

## مقایسه روش‌های مختلف تحلیل سرعت براساس همبستگی در پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی

مهدی بشردوست<sup>۱</sup>، سیاوش ترابی<sup>۱</sup> و مجید نبی بیدهندی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup>موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۶/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۱۶)

### چکیده

در این تحقیق مقدمه تحلیل سرعت، چگونگی و ساختار سرعت به اختصار بیان می‌شود. در ادامه سعی شده است شش روش از مرسوم‌ترین روش‌های تحلیل سرعت شامل روش‌های برانبارش دامنه، برانبارش دامنه بهنجار، دگرهمبستگی، انرژی دگرهمبستگی بهنجار، شباهت و AB Semblance که براساس همبستگی بین ردلرزه‌ها است باهم مقایسه شوند. کد این روش‌ها با استفاده از برنامه نرم‌افزار مَتَلَب MATLAB نوشته و روی داده‌های مصنوعی اعمال شده است. نتیجه این روش‌ها از نظر زمانی و سرعتی با هم مقایسه شده و دقت آنها مورد بررسی قرار گرفته است. چهار معیار برای مقایسه نتایج روش‌ها معرفی می‌شود که عبارت‌اند از: تباین یا «نسبت همدوسی در سرعت موردنظر به همدوسی در سرعت‌های مجاور»، پخش‌شدگی، توانایی تفکیک سرعتی و توانایی تفکیک زمانی. نتایج روش‌های تحلیل سرعت با توجه به این معیارها مورد مقایسه قرار می‌گیرد و کارآمدترین روش براساس ترسیم در نمودار فیتنس و بررسی معیارها انتخاب می‌شود. کیفیت تحلیل سرعت روش‌ها بسته به میزان همدوسی سرعت رخدادها و همچنین شیب این نمودارها تغییر می‌کند. در ادامه، نسبت سیگنال به نوفه تغییر می‌یابد و نتایج اعمال روش‌ها با رسم دوباره در نمودار فیتنس بررسی می‌شود. روش AB Semblance، دگرهمبستگی و شباهت بهترین نتایج را کسب می‌کنند و در ادامه روش AB Semblance به‌منزله کارآمدترین روش انتخاب می‌شود. در نهایت این روش‌ها روی داده حقیقی که متعلق به یکی از مناطق نفتی ایران است اعمال می‌شود و شبیه داده مصنوعی، روش AB Semblance بهترین نتیجه را کسب می‌کند. در این تحقیق مشخص شد که روش AB Semblance توانایی تفکیک سرعت‌ها و زمان‌های بسیار نزدیک به هم را دارد و قادر است لایه‌هایی را که از نظر سرعتی با هم تفاوت چندانی ندارند و یا ضخامت کمی دارند از هم تشخیص دهد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سرعت، برانبارش دامنه، دگرهمبستگی، AB Semblance

### A comparison of different methods of velocity analysis based on cross-correlation in reflection seismic data processing

Mahdi Bashardoust<sup>1</sup>, Siavash Torabi<sup>1</sup> and Majid Nabi-Bidhendi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 19 September 2011, accepted: 6 March 2012)

#### Summary

This paper outlines the velocity analysis introduction and its structure briefly and then a comparison of calculating velocity spectra using six velocity analysis methods.

\*Corresponding author:

mnbhendi@ut.ac.ir

\*نگارنده رابط:

Conventional methods of velocity analysis are equivalent to modeling prestack seismic data with events that have a hyperbolic moveout. Examples are included which demonstrate the depth, overlapping events and the details of the closed layers.

Various types of measured coherency that can be used as attributes in computing velocity spectra are described here and some of them which are discussed in this paper are: Stacked amplitude (S), Normalized stacked amplitude (NS), Unnormalized cross-correlation (CC), Energy-normalized cross-correlation (EC), Semblance (NE) and AB Semblance. It should be noted that all these methods are based on the correlation between the traces. The equations of different methods are described and coded based on the corresponding literature and then applied to synthetic data. The results of these methods are compared in velocity and time with each other and their accuracy are examined. Four factors are introduced to compare the results of the velocity analysis methods. The first factor is the contrast which means the ratio of the coherency in the exact velocity to the coherency of the near velocities. The second factor is the smearing on data that measures the accuracy of the method used in detecting the velocity and the time of the events; it equals to the smearing in half of the difference between the coherency of the pick and the average coherency of the background. The third factor is the ability of the velocity distinction, it means how much a method can make difference between two near velocities. And the last factor is the ability of time distinction which indicates how much a velocity analysis method is able to detect two near layers with higher resolution. Fitness plots compare the performances of the six methods when the velocity analysis is done on the same events in both time and velocity aspects. The sharpness of the fitness curves is in the relation with the velocity and time resolution. Then we introduced more noise to data and discussed the effect of noise on the quality of the velocity analysis. Also the effect of the noise contamination is clearly explained and can be seen in another fitness plot. Additionally synthetic data contains various multiples and overlapping events with different changes. Finally, CC, Semblance, and AB Semblance led to the best results, however; the AB Semblance proves its accuracy by maximizing a coherent measure in correct velocities and times and also by minimizing a coherent measure in incorrect velocities and times. Compared to the AB Semblance the vulnerability of the other methods to the coherent noise is better understood.

In the next step, these methods were applied to real data belonging to one of the southern oil fields in Iran and again the AB Semblance led to the best results. This method, in contrast to others, does not stretch velocities and displays shallow events as clear as deep events. We concluded that the AB Semblance method is able to calculate the velocity and distinguish between the closed layers clearly better than the other methods.

**Key words:** Velocity processing, stacked amplitude, cross-correlation, AB Semblance

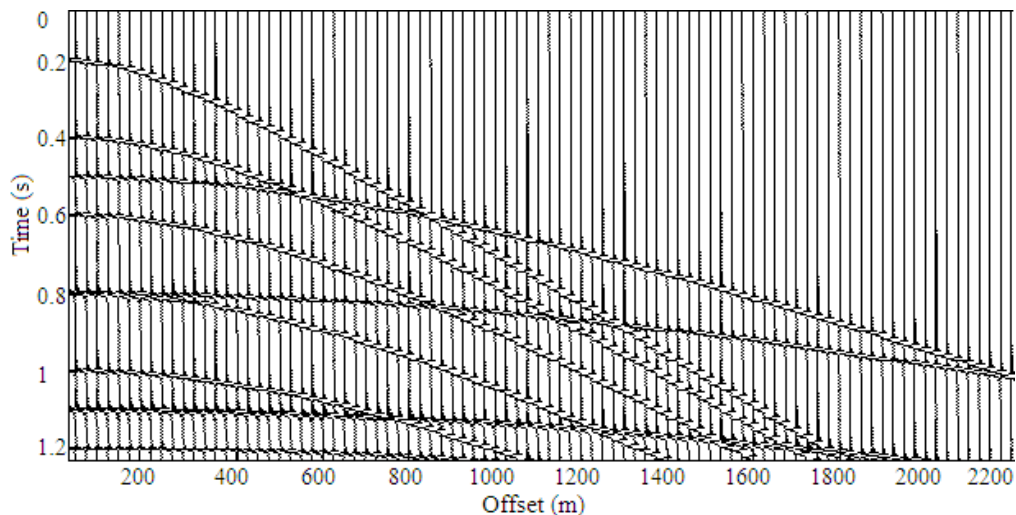
## ۱ مقدمه

توالی پردازشی می‌باید قدم‌به‌قدم از اصول علمی پیروی کند و با دقت بسیار زیادی از سوی افراد مجرب عملی شود. همان‌طور که می‌دانیم تحلیل سرعت در پردازش اهمیت ویژه‌ای دارد چرا که مکان دقیق و شیب لایه‌ها ارتباط بسیار نزدیکی با تحلیل سرعت دارد و همچنین کیفیت نتایج حاصل از بسیاری از مراحل پردازشی، به

پردازش داده به همان اندازه برداشت داده دارای اهمیتی خاص است. ممکن است که یک برداشت داده که معمولاً با هزینه‌های هنگفت همراه است با یک پردازش ناصحیح به مقصود نرسد و همه هزینه‌ها بی‌فایده شود و کار مفسر از ابتدا با اشتباهی جبران ناپذیر پیش رود. بنابراین یک

پردازش و تفسیر داده‌های به‌دست آمده از لایه‌های زمین با دقت خوبی به‌دست آورند. موضوعاتی از جمله افزایش نسبت سیگنال به نوفه و میرایی بازتاب‌های چندگانه (بیوندی و کاستو، ۱۹۸۹) و یافتن شیب صحیح لایه‌ها (لینر، ۱۹۹۹)، فقط با به‌کار بردن تصحیحات زمان صورت می‌پذیرند که منجر به جابه‌جایی درست فاز و برانبارش صحیح بازتاب‌های اولیه خواهد شد. بنابراین برای تعیین همه تصحیحات برای همه ردلرزه‌ها با فواصل متفاوت منبع انرژی (تانر و کلر، ۱۹۶۹) که سرانجام به یک تک ردلرزه برانبارش بشوند، لازم است که تحلیل سرعت مناسب و دقیقی برای جابه‌جایی درست رخدادها و جای حقیقی آنها صورت گیرد. این قضیه در حوزه طیف سرعت (نیدل و تر، ۱۹۷۱) درحکم یک وسیله قدرتمند برای شناسایی بازتاب‌های اولیه و سرعت برانبارش شده گسترش و بحث می‌شود.

