

کاربرد تبدیل موجک گسسته *à trous* در تشخیص لایه های نازک

مریم سلاجقه^۱، علیرضا گودرزی^{۲*} و مجید نعمتی^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد؛ دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲- دانشیار؛ دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران
۳- دانشیار، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۰۷؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷

* نویسنده مسئول مکاتبات: Goudarzi.kgut@gmail.com

چکیده

در اکتشافات هیدروکربنی تشخیص لایه های نازک یکی از مهم ترین بخش های تفسیر ژئوفیزیکی است. به دلیل انبساط موجک تولید شده لرزه ای که ناشی از اثر تضعیف فرکانس های بالا در زمین است؛ داده های دریافتی از افق هایی که فاصله آن ها کمتر از طول موج ارسالی است، دچار تداخل شده و به صورت یکپارچه در مقاطع دیده می شود؛ به نحوی که این داده ها نشانگر یک لایه خواهد بود. استفاده از حوزه تبدیل موجک گسسته *à trous* برای تشخیص لایه های نازک در داده های استحصالی از میدان های نفتی، برای اولین مقیاس بالاگذر در این حوزه، به دلیل عدم نوفه امکان پذیر است. در این مقاله در داده واقعی جهت اعتبارسنجی، استفاده از نشانگرهای لحظه ای در حوزه تبدیل موجک گسسته *à trous* برای تشخیص لایه های نازک در مقاطع لرزه ای بررسی شده است. شیوه کار بدین صورت است که ابتدا داده ها به صورت یک بعدی و رد لرزه به رد لرزه توسط تبدیل موجک گسسته *à trous* تجزیه می گردد. به دلیل آن که داده ها در هر مقیاس توسط موجک خاصی مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند، به نوعی رویدادها پالایه شده و در واقع مقادیر هم سنجی شده با موجک مادر در هر مقیاس محاسبه می شود. پس از اعمال مرحله تجزیه در مقیاس های بالاگذر رویدادها با فرکانس بالاتر باقی می ماند و همین مساله می تواند به تشخیص لایه های نازک کمک شایان توجهی کند. نتایج این مرحله مبین آن است که اعمال روش مذکور بر داده های مصنوعی و داده های واقعی می تواند به بهبود قابل توجهی در جدایش رویدادها از یکدیگر منجر شود. برای برجسته سازی نتایج در داده واقعی از نشانگرهای متداول لرزه ای نیز بهره گرفته شده است.

واژگان کلیدی

نشانگر لحظه ای
تبدیل موجک گسسته *à trous*
لایه نازک
اثر تیونینگ
مقطع لرزه ای

۱- مقدمه

ثابت شده است که تجزیه طیفی یک روش مؤثر برای تحلیل سیگنال لرزه‌ای در اکتشاف نفت است. این روش سیگنال لرزه‌ای را به تعداد گسسته‌ای از زیرمجموعه‌های سیگنال تجزیه می‌کند که هر یک مربوط به دامنه و فاز برای یک باند فرکانسی باریک است. این باندهای باریک نشان‌دهنده قدرت بازتاب لرزه‌ای در فرکانس مشخصه برای افق‌های مختلف است (Marfurt and Kirlin, 2001; Partyka et al., 1999). تجزیه طیفی در آشکارسازی مستقیم هیدروکربن‌ها، تجزیه و تحلیل میرایی لرزه‌ای، شناسایی کانال و برآورد ضخامت لایه‌های نازک اعمال شده است (Castagn et al., 2003; Liu and Marfurt, 2007; Quan and Harris, 1997).

اگر چه اخیراً پیشرفت‌هایی در بهبود وضوح در الگوریتم‌های تجزیه طیفی صورت گرفته است (Baraniuk et al., 2001; Yuan et al., 2017). با این حال، همان‌طور که اصل عدم قطعیت هایزنبرگ نشان می‌دهد، همواره محدودیتی در امکان بهبود وضوح زمان و فرکانس به‌طور هم‌زمان وجود دارد (Cohe., 1989; Zhou et al., 2019). قانع عزآبادی و جواهریان (۱۳۹۱) کاربرد تحلیل طیفی لحظه‌ای در شناسایی سایه‌های فرکانس پایین با استفاده از تبدیل موجک پیوسته را معرفی کردند. گودرزی و ملائی (۱۳۹۷) با استفاده از تبدیل هیلبرت و تبدیل موجک گسسته مختلط نسبت به بهبود توان تفکیک داده‌های لرزه‌ای اقدام نمودند. روشندل کاهو و غلتاشی (۲۰۱۵) توان تفکیک زمانی را با استفاده از تبدیل زمان-فرکانس لگاریتمی بهبود بخشیدند.

