

بهبود توان تفکیک طیف سرعت با استفاده از روش شباهت وزنی

مرتضی رحمانی^۱، فاطمه خجسته^۱ و امین روشندل کاهو^{۱*}

^۱دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود، شاهرود، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۷، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۲۰)

چکیده

از مهم‌ترین مراحل پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی، تحلیل سرعت است که سرعت مناسب برای تصحیح برون‌راند نرمال و برانبارش را برای بازتابنده‌ها، برآورد می‌کند. یکی از روش‌های مرسوم تحلیل سرعت، محاسبه شباهت است. عوامل گوناگونی از جمله گسترش دورافت، نسبت سیگنال به نوفه، طول پنجره و مانند آن روی توان تفکیک طیف سرعت و پهن‌شدگی آن تاثیرگذار است. افزایش تفکیک در محاسبه شباهت سبب می‌شود که دقت برآورد سرعت تصحیح برون‌راند نرمال و برانبارش بهبود یابد و همچنین می‌توان رویدادهای بازتابی را که از نظر سرعت و زمان دوطرفه به یکدیگر نزدیک هستند از یکدیگر تفکیک کرد. کیفیت طیف سرعت به حساسیت محاسبه شباهت به تغییرات سرعت، بستگی دارد. با محاسبه عبارات وزنی که به تغییرات سرعت حساس‌تر هستند، می‌توان کیفیت طیف سرعت شباهت را افزایش داد. پیاده‌سازی روش وزنی رابطه مستقیمی با بسط تیلور شباهت دارد. می‌توان میزان شباهت را با استفاده از کمینه کردن تابع وزنی آن افزایش داد. در مقایسه، شباهت وزنی بهتر می‌تواند قله‌های شباهت را برای تشخیص رویدادهای تداخلی متمایز کند. کارایی روش شباهت وزنی با اعمال بر داده‌های لرزه‌ای مصنوعی و واقعی بررسی شده و نتایج آن با روش شباهت متداول مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده بیانگر آن است که روش شباهت وزنی نسبت به روش شباهت متداول دارای توان تفکیک بیشتری است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سرعت، شباهت وزنی، شباهت متداول، مدل سرعت

Resolution improvement of velocity spectra using weighted semblance method

Morteza Rahmani¹, Fateme Khojaste¹ and Amin Roshandel kahoo^{1*}

¹School of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering, University of Shahrood, Shahrood, Iran.

(Received: 19 October 2013, accepted: 11 August 2014)

Summary

Velocity analysis is one of the most important steps of seismic reflection data processing which estimates the appropriate velocity for stacking and normal moveout correction. Taner & Koehler (1969) introduced the conventional semblance method for velocity analysis which is a normalized coherency measure. Semblance-based velocity analysis generates a velocity spectra for a common midpoint gather. Various parameters such as offset, signal to noise ratio, window length and etc. influence the resolution of semblance velocity spectra.

For velocity analysis of a single reflector, if we consider the true velocity, then the hyperbolic reflection event aligns to the horizontal event in an analysis window and

*Corresponding author:

roshandel@shahroodut.ac.ir

*نگارنده رابط:

computed value of semblance is equal to one. If the operator selects an incorrect velocity, the hyperbolic event does not align to the horizontal event and the semblance value is reduced. If the selected velocity is close to the true value, then the computed semblance has a value close to one. Therefore, the resolution of the velocity spectra is reduced.

Various methods have been introduced to improve the resolution of the semblance velocity spectra. Biondi and Kostov (1989) used the eigenstructure method to increase the resolution of velocity spectra. Sachi (1998) obtained the high resolution velocity spectra using the bootstrap algorithm. Roshandel et al (1387) improved the resolution of velocity spectra by multiplying the ratio of the two first eigen values of analysis window and the semblance value.

In this study, we used the weighted semblance value introduced by Luo and Hale (2012) to obtain the high resolution velocity spectra. In this method, the weight functions are added to the semblance equation. The weight functions make the semblance value more sensitive to velocity and increase the resolution of the velocity spectra. Therefore, the weight functions must be calculated in a way that it is sensitive to the temporal change in normal moveout correction for every velocity at every offset.

To illustrate the efficiency of the weighting function on the resolution of semblance spectra, weighted semblance and conventional semblance implemented on both synthetic and real CMP gathers. In the first synthetic example, we generated a CMP gather for a 37-layered earth model with linearly increased velocity. We computed its velocity spectra by both conventional and weighted semblance methods. Then, we added random noise to the synthetic CMP gather and re-calculated the velocity spectra. In these two synthetic examples, we have observed that the weighted semblance had a better resolution than conventional form. In the next step, we added multiple to CMP gather with near velocity to the primary event. Comparing the velocity spectra obtained from two mentioned methods showed that the conventional semblance cannot completely distinguish between the primary and multiple velocities. But they were easily separated from each other in velocity spectra of weighted semblance. Finally, both methods were applied to real data relating to the South West of Iran. The obtained result showed that extension of peak in the velocity spectra in the weighted semblance decreased. Thus, we can say the weighted semblance method has a better resolution than that of conventional methods.

Keywords: Velocity analysis, weighted semblance, conventional semblance, velocity model

۱ مقدمه

می‌توان مقطع لرزه‌ای را با کمترین خطای ممکن به دست آورد. با افزایش دقت در تحلیل سرعت، مقطع لرزه‌ای دقیق‌تری به دست می‌آید (ایلماز، ۲۰۰۱). روش‌های تحلیل سرعت بسیار متنوع هستند، اما امروزه بیشتر از روش‌های اندازه‌گیری همدوسی برای تعیین طیف سرعت استفاده می‌کنند. از جمله این روش‌ها می‌توان به برانبارش دامنه‌ها، همبستگی عرضی بهنجار نشده و همبستگی انرژی بهنجار نشده اشاره کرد (ایلماز، ۲۰۰۱).

