰,۲۷	۰,۳۱	۰,۳۵	۰,۳۴	۰,۳۴
3 rd	۰,۲۳	۰,۲۶	۰,۳۰	۰,۳۴	۰,۳۴	۰,۳۴
4 th	۰,۲۲	۰,۲۵	۰,۳۰	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳
5 th	۰,۲۱	۰,۲۵	۰,۳۰	۰,۳۲	۰,۳۲	۰,۳۲
6 th	۰,۲۰	۰,۲۴	۰,۲۹	۰,۳۲	۰,۳۲	۰,۳۲
7 th	۰,۱۹	۰,۲۳	۰,۲۹	۰,۳۲	۰,۳۱	۰,۳۲
8 th	۰,۱۸	۰,۲۳	۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۳۱
9 th	۰,۱۸	۰,۲۲	۰,۲۷	۰,۳۰	۰,۳۰	۰,۳۰
10 th	۰,۱۶	۰,۲۲	۰,۲۷	۰,۳۰	۰,۳۰	۰,۳۰

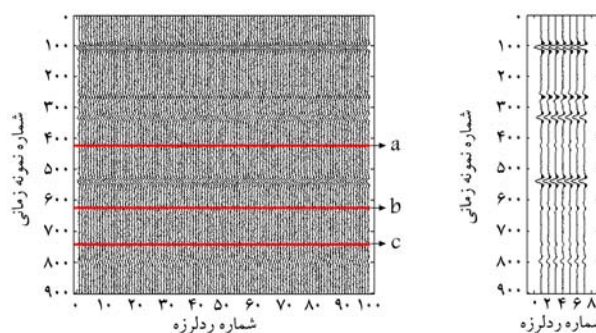


شکل ۶. نتایج تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۲، ۱، ۰.۵، ۰.۲ و ۰ برای مقطع لرزه‌ی شکل ۳ با موجک فاز صفر. ردلرزه بدون نوفه برای نشان دادن محل بازتاب‌ها آورده شده است. در هر چهار حالت، موجک مربوط به بازتاب‌های a، b، c، در ردلرزه به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، آشکار شده است.

نوفه‌ی ۰.۲٪ بازتاب‌های ضعیف را آشکار کند. بنابراین تحلیل مؤلفه‌ی اصلی به نوع موجک لرزه‌ی بستگی ندارد. به منظور بررسی فرکانس غالب موجک لرزه‌ی، این مدل‌سازی با استفاده از فرکانس غالب ۲۰ و ۴۰ هرتز تکرار شده است. مقادیر ویژه مربوط به فرکانس‌های غالب ۲۰، ۳۰ و ۴۰ در جدول ۱ آورده شده است. چنان



شکل ۴. ردلرزه به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (نمودار آبی) و ردلرزه‌ی اولیه با نسبت سیگنال به نوفه ۴ (نمودار قرمز) مربوط به مدل شکل ۳، در ردلرزه‌ی به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، موجک مربوط به بازتاب‌های a، b، c آشکار شده است.

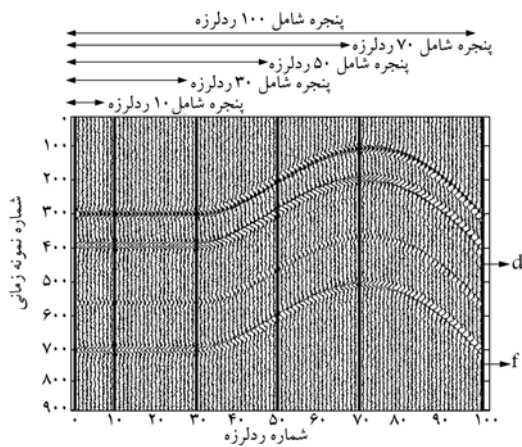


الف) پنجره حاصل از ردلرزه تحلیل ب) ردیابی بازتاب‌های a، b، c با استفاده از پنجره‌ی حاصل از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی.

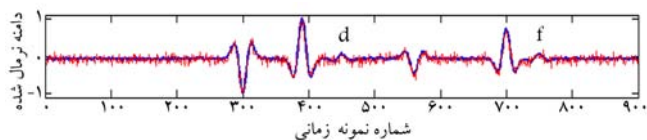
شکل ۵. نتیجه‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اصلی مدل شکل ۳، این بازتاب‌ها در تصویر ب با رنگ قرمز مشخص شده‌اند (فاصله دو نمونه زمانی متوالی ۴ میلی ثانیه است).

