

مطالعه خط لرزه‌ای بازتابی دوبعدی در منطقه جنوب قشم با استفاده از عملگر AVO

محمدعلی ریاحی* و رضا نظریان*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۱۴۱۵۵-۲۴۶۶

دریافت مقاله: ۷۷/۴/۱۳ پذیرش مقاله: ۸۲/۱۲/۱۹

چکیده

در این مطالعه داده‌های به‌دست آمده از خط لرزه نگاری دریایی، واقع در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس، مورد پردازش قرار گرفت. مقطع لرزه‌ای حاصل از این پردازش نشان داد که دامنه بازتاب‌های افقی لرزه‌ای عمیق‌تر، به‌خاطر تضعیف انرژی بازتاب‌ها در اثر عوامل مختلف، ضعیف است. برای بازگرداندن اندازه دامنه این بازتاب‌ها به مقدار واقعی، تغییرات دامنه آنها در مقابل دورافت (amplitude variation versus offset: AVO) مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، دسته‌های زاویه‌ای (angle gather) رد لرزه نقطه عمق مشترک (CDP) در حوزه زاویه برخورد تشکیل شدند. برای حذف بازتاب‌های تکرار و نوفه‌های با دامنه زیاد که عملگرهای مرسوم آنها را حذف نکرده بودند، در حوزه زمان - فاصله پنجره‌های برش (mute) با زاویه‌های مختلف انتخاب شدند. پنجره برش با زاویه پنج تا سی و پنج درجه، بیشترین تاثیر را برای حذف نوفه‌های یادشده نشان داد. برای بررسی تغییرات دامنه داده‌ها در مقابل دورافت، مقطع شیو AVO داده‌های لرزه‌ای تهیه شدند. پس از تهیه مقطع شیو، در فاصله زمانی ۱۶۰۰ تا ۱۸۵۰ میلی‌ثانیه و در ۳۲۰۰ میلی‌ثانیه، مقطع مذکور شیو منفی قابل ملاحظه‌ای به‌دست آمد. بی‌هنجاری‌های مورد اشاره با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی موجود از منطقه مورد مطالعه، به حضور تله‌های گاز نسبت داده شد. در این مطالعه، استفاده از عملگر دامنه در مقابل دورافت (AVO) نشان داد که بی‌هنجاری دامنه که به‌خاطر تضعیف انرژی در اثر عوامل مختلف روی مقطع معمولی محو شده بود را می‌توان در محدوده زمانی ۱۶۰۰ تا ۱۸۵۰ میلی‌ثانیه آشکار سازی کرد.

کلیدواژه‌ها: تغییرات دامنه ندر مقابل دورافت (AVO)، زاویه تابش، ضریب بازتابش.

۱ مقدمه

(کادورت و همکاران، ۱۹۹۸؛ بریمن، ۲۰۰۰؛ بریمن و همکاران، ۲۰۰۲). به تدریج به دنبال توجه دانشمندان و بسط نظریه‌های مربوطه، همگام با پیشرفت فناوری و افزایش سرعت محاسبات رایانه‌ها، جنبه‌های عملی و کاربردی عملگر AVO امکان‌پذیر شد. در این مقاله، کاربرد عملگر AVO روی داده‌های لرزه‌ای بازتابی به‌دست آمده از خط لرزه نگاری دریایی، واقع در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲ مبانی نظری AVO

حضور گاز در داخل خلل و فرج سنگ مخزن موجب کاهش سرعت موج P می‌شود و در عین حال در رفتار موج بازتابیده تغییراتی ایجاد می‌کند، به طوری که این تغییرات رابطه مستقیمی با ویژگی‌های خواص الاستیک از جمله مقدار دینامیکی نسبت

طی بیست سال اخیر استفاده از عملگر AVO برای مطالعه داده‌های لرزه‌ای بازتابی در اکتشاف نفت اهمیت قابل توجهی یافته است. این مطالعات برای تخمین ضریب بازتاب موج از طریق حل معادله زوپریتس (۱۹۱۹) صورت می‌گیرد. کوفود (۱۹۵۵) اولین کسی بود که تغییرات ضریب بازتابی با زاویه برخورد موج را ناشی از تفاوت نسبت پواسون در عرض یک بازتابنده دانست. وی پیشنهاد کرد که این تغییرات را می‌توان برای تخمین جنس لایه‌ها به کار برد. هم‌چنین مطالعات گسمن (۱۹۵۱) و بیوت (۱۹۵۶) برای بسط تئوری انتشار امواج الاستیک در محیط‌های متخلخل، تخمین مقدار سرعت امواج P و S در سنگ‌های متخلخل با درجه مختلف اشباع شدگی از گاز را امکان‌پذیر ساخت. هم‌چنین استفاده از مقادیر سرعت، تخمین تخلخل در سنگ و اشباع شدگی آن از سیال را رایج کرد