یکی از بهترین روش‌هایی که تاکنون برای اندازه‌گیری میزان همدوسی معرفی شده است، روش شباهت است

به‌طور کلی به دو شیوه مستقیم (با استفاده از نگارهای صوتی) و غیرمستقیم (با استفاده از لرزه‌نگاری سطحی) می‌توان سرعت لایه‌های زمین را اندازه‌گیری کرد. به‌علت هزینه زیاد حفاری و برداشت، اندازه‌گیری سرعت به‌طور مستقیم سخت و پرهزینه است. تحلیل سرعت یک گام مهم و ابتدایی در جهت ساختن مدل سرعت داده‌های لرزه‌ای است (تائر و کهلر، ۱۹۶۹). با تحلیل سرعت داده‌های لرزه‌ای می‌توان برآورد نسبتاً دقیقی از سرعت رخدادها به دست آورد که با اطلاع از این سرعت‌ها

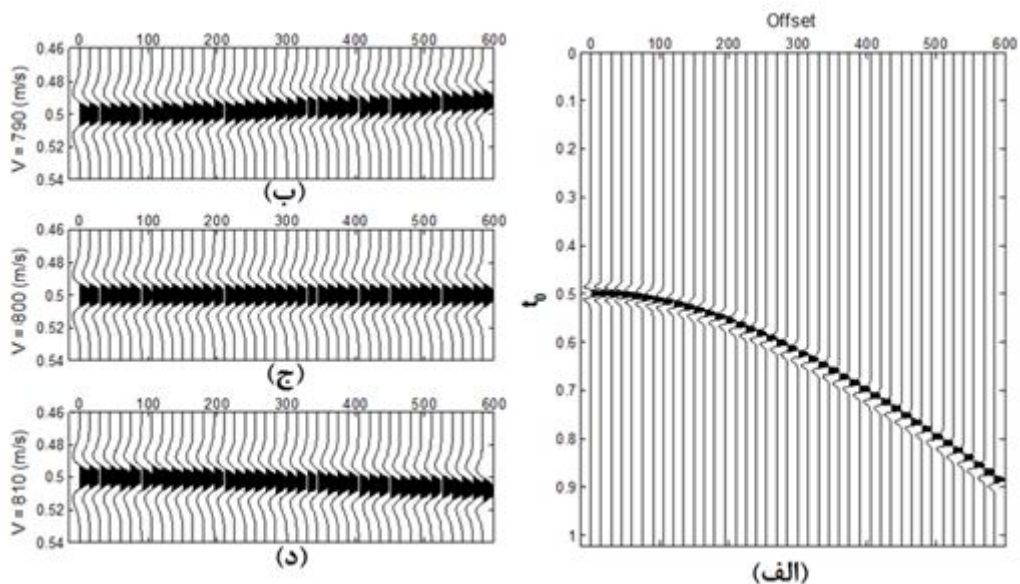
مقدار ویژه دوم، گستردگی طیف سرعت را در روش شباهت کاهش دادند.

هیل (۲۰۰۹) از ضرایب وزنی برای جلوگیری از هموار کردن تصاویر لرزه‌ای در برابر گسل‌ها استفاده کرد. هیل و لیو (۲۰۱۲) با وزن‌دار کردن مقادیر شباهت متداول، روشی عرضه کردند که کشیدگی طیف سرعت را کاهش داد. روش شباهت وزنی از بسط مرتبه اول سری تیلور در رابطه حرکت هذلولی در یک بازه سرعت قابل قبول به دست می‌آید و با کمینه کردن نقاط اطراف قله‌ها در طیف سرعت منجر به تفکیک بهتر سرعت‌ها می‌شود.

۲ شباهت متداول و وزنی

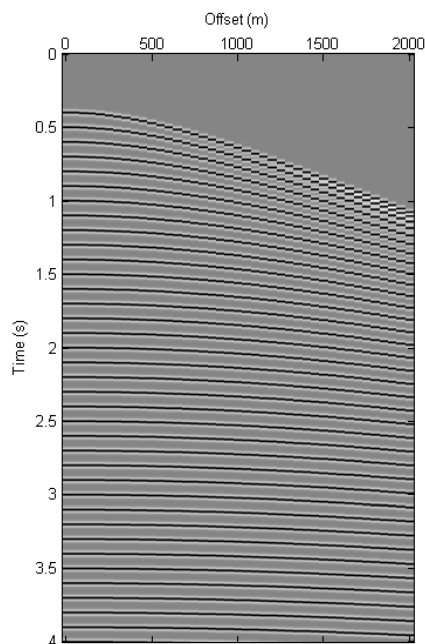
هدف از شباهت، برآورد سرعت بازتابنده‌ها است، به عبارتی دیگر، با اندازه‌گیری شباهت می‌توان دقت برآورد تصحیح سرعت برون‌راند نرمال را بهبود بخشید. تانر و کهلر (۱۹۶۹) روش شباهت متداول را به منظور اندازه‌گیری همدوسی معرفی کردند. نیدل و تانر (۱۹۷۱) مقایسه‌ای بین شباهت و دیگر همدوسی‌های اندازه‌گیری شده را عملی ساختند.

(ایلماز، ۲۰۰۱؛ نیدل و تانر، ۱۹۷۱). روش تحلیل سرعت بر مبنای شباهت اگرچه که یک روش متداول است، اما به علت استفاده از تقریب دیکس و فرض هذلولی بودن زمان سیرهای مربوط به یک نقطه میانی مشترک، دارای معایبی است که از جمله می‌توان به کم بودن توان تفکیک آن در مورد رویدادهای بازتابی عمیق، سرعت زیاد، دورافت کم، فولد کم و نوفه زیاد اشاره کرد (ایلماز، ۲۰۰۱؛ شریف و جلدارت، ۱۹۹۵). روش‌های گوناگونی برای رفع این مشکل و افزایش توان تفکیک طیف سرعت معرفی شده است. بیوندی و کاستوف (۱۹۸۹) با استفاده از مقادیر ویژه و کی و اسمیتسون (۱۹۹۰) براساس محاسبه ماتریس کوواریانس پنجره تحلیل سرعت و مقادیر ویژه آن، توان تفکیک طیف سرعت را افزایش دادند. ساشی (۱۹۹۸) از الگوریتم خودراه‌انداز به منظور افزایش دقت و توان تفکیک در طیف سرعت استفاده کرد. روش‌ندل و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از تجزیه مقادیر تکین در پنجره تحلیل سرعت و ضرب نسبت مقدار ویژه اول به



شکل ۱. تاثیر تصحیح برون‌راند نرمال با سرعت‌های متفاوت.