ضعیف را آشکار ساخت. برای بررسی این مدل مصنوعی با موجک فاز کمینه، از موجک نشان داده شده در شکل ۷ استفاده شده است.

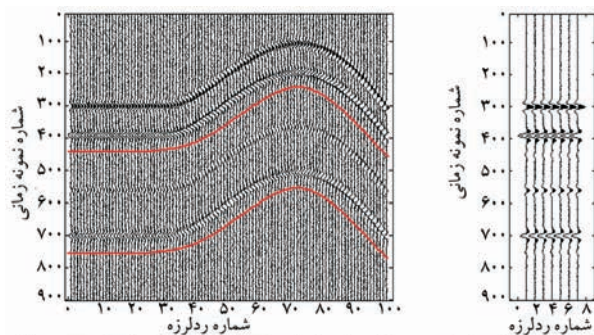
نتیجه‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای چهار حالتی که در آن‌ها نسبت سیگنال به نوفه به ترتیب برابر ۲، ۱، ۰.۵ و ۰.۲ و با موجک فاز کمینه‌اند در شکل ۸ آورده شده است. در این حالت نیز تحلیل مؤلفه‌ی اصلی قادر است نسبت سیگنال به



شکل ۹. مقطع لرزه‌ی مدل طاق‌دیس در حضور نوفه با نسبت سیگنال به نوفه ۴، بازتاب‌های d و f توسط نوفه پوشانده شده‌اند و غیر قابل تشخیص‌اند. پنج پنجره با پهنای شامل ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ ردلرزه به منظور استفاده در تحلیل مؤلفه‌ی اصلی در شکل مشخص شده است.



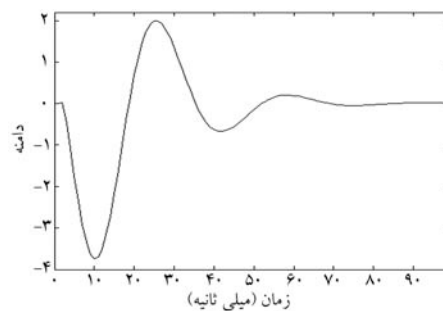
شکل ۱۰. ردلرزه‌ی به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی (نمودار آبی) و ردلرزه‌ی اولیه با نسبت سیگنال به نوفه ۴ (نمودار قرمز) مربوط به مدل شکل ۹، در ردلرزه‌ی به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، موجک مربوط به بازتاب‌های d و f آشکار شده است.



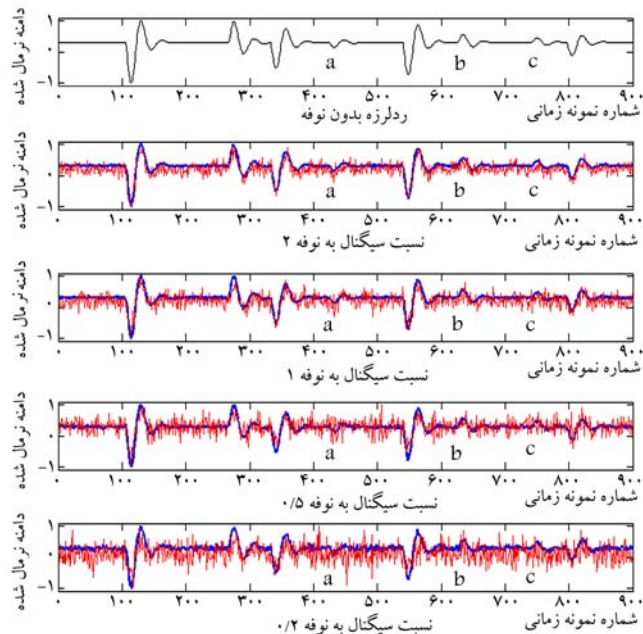
الف) پنجره حاصل از ردلرزه تحلیل مؤلفه‌ی اصلی؛ ب) ردیابی بازتاب‌های d و f که با استفاده از پنجره‌ی الف آشکار شده‌اند.

شکل ۱۱. نتیجه‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اصلی پنجره شامل ۳۰ ردلرزه شکل ۹، این دو بازتاب با رنگ قرمز مشخص شده‌اند (فاصله‌ی دو نمونه زمانی متوالی ۴ میلی ثانیه است).