در دو دهه گذشته به صورت گسترده از تبدیل موجک برای آنالیز پدیده‌های غیر ایستا به‌صورت یک‌بعدی و دوبعدی در شاخه‌های علوم مختلف استفاده شده است. تبدیل موجک یک تبدیل نسبتاً جدید است؛ اما برخی از ایده‌های این روش تاریخچه بسیار طولانی دارد. با معرفی تبدیل موجک درهای جدیدی به روی آنالیز سیگنال‌ها گشوده شد. قابلیت در نشان دادن سیگنال در تفکیک‌پذیری‌های متفاوت از مهم‌ترین توانایی‌های تبدیل موجک است. تبدیل موجک دارای کاربردهای فراوانی در علوم مختلف است. کاربردهای اصلی این روش به‌طور کلی شامل شناسایی نقاط ناپیوستگی، شناسایی فرکانس خالص سیگنال، حذف نوفه از سیگنال و... است.

به دلیل گستردگی تبدیل موجک در صنعت نفت برخی از کاربردهای آن عبارتند از:

۱- استفاده از تبدیل موجک در شناسایی هیدروکربن‌ها

۲- استفاده از تئوری موجک در مشخص‌سازی سنگ منشأ

۳- تخمین خواص مخزن با کمک آنالیز موجک و غیره

مشکل لایه‌های نازک برای ده‌ها سال مورد بررسی قرار گرفته است. به طور معمول، یک‌لایه منفرد با ضخامت کمتر از یک‌چهارم طول موج به‌عنوان یک‌لایه نازک در لرزه‌شناسی تعریف می‌شود (Widess, 1973; Lu and Wang, 2011). یانگ و همکاران (۲۰۱۹) یک تقریب از

لایه‌نازک برای موج *PP* پیشنهاد دادند و نسبت امپدانس و ضخامت امواج *P* (موج فشاری) را تخمین زدند. برخی روش‌های تشخیص لایه‌های نازک وجود دارد که عبارت‌اند از:

۱- تجزیه طیفی

۲- کاربرد تبدیل موجک پیوسته در تشخیص لایه‌های نازک

۳- تبدیل فوریه زمان کوتاه بر مبنای تنکی و کاربردهای آن در تشخیص لایه‌های نازک

۴- روش تعقیب تطابق که افزایش قابلیت تطابق تبدیل زمان - بسامد در تجزیه طیفی نقش مؤثری در تفکیک لایه‌های نازک دارد و...

۲- روش‌شناسی

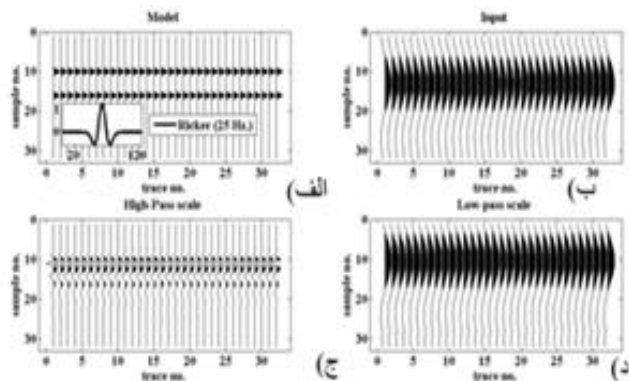
برای محاسبه *À TROUS DWT*، پالایه‌های بالاگذر و پایین‌گذر بر ورودی در هر مرحله از تجزیه اعمال می‌شوند. در این روش هیچ کاهشی صورت نمی‌گیرد؛ بنابراین در هر مرحله از تجزیه طول سیگنال برابر ورودی است. در هر مرحله به‌جای کاهش فرایند صفر گذاری صورت می‌گیرد.

پیاده‌سازی الگوریتم *À TROUS DWT* نیازمند تعریف چند پارامتر آتی است: اگر موجک‌های مورد استفاده در این الگوریتم $(\phi, \psi, \hat{\phi}, \hat{\psi})$ باشند آنگاه این موجک‌ها با استفاده از فیلترهای $(h, g, \hat{h}, \hat{g})$ طراحی می‌شوند. در این روش الگوریتم مذکور می‌تواند به صورت کارآمدی سیگنال ورودی f_0 را به زیر مجموعه‌های $\{\beta_1, \dots, \beta_J, f_J\}$ تجزیه نماید؛ به نحوی که ترکیب آنها شرط بازسازی کامل را ارضا کند. در این نمایش β_j ($j \in \{1, 2, \dots, J\}$) نمایانگر ضرایب موجک در مقیاس j و f_J معرف ضرایب موجک می‌باشد (Yang et al., 2019):

$$\begin{aligned} f_{j+1}[m] &= (\bar{h}^{(j)} * f_j)[m] = \sum_n h[n] f_j[m + 2^j n] \quad (1) \\ \beta_{j+1}[m] &= (\bar{g}^{(j)} * f_j)[m] = \sum_n g[n] f_j[m + 2^j n] \\ f_j[l] &= (\hat{h}^{(j)} * f_{j+1})[m] + (\hat{g}^{(j)} * \beta_{j+1})[m] \quad (2) \end{aligned}$$