مورد استفاده از نوع پنجره جعبه‌ای است.



شکل ۲. داده نقطه میانی مشترک مصنوعی دارای ۳۷ لایه با افزایش سرعت خطی.

در عمل می‌توان از هر نوع پنجره‌ای استفاده کرد. چنانچه از پنجره‌ای که دارای کاهش دامنه هموارتری در دو انتهای خود باشد، استفاده شود، اغلب نتایج بهتری به دست می‌آید. چنانچه این پنجره با $h[j]$ نشان داده شود، می‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه (۲) بازنویسی کرد.

$$S_c[i] = \frac{\sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \left(\sum_{k=0}^{N-1} q[j,k] \right)^2}{N \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] q[j,k]^2} \quad (2)$$

مقدار شباهت به دست آمده از رابطه (۲)، میزان برازش مسیر برون‌راند آزمایشی با مسیر برون‌راند واقعی سیگنال‌ها در داده را نشان می‌دهد. یک برازش مناسب، قله‌ای در طیف سرعت ایجاد می‌کند و برازش ضعیف نیز مقادیر نزدیک صفر شباهت را ایجاد می‌کند. چنانچه هیچ‌گونه نوفه‌ای وجود نداشته باشد و تغییر دامنه‌ای نیز مشاهده نشود، هنگامی شباهت بیشینه مقدار خود را خواهد داشت که با تغییر k مقدار $q[j,k]$ تغییر نکند. این مقدار بیشینه

در روش تحلیل سرعت بر مبنای شباهت، برای هر داده نقطه میانی مشترک منحصربه‌فرد، یک طیف سرعت به دست می‌آورند. طیف سرعت حاصل یک نمودار سرعت-زمان است. به عبارت دیگر، در این روش داده‌های هر داده نقطه میانی مشترک از حوزه مکان-زمان به حوزه سرعت-زمان انتقال می‌یابد.

اگر در تحلیل سرعت برای یک بازتابنده، سرعت واقعی در نظر گرفته شود، رویداد بازتابی هذلولی بعد از اعمال تصحیح برون‌راند نرمال در داده نقطه میانی مشترک به صورت رویداد بازتابی افقی تبدیل می‌شود. در صورت اختصاص سرعت کمتر از سرعت واقعی، رویداد بازتابی دچار بیش تصحیح خواهد شد و در حالتی که سرعت بیشتر از سرعت واقعی انتخاب شود، رویداد بازتابی دچار زیرتصحیح خواهد شد. این سه حالت در شکل ۱ نشان داده شده است. در شکل ۱-الف یک رویداد بازتابی با سرعت ۸۰۰ متر بر ثانیه نشان داده شده است. در شکل ۱-ب تا ۱-د به ترتیب پنجره‌های تحلیل سرعت برای سه سرعت ۷۹۰، ۸۰۰ و ۸۱۰ متر بر ثانیه نشان داده شده است. مشکل بیش تصحیح و زیرتصحیح در دو شکل ۱-ب و ۱-د به علت انتخاب نادرست سرعت مشاهده می‌شود.

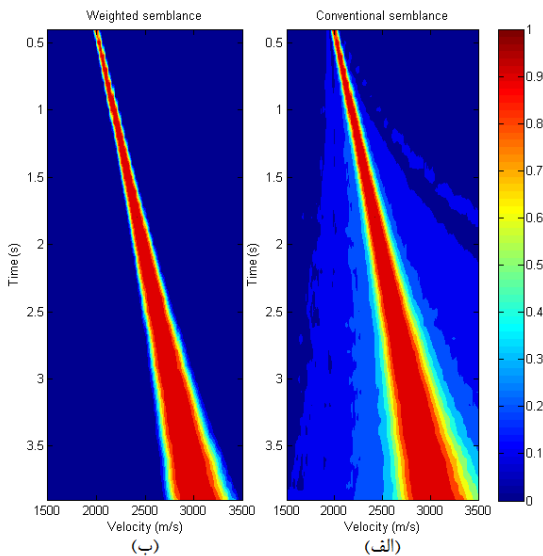
در روش تحلیل سرعت بر مبنای شباهت به ازای t_0 های متفاوت، عددی بدون بُعد با عنوان شباهت به سرعت‌ها نسبت داده می‌شود. نیدل و تانر (۱۹۷۱) نحوه محاسبه شباهت را به صورت رابطه (۱) معرفی کردند.

$$S_{NT} = \frac{\sum_{j=i-M}^{i+M} \left(\sum_{k=0}^{N-1} q[j,k] \right)^2}{N \sum_{j=i-M}^{i+M} q[j,k]^2} \quad (1)$$

که i و j اندیس‌های نمونه زمانی، k شماره ردلرزه، $q[j,k]$ دامنه ردلرزه در زمان j و ردلرزه شماره k ام از داده تصحیح برون‌راند بهنجار شده و M طول پنجره زمانی برای محاسبه شباهت است. در رابطه (۱) پنجره

شباهت وزنی نسبت به شباهت متداول در سرعت‌های نادرست می‌شود و در نهایت افزایش تفکیک و دقت طیف سرعت را به دنبال خواهد داشت. لذا تابع‌های وزنی بایستی به گونه‌ای محاسبه شوند که به تغییرات زمان برون‌راند نرمال به‌ازای هر سرعت برای دورافت‌های گوناگون حساس باشد. به عبارت دیگر تابع وزنی بایستی تابعی از دو متغیر زمان و دورافت باشد. رابطه تابع‌های وزنی را می‌توان با استفاده از بسط تیلور مرتبه اول رابطه برون‌راند نرمال حول ریشه دوم کندی واقعی به دست آورد (لیو و هیل، ۲۰۱۲).

$$t[j, k] = \sqrt{\tau[j]^2 + \tilde{\gamma}x[k]^2} + \frac{x[k]^2}{2\sqrt{\tau[j]^2 + \tilde{\gamma}x[k]^2}}(\gamma - \tilde{\gamma}), \quad (۸)$$



شکل ۳. طیف سرعت به دست آمده ناشی از تحلیل سرعت با روش (الف) شباهت متداول (ب) شباهت وزنی.