پنجره اختلاف مقدار ویژه‌ی اولین مؤلفه با سایر مؤلفه‌ها، تا زمانی که بازتاب‌های داخل پنجره افقی بوده‌اند، افزایش یافته است. اما با ورود پنجره‌ی داده به ناحیه‌ی بازتاب‌های شیب‌دار به تدریج مؤلفه‌های دوم تا دهم دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ی شده‌اند که این مقادیر قابل اغماض نیستند. بنابراین اولین مؤلفه‌ی اصلی در پنجره شامل ۳۰ ردلرزه انتخاب شده است. در شکل ۱۰ نتیجه‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اصلی روی این پنجره ارائه شده است. در این ردلرزه موجک مربوط به بازتاب‌های d و f باز یابی شده‌اند. پنجره‌ی تولید شده توسط این ردلرزه در شکل ۱۱ الف آورده شده است.



شکل ۷. موجک فاز کمینه با فرکانس غالب ۳۰ هرتز که برای تولید مدل طاق‌دیس استفاده شده است.

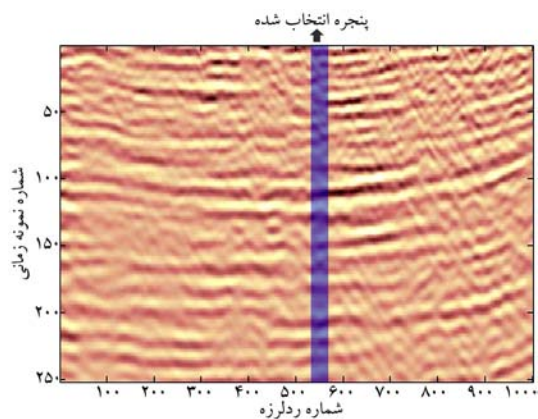


شکل ۸. نتایج تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۱، ۲، ۰/۲ و ۰/۵ برای مقطع لرزه‌ی شکل ۳ با موجک فاز کمینه. ردلرزه بدون نوفه برای نشان دادن محل بازتاب‌ها آورده شده است. در هر چهار حالت، موجک مربوط به بازتاب‌های a ، b و c ، در ردلرزه به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی، آشکار شده است. محورها در همه‌ی شکل‌ها هم‌مقیاس‌اند (فاصله‌ی دو نمونه‌ی زمانی متوالی ۴ میلی ثانیه است).

که پیداست، در همه‌ی این فرکانس‌ها اولین مؤلفه از تفاوت نسبی قابل ملاحظه‌ی برخوردار است و با تغییر فرکانس غالب مقادیر ویژه تغییر چندانی نیافته‌اند.

۳.۳. مدل طاق‌دیس

مدل مصنوعی دوم، طاق‌دیس است که مقطع لرزه‌ی آن دارای نسبت سیگنال به نوفه‌ی ۴ است (شکل ۹). چنان‌که مشاهده می‌شود، بازتاب‌های پوشانده شده توسط نوفه با حروف d و f نام‌گذاری شده‌اند. این مدل قادر است اثر پهنای پنجره و همچنین افقی بودن لایه‌ها را مورد بررسی قرار دهد. بدین منظور پنجره‌هایی شامل ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ ردلرزه وارد الگوریتم تحلیل مؤلفه‌ی اصلی شده است. محل این پنجره‌ها در مقطع لرزه‌ی شکل ۹ نشان داده شده است. ۱۰ مقدار ویژه مربوط به ۱۰ مؤلفه‌ی اول برای این پنجره‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. با افزایش پهنای



شکل ۱۳. داده‌ی واقعی. قسمتی از مقطع لرزه‌ی مهاجرت داده شده داده‌های میدان نفتی جفیر. پنجره‌ی مناسب برای تحلیل مؤلفه‌ی اصلی که در آن بازتاب‌ها تقریباً افقی شده‌اند، با رنگ آبی مشخص شده است.