مهم‌ترین دستاورد این نگرش به تبدیل موجک مرتبط با این مساله مهم است. اساساً تمامی نتایج این حوزه زمانی در ژئوفیزیک مورد قبول قرار گرفته‌اند و فرایند وارون موجک بر ضرایب فیلتر شده پیاده شده است. الگوریتم *À TROUS* قابلیت را ارائه می‌دهد که بتوان به داده‌هایی که در حوزه موجک پیاده شده‌اند، به نوعی دیدگاه عملیاتی داشت. یعنی آن که ضرایب موجک می‌تواند نماینده اصل سیگنال باشند و این توانمندی را به کاربر می‌دهند که همه فیلترها را در این حوزه اعمال نماید و نتایج آن قابل تعمیم به حوزه زمان باشد. در واقع این مقاله این دستاورد را بررسی می‌کند که صرفاً بخش تجزیه سیگنال در حوزه موجک گسسته با این رویکرد، جایگزین مناسبی برای آنالیز مقاطع لرزه‌ای است. همین‌طور که از روابط (۱ و ۲) برمی‌آید، هر مقیاس دقیقاً تصویری باند گذر از داده‌های حوزه زمان است؛ تنها مساله‌ای که باید مطرح و حل شود این است که

مدل مصنوعی اول شامل سه لایه با چگالی یکسان و سرعت‌های ۹۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۳۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است (شکل ۱-الف). داده مصنوعی حاصل هم‌امیخت موجک ریکر با فرکانس مرکز ۲۵ هرتز است (شکل ۱-ب). همان‌طور که از شکل ۱-ب برمی‌آید به دلیل ضخامت بسیار کم لایه دوم رویدادهای ایجاد شده به صورت یک رویداد در مقطع لرزه‌ای به نمایش درآمده است.



شکل ۱- (الف) مدل داده مصنوعی، (ب) داده مصنوعی، (ج) اولین مقیاس بالاگذر موجک، (د) اولین مقیاس پایین گذر موجک

از این رو با استفاده از تبدیل موجک گسسته $\hat{a}$ trous که در هر مقیاس طول سیگنال با طول نمونه‌های داده اولیه یکسان است، داده ایجاد شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. به صورت کلی هر مقیاس از تبدیل موجک گسسته به نوعی داده پالایه شده است. از آنجا که طول هر یک از مقیاس‌ها با داده ورودی برابر است. بنابراین در این نوع خاص از تبدیل موجک گسسته با بحث کاهش طول مقیاس‌ها مواجه نیست و می‌توان مقیاس‌های با فرکانس بالا را به نوعی زیرباند‌های داده ورودی در نظر گرفت؛ که بر اساس انتخاب نوع موجک مادر می‌تواند تفکیک ویژه‌ای را ارائه دهد. از این رو بالاترین فرکانس در مقیاس زیر باند بالاگذر در شکل ۱-ج نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، منطبق بر مدل ورودی، دولایه مدنظر که در شکل ۱-ب به صورت یکسان نمایش داده شده؛ تفکیک می‌شود. برای بررسی زیرباند‌های پایین گذر که مربوط به باند فرکانس پایین داده‌های ورودی است، شکل ۱-د ارائه شده است. به تبع آن هیچ تفاوت خاصی با داده‌های ورودی ندارد. پس استفاده از مقیاس‌های بالاگذر با توجه به محتوای فرکانسی بالاتر به منظور آنالیز داده‌های مرتبط با لایه‌های نازک انتخاب می‌شود.

پس از حصول این نتیجه که مقیاس پایین گذر نمی‌تواند اطلاعات قابل توجهی را ارائه دهد. از این رو برای داده مصنوعی نوع دوم ضخامت مدل گوه از صفر تا حد اکثر ۸۴ متر است؛ که بر اساس موجک با ۲۵ هرتز ضخامت تیونینگ معادل ۲۱ متر خواهد شد. شیب لایه بالایی ۱ درجه و لایه پایین ۲ درجه در نظر گرفته شد و سرعت لایه‌ها به ترتیب ۲۰۰، ۲۱۰۰ و ۲۲۰۰ متر تعیین گردید (شکل ۲-الف) و تنها فرایند تجزیه در حوزه موجک بر مقیاس بالا گذر انجام می‌شود (شکل ۲-ب). نتایج حاصل این تحلیل بر مدل گوه به صورت بصری قابل رویت نیست. از این

کدام موجک می‌تواند ضرایب سیگنال را در حوزه موجک به گونه‌ای ارائه دهد که بیشترین تقارن بین داده‌های این حوزه و حوزه موجک ایجاد شود؛ اما تفاوت این نگرش با روش‌های مرسوم آنالیز داده‌ها در چیست؟ همان‌طور که در بخش معرفی مطرح شده، روش‌های بر پایه تبدیل موجک پیوسته دیر زمانی است که در این زمینه استفاده می‌شود؛ اما از منظر عملیاتی صرفاً به عنوان یک حوزه نمایش قابل اتکا به آن نگاه می‌شود. حال آن که الگوریتم $\hat{A}$ TROUS یک جایگزین مناسب با رویکردی عملیاتی است؛ به نحوی که سایر اپراتورهای ژئوفیزیکی و لرزه‌ای قابلیت پیاده‌سازی بر بخشی از داده‌ها را که در حوزه موجک تجزیه شده‌اند، خواهد داشت. برای اثبات این مساله یکی از مسائل مهم در لرزه‌شناسی اکتشافی به‌ویژه در بخش تفسیر داده‌ها شامل تشخیص لایه‌های نازک به بحث گذاشته خواهد شد. ضروری است توجه شود که روی داده‌های استفاده شده در این مقاله، پیش از این مقالات دیگری با روش‌های دیگر به چاپ رسیده است. از آن جمله مقاله پاک‌منش و همکاران (۱۳۹۷)، که می‌تواند گواه این مساله باشد که آیا اثرات جانبی تجزیه موجک در حصول نتایج اثرگذار است یا خیر؟ بعد دیگر که برای راستی‌آزمایی این ادعا مدنظر قرار گرفت استفاده از نشانگرهای لحظه‌ای در حوزه موجک است.