که $\tau[j]$ زمان دورافت صفر برای اندیس زمانی j و $x[k]$ دورافت ردلرزه شماره k است. γ کندی است که عکس سرعت (v) است و $\tilde{\gamma}$ نیز کندی واقعی یا عکس سرعت واقعی است. در واقع مقدار صحیح

شباهت برابر با یک است (لیو و هیل، ۲۰۱۲).

لیو و هیل (۲۰۱۲) به منظور به دست آوردن معیار شباهت وزنی، ابتدا شباهت متداول را با استفاده از روابط (۳) و (۴) به صورت رابطه (۵) بازنویسی کردند.

$$r[j] = \sum_{k=0}^{N-1} q[j, k], \quad (۳)$$

$$C_{rq}[i] = \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} r[j] q[j, k]$$

$$C_{rr}[i] = \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} r[j]^2 \quad (۴)$$

$$C_{qq}[i] = \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} q[j, k]^2,$$

$$S_c[i] = \frac{C_{rq}[i]^2}{C_{rr}[i]C_{qq}[i]}. \quad (۵)$$

شباهت وزنی با اضافه کردن وزن‌ها در رابطه (۴) به صورت رابطه (۶) و قرار دادن آنها در رابطه (۵) به صورت رابطه (۷) به دست می‌آید.

$$W_{rq}[i] = \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} W[j, k] r[j] q[j, k] \quad (۶)$$

$$W_{rr}[i] = \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} W[j, k] r[j]^2$$

$$W_{qq}[i] = \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} W[j, k] q[j, k]^2$$

$$S_w[i] = \frac{W_{rq}[i]^2}{W_{rr}[i]W_{qq}[i]}. \quad (۷)$$

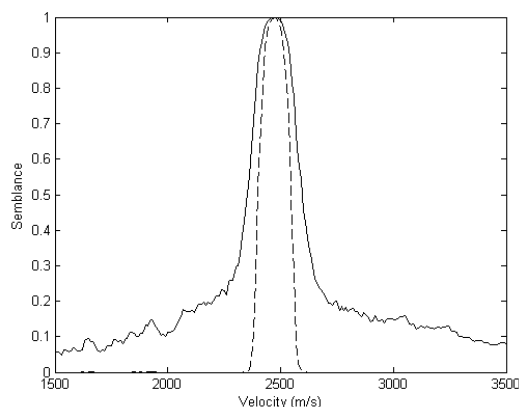
چنانچه همه وزن‌ها برابر یک در نظر گرفته شوند، رابطه (۷) دقیقاً معادل رابطه (۵) خواهد بود. هرگاه مقادیر $W[j, k]$ و $h[j]$ غیرمنفی باشند، مقدار $S_w[i]$ بین صفر و یک محدود می‌شود (لیو و هیل، ۲۰۱۲).

برای تعیین تابع‌های وزنی بایستی به دلیل استفاده از آنها توجه کرد. علت استفاده از تابع‌های وزنی $W[j, k]$ در روابط فوق، افزایش حساسیت معیار شباهت به سرعت است. این حساسیت بیشتر سبب کاهش بیشتر میزان

$$\begin{aligned} W_{rq}[i] &= (1-b)C_{rq}[i] + bB_{rq}[i] \\ W_{rr}[i] &= (1-b)C_{rr}[i] + bB_{rr}[i] \\ W_{qq}[i] &= (1-b)C_{qq}[i] + bB_{qq}[i] \end{aligned} \quad (14)$$

که $B_{rq}[i]$ ، $B_{rr}[i]$ و $B_{qq}[i]$ به صورت رابطه (۱۵) معرفی می‌شوند.

$$\begin{aligned} B_{rq}[i] &= \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} \frac{c[j]x[k]^2}{t[j,k]} r[j]q[j,k] \\ B_{rr}[i] &= \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} \frac{c[j]x[k]^2}{t[j,k]} r[j]^2 \\ B_{qq}[i] &= \sum_{j=i-M}^{i+M} h[i-j] \sum_{k=0}^{N-1} \frac{c[j]x[k]^2}{t[j,k]} q[j,k]^2, \end{aligned}$$



شکل ۴. خط توپُر مربوط به شباهت متداول و خطچین مربوط به شباهت وزنی است، هر دو مربوط به زمان ۲ ثانیه است. آفت دامنه در اطراف قله برای شباهت وزنی مشاهده می‌شود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، اگر $b=0$ در نظر گرفته شود، آن‌گاه معیار شباهت وزنی همان معیار شباهت متداول خواهد بود و اگر $b=1$ در نظر گرفته شود، بیشترین مقدار وزن برای بزرگ‌ترین دورآفت خواهد بود. با توجه به رابطه جدید شباهت وزنی می‌توان مشاهده کرد که شباهت وزنی تابعی از پارامتر b است و برای افزایش

برون‌راند نرمال را می‌توان به صورت رابطه (۹) نوشت.

$$\tilde{t}[j,k] = \sqrt{\tau[j]^2 + \tilde{\gamma}x[k]^2}. \quad (9)$$

با قرار دادن رابطه (۹) در رابطه (۸) می‌توان اختلاف برون‌راند واقعی با سرعت صحیحی را با برون‌راند غیرواقعی با سرعت ناصحیحی به صورت رابطه (۱۰) به دست آورد.

$$t[j,k] - \tilde{t}[j,k] = \frac{x[k]^2}{2\tilde{t}[j,k]}(\gamma - \tilde{\gamma}). \quad (10)$$

بنابراین، تغییر زمان برون‌راند نرمال ناشی از تغییر کوچک سرعت در ارتباط با مجذور دورآفت و معکوس زمان است. برای حساس کردن تابع‌های وزنی به سرعت صحیح و ناصحیح، می‌توان تابع‌های وزنی را به صورت رابطه‌ای مشابه رابطه (۱۰) به صورت رابطه (۱۱) تعریف کرد.

$$W[j,k] = a + b \frac{c[j]x[k]^2}{t[j,k]}, \quad (11)$$

که a و b پارامترهایی هستند که بایستی محاسبه شوند و پارامتر $c[j]$ نیز به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود تا پارامتر b بدون بُعد باشد.

$$c[j] = \tau[j]N / \left(\sum_{k=0}^{N-1} x[k]^2 \right). \quad (12)$$

مقادیر پارامترهای a و b به یکدیگر وابسته هستند و نحوه وزندهی دورآفت‌های دور را تعیین می‌کنند. این رابطه به صورت $a=1-b$ است (لیو و هیل، ۲۰۱۲). لذا می‌توان تابع‌های وزنی را به صورت رابطه (۱۳) نوشت.

$$W[j,k] = 1-b + b \frac{c[j]x[k]^2}{t[j,k]}. \quad (13)$$

با محدود کردن بازه تغییرات b بین صفر و یک، غیرمنفی شدن تابع‌های وزنی که از شروط اولیه شباهت وزنی بود، تضمین می‌شود. حال با قرار دادن رابطه (۱۳) در رابطه (۶) و با استفاده از رابطه (۴) می‌توان نوشت.