کیفیت تابع‌های سرعتی مورد استفاده در آنها کاملاً وابسته است. امروزه بعد از گذشت ده‌ها سال از پدیدار شدن دانش ژئوفیزیک همچنان محققان روی روش‌های جدید تحلیل سرعت کار می‌کنند تا روزه‌روز از خطای این روش‌ها بکاهند و بردقت آنها بیفزایند. بنابراین لزوم کار و تحقیق روی این قسمت بدیهی به‌نظر می‌رسد. هنگامی که برداشت تک پوششی بود، شناسایی مناسب بازتاب‌های اولیه و بازتاب‌های چندگانه در محیطی از نوفه کار سختی بود (تر و کلر، ۱۹۶۹) البته در حال‌حاضر همچنان این مشکل پابرجا است. با عرضه شدن روش‌های رقومی و دستی این مشکل تا حدودی حل شده است که در این میان روش‌های گوناگون تحلیل سرعت، فیلتر معکوس زمان متغیر (کارتیر و مندنهال، ۱۹۶۷) و نقطه میانی مشترک (ماین، ۱۹۶۲) از همه بهترند. این روش‌ها توانسته‌اند سرعت لایه‌های زمین را با استفاده از



شکل ۱. بازتابنده‌های ساخته‌شده از داده‌های مصنوعی مورد آزمایش (خروجی نرم‌افزار).

جدول ۱. زمان‌ها و سرعت‌های تشکیل‌دهنده هذلولی‌های داده مصنوعی شکل ۱.

$T_0$ (s)	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	0.8	1	1.1	1.1	1.2
V (m/s)	1500	1500	2500	1500	1500	3500	1500	3500	3600	3500

## ۲ ساختار نمایش طیف سرعت

در گذشته تصحیحات زمان با استفاده از اطلاعات چاه نزدیک به منطقه برداشت داده‌های لرزه‌ای برآورد می‌شد و پدیده در یک سطح قرار نگرفتن رخدادها با یک تصحیح برون‌راند (کی و سیمسون، ۱۹۹۰) صورت می‌گرفت. این روش چندان رضایت‌بخش نبود چون نیاز به صرف زمان داشت و اگر چاهی در آن نزدیکی وجود نداشت، برداشت دوباره داده هزینه‌بر بود، در هر صورت تصحیحات به دست آمده از داده‌های موجود مربوط به لایه‌های افقی زمین بود. مفاهیمی همچون برون‌راند خیلی ساده در نظر گرفته می‌شد و به اثرات لایه‌های شیب‌دار توجه نمی‌شد که این از دقت محاسبات می‌کاست و شناسایی مکان دقیق بازتابنده‌ها را با مشکل روبه‌رو می‌کرد. با افزایش دورافت زمان سیر از چشمه به گیرنده زیاد می‌شود. این مشخصه تاخیر برای زمان‌های رویدادهای بازتابی به علت افزایش دورافت، برون‌راند نرمال نامیده و به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود (تتر و کله، ۱۹۶۹):

$$\Delta t_{NMO} = t_0 \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{x}{v_{NMO} t_0} \right)^2} - 1 \right] = \frac{x^2}{2v_{NMO}^2 t_0}, \quad (1)$$

که  $\Delta t_{NMO}$  مقدار تصحیح برون‌راند،  $t_0$  زمان صفر بازتابنده،  $x$  فاصله بین چشمه و گیرنده و  $v_{NMO}$  سرعت برون‌راند نرمال است. مشاهده می‌شود که تعیین دقیق سرعت نقش بسیار مهمی در تصحیح برون‌راند دارد که این موضوع خود روش‌های متفاوت تحلیل سرعت را پوشش می‌دهد. در ادامه روش‌های متفاوت تحلیل سرعت (نیدل و تانر، ۱۹۷۱ و آرناد و همکاران، ۲۰۰۴) براساس همبستگی دامنه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه می‌شود. البته در این تحقیق از داده‌های فاقد معکوس‌شدگی قطبیدگی (سرکار و همکاران، ۲۰۰۱) استفاده شده است.

## ۳ روش‌های تحلیل سرعت براساس همبستگی

روش‌های تحلیل سرعت براساس همبستگی شامل روش‌های برانبارش دامنه، برانبارش دامنه بهنجار، دگرهمبستگی، انرژی دگرهمبستگی بهنجار، شباهت و AB Semblance هستند و برای تحلیل سرعت ورداشتهای نقطه میانی مشترک از آنها استفاده می‌شود که در ادامه به اختصار راجع به آنها بحث می‌شود.

### ۱-۳ روش برانبارش دامنه

در این روش دامنه‌های ردلرزه‌های تشکیل دهنده هذلولی موردنظر را با هم جمع می‌کنیم، درحکم یک نشانگر و روش تحلیل سرعت در نظر می‌گیریم و در سلول مشخصه ماتریس قرار می‌دهیم. سطرها و ستون‌های تشکیل دهنده این ماتریس به ترتیب زمان‌ها و سرعت‌ها هستند و به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود (ایلماز، ۲۰۰۱):

$$S = \sum_{i=1}^m f_{i,t(i)}, \quad (2)$$

که  $S$  جمع دامنه‌های برانبارش شده،  $f_i$  مقدار دامنه در  $i$ امین ردلرزه در زمان دوطرفه  $t(i)$  و  $m$  تعداد ردلرزه‌ها در ورداشت نقطه میانی مشترک است.

### ۲-۳ روش برانبارش دامنه بهنجار

این روش شبیه روش برانبارش دامنه است با این تفاوت که مقدار برانبارش به دست آمده در روش قبلی بهنجار می‌شود و مقدار آن همیشه بین صفر و یک است و به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود (ایلماز، ۲۰۰۱):

$$NS = \frac{\sum_{i=1}^m f_{i,t(i)}}{\sum_{i=1}^m |f_{i,t(i)}|}, \quad (3)$$

که  $NS$  جمع دامنه‌های برانبارش شده،  $f_i$  مقدار دامنه در  $i$ امین ردلرزه در زمان دو طرفه  $t(i)$  و  $m$  تعداد ردلرزه‌ها در ورداشت نقطه میانی مشترک است.

## ۳-۳ روش دگرهمبستگی

روش مجموع دگرهمبستگی براساس جمع دگرهمبستگی در یک پنجره زمانی  $t$  است. بسته به انتخاب طول پنجره تعدادی هذلولی ساخته می‌شود که مجموع همه دامنه‌های این هذلولی‌ها در این فرمول نقش دارند. البته هدف همان دنبال کردن و پیدا کردن هذلولی موردنظر در برداشت نقطه میانی مشترک است. فرمول محاسبه این روش به صورت رابطه (۴) است (ایلماز، ۲۰۰۱):

$$CC = \frac{1}{2} \sum_t \left\{ \left[ \sum_{i=1}^m f_{i,t}(i) \right]^2 - \sum_{i=1}^m f_{i,t}^2(i) \right\}, \quad (4)$$

که  $CC$  مقدار این نشانگر سرعت،  $f_i$  مقدار دامنه در  $i$  امین ردلرزه در زمان دوطرفه  $t(i)$  و  $m$  تعداد ردلرزه‌ها در برداشت نقطه میانی مشترک است. البته می‌توان  $CC$  را به صورت نصف مقدار تفاوت بین دامنه خروجی برانبارش شده و دامنه ورودی تعریف کرد. لازم به ذکر است که در اینجا جمع خارجی نشان‌دهنده جمع در طول پنجره زمانی  $t$  است.