۳- زمین‌شناسی

در اینجا به بررسی زمین‌شناسی میدان نفتی ابودر (اردشیر سابق) می‌پردازیم. این میدان در شمال غرب خلیج فارس و در فاصله ۷۵ کیلومتری جنوب غربی جزیره خارک قرار گرفته است و در حال حاضر تولید روزانه آن با ۸۹ حلقه چاه در حدود ۱۸۵۰۰۰ بشکه نفت است.

ساختار زمین‌شناسی میدان نفتی ابودر ناشی از برهم‌نهی چین‌خوردگی شمال غرب - جنوب شرق کوه‌زایی زاگرس در اواخر دوره ترشیاری و چین‌خوردگی‌های قدیمی‌تر با روند شمالی-جنوبی در منطقه است. افق اصلی تولیدکننده نفت در این میدان مخزن ماسه‌سنگی است که تا ضخامت صد متر می‌رسد با سن الیگومیوسن و از ماسه‌سنگ غیر متراکم شیل و دولومیت تشکیل شده است که به صورت طاق‌دیس است.

سازند آسماری در میدان ابودر از سه بخش شامل کربنات‌های آسماری تحتانی ماسه‌سنگ غار و کربنات‌های آسماری فوقانی تشکیل شده است. ماسه‌سنگ غار معادل ماسه‌سنگ اهواز است. به نظر می‌رسد مخلوطی از ماسه‌سنگ‌های حاصل از فرسایش سپر آذرین حجاز و ماسه‌سنگ‌های دگرگونی با جور شدگی کم طی سکانس پیشروی-پسروی الیگومیوسن در یک محیط پراورزی نزدیک به ساحل رسوب‌گذاری و افق ماسه‌سنگی غار را بوجود آورده‌اند و نهایتاً طاق‌دیس ابودر طی حرکات کوه‌زایی اواخر ترشیاری با روند شمال غربی - جنوب شرقی ایجاد شد.

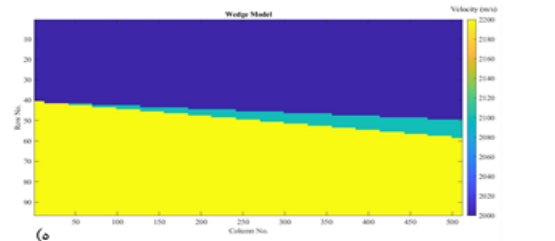
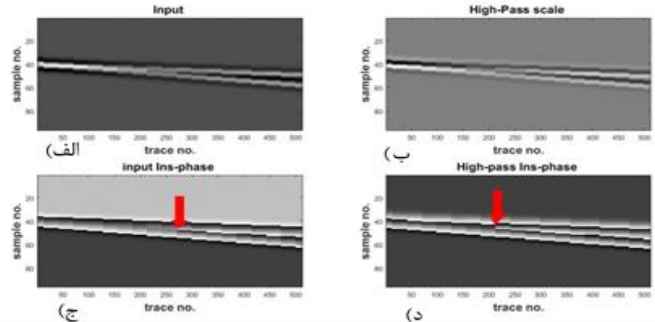
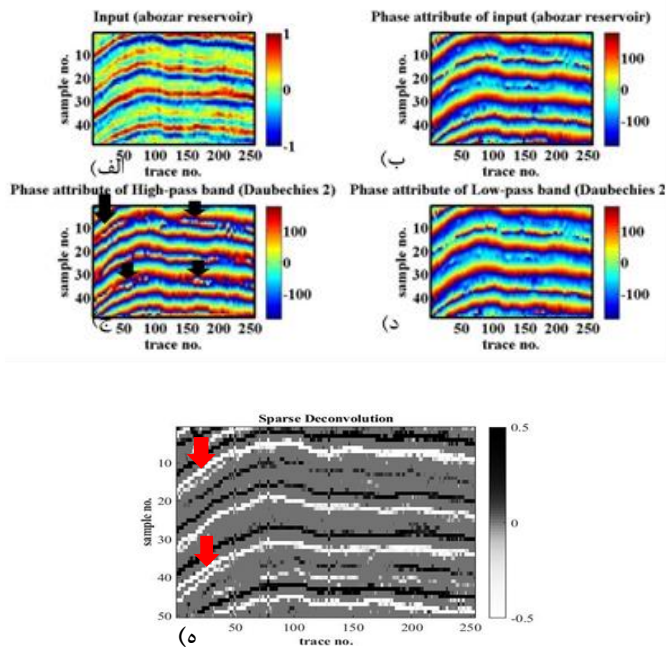
۴- اعمال روش

۴-۱. داده مصنوعی

سلاجقه و همکاران، کاربرد تبدیل موجک گسسته *à trous* در تشخیص لایه‌های نازک، صفحات ۱۳۵-۱۴۲.