به صورت روابط (۱۷) و (۱۸) است.

$$b_1 = \frac{C_{rq}}{C_{rq} - B_{rq}}, \quad (17)$$

$$b_2 = \left(1 + \frac{2C_{rq}B_{rr}B_{qq} - B_{rq}A}{2B_{rq}C_{rr}C_{qq} - C_{rq}A} \right)^{-1}, \quad (18)$$

که $A = C_{rr}B_{qq} + C_{qq}B_{rr}$

از آنجا که هدف یافتن کمینه محلی است، بایستی از مشتق دوم شباهت وزنی نسبت به پارامتر b برای تعیین اینکه کدام یک از پاسخ‌های (۱۷) یا (۱۸) کمینه محلی هستند، استفاده کرد. با محاسبه مشتق دوم شباهت وزنی نسبت به پارامتر b برای مقادیر b_1 و b_2 می‌توان گفت که:

• b_1 کمینه محلی شباهت وزنی است اگر

$$(B_{rq}C_{qq} - B_{qq}C_{rq})(B_{rq}C_{rr} - B_{rr}C_{rq}) > 0$$

• b_2 کمینه محلی شباهت وزنی است اگر

$$(B_{rq}C_{qq} - B_{qq}C_{rq})(B_{rq}C_{rr} - B_{rr}C_{rq}) < 0$$

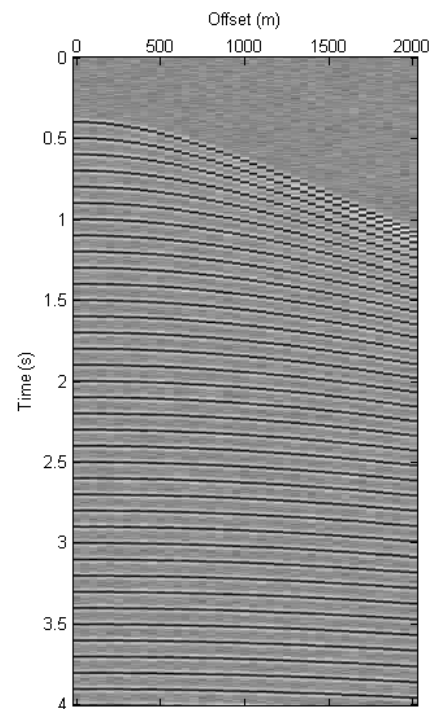
پس از محاسبه مقادیر b_1 و b_2 و انتخاب مقدار b با بررسی دو شرط فوق، چنانچه مقدار به دست آمده در محدوده $0 \leq b \leq 1$ قرار داشت از رابطه (۷) برای محاسبه میزان شباهت وزنی استفاده می‌شود و در صورتی که مقدار b خارج از محدوده پیش گفته باشد، مقدار شباهت وزنی برابر با کوچک‌ترین مقدار میان دو مقدار $S_W(b=0)$ و $S_W(b=1)$ انتخاب می‌شود.

۳ اعمال روش شباهت وزنی روی داده‌های لرزه‌ای

مصنوعی و واقعی

روش شباهت وزنی روی سه داده مصنوعی و یک داده واقعی اعمال شده است. این روش ابتدا روی یک داده مصنوعی بدون نوفه و سپس با افزودن نوفه تصادفی آزمایش شد.

تفکیک طیف سرعت حاصل از شباهت وزنی، باید مقدار b را تعیین کرد. برای این منظور باید مقدار شباهت وزنی را نسبت به مقدار b و با شرط محدود بودن مقدار آن ($0 \leq b \leq 1$) کمینه کرد. برای اثبات این موضوع باید توجه داشت که هنگامی که سرعت صحیح در تحلیل سرعت انتخاب شود، همه رویدادهای بازتابی کاملاً به خط می‌شوند و با تغییر اندیس k دیگر مقدار $q[j, k]$



شکل ۵. داده نقطه میانی مشترک مصنوعی با نسبت سیگنال به نوفه ۴۰ دسی‌بل.

تغییر نمی‌کند و مقدار شباهت در این حالت بیشینه مقدار $(S_W[i]=1)$ است. تابع وزنی تأثیری بر قله طیف سرعت بر مبنای شباهت وزنی ندارد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با کمینه شدن شباهت وزنی نسبت به پارامتر b ، تفکیک طیف سرعت افزایش یابد. برای کمینه کردن شباهت وزنی نسبت به b می‌توان نوشت.

$$dS_W/db = 0. \quad (16)$$

پاسخ‌هایی که برای حل رابطه (۱۶) به دست می‌آید

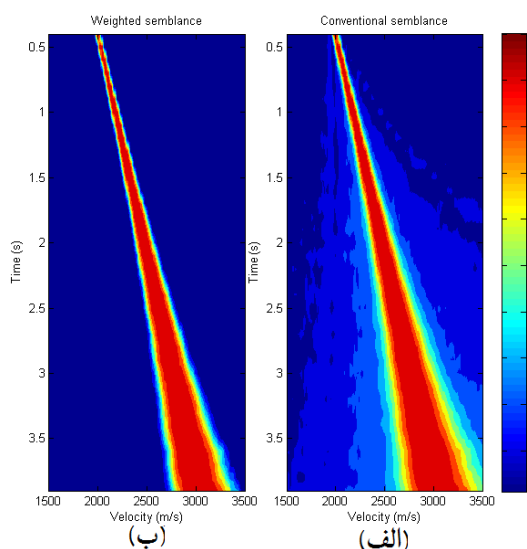
مجموعه‌ای از بازتاب‌های اولیه مصنوعی با افزایش خطی سرعت است. سرعت از ۲۰۰۰ متر بر ثانیه در دورآفت صفر در زمان ۰/۴ ثانیه به ۳۰۸۰ متر بر ثانیه در زمان ۴ ثانیه افزایش پیدا می‌کند، قابل ذکر است که گام افزایش سرعت ۳۰ متر بر ثانیه است. در