## ۴-۳ روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار

انرژی دگرهمبستگی بهنجار روش اندازه‌گیری دیگری است که در محاسبات سرعت به کار می‌رود. روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار شده به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود (ایلماز، ۲۰۰۱):

$$EC = \frac{2CC}{(m-1) \sum_t \sum_{i=1}^m f_{i,t}^2(i)}, \quad (5)$$

که  $EC$  مقدار نشانگر سرعت انرژی دگرهمبستگی بهنجار،  $CC$  مقدار نشانگر دگرهمبستگی،  $f_i$  مقدار دامنه در  $i$  امین ردلرزه در زمان دو طرفه  $t(i)$  و  $m$  تعداد ردلرزه‌ها در برداشت نقطه میانی مشترک است و بازه تغییرات آن از رابطه (۶) پیروی می‌کند:

$$-1/(m-1) < EC \leq 1, \quad (6)$$

## ۵-۳ روش شباهت

روش شباهت که نسبت بهنجار شده دامنه خروجی به دامنه ورودی است و به صورت رابطه (۷) بیان می‌شود (تنر و کلا، ۱۹۶۹):

$$NE = \frac{\sum_t \left( \sum_{i=1}^m f_{i,t}(i) \right)}{m \sum_t \sum_{i=1}^m f_{i,t}^2(i)}, \quad (7)$$

که  $NE$  مقدار شباهت و بازه تغییرات آن همیشه بین صفر و یک است،  $f_i$  مقدار دامنه در  $i$  امین ردلرزه در زمان دو طرفه  $t(i)$  و  $m$  تعداد ردلرزه‌ها در برداشت نقطه میانی مشترک است. در اینجا علامت جمع خارجی نشان‌دهنده جمع در طول پنجره زمانی  $t$  است.

## ۶-۳ روش AB Semblance

این روش که صورت بهبودیافته روش شباهت است به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود (فومل، ۲۰۰۹):

$$\alpha^2(a) = \frac{2 \sum_{i=1}^m a_i \sum_{i=1}^m \varphi_i \sum_{i=1}^m a_i \varphi_i - A}{\sum_{i=1}^m a_i^2 \left[ \left( \sum_{i=1}^m \varphi_i \right)^2 - m \sum_{i=1}^m \varphi_i^2 \right]} \quad (8)$$

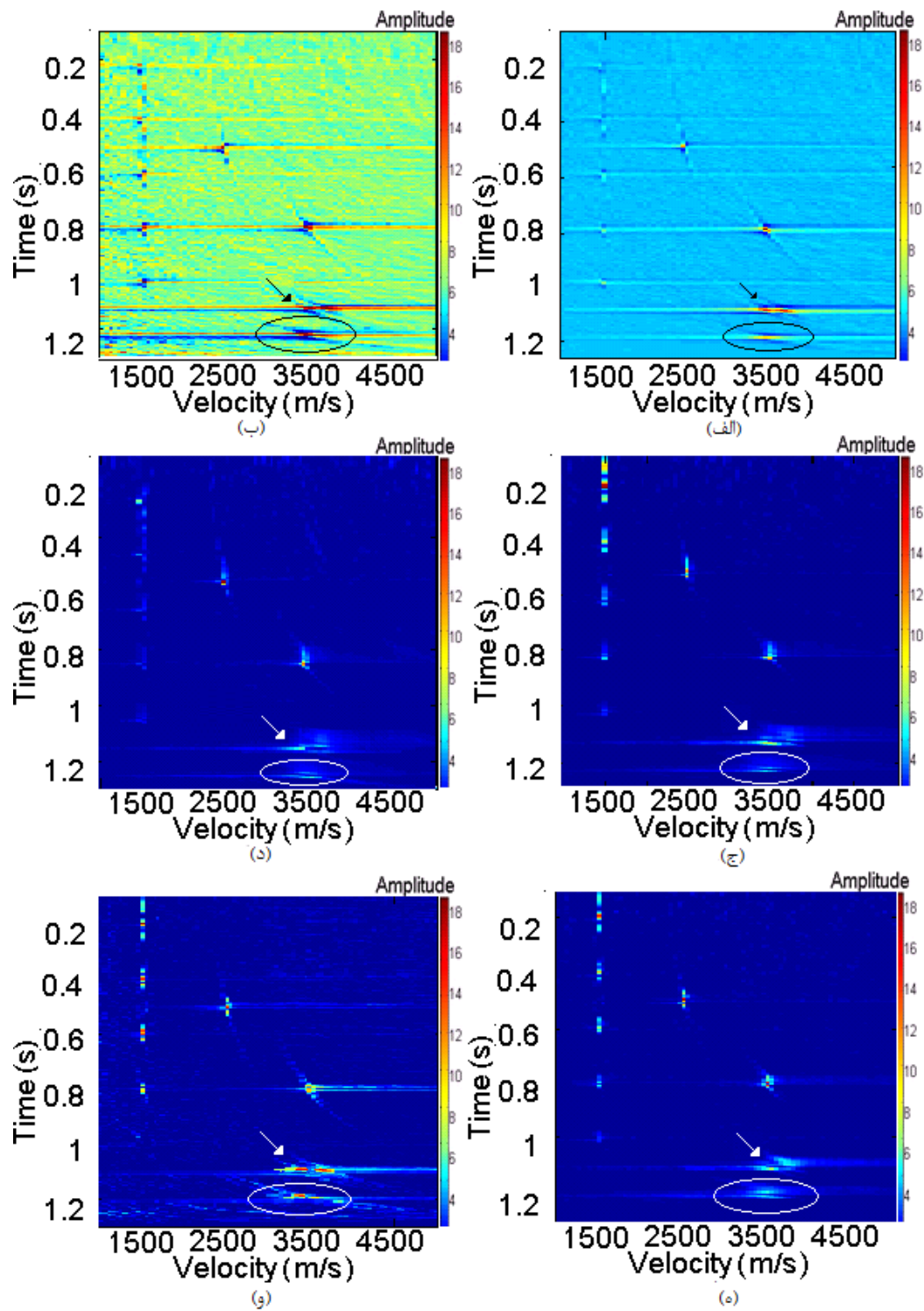
$$A = \left( \sum_{i=1}^m a_i \right)^2 \sum_{i=1}^m \varphi_i^2 - m \left( \sum_{i=1}^m a_i \varphi_i \right)^2,$$

که  $\alpha^2(a)$  مقدار AB Semblance،  $a$  مقدار دامنه در  $i$  امین ردلرزه و  $\varphi$  مقدار دورافت است.

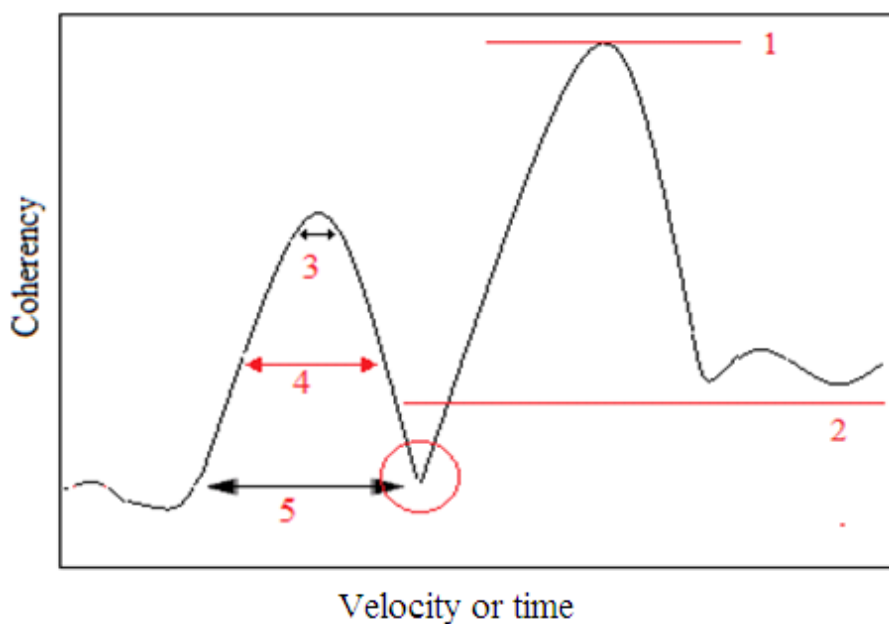
## ۴ اعمال روش‌های متفاوت تحلیل سرعت روی

## داده‌های مصنوعی

در این قسمت داده‌های مصنوعی با نسبت سیگنال به نوفه دو به روش‌های متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج روش‌های گوناگون از نظر زمانی و مکانی با یکدیگر مقایسه شد. شکل ۱ نشان‌دهنده بازتابنده‌هایی است که با این داده مصنوعی به روش محاسبه زمان رسیده‌ها در هر دورافت با استفاده از تابع سرعتی ساخته شده است و شامل تکراری‌ها نیز هست. نتیجه اعمال هر کدام از روش‌ها روی داده‌های مصنوعی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. نتایج اعمال روش‌های تحلیل سرعت روی داده‌های مصنوعی. (الف) روش برآیند دامنه. (ب) روش برآیند دامنه بهنجار. (ج) روش دگرهمبستگی. (د) روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار. (ه) روش شباهت. (و) روش AB Semblance (خروجی نرم‌افزار MATLAB).



شکل ۳. پیکان شماره ۴ نشان‌دهنده میزان پخش شدگی در نصف دامنه قله به دامنه اطراف، خط ۱ و ۲ جهت محاسبه تباین و دایره که نشان‌دهنده میزان همدوسی بین دو سرعت است.