می‌دهد.

رو با استفاده از نشانگر فاز لحظه ای سعی در آشکارسازی برتری هاست. شکل ۲-ج و شکل ۲-د طیف فاز ورودی و اولین مقیاس بالا گذر را ارائه می‌دهد. همان طور که در شکل های مذکور مشاهده می‌شود، پیکان قرمز رنگ مبین برتری حوزه موجک در تفکیک رویدادهای نزدیک به هم است. در این داده تفکیک پذیری رویدادها از ردلرزه شماره ۲۷۰ با ضخامت ۳۳/۶ متر به رد لرزه ۲۱۲ با ضخامت ۱۶/۸ متر افزایش پیدا کرد.



شکل ۱- (الف) داده مصنوعی، (ب) اولین مقیاس بالاگذر موجک، (ج) طیف فاز لحظه ای داده ورودی، (د) طیف فاز لحظه ای اولین مقیاس بالا گذر موجک، (ه) مدل .

۴-۲. داده واقعی

پس از حصول نتایج داده‌های مصنوعی اعمال روش را بر یکی از داده‌های مرتبط با مخازن نفتی جنوب غرب کشور انجام می‌دهیم. فاصله رد لرزه‌ها ۱۰ متر و فاصله نمونه‌برداری ۴ میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است. روش کار این گونه است که ابتدا داده‌های ورودی وارد حوزه تبدیل موجک گسسته *à trous* شده؛ سپس نشانگرهای فاز لحظه‌ای، فرکانس لحظه‌ای و دامنه لحظه‌ای بر آن‌ها اعمال شده است. برای بررسی و امتحان نوع موجک در این بخش از دو موجک دابیچی ۲ و ۲۰ استفاده شده؛ تا کارآمدی موجک‌های با طول بلند و طول کوتاه را مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۲-۱. موجک دابیچی ۲

ابتدا نتایج مرتبط با اعمال موجک دابیچی ۲ بر داده مدنظر ارائه می‌شود؛ که به ترتیب نشانگرهای مذکور هم بر داده ورودی و مقیاس‌های پایین گذر و بالاگذر حوزه موجک اعمال شده است. باتوجه به شکل ۳ که نتایج حاصل از تجزیه داده‌های مدنظر در آن ارائه شده، مشاهده می‌شود نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل طیف فاز لحظه‌ای اطلاعات ارزشمندی را ارائه

شکل ۲- طیف فاز لحظه‌ای داده مربوط به میدان ابوزر (الف) داده ورودی (ب) اعمال نشانگر بر داده‌های ورودی (ج) اعمال نشانگر بر اولین مقیاس بالاگذر (د) اعمال نشانگر بر اولین مقیاس پایین گذر (ه) خروجی روش MM (پاک منش و همکاران (۱۳۹۷))

شکل ۳- الف داده‌های ورودی را ارائه می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، به دلیل افت فرکانسی توان تفکیک لایه‌ها از حد مطلوب دور است. شکل ۳- ب اعمال نشانگر (فاز لحظه‌ای) به داده ورودی است و شکل ۳- ج نتیجه حاصل از اعمال نشانگر در شکل ب است که در شکل ج با اعمال نشانگر بر اولین مقیاس بالاگذر لایه‌های نازک قابل تشخیص است (که با استفاده از پیکان نشان داده شده است) و در شکل ۳- د که مربوط به اولین مقیاس پایین گذر است، توان تفکیک لایه‌ها از حد مطلوب دور است. (در این مقیاس تنها فرکانس‌های پایین‌تر عبور داده می‌شود که این فرکانس‌های پایین چندان توان تفکیک بالایی را ارائه نمی‌دهد). شکل ۳- ه خروجی روش مطرح شده در مطالعه پاک‌منش و همکاران (۱۳۹۷) را نمایش می‌دهد که گواه صحت نتایج روش مطرح شده است.

نشانگر دیگر مدنظر از حوزه میدان موج نشانگر فرکانس لحظه‌ای است (شکل ۴). با توجه به این که افت فرکانسی می‌تواند مرتبط با وجود گاز در مخازن نفتی باشد. بنابراین استحصال اطلاعات فرکانسی یکی از مهم‌ترین اهداف در مطالعات مهندسی مخزن است.

اطلاعات قابل توجهی را در خصوص لایه‌های نازک ارائه دهد. یکی از مهم‌ترین کاستی‌هایی که در ارتباط با این روش مدنظر قرار می‌گیرد، نحوه انتخاب موجک مناسب برای حصول نتایج است. با توجه به این که نتایج در حوزه موجک مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و فرایند وارون موجک اعمال نمی‌شود. بنابراین استفاده از موجک‌های با طول کوتاه‌تر به دلیل کاهش اثرگذاری طول موجک و یا افت و خیزهای ابتدا و انتها به تأیید رسید.