شکل ۲ یک داده نقطه‌میان‌ی مشترک در یک زمین ۳۷ لایه‌ای نشان داده شده است. به ترتیب شباهت متداول و شباهت وزنی داده نقطه‌میان‌ی مشترک نشان داده شده در شکل ۲، در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شباهت متداول می‌توان گفت که یکی از مشکلات شباهت در برآورد سرعت، پهن‌شدگی شباهت در اعماق است که در شباهت وزنی این پهن‌شدگی کاهش چشمگیری دارد و این تفاوت با افزایش عمق نمایان‌تر می‌شود (شکل ۳). شکل ۴ مقادیر شباهت متداول و وزنی برای اولین داده نقطه‌میان‌ی مشترک در زمان ۲ ثانیه را تصویر می‌کند. در شکل ۴ می‌بینیم که کمینه کردن شباهت، مقدار شباهت را در سرعت‌های دور از قله کاهش می‌دهد. در نتیجه، قله شباهت وزنی از قله شباهت متداول تیزتر است.

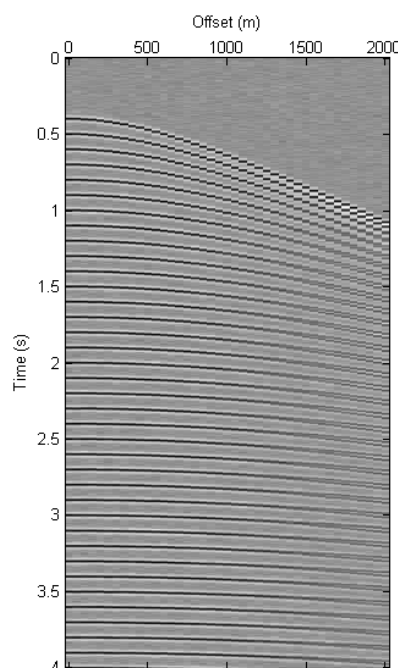
برای نشان دادن کارایی روش پیش‌گفته در مقاطع لرزه‌ای مصنوعی همراه با نوفه، از نسبت سیگنال به نوفه رابطه (۱۹) استفاده شده است (پروکیس و مانولاکیس، ۲۰۰۷). در این رابطه، منظور از سیگنال، همان مقطع لرزه‌ای بدون نوفه است و نوفه موجود در مخرج رابطه از تفاضل میان مقطع نوفه‌دار شده با مقطع بدون نوفه است.

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{energy of signal}}{\text{energy of noise}} \right), \quad (19)$$

داده مصنوعی مرحله قبل با نوفه‌ای تصادفی به نسبت سیگنال به نوفه ۴۰ دسی‌بل آغشته شده است (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، افزایش کیفیت و توانایی تفکیک بازتاب‌ها در شباهت وزنی نسبت به



شکل ۶. طیف سرعت به‌دست آمده ناشی از تحلیل سرعت با روش (الف) شباهت متداول (ب) شباهت وزنی.

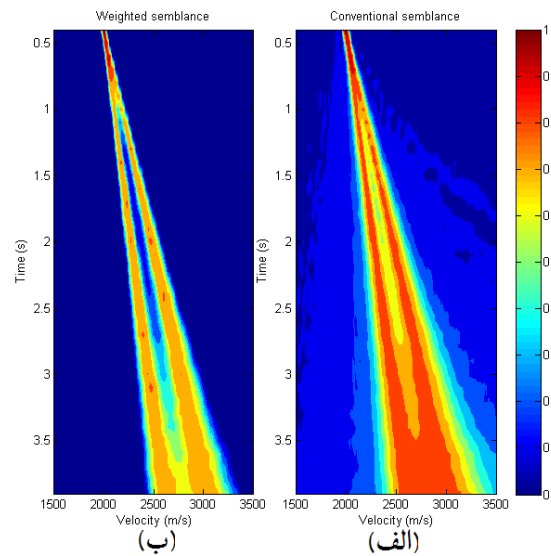


شکل ۷. داده نقطه‌میان‌ی مشترک مصنوعی چندگانه همراه نوفه.

در مرحله بعد، چندگانه به داده دارای نوفه افزوده شد تا توانایی این روش در جداسازی چندگانه‌ها نیز آزمایش شود و در پایان شباهت وزنی روی یک داده واقعی از جنوب ایران اعمال شد. حال داده‌ها و نتایج را با جزئیات عنوان می‌کنیم. اولین داده نقطه‌میان‌ی مشترک شامل

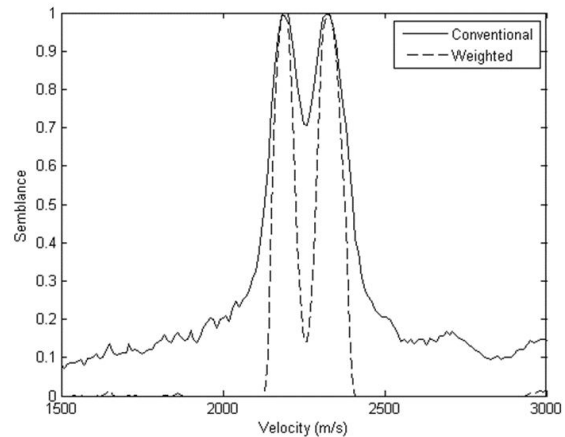
متداول، قابل توجه است.