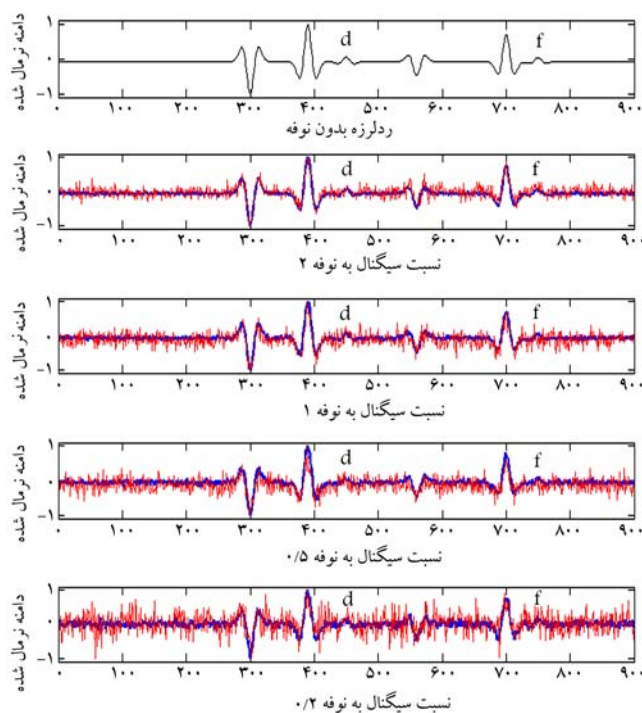
قرمز) را برای این چهار حالت نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که موجک مربوط به رویدادهای ضعیف در تمامی حالت‌ها بازیابی شده‌اند.

۴.۳. داده‌ی واقعی

داده‌ی واقعی مورد استفاده در این نوشتار، قسمتی از مقطع مهاجرت داده شده‌ی میدان نفتی جفیر در جنوب غربی ایران است. این داده دارای فاصله‌ی ردلرزه ۲۵ متر و فاصله‌ی نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه است. شکل ۱۳ قسمتی از مقطع لرزه‌ی مهاجرت داده‌شده و پنجره‌ی انتخاب‌شده برای تحلیل مؤلفه‌ی اصلی را نشان می‌دهد. محل مناسب برای انتخاب این پنجره در داده‌ی واقعی باید با دقت زیاد تعیین شود، به طوری که بازتاب‌های آن تقریباً افقی باشند. در غیر این صورت، مقدار ویژه مربوط به اولین مؤلفه تفاوت قابل‌ملاحظه‌ی با سایر مؤلفه‌ها نخواهد داشت. این امر باعث ورود نوفه به ردلرزه‌ی حاصل و غیرقابل استفاده شدن آن می‌شود. بنابراین، در صورتی که در مقطع لرزه‌ی لایه‌های افقی وجود نداشته باشد، این روش کارایی ندارد. پنجره‌ی

جدول ۲. ده مقدار ویژه ماتریس کوواریانس برای پنجره‌های نشان داده‌شده در شکل ۹.

مؤلفه‌های اصلی	مقادیر ویژه				
	پنجره شامل ۱۰ ردلرزه	پنجره شامل ۳۰ ردلرزه	پنجره شامل ۵۰ ردلرزه	پنجره شامل ۷۰ ردلرزه	پنجره شامل ۱۰۰ ردلرزه
۱ st	۸,۲۰	۲۴,۱۷	۲۶,۸۹	۲۷,۰۳	۲۷,۵۶
۲ nd	۰,۲۳	۰,۲۷	۳,۳۰	۴,۶۱	۹,۷۲
۳ rd	۰,۲۱	۰,۲۶	۲,۵۲	۳,۵۸	۶,۷۶
۴ th	۰,۲۱	۰,۲۵	۲,۱۵	۳,۲۷	۵,۲۹
۵ th	۰,۲۰	۰,۲۵	۱,۷۹	۳,۱۳	۵,۰۴
۶ th	۰,۲۰	۰,۲۴	۱,۴۵	۲,۷۳	۴,۷۸
۷ th	۰,۱۸	۰,۲۳	۱,۲۰	۲,۰۸	۳,۲۵
۸ th	۰,۱۸	۰,۲۳	۰,۹۷	۱,۷۹	۳,۰۲
۹ th	۰,۱۷	۰,۲۲	۰,۷۳	۱,۷۴	۲,۷۱
۱۰ th	۰,۱۷	۰,۲۲	۰,۶۳	۱,۴۶	۲,۵۹



شکل ۱۲. نتایج تحلیل مؤلفه اصلی برای چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۲، ۱، ۰/۲ و ۰/۵. برای مقطع لرزه‌ی شکل ۹ با موجک فاز صفر. ردلرزه بدون نوفه برای نشان دادن محل بازتاب‌ها آورده شده است. در هر چهار حالت، موجک مربوط به بازتاب‌های d و f در ردلرزه به دست آمده از تحلیل مؤلفه اصلی، آشکار شده است.