۶- منابع

پاک‌منش، پ.، گودرزی، ع.، کورکی، م.، ۱۳۹۷، مقایسه واهمامیخت تنک داده‌های لرزه‌ای به روش MM و حداقل مربعات با رویکرد تشخیص لایه‌های نازک، پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، ۴ (۱)، ۱۵-۲۶.

قانع عزآبادی، م. و جواهریان، ع.، ۱۳۹۱، کاربرد تحلیل طیفی لحظه ای در شناسایی سایه های فرکانس پایین وابسته به هیدروکربورها، فصلنامه زمین، ۷ (۲۳)، ۳۱-۵۰.

گودرزی، ع.، ملایی، ف.، ۱۳۹۷، افزایش توان تفکیک داده های لرزه ای با استفاده از تبدیل موجک گسسته مختلط، نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، ۴ (۲)، ۲۱۱-۲۲۳.

Baraniuk, R., Coates, M. and Steeghs, P., 2001. Hybrid linear/quadratic time-frequency attributes. IEEE Transactions on Signal Processing, 49 (4) , 760-766.

Castagna, J., Sun, S. and Siegfried, R., 2003. Instantaneous spectral analysis: Detection of low-frequency shadows associated with hydrocarbons. The Leading Edge, 22 (2) , 120-127.

Cohen, L., 1989. Time-frequency distributions-a review. Proceedings of the IEEE, 77 (7) , 941-981.

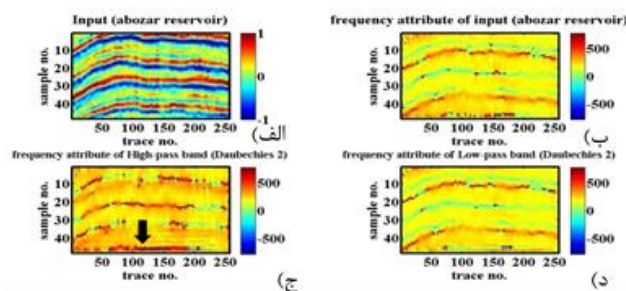
Jinghuai Gao, Xiaolong Dong, Wen-Bing Wang, Youming Li and Cunhuan Pan, 1999. Instantaneous parameters extraction via wavelet transform. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37 (2) , 867-870.

Liu, J. and Marfurt, K., 2007. Instantaneous spectral attributes to detect channels. GEOPHYSICS, 72 (2) , P23-P31.

Lu, J.M. Wang, Y., 2011, The Principle of Seismic Exploration; China Petroleum University Press: Beijing, China; ISBN 978-7-5636-2822-3.

Marfurt, K. and Kirlin, R., 2001. Narrow-band spectral analysis and thin-bed tuning. GEOPHYSICS, 66 (4) , 1274-1283.

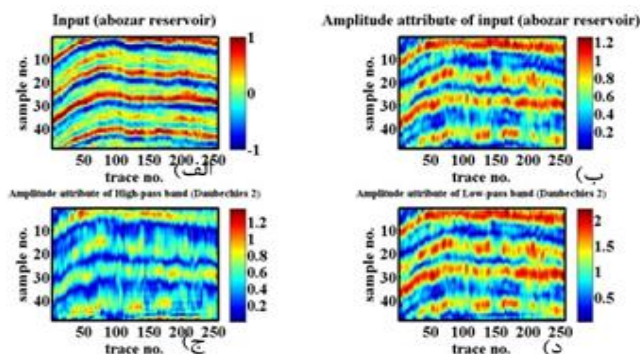
Partyka, G., Gridley, J. and Lopez, J., 1999. Interpretational applications of spectral decomposition in reservoir characterization. The Leading Edge, 18 (3) , 353-360.



شکل ۴- طیف فرکانسی لحظه‌ای داده مربوط به میدان ابوزر (الف) داده ورودی (ب) اعمال نشانگر بر داده‌های ورودی (ج) اعمال نشانگر بر اولین مقیاس بالاگذر (د) اعمال نشانگر بر اولین مقیاس پایین گذر

در شکل ۴- ج با اعمال نشانگر (فرکانس لحظه‌ای) بر اولین مقیاس بالاگذر لایه نازک قابل تشخیص است.

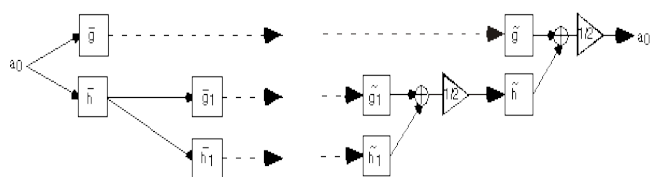
نشانگر دیگر که باید مورد توجه قرار گیرد، نشانگر دامنه لحظه‌ای است. با توجه به تضعیف دامنه هیچ کدام از مقاطع در شکل ۵ برای این داده خاص اطلاعات قابل توجهی را ارائه نمی‌دهد. برای رفع این مشکل باید در حین داده‌برداری نسبت به پلاریزه کردن موج انتشاری به سوی افق هدف اهتمام ویژه‌ای ورزید.