مجاور، کوچک‌تر بوده است. از طرف دیگر کوچکی این نسبت نشان می‌دهد که میزان همدوسی در صورت کسر که همان همدوسی سرعت صحیح است کمتر بوده و مخرج کسر که نشان‌دهنده سرعت‌های مجاور و ناصحیح است بزرگ‌تر است. به عبارت دیگر عدد کوچک این نسبت نشان‌دهنده دقت کمتر و عدد بزرگ‌تر نشان‌دهنده دقت بیشتر روش موردنظر در شناسایی سرعت رخداد است. لازم به ذکر است که با میانگین‌گیری میزان‌های همدوسی در دو طرف سرعت موردنظر ازجایی که نمودار فیتنس شروع به افزایش می‌کند، عدد مخرج کسر تعیین می‌شود. دومین معیار پخش شدگی است. این معیار در شکل ۳ با پیکان شماره چهار نشان داده شده است و به صورت «میزان پخش شدگی در نصف دامنه قله به دامنه اطراف» تعریف می‌شود. هر چه این میزان کمتر باشد نقطه موردنظر شناسایی، با دامنه و کیفیت بهتری نسبت به اطراف خود شناسایی شده و هر چه این میزان بیشتر باشد نشان می‌دهد که روش موردنظر نقطه مربوطه را با دامنه

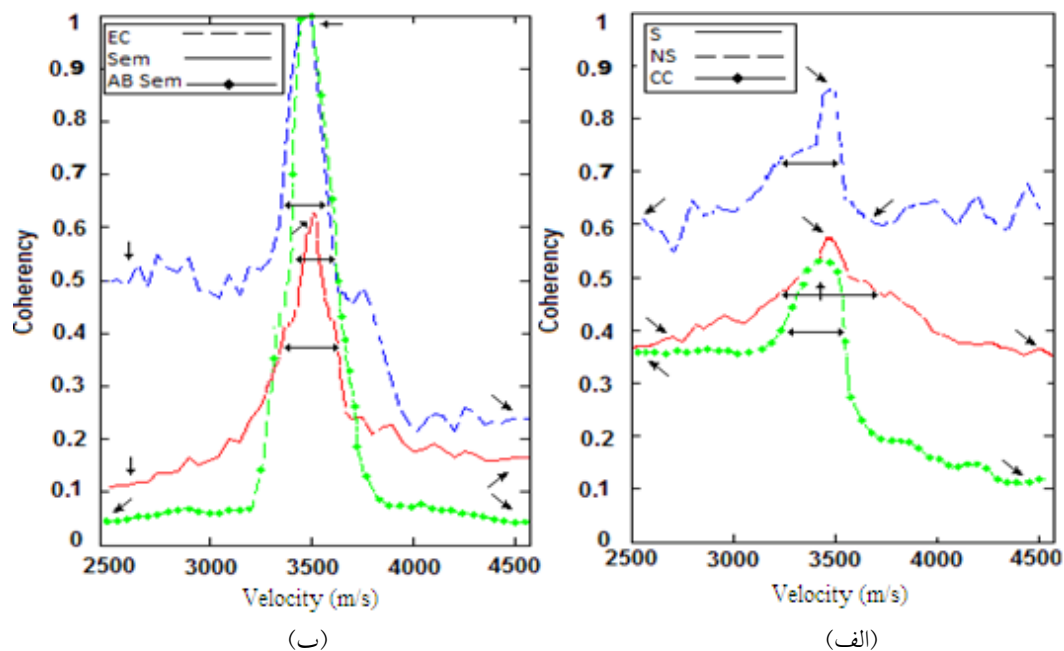
## ۵ فاکتورهای موثر برای مقایسه کمی نتایج روش‌های تحلیل سرعت

به منظور بررسی و مقایسه بهتر نتایج این روش‌ها، از یک تابع فیتنس (فومل، ۲۰۰۷) برای رسم همه مقادیر یک سطر ماتریس کواریانس استفاده شده است. البته برای تفکیک زمانی، این تابع همه مقادیر یک ستون ماتریس کواریانس را رسم می‌کند و با توجه به آن می‌توان نحوه عملکرد روش‌ها را با توجه به معیارهایی که در ادامه ذکر می‌شود تشریح کرد.

اولین معیاری که در این تحقیق نتایج روش‌ها با آن سنجیده می‌شوند تباین یا «نسبت همدوسی در سرعت موردنظر به همدوسی در سرعت‌های مجاور» است. در شکل ۳ این میزان به صورت نسبت همدوسی پیشینه (خط شماره یک) به همدوسی اطراف (خط شماره دو) تعریف می‌شود. بزرگی این عدد نشان‌دهنده شناسایی دقیق این سرعت با روش موردنظر است. بدین معنی که در صورت کسر، عدد مربوط به همدوسی، بزرگ‌تر و در مخرج کسر عدد مربوط به سرعت‌های ناصحیح

شناسایی سرعت رخدادها و با کم نشان دادن همدوسی بین سرعت‌ها، دقت خود را در شناسایی جداگانه سرعت‌های نزدیک به هم نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که میزان همدوسی در سرعت‌ها هرچه به عدد یک نزدیک‌تر باشد بهتر است، از طرف دیگر این میزان برای مقادیر بین سرعت‌ها هرچه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد دقت بیشتری را نشان می‌دهد. چهارمین معیار مقایسه روش‌های تحلیل سرعت، توانایی تفکیک زمانی است. روش مورد استفاده می‌باید رخدادهای نزدیک به هم را به خوبی از هم تشخیص دهد. همانند تفکیک سرعتی می‌باید که میزان همدوسی را در زمان‌های مورد نظر زیاد، و این میزان را بین دو زمان کم نشان دهد تا این زمان‌ها به خوبی از هم متمایز شوند. در شکل ۳ میزان همدوسی بین زمان‌های مورد بررسی نیز به صورت دایره نشان داده شده است.

چشمگیری نسبت به اطراف خود شناسایی نکرده است و میزان پخش شدگی بازه شناسایی سرعت بیشتر است که این یک ضعف به شمار می‌آید. این معیار با یک عدد تعریف می‌شود و برای مثال عدد ۷۰۰ نشان می‌دهد که روش موردنظر به طور میانگین در بازه‌ای به طول ۷۰۰ کیلومتر بر ثانیه سرعت موردنظر را شناسایی کرده است. سومین معیار مقایسه نتایج روش‌ها، توانایی تفکیک سرعتی است بدین معنی که روش موردنظر می‌باید قادر باشد که سرعت‌های نزدیک به هم را به خوبی از هم تشخیص دهد و آنها را به مثابه سرعت یک رخداد در نظر نگیرد، برای این کار می‌باید میزان همدوسی را در سرعت‌های موردنظر زیاد، و این میزان را بین دو سرعت که در شکل ۳ با دایره مشخص شده است کم نشان دهد تا این سرعت‌ها به خوبی از هم متمایز شوند. به عبارت دیگر یک روش با نشان دادن میزان همدوسی بزرگ در سرعت‌های موردنظر توانایی زیاد خود را در



شکل ۴. نتایج شناسایی سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه در زمان ۱/۲ ثانیه با نسبت سیگنال به نوفه دو. (الف) روش‌های برابنبارش دامنه (S)، برابنبارش دامنه بهنجار (NS) و دگرهمبستگی (CC). (ب) روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار (EC)، شباهت (Sem) و AB Semblance. میزان پخش شدگی با محورهای دوسر و نقاط تعیین‌کننده برای تعیین نسبت تباین با پیکان برای هر روش مشخص شده‌اند (خروجی نرم‌افزار MATLAB).