است. با استفاده از این پنجره بازتاب‌های ضعیف طاق‌دیس ردیابی شده‌اند که در شکل ۱۱ ب با حروف d و f و رنگ قرمز مشخص‌اند.

برای بررسی مدل طاق‌دیس در حضور نوفه‌ی بیشتر، چهار حالت نسبت سیگنال به نوفه ۲، ۱، ۰/۲ و ۰/۵ برای مدل شکل ۹ استفاده شده است. شکل ۱۲ ردلرزه‌های حاصل از تحلیل مؤلفه اصلی (نمودار آبی) در مقایسه با ردلرزه‌های اولیه (نمودار

به دلیل این که پنجره‌ی انتخابی مقدار کمی لایه‌های غیرافقی دارد، دومین مؤلفه نیز مقدار نسبی قابل توجهی نسبت به مؤلفه‌های بعدی دارد. پنجره‌ی حاصل از ردلرزه‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اصلی برای ردیابی بازتاب‌ها در شکل ۱۴ الف نشان داده شده است. افق‌های ردیابی شده در قسمتی از مقطع در شکل ۱۴ ب با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. در صورتی که بازتاب‌های ردیابی شده توسط نرم‌افزارهای تجاری در اختیار باشد، نتایج شکل ۱۴ ب به منظور مقایسه و ردیابی دقیق‌تر قابل استفاده خواهد بود. ردلرزه‌ی به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی فقط در محدوده‌ی قابل استفاده است که تغییرات شدید جانبی در اثرگسل یا به هم ریختگی داده‌های لرزه‌ی وجود نداشته باشد. به همین دلیل باید تحلیل مؤلفه‌ی اصلی را در پنجره‌های مختلف و در قسمت‌های مختلف انجام داد تا بتوان افق‌ها را به درستی ردیابی کرد.

۴. نتیجه‌گیری

در این نوشتار، تحلیل مؤلفه‌ی اصلی به عنوان ابزاری برای افزایش نسبت سیگنال به نوفه و آشکارکردن بازتاب‌های ضعیف به کار گرفته شد. نتایج به کارگیری این روش روی داده‌های مصنوعی و واقعی عبارت است از:

۱. با توجه به مدل‌های مصنوعی، نسبت سیگنال به نوفه در ردلرزه‌ی به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌ی اصلی افزایش قابل ملاحظه‌ی یافته است، به طوری که پنجره‌ی حاصل از این ردلرزه در ردیابی بازتاب‌ها می‌تواند به مفسر کمک کند.
۲. با توجه به مدل‌های مصنوعی، نتیجه‌ی تحلیل مؤلفه‌ی اصلی به نوع موجک لرزه‌ی بستگی ندارد. همچنین با فرکانس‌های غالب ۲۰، ۳۰ و ۴۰ نتایج مشابهی حاصل شد.
۳. کاربرد این روش در مدل طاق‌دیس نشان می‌دهد که انتخاب پنجره‌ی داده نقش مهمی در کارایی روش دارد. وجود بازتاب‌های شیب‌دار در این پنجره باعث می‌شود مقادیر ویژه مربوط به مؤلفه‌های دوم به بعد افزایش یابند و مؤلفه‌ی اول غیرقابل استفاده شود.
۴. با توجه به مدل‌های مصنوعی، تحلیل مؤلفه‌ی اصلی تا نسبت سیگنال به نوفه‌ی ۲/۰ قادر به آشکار ساختن بازتاب‌های ضعیف است.