شکل ۵- طیف دامنه لحظه‌ای داده مربوط به میدان نفتی ابوزر (الف) داده ورودی (ب) اعمال نشانگر (دامنه لحظه‌ای) بر داده‌های ورودی (ج) اعمال نشانگر بر اولین مقیاس بالاگذر (د) اعمال نشانگر بر اولین مقیاس پایین گذر

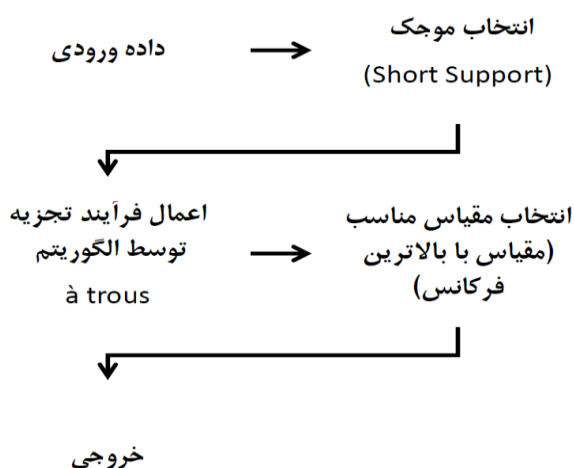
۵- نتیجه‌گیری

با توجه به این که لایه‌های نازک محل عبور یا تجمع هیدروکربن‌ها هستند؛ لذا شناسایی آن‌ها حائز اهمیت است. هر چند شناسایی لایه‌های نازک در مقاطع لرزه‌ای بازتابی به خوبی قابل تشخیص نیست. بنابراین از روش‌های مختلفی برای تشخیص لایه‌های نازک استفاده می‌شود. تبدیل موجک گسسته *à trous* می‌تواند یک حوزه مناسب برای اعمال نشانگرهای لحظه‌ای میدان موج باشد. لذا تشخیص لایه‌های نازک بر مبنای تبدیل موجک گسسته *à trous* مورد بررسی قرار گرفت. اعمال روش مذکور بر داده‌های مصنوعی و واقعی مبین کارآمدی تجزیه طیفی این تبدیل خاص است. به نحوی که اولین مقیاس بالاگذر می‌تواند



شکل پ.۱. طرح از بانک فیلتر الگوریتم

فلوچارت روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم *à trous* به شرح زیر است:



شکل پ.۲. الگوریتم اعمال شده بر داده‌های واقعی و مصنوعی

Quan, Y. and Harris, J., 1997. Seismic attenuation tomography using the frequency shift method. *GEOPHYSICS*, 62 (3) , 895-905.

Roshandel Kahoo, A. and Gholtsahi, S., 2015, An Improvement in Temporal Resolution of Seismic Data Using Logarithmic Time-frequency Transform Method, *Iranian Journal of Oil & Gas Science and Technology*, 4 (2), 27-39.

Widess, M., 1973. How Thin is a Thin Bed?. *Geophysics*, 38 (6), 1176-1180.

Yang, C.; Wang, Y.; Lu, J.; Chen, B.C.; Shi, L. 2019, A Low-Order Series Approximation of Thin-Bed PP-Wave Reflections. *Appl. Sci.*, 9, 709.

Yuan, S., Wang, S., Ma, M., Ji, Y. and Deng, L., 2017. Sparse Bayesian Learning-Based Time-Variant Deconvolution. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55 (11) , 6182-6194.

Zhou, J., Ba, J., Castagna, J., Guo, Q., Yu, C. and Jiang, R., 2019. Application of an STFT-Based Seismic Even and Odd Decomposition Method for Thin-Layer Property Estimation. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 16(9) , 1348-1352.

پیوست ۱:

تبدیل موجک *à trous* با استفاده از بانک های فیلتر انجام می شود. این پیاده‌سازی به اجرای تبدیل موجک متعامد بسیار نزدیک است؛ با این تفاوت که هیچ نمونه برداری انجام نمی شود. برای هر $j \geq 0$:

$$a_j[n] = \langle f(t), \phi_{2^j}(t - n) \rangle. \quad \text{پ-۱}$$

و داده های گسسته به صورت $a0[n]$ است که:

$$d_j[n] = Wf(n, 2^j) = \langle f(t), \psi_{2^j}(t - n) \rangle. \quad \text{پ-۲}$$

برای فیلتر داده شده x با ضرایب $x_j[n]$ نشان دهنده فیلتر بدست آمده از درج صفرهای 2^j-1 بین هر ضریب x است و:

$$\bar{x}_j[n] = x_j[-n]. \quad \text{پ-۳}$$

الگوریتم *à trous* تبدیل موجک را به روش زیر محاسبه می کند:

$$\text{for any } j \geq 0 \quad \text{پ-۴}$$

$$a_j[n] = a_j * \bar{h}_j[n], \quad d_{j+1}[n] = a_j * \bar{g}_j[n]$$

$$a_j[n] = \frac{1}{2} (a_{j+1} * \bar{h}_j[n] + d_{j+1} * \bar{g}_j[n]) \quad \text{پ-۵}$$