متر بر ثانیه در زمان ۴ ثانیه افزایش پیدا می‌کند، که گام افزایش سرعت ۱۸ متر بر ثانیه برای هر لایه است، در شکل ۷ این داده نقطه میانی مشترک مشاهده می‌شود. به ترتیب شباهت متداول و شباهت وزنی داده نقطه میانی مشترک در شکل ۸ نشان داده شده است. برای بررسی بهتر عملکرد شباهت وزنی، نمودارهای سرعت در دو زمان ۱/۵ و ۳/۷ ثانیه در شکل ۹ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. در شکل ۹ روش شباهت وزنی دامنه‌های اطراف قله‌ها را کاهش داده است، اما در دو روش قله‌ها قابل تشخیص است. اما زمان ۳/۷ ثانیه به علت پهن‌شدگی شباهت در عمق انتخاب شد. همان‌طور که در شکل ۱۰ قابل مشاهده است، روش شباهت متداول، قله‌ها را از یکدیگر تفکیک نکرده است، اما روش شباهت وزنی با کاهش دامنه در اطراف قله‌ها، دو قله را از یکدیگر تفکیک کرده است.



شکل ۸. (الف) شباهت متداول (ب) شباهت وزنی: شباهت وزنی در جداسازی رخدادها با سرعت نزدیک به یکدیگر تواناتر است.

شباهت متداول و شباهت وزنی روی داده‌ای از غرب ایران اعمال شده است. آهنگ نمونه‌برداری زمانی ۴ میلی‌ثانیه و زمان داده لرزه‌ای ۶ ثانیه است. در شکل ۱۱ داده لرزه‌ای قابل مشاهده است. در شکل ۱۲ شباهت متداول و وزنی مقایسه شده است. از مزیت‌های شباهت وزنی جداسازی در بُعد سرعت است. برای بررسی جداسازی پدیده‌های با سرعت نزدیک، در زمان ۲/۴۵ ثانیه دو نمودار شباهت‌ها رسم شده است (شکل ۱۳). در شکل ۱۳ دو پدیده، با شباهت متداول تفکیک‌پذیر نیستند، اما با شباهت وزنی این دو پدیده جدا از یکدیگر مشاهده می‌شوند. نمودار دیگری که رسم شده است مربوط به زمان ۵/۲۵ ثانیه است که این نمودار برای بررسی اثرگذاری روش شباهت وزنی در عمق، رسم شده است (شکل ۱۴). در شکل ۱۴ یک پدیده قابل مشاهده است که در نمودار شباهت متداول با پهن‌شدگی دیده می‌شود، اما در نمودار مربوط به شباهت وزنی این پدیده بسیار باریک‌تر به چشم می‌رسد.

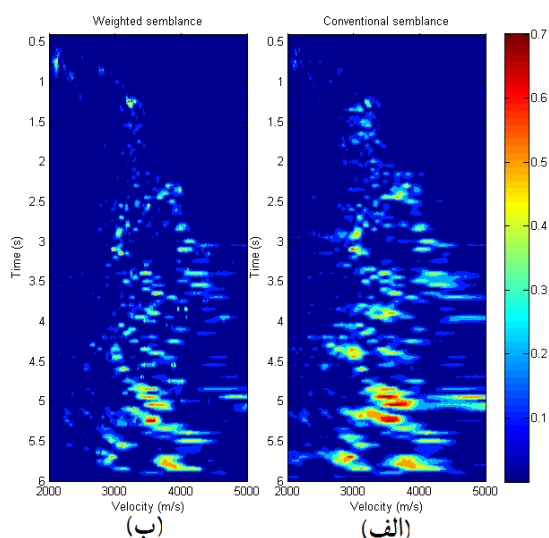


شکل ۹. خط توپُر مربوط به شباهت متداول و خط‌چین مربوط به شباهت وزنی است، هر دو مربوط به زمان ۱/۵ ثانیه است. شباهت وزنی در کاهش دامنه در اطراف قله‌ها موثرتر عمل کرده است.

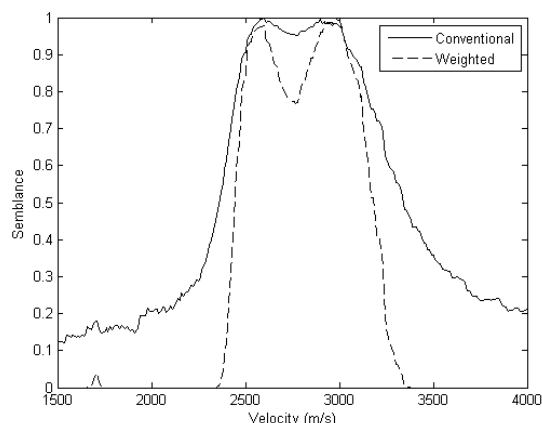
یک مجموعه دوم از بازتاب‌ها را به داده نقطه میانی مشترک اضافه می‌کنیم تا توانایی شباهت وزنی در برابر چندگانه‌ها را برآورد کنیم. در مجموعه دوم بازتاب‌ها سرعت‌های برون‌راند نرمال به‌طور خطی از ۲۰۰۰ متر بر ثانیه در دورافت صفر در زمان ۰/۴ ثانیه به سرعت ۲۶۵۰