پانویس

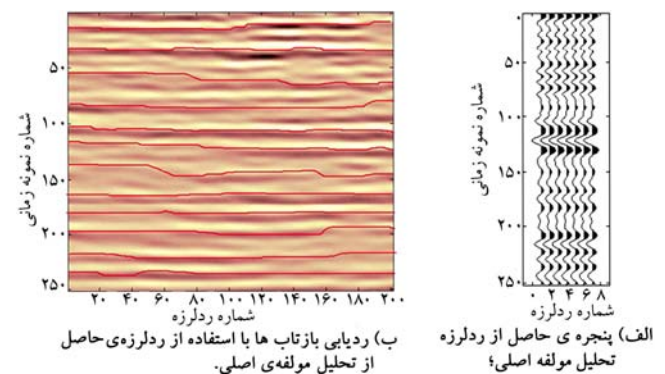
1. reflector
2. autopickers
3. principal component analysis
4. singular value decomposition
5. feature vector space
6. seismic trace
7. redundant data

منابع

1. Dorn, G.A. *Modern 3-D seismic interpretation, The Leading Edge*, **17**, pp. 1262-1269, (1998).

جدول ۳. مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس برای پنجره داده انتخاب شده در شکل ۱۳.

مقادیر ویژه	مؤلفه‌های اصلی
۲۲,۳۵۲۳۹	۱ st
۲,۱۱۵۰۲	۲ nd
۰,۴۱۰۷۶	۳ rd
۰,۰۸۳۱۶۳	۴ th
۰,۰۳۱۸۹۹	۵ th
۰,۰۰۶۴۹۹	۶ th
۰,۰۰۰۲۴۱	۷ th
۲,۵۸e-۰۵	۸ th
۷,۱۸e-۰۷	۹ th
۱,۵۶e-۰۷	۱۰ th
⋮	⋮
۱,۷۵۳e-۰۸	۲۵ th



شکل ۱۴. نتیجه تحلیل مؤلفه اصلی روی پنجره داده انتخاب شده در شکل ۱۳ (فواصلی دو نمونه‌ی زمانی متوالی ۴ میلی ثانیه است).

انتخاب شده در شکل ۱۳. بهترین پنجره‌ی انتخابی برای داده‌ی واقعی مورد نظر است. جدول ۳ مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس را برای پنجره‌ی داده‌ی انتخاب شده در شکل ۱۳ نشان می‌دهد. اولین مؤلفه اختلاف نسبی زیادی با سایر مؤلفه‌ها دارد.

2. Herron, D.A. *Horizon auto picking, The Leading Edge*, **19**, pp. 491-492 (2000).
3. Jackson, J.E., *A User's Guide to Principal Components*, John Wiley and Sons, New York, (1991).
4. Larose, D.T., *Data Mining Methods and Models*, John Wiley and Sons, New York, (2006).
5. Leggett, M.; Sandham, W.A., and Durrani, T.S. *3d horizon tracking using artificial neural networks, First Break*, **14**, pp. 413-418 (1996).
6. Bienati, N.; Nicoli, M., and Spagnolini, U. *Horizon picking for multidimensional data: an integrated approach, SEG Meeting, 6th International Congress of the Brazilian Geophysical Society* (1999).

7. Alberts, P.; Warner, M., and Lister, D. *Artificial neural networks for simultaneous multi Horizon tracking across discontinuities*, 70th Annual International Meeting, SEG, Calgary, Canada (2000).
8. Press, W.H.; Teukolsky, S.A.; Vetterling, W.T., and Flannery, B.P. *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, Cambridge, (2002).
9. Kendall, M. *Multivariate Analysis*, Charles Griffin, London (1975).
10. Gurney, K. *An Introduction to Neural Networks*, UCL Press, London, (1997).
11. Jolliffe, I.T. *Principal Component Analysis*, 2nd edition, Springer, New York, (2002).
12. Krzanowski, W.J. *Principles of Multivariate Analysis*, Oxford University Press, Oxford (1988).
13. Hagen, D.C. *The application of principal component analysis to seismic data set*, *Geoexploration*, **20**, pp. 93-111 (1982).
14. Linari, V.; Santiago, M.; Pastore, C.; Azbel, K., and Poupon, M. "Seismic facies analysis based on 3D multi-attribute volume classification, La Palma field, Maracaibo, Venezuela," *The Leading Edge*, **22**, pp. 32-36 (2003).
15. Farzadi, P. "Seismic facies analysis based on 3D multi-attribute volume classification, Dariyan formation, SE Persian Gulf," *Journal of Petroleum Geology*, **29**, pp. 159-174 (2006).
16. Sabeti, H. "Seismic facies analysis based on 2D and 3D multi-attribute classification", M.Sc. thesis in Geophysics (Exploration seismology), Institute of Geophysics, University of Tehran, (in Farsi with abstract in English), (2007).