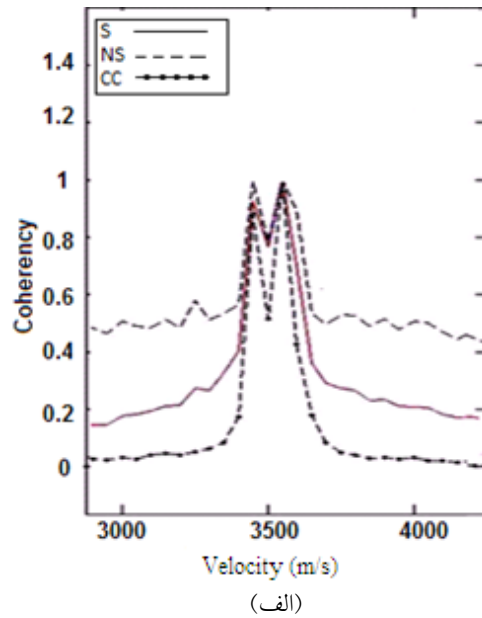
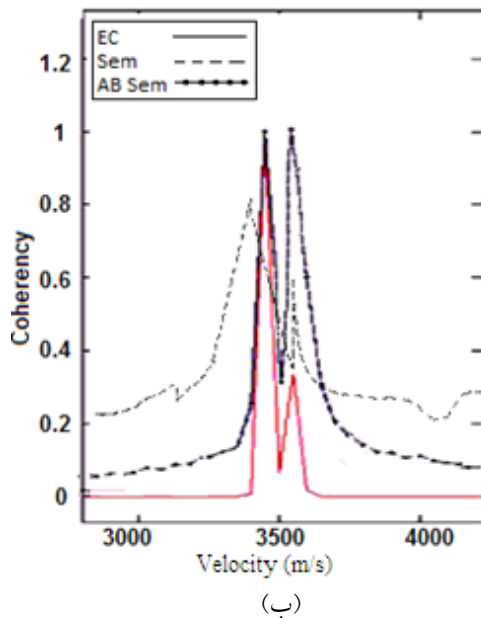


## ۶ بررسی نتایج روش‌های تحلیل سرعت براساس معیارهای ذکر شده

برای بررسی و مقایسه بهتر نتایج این روش‌ها، ابتدا سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه در زمان ۱/۲ ثانیه که نمودار فیتنس آن در شکل ۴ نشان داده شده است مورد آزمایش قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است برای جلوگیری از ازدحام و وضوح بیشتر نتایج هر سه روش در یک نمودار نشان داده شده است.

همان‌طور که از نتایج پیدا است کلیه روش‌ها سرعت موردنظر را کم‌وبیش درست تشخیص داده‌اند اما برای مقایسه این نتایج، ابتدا از معیار تباین استفاده می‌شود. نقاط تعیین‌کننده صورت و مخرج برای محاسبه تباین در شکل ۴ با پیکان نشان داده شده است. بدین منظور برای محاسبه این نسبت برای روش برانبارش دامنه در شکل ۴-الف برای صورت کسر عدد ۰/۰۶ و مخرج عدد برآوردی ۰/۳۵ و بنابراین عدد مربوط به این نسبت ۱/۷۱ در نظر

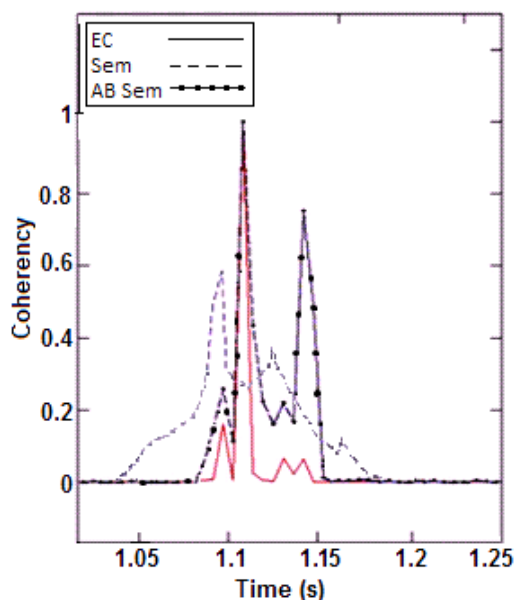
گرفته می‌شود. برای روش برانبارش دامنه بهنجار عدد ۰/۸۵ برای صورت کسر، عدد ۰/۰۶ برای مخرج کسر و عدد مربوط به این نسبت ۱/۴ محاسبه می‌شود. برای روش دگرهمبستگی عدد ۰/۵۵ برای صورت کسر، عدد ۰/۲۶ (میانگین مقادیر همدوسی ۰/۱۵ و ۰/۳۷ در طرفین سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه) برای مخرج کسر و مقدار ۲/۱۱ برای نسبت موردنظر محاسبه می‌شود. در شکل ۴-ب با در نظر گرفتن عدد ۱ برای صورت کسر، عدد ۰/۳۵ برای مخرج کسر، مقدار ۲/۸ برای روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار به‌دست می‌آید. در ادامه با بررسی روش شباهت اعداد ۰/۶۵ و ۰/۱۵ بترتیب برای صورت و مخرج کسر بدست می‌آید که نسبت ۴/۳ برای این روش محاسبه می‌شود. در نهایت برای روش AB Semblance عدد ۱ برای صورت، عدد ۰/۰۵ برای مخرج کسر و عدد ۲۰ برای این نسبت محاسبه می‌شود. معیار بعدی پخش‌شدگی است. همان‌طور



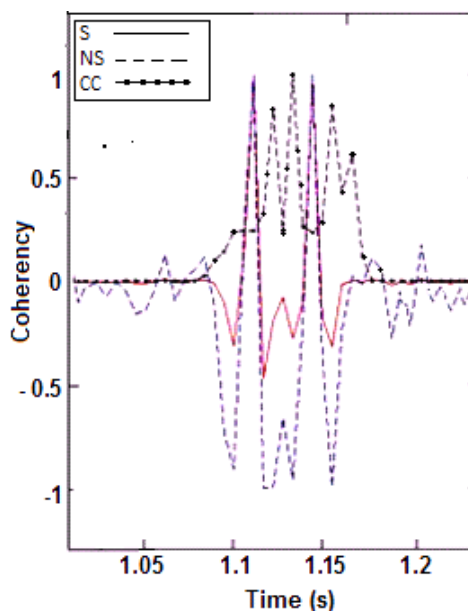
شکل ۵. نتایج توانایی تفکیک سرعتی بازتابنده‌ها با سرعت‌های ۳۵۰۰ و ۳۶۰۰ متر بر ثانیه در زمان ۱/۱ ثانیه با نسبت سیگنال به نوفه دو. (الف) روش‌های برانبارش دامنه (S)، برانبارش دامنه بهنجار (NS) و دگرهمبستگی (CC). (ب) روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار (EC)، شباهت (Sem) و AB Semblance (خروجی نرم‌افزار MATLAB).

همان‌طور که در شکل ۵-الف دیده می‌شود هر سه روش برانبارش دامنه، برانبارش دامنه بهنجار و دگرهمبستگی سرعت‌های موردنظر را شناسایی کرده‌اند اما لازم به ذکر است که شناسایی صحیح این سرعت‌های نزدیک به هم در این داده مصنوعی آسان است و برای مثال در یک برداشت نقطه میانی مشترک که شامل ده‌ها ردلرزه است سرعت‌های ناصحیح نیز تا همین حدود از خود همدوسی نشان می‌دهند و فقط روش‌های قوی قادر به نشان دادن تفاوت آشکار بین مقدار همدوسی سرعت‌های صحیح و ناصحیح هستند. میزان همدوسی زیاد در سرعت‌های موردنظر و همچنین میزان کاهش همدوسی بین سرعت‌های موردنظر که در واقع در آنها هیچ مقدار سرعتی وجود ندارد، معیاری است که در این قسمت برای مقایسه بین نتایج روش‌های فوق از آن استفاده می‌شود. در شکل ۵-الف هر سه روش مقدار همدوسی تقریباً یک را

که مشاهده می‌شود برای همدوسی ۰/۴۷ (حاصل نصف اختلاف بین همدوسی بیشینه و همدوسی در سرعت‌های مجاور است) میزان پخش‌شدگی در روش در ادامه برای بررسی توانایی تفکیک سرعتی روش‌ها در شناسایی سرعت‌های نزدیک به هم، سرعت‌های ۳۵۰۰ و ۳۶۰۰ متر بر ثانیه در زمان ۱/۱ ثانیه مورد آزمایش قرار گرفت. همان‌طور که مشخص است این مقادیر سرعت، اختلاف بسیار کمی با هم دارند و روشی که بتواند این تفاوت را نشان دهد و بین روش‌های فوق تفاوت قائل باشد روش قابل‌اعتمادی است و لایه‌های زمین با سرعت‌های نزدیک به هم را شناسایی می‌کند. شکل ۵ نشان‌دهنده مقایسه تفکیک سرعتی شش روش برانبارش دامنه، برانبارش دامنه بهنجار، دگرهمبستگی، انرژی دگرهمبستگی بهنجار، شباهت و AB Semblance در سرعت‌های ۳۵۰۰ و ۳۶۰۰ متر بر ثانیه و در زمان ۱/۱ ثانیه است.