این الگوریتم با الگوریتم تجزیه و بازسازی بر اساس موجک های متعامد قابل مقایسه است. در حالت تجزیه، داده ها با فیلتر متقارن همamiخت می شوند، سپس خروجی پایین نمونه برداری می شود. در اینجا فیلتر "کشیده شده" است؛ تا فرایند بازمقیاس و واهمamiخت بدون هیچ پایین نمونه گیری انجام شود. در اینجا یک طرح از بانک فیلتر ارائه شده است:



Application of à trous DWT in the detection of seismic thin layers

Maryam Salajeghe¹, Alireza Goudarzi^{2,*} And Majid Nemati³

1- M.Sc. Student; Economic Geology, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

2- Associate Professor, University of Advanced Technology of Kerman, Kerman, Iran.

3- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran.

Received: 28 Septembe 2020; Accepted: 16 January 2021

Corresponding author: a.goudarzi@kgut.ac.ir

Keywords	Extended Abstract
Instantaneous attribute À trous DWT Thin layers Tunning effect Seismic section	Summary In hydrocarbon exploration, detecting thin layers is one of the most important parts of geophysical interpretation. Seismic data received from horizons whose distances are less than the transmitted wavelength interferes in the sections will represent a single layer. It is possible to use à trous DWT domain to detect thin layers in seismic data acquired from oilfields at the first high-pass scale. In this paper, the use of instantaneous attributes in the à trous DWT domain to detect thin layers is investigated. The data is decomposed by 1-D à trous DWT. In this way, the events are filtered out and, the values matched by the mother wavelet are calculated at each scale. Once the decomposition step is applied, at high scales, the events in higher frequencies remain, and this can be a significant aid in the detection of thin layers. The results of this step indicate that applying this method to synthetic and real data can have a significant improvement in the separation of events from each other. Conventional seismic attributes have also been used to highlight the results in real data.

Introduction

Spectral analysis is an effective method for seismic signal analysis in oil exploration. This method decomposes the seismic signal into a discrete number of signal subsets, each corresponding to the amplitude and phase for a narrow frequency band. These narrow bands represent the power of seismic reflection at characteristic frequencies for different horizons. Spectral analysis is used in direct detection of hydrocarbons, seismic damping analysis, channel identification, and thin layer thickness estimation. Recently, however, efforts have been made in improving the resolution of spectral analysis algorithms. Heisenberg's uncertainty principle shows that there is always a limit to the possibility of improving time and frequency resolution simultaneously. Wavelet transform is a relatively new conversion, but some of the ideas in this method have a very long history. With the introduction of the wavelet transform, new doors were opened for signal analysis. The ability to display signals at different resolutions is one of the most important wavelet transform capabilities. Wavelet transform has many applications in various sciences. The main applications of this method generally include detecting discontinuity points, identifying the net frequency of the signal, removing noise from the signal, and so on.

Methodology and results

Since thin layers are the passage or the accumulation place of hydrocarbons, it is important to identify them. However, the identification of thin layers in seismic reflection sections is not well detectable, thus, we use different methods to detect thin layers. The à trous DWT may be a suitable tool to apply on instantaneous wavefield attributes. Therefore, thin layer detection using the à trous DWT was investigated in this paper.

Assuming that the scale function and the wavelet $(\phi, \psi, \hat{\phi}, \hat{\psi})$ are designed by the filter $(h, g, \hat{h}, \hat{g})$, UDWT can efficiently decompose the input signal f_0 into $\{\beta_1, \dots, \beta_J, f_J\}$ through the following algorithm (Shensa, 1992), where β_j ($j \in \{1, 2, \dots, J\}$) represents the wavelet coefficients on the scale j , and f_J represents the wavelet coefficients on the coarsest resolution (Wang et al, 2019):

$$\begin{cases} f_{j+1}[m] = (\bar{h}^{(j)} * f_j)[m] = \sum_n h[n] f_j[m + 2^j n] \\ \beta_{j+1}[m] = (\bar{g}^{(j)} * f_j)[m] = \sum_n g[n] f_j[m + 2^j n] \end{cases} \quad (1)$$

$$f_i[l] = (\hat{h}^{(j)} * f_{i+1})[m] + (\hat{g}^{(j)} * \beta_{i+1})[m] \quad (2)$$

Applying this method to synthetic and real seismic data demonstrates the efficiency of spectral analysis of this particular transformation. As the first transient scale can provide important information about thin layers, one of the most important shortcomings of this method is how to choose the right wavelet for the results. Hence, we looked at two types of wavelets having different lengths. Since the results are analyzed in the wavelet domain and the inverse wavelet process is not applied, shorter wavelengths can also be used.

Results and Conclusions

The use of instantaneous attributes in the à trous DWT domain was investigated to detect thin layers in seismic data. Decomposition of the data was made by using 1-D à trous DWT to filter out the events at high scales, and ultimately, to detect thin layers. This method was applied on both synthetic and real seismic data. The results indicated a significant improvement in the separation of events from each other. Thus, the à trous DWT can be suggested as an appropriate method for the detection of seismic thin layers.