۴ نتیجه‌گیری

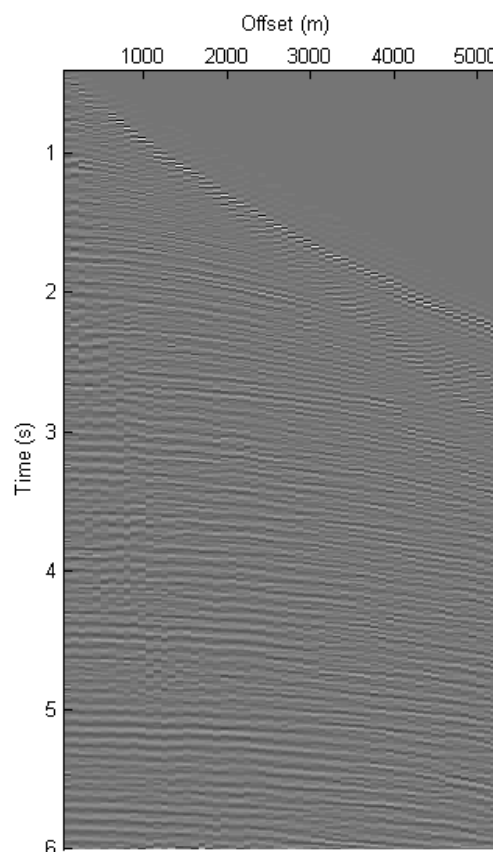
در این مقاله با معرفی الگوریتم شباهت وزنی، سعی بر آن بود تا کیفیت طیف سرعت افزایش یابد. این الگوریتم نیاز به پیاده‌سازی تغییرات کوچکی در شباهت متداول دارد. تابع وزنی از بسط مرتبه اول سری تیلور در رابطه حرکت هذلولی در یک بازه سرعت قابل قبول به دست می‌آید. این الگوریتم با کاهش اثرگذاری نقاط اطراف بیشینه‌ها، کیفیت طیف سرعت را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از اعمال الگوریتم روی داده‌های لرزه‌ای نقطه میانی مشترک مصنوعی و واقعی تفکیک زیاد طیف سرعت را در این روش نسبت به طیف سرعت حاصل از شباهت متداول نشان می‌دهد. این تفکیک پذیری با افزایش عمق نمایان‌تر است. از مزیت‌های عمده روش شباهت وزنی، وابستگی نداشتن آن به نوع رابطه مورد استفاده در تصحیح برون‌راند نرمال است، زیرا شباهت وزنی بعد از تصحیح برون‌راند نرمال محاسبه شده است. می‌توان از هر رابطه برون‌راند نرمالی چه هذلولی و چه غیرهذلولی برای تصحیح داده‌ها استفاده کرد. این روش توانایی افزایش کیفیت را برای هر مورد دیگر نیز دارد.



شکل ۱۲. (الف) شباهت متداول (ب) شباهت وزنی: جمع‌شدگی سرعت‌ها در شباهت وزنی قابل مشاهده است. این تفاوت در عمق بیشتر است.



شکل ۱۰. خط توپُر مربوط به شباهت متداول و خط‌چین مربوط به شباهت وزنی است، هر دو مربوط به زمان ۳/۷ ثانیه است. در شباهت متداول قله‌ها تفکیک نشده است اما شباهت وزنی دو قله را تفکیک شده نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. داده نقطه میانی مشترک واقعی.

منابع

روشندل کاهو، الف.، سیاه‌کوهی، ح.، و ذبیحی نائینی، الف.، ۱۳۸۷، بهبود کیفیت تحلیل سرعت با استفاده از تجزیه مقادیر تکین: سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ایران.

Biondi, B. L., and Kostov, C., 1989, High-resolution velocity spectra using eigen structure methods: *Geophysics*, **54**(7), 832–842.

Hale, D., 2009, Structure-oriented smoothing and semblance, Technical Report CWP-635, Center for Wave Phenomena: Colorado School of Mine.

Key, S. C., and Smithson S. B., 1990, New approach to seismic-reflection event detection and velocity determination: *Geophysics*, **55**(8), 1057–1069.

Luo, S., and Hale, D., 2012, Velocity analysis using weighted semblance: *Geophysics*, **77**(2), U15-U22.

Neidell, N., and Taner, M. T., 1971, Semblance and other coherency measures for multichannel data: *Geophysics*, **36**(3), 482–497.

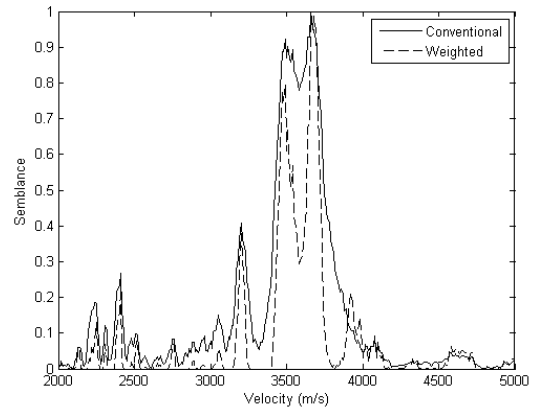
Proakis, J. G., and Manolakis, D. G., 2007, Digital signal processing, principles, algorithms, and applications: Pearson Prentice Hall.

Sacchi, M. D., 1998, A bootstrap procedure for high-resolution velocity Analysis: *Geophysics*, **63**(5), 1716–1725.

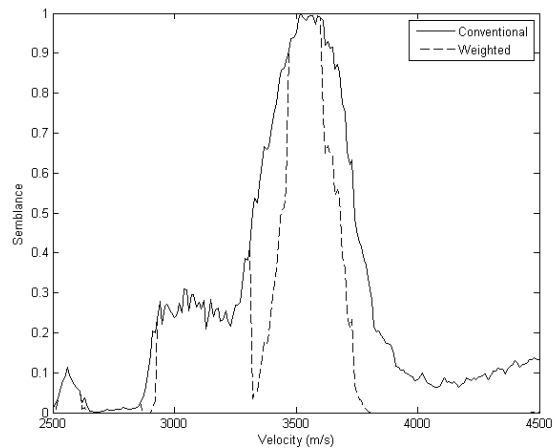
Sheriff, R. E., and Geldart, L. P., 1995, Exploration seismology, 2th Ed.: Cambridge University Press.

Taner, M. T., and Koehler, F., 1969, Velocity spectra, digital computer derivation and application of velocity functions: *Geophysics*, **34**(6), 859–881.

Yilmaz, O., 2001, Seismic data analysis: processing, inversion, and interpretation of seismic data, 2th Ed., SEG.



شکل ۱۳: خط توپُر مربوط به شباهت متداول و خطچین مربوط به شباهت وزنی است، هردو مربوط به زمان ۲/۴۵ ثانیه است. دو پدیده به علت نزدیکی سرعت‌هایش در شباهت متداول به خوبی تفکیک نشده‌اند اما در شباهت وزنی، جدا از یکدیگر قابل شناسایی هستند.



شکل ۱۴: خط توپُر مربوط به شباهت متداول و خطچین مربوط به شباهت وزنی است، هردو مربوط به زمان ۵/۲۵ ثانیه است. در عمق، مشکل شباهت متداول پهن‌شدگی است که شباهت وزنی این پهن‌شدگی را کاهش داده است.