(ب)

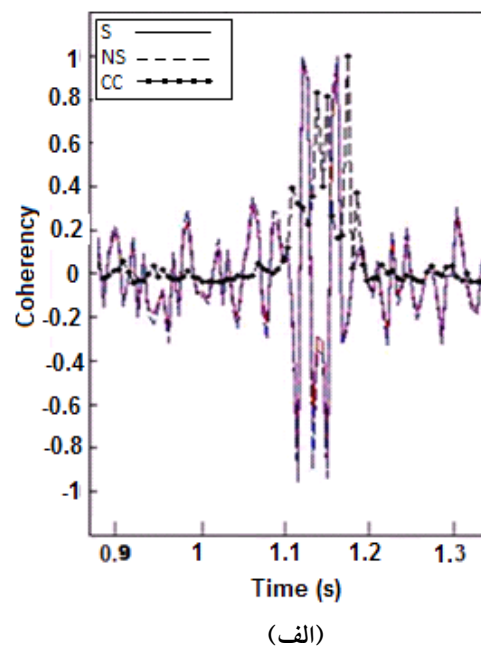
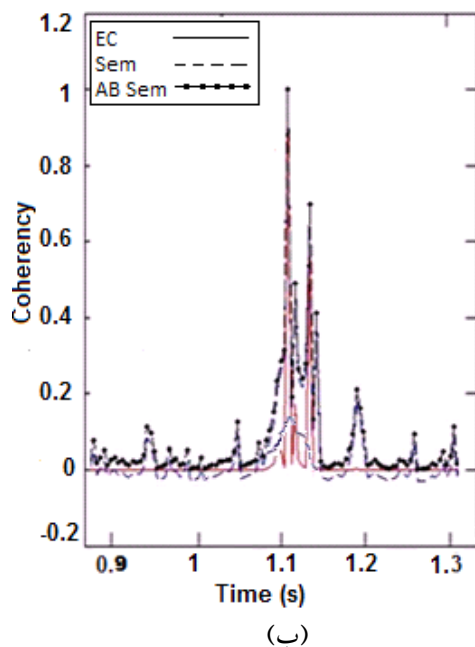


(الف)

شکل ۶. نتایج توانایی تفکیک زمانی بازتابنده‌ها در زمان‌های ۱/۱ و ۱/۱۵ ثانیه در سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه توسط روش‌های تحلیل سرعت با نسبت سیگنال به نوفه دو. (الف) روش‌های برانبارش دامنه (S)، برانبارش دامنه بهنجار (NS) و دگرهمبستگی (CC). (ب) روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار (EC)، شباهت (Sem) و AB Semblance (خروجی نرم‌افزار).

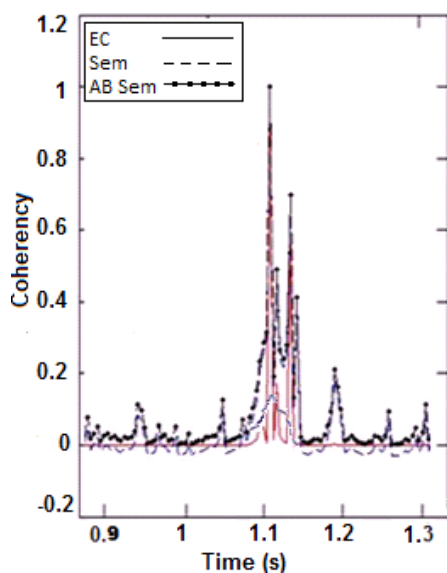
میزان هم‌دوسی بین این دو سرعت ندارد، بنابراین قادر به شناسایی این سرعت با کیفیت بالا نیست. روش شباهت سرعت‌های ۳۵۰۰ و ۳۶۰۰ متر بر ثانیه را میزان هم‌دوسی کمی شناسایی کرده است و چه‌بسا مقدار هم‌دوسی برای سرعت ۳۶۰۰ متر بر ثانیه بسیار کمتر از ۳۵۰۰ متر بر ثانیه و نزدیک به میزان هم‌دوسی بین دو سرعت است و شناسایی سرعت را با مشکل مواجه می‌کند. روش AB Semblance هر دو سرعت را با میزان هم‌دوسی یک شناسایی کرده است و این میزان بین دو سرعت تا مقدار ۰/۳ کاهش یافته است و سرعت‌ها به‌خوبی شناسایی شده‌اند. البته به‌صورت نظری در مقاله اصلی ذکر شده است که کیفیت روش شباهت از روش AB Semblance بیشتر است اما در هیچ‌یک از نتایج مقاله پیش‌گفته، چنین نتیجه‌ای مشاهده نمی‌شود و نتایج به‌دست آمده نتیجه‌گیری متفاوت‌تری را نشان می‌دهد. شکل ۶ نشان‌دهنده تفکیک زمانی روش‌های ذکرشده در سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه و

برای سرعت‌های موردنظر نشان داده‌اند ولی نقایصی نیز مشاهده می‌شود. روش برانبارش از سرعت‌های ۳۰۰۰ و ۴۰۰۰ متر بر ثانیه از طرفین شروع به افزایش کرده است و با نشان دادن میزان هم‌دوسی ۰/۸ بین دو سرعت جدایش این سرعت‌ها را در داده واقعی بسیار دشوار می‌کند. روش برانبارش دامنه بهنجار مقادیر زیادی از هم‌دوسی را قبل و بعد از سرعت‌های موردنظر نشان می‌دهد و همچنین با میزان هم‌دوسی ۰/۸ برای هم‌دوسی بین دو سرعت شناسایی این رخدادها را در داده واقعی مشکل می‌کند. روش دگرهمبستگی نیز میزان ۰/۵ را بین دو سرعت نشان می‌دهد و همان‌طور که گفته شد قادر به جدایش با کیفیت بالای این سرعت‌ها نیست. در شکل ۵-ب نتایج روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار، شباهت و AB Semblance نشان داده شده است. روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار سرعت ۳۶۰۰ متر بر ثانیه را با میزان هم‌دوسی ۰/۳ شناسایی کرده که این میزان بسیار کم است و تفاوتی با



شکل ۷. نتایج توانایی تفکیک سرعتی بازتابنده‌ها با سرعت‌های ۳۵۰۰ و ۳۶۰۰ متر بر ثانیه در زمان ۱/۱ ثانیه با نسبت سیگنال به نوفه نیم. (الف) روش‌های برانبارش دامنه (S)، برانبارش دامنه بهنجار (NS) و دگرهمبستگی (CC). (ب) روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار (EC)، شباهت (Sem) و AB Semblance (خروجی نرم‌افزار MATLAB).

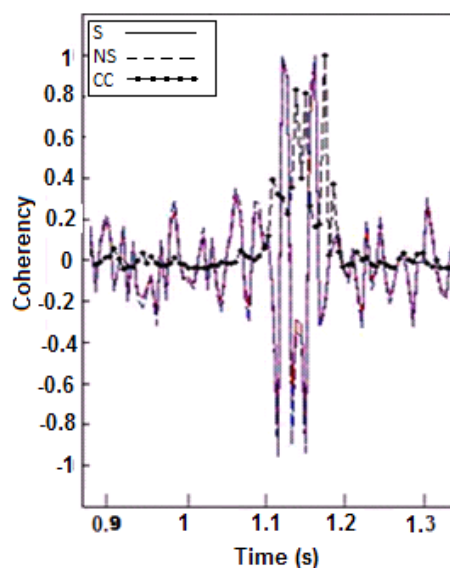
این بیشینه‌ها وجود دارند و فقط می‌توان بیشینه‌هایی را انتخاب کرد که تفاوت آشکاری با بیشینه‌های اطراف خود دارند. شکل ۶-ب نشان‌دهنده نتایج روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار، شباهت و AB Semblance است. روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه را زمان ۱/۱ ثانیه با مقدار همدوسی یک شناسایی کرده و این سرعت را در زمان ۱/۲ ثانیه مورد شناسایی قرار داده و در کل بسیار ضعیف عمل کرده است. روش شباهت زمان ۱/۱ ثانیه را با مقدار همدوسی ۰/۶ و زمان ۱/۲ ثانیه را میزان همدوسی ۰/۴ شناسایی کرده است و میزان همدوسی بین این دو زمان تا مقدار ۰/۳ کاهش یافته است که خود، شناسایی این زمان‌ها را مشکل می‌کند. در نهایت روش AB Semblance با نشان دادن مقادیر همدوسی یک و ۰/۸ به ترتیب برای زمان‌های ۱/۱ و ۱/۲ ثانیه و مقدار همدوسی ۰/۲ بین این سرعت‌ها عملکرد قابل قبولی در شناسایی این زمان‌ها داشته است.



(ب)

زمان‌های ۱/۱ و ۱/۱۵ ثانیه است. قابل ذکر است که این زمان‌ها بسیار به هم نزدیک‌اند و روشی که قادر به تفکیک این زمان‌ها باشد بدون شک در تحلیل سرعت بازتابنده‌هایی که به هم نزدیک‌اند توانایی مطلوبی دارد.

شکل ۶-الف نشان می‌دهد که روش برانبارش دامنه، برانبارش دامنه بهنجار و دگرهمبستگی، هر سه مقادیری منفی برای همدوسی در زمان‌های موردنظر به دست می‌دهند که البته این نحوه نمایش به ذات روش‌ها برمی‌گردد ولی در کل از کیفیت شناسایی زمان رخدادها می‌کاهد. عملکرد ضعیف روش‌های برانبارش دامنه و برانبارش دامنه بهنجار با نشان دادن مقادیر زیادی از بیشینه‌ها در این شکل به وضوح مشخص است. روش دگرهمبستگی در زمان‌های موردنظر مقادیر منفی نمایش نمی‌دهد ولی با نشان دادن چهار بیشینه در این محدوده عملکرد خوبی ندارد. می‌توان گفت که هر سه روش این زمان‌ها را شناسایی نکرده‌اند زیرا همان‌طور که ذکر شد در یک برداشت نقطه میانی مشترک تعداد بسیار زیادی از



(الف)

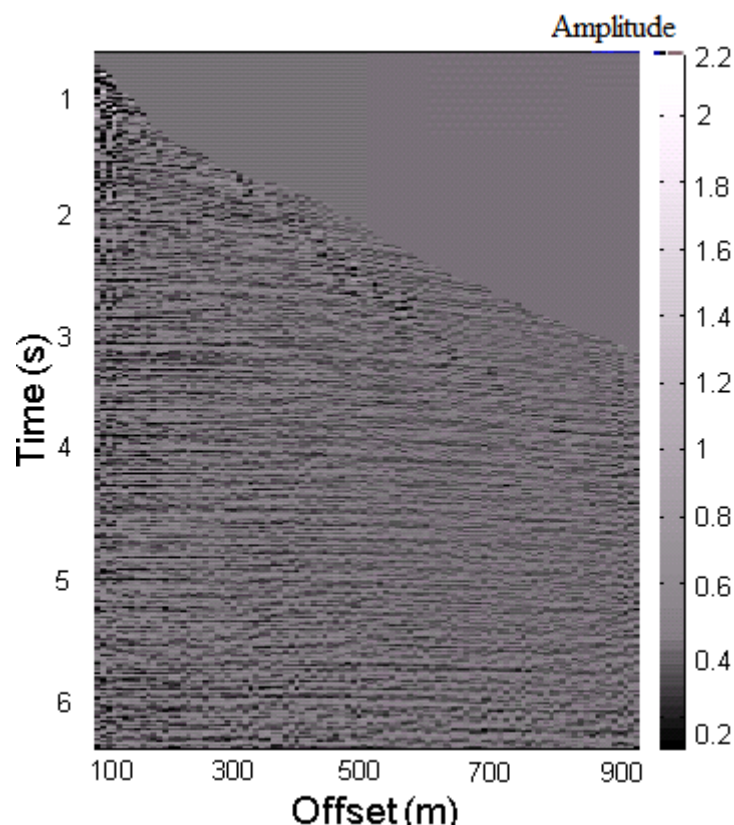
شکل ۸. نتایج توانایی تفکیک زمانی بازتابنده‌ها در زمان‌های ۱/۱ و ۱/۱۵ ثانیه در سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه توسط روش‌های تحلیل سرعت با نسبت سیگنال به نوفه نیم. (الف) روش‌های برانبارش دامنه (S)، برانبارش دامنه بهنجار (NS) و دگرهمبستگی (CC). (ب) روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار (EC)، شباهت (Sem) و AB Semblance (خروجی نرم‌افزار MATLAB).

روش در محیطی با نسبت سیگنال به نوفه کم است. البته نتیجه روش برابارش دامنه نیز قابل قبول است ولی تا سرعت‌های موردنظر مقداری همدوسی غیرمتعارف را نشان می‌دهد.

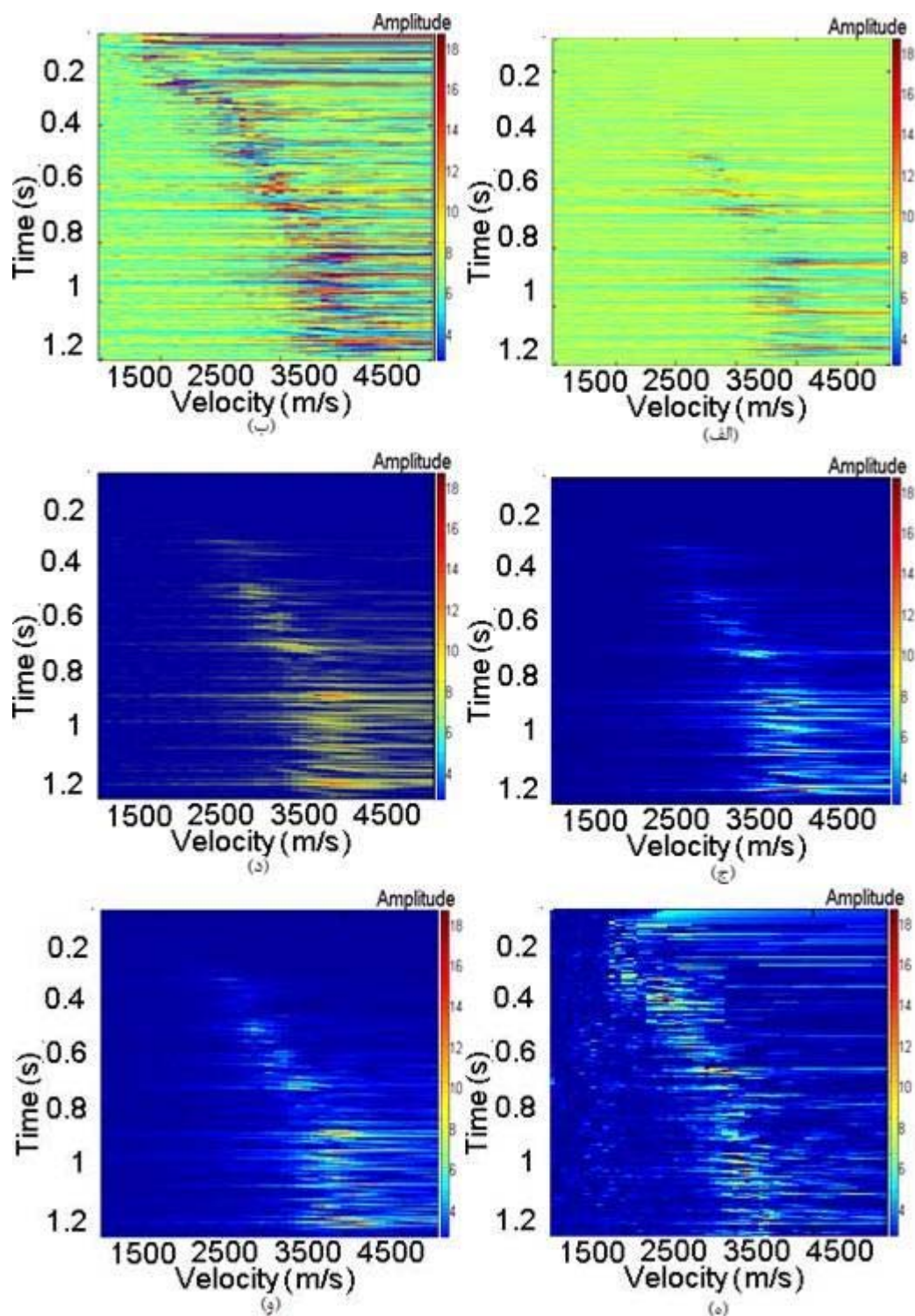
شکل ۸ تفکیک زمانی روش‌های متفاوت را در سرعت ۳۵۰۰ متر بر ثانیه و در زمان ۱/۱ و ۱/۱۵ ثانیه نشان می‌دهد. با کم شدن میزان سیگنال به نوفه نتایج روش‌های AB Semblance و انرژی دگرهمبستگی بهنجار به دلیل داشتن بیشینه‌های مشخص از دیگر روش‌ها بهتر است اما همان‌طور که در شکل ۸-ب مشخص است روش AB Semblance هر دو سرعت موردنظر را با همدوسی زیاد پیک کرده است و مقدار همدوسی ۰/۲ را بین این دو زمان نشان داده است به نحوی که زمان‌ها قابل تفکیک‌اند.

#### ۷ تاثیر کاهش میزان سیگنال به نوفه روی نتایج

شکل ۷ بیانگر نتایج روش‌های ذکر شده است که از نظر سرعتی با هم مقایسه شده‌اند و میزان سیگنال به نوفه تا حد نیم کاهش یافته و مجدداً کلیه روش‌ها روی داده مصنوعی اعمال شده است. مانند شکل‌های قبل برای دستیابی به کیفیت بهتر مقایسه نتایج، هر سه روش در یک نمودار با هم نشان داده شده‌اند. با توجه به معیار مقایسه‌ای که گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های AB Semblance، انرژی دگرهمبستگی بهنجار و شباهت در شکل ۷ از سایر روش‌ها بهتر عمل کرده‌اند. لازم به ذکر است که روش AB Semblance تا سرعت‌های موردنظر هیچ‌گونه همدوسی را نشان نمی‌دهد و هر دو سرعت را با دو بیشینه قوی مشخص کرده است که این خود از مزیت‌های این



شکل ۹. ورداشت نقطه میانی مشترک واقعی در یکی از مناطق لرزه‌نگاری جنوب کشور.



شکل ۱۰. نتایج اعمال روش‌های تحلیل سرعت بر روی داده واقعی. (الف) روش برآیند دامنه. (ب) روش برآیند دامنه بهنجار. (ج) روش دگرهمبستگی. (د) روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار. (ه) روش شباهت. (و) روش AB Semblance (خروجی نرم‌افزار MATLAB).

## ۸ اعمال روش‌های متفاوت تحلیل سرعت روی داده

## واقعی

شکل شماره ۹ نشان‌دهندهٔ وروداشت نقطه میانی مشترک واقعی در یکی از مناطق نفتی جنوب کشور است که تا دورافت ۹۰۰ متر و زمان ۶ ثانیه قابل مشاهده است.

حال روش‌های بررسی شده در داده‌های مصنوعی روی داده‌های واقعی اعمال شده‌اند و نتایج در شکل ۱۰ آورده شده است.

شکل ۱۰-الف نتیجه اعمال روش برانبارش دامنه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این روش قادر به تشخیص رخدادها با سرعت‌ها و عمق‌های کم نیست. روش برانبارش دامنه بهنجار در شکل ۱۰-ب تا حدودی این رخدادها را شناسایی کرده ولی در همگی زمان‌ها دچار پخش‌شدگی شده است. شکل ۱۰-ج نتیجه روش دگرهمبستگی را نشان می‌دهد که زمان‌ها و سرعت‌های رخدادها در عمق کم را به خوبی شناسایی نکرده است و پخش‌شدگی زیادی دارد، در شکل ۱۰-د روش انرژی دگرهمبستگی بهنجار با مقدار همدوسی کمتری نسبت به روش دگرهمبستگی نسبت به شناسایی بازتابنده‌ها در اعماق کم و با سرعت‌های کم با مشکل روبه‌رو شده است و رخدادهای عمیق را با میزان همدوسی کمی نشان داده است. شکل ۱۰-و بیانگر نتیجه روش شباهت است که در شناسایی رخدادها در اعماق کم با مشکل مواجه شده است اما همان‌طور که در شکل ۱۰-ه مشخص است روش AB Semblance روی داده واقعی عمل کرده و همه بازتابنده‌ها را در همه زمان‌ها به نحو قابل‌قبولی شناسایی کرده است. البته در اعماق کم دچار پخش‌شدگی شده ولی به‌طورکلی تحلیل سرعت خوبی را نسبت به سایر روش‌ها به دست داده است.

## ۹ نتیجه‌گیری

در مورد نسبت تباین، همان‌طور که در جدول ۲ آمده است روش AB Semblance عدد بسیار بزرگی را نسبت به سایر روش‌ها به دست آورد که این حاکی از دقت زیاد روش در انتخاب صحیح سرعت بازتابنده‌ها است. در مورد تفکیک سرعتی همان‌طور که در این مقاله بحث شد، اعمال روش AB Semblance روی داده‌های مصنوعی از بقیه روش‌ها نتایج بهتری داشته است. علاوه بر آن روش AB Semblance با نشان دادن مقدار بسیار کمی از همدوسی بین این دو سرعت برتری خود را در تفکیک سرعت‌های نزدیک به هم نشان می‌دهد (جدول ۲). این روش در محیطی با نسبت سیگنال به نوفه دو، سرعت‌های ۳۵۰۰ و ۳۶۰۰ متر بر ثانیه را به خوبی از هم جدا کرده و با مقدار همدوسی یک، به دست آورده است. البته روش‌های شباهت و برانبارش دامنه بهنجار نیز نتایج خوبی داشته‌اند ولی میزان همدوسی آنها کمتر بوده و در نزدیکی سرعت‌های موردنظر شیب نمودارشان زیاد می‌شود که خود از دقت این روش‌ها کاسته است. با این حال روش AB Semblance تا سرعت‌های موردنظر تقریباً هیچ افزایش شیئی ندارد. با کاهش میزان سیگنال به نوفه نتایج روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار و AB Semblance از بقیه روش‌ها بهتر است.

در مورد تفکیک زمانی با نسبت سیگنال به نوفه دو، می‌توان گفت که روش AB Semblance نتایج بهتری را در زمان‌های مربوط به دست داده، هر دو زمان را با نسبت همدوسی زیادی شناسایی کرده و بین دو زمان همدوسی را بسیار کم نشان داده است. همان‌طور که مشخص است، سایر روش‌ها قادر به شناسایی هر دو و یا یکی از زمان‌ها نیستند. با کاهش مقدار سیگنال به نوفه می‌توان بهترین نتایج را در روش‌های انرژی دگرهمبستگی بهنجار و AB Semblance یافت زیرا روش‌های دیگر در زمان‌های غیر

موردنظر، بیشینه‌هایی از همدوسی را به دست می‌دهند که از دقت آنها می‌کاهد. در مورد پخش‌شدگی، همان‌طور که در جدول ۲ آمده است روش AB Semblance کمترین عدد را نسبت به سایر روش‌ها نشان می‌دهد و بنابراین در یک مقطع تحلیل سرعت رخدادها را با کیفیت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها شناسایی می‌کند. در مورد اعمال این روش‌ها روی داده واقعی نیز نتیجه روش AB Semblance از سایر روش‌ها بهتر به نظر می‌رسد، زیرا همه بازتابنده‌ها از جمله بازتابنده‌های کم عمق را با کیفیت خوبی شناسایی کرده و پخش‌شدگی کمتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.

جدول ۲. خلاصه عملکرد روش‌های تحلیل سرعت.

پخش‌شدگی	تفکیک زمانی			تفکیک سرعتی		تباین	نام روش	
	همدوسی بین زمان‌های موردنظر	همدوسی در زمان‌های موردنظر		همدوسی بین سرعت‌های موردنظر	همدوسی در سرعت‌های موردنظر			
		۱/۲ (s)	۱/۱ (s)		۳۶۰۰ (m/s)			۳۵۰۰ (m/s)
۱۰۰۰	عدم شناسایی بازتابنده‌ها			۰/۸	۱	۰/۹	۱/۷۱	برابارش دامنه
۵۵۰	عدم شناسایی بازتابنده‌ها			۰/۸	۱	۱	۱/۴	برابارش دامنه بهنجار
۵۵۰	عدم شناسایی بازتابنده‌ها			۰/۵	۰/۹	۰/۹	۲/۱	دگرهمبستگی
۵۰۰	۰/۰۵	۰/۰۵	۱	۰/۱	۰/۳	۱	۲/۸	انرژی دگرهمبستگی بهنجار
۵۵۰	۰/۳	۰/۴	۰/۶	۰/۴	۰/۶	۰/۸	۴/۳	شباهت
۴۵۰	۰/۱۸	۰/۸	۱	۰/۳	۱	۱	۲۰	AB Semblance

and velocity determination: *Geophysics*, **55**, 1057-1069.

Liner, C. L., 1999, Concepts of normal and dip moveout: *Geophysics*, **64**, 1637-1647.

Mayne, W. H., 1962, Common reflection point horizontal stacking techniques: *Geophysics*, **27**, 927-938.

Neidell, N. S. and Taner, M. T., 1971, Semblance and other coherency measures for multichannel data: *Geophysics*, **34**, 482-497.

Sarkar, D., Baumer, R. T. and Larner, K. L., 2002, Velocity analysis in the presence of amplitude variation: *Geophysics*, **67**, 1664-1672.

Sarkar, D., Castagna, J. P. and Lamb, W. J., 2001, AVO and velocity analysis: *Geophysics*, **66**, 1284-1293.

Taner, M. T. and Koehler, F., 1969, Velocity spectra – Digital computer derivation and applications of velocity functions: *Geophysics*, **34**, 859-881.

Yilmaz, O., 2001, *Seismic data analysis: Society of Exploration Geophysicists (SEG)*.

## منابع

Arnaud, J., Rappin, D., Dunand, J. P. and Curinier, V., 2004, High density picking for accurate velocity and anisotropy determination: 74th SEG meeting, Denver, Expanded Abstracts, 1627-1629.

Biondi, B. L. and Kostov, C., 1989, High resolution velocity spectra using eigenstructure methods: *Geophysics*, **54**, 832-842.

Courtier, W. H. and Mendenhall, H. L., 1967, Experiences with multiple coverage seismic methods: *Geophysics*, **32**, 230-258.

Fomel, S., 2007, Shaping regularization in geophysical-estimation problem: *Geophysics*, **72**, 29-36.

Fomel, S., 2009, Velocity analysis using AB Semblance, *Geophysical Prospecting*, **57**, 311-321.

Key, S. C., and Smithson, S. B., 1990, New approach to seismic-reflection event detection