استفاده از روش معکوس است که به تازگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش چهارم، داده‌های یک خط لرزه‌ای دو بعدی به روش ردیابی بازتابنده و با استفاده از دامنه ردلرزه‌ها است و نمای خوبی از تغییرات دامنه با دورافت (AVO) را به دست می‌دهد. در این مقاله از روش دوم بدون استفاده از مدل‌سازی مصنوعی و با استفاده از عملگر AVO روی داده‌های یک خط لرزه‌ای واقع در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس، شیو دامنه بازتاب‌ها تهیه شد و سپس داده‌های به دست آمده از چاه‌ها برای مقایسه به کار گرفته شد.

شایان ذکر است که مهم‌ترین مرحله در تحلیل AVO، پردازش داده‌هاست چه این که یک پردازش نادرست ممکن است بی‌هنجاری AVO را از بین ببرد و یا این که یک بی‌هنجاری مصنوعی ایجاد کند. در پردازش داده‌ها با استفاده از عملگر AVO، علاوه بر مراحل پردازش معمولی داده‌های لرزه‌ای، فیلترهای مناسب برای حذف اثرات واگرایی کروی (spherical divergence) و بازتاب‌های تکرار (multiples) اعمال می‌شوند. برای تشخیص بی‌هنجاری دامنه به دست آمده از بی‌هنجاری‌هایی که احتمالاً در نتیجه مراحل مختلف پردازش ممکن است بر روی مقطع لرزه‌ای تولید شود لازم است که مراحل زیر انجام شود:

الف) مدل‌سازی مصنوعی دسته‌های CDP (synthetic CDP gather modeling) و مقایسه آن با CDP واقعی در نزدیکی چاه موجود و یا در محدوده بی‌هنجاری دامنه ایجاد شده بر روی مقطع لرزه‌ای. البته در این نوع مدل‌سازی معادله کامل موج به کار نمی‌رود و موج، تخت در نظر گرفته می‌شود.

ب) رسم شیو دامنه بازتاب‌ها می‌تواند به مثابه محک خوبی برای تشخیص بی‌هنجاری واقعی از غیر واقعی به کار رود. بدین ترتیب که اگر همه بازتاب‌ها یک نوع شیو را نشان ندادند، بی‌هنجاری

پواسون σ دارد که مقدار سرعت موج P و S تعیین کننده آن است.

با اشباع شدن اخلل و فرج سنگ از گاز، سرعت انتشار موج P به شدت کاهش می‌یابد ولی سرعت انتشار موج S با روند بسیار آهسته‌ای روبه افزایش می‌گذارد. در این خصوص، کریل و بریسک (۱۹۸۳) تغییرات دامنه امواج بازتابی در مقابل دورافت (AVO) را برای سنگ‌های متخلخل اشباع از گاز بر اساس معادله آکی و ریچاردز (۱۹۸۰) بررسی نمودند. معادله یاد شده را محققین مختلف (شوی، ۱۹۸۵؛ هیلترمن، ۱۹۹۰؛ و ملیک، ۱۹۹۳) بررسی کردند. هریک از روابط ارائه شده از سوی این محققین، ضمن تقریب گیری از روابط زوپریتس، در نهایت ضریب بازتاب را نسبت به زاویه تابش به صورت خطی و غیر خطی بیان می‌کند. مشهورترین این معادله‌ها، معادله خطی شوی (۱۹۸۵) است که از سوی محققین بسیاری مورد استفاده قرار گرفته است (کامبتاگانا و همکاران، ۱۹۹۸؛ چن و همکاران، ۲۰۰۱) و در مرحله انجام روش‌های معکوس، استفاده از آن بسیار ساده است. معادله یاد شده عبارت است از:

$$R(\theta) = R_0 + B \sin^2 \theta \quad (1)$$

که در آن $R(\theta)$ دامنه موج بازتابی با زاویه تابشی θ و R_0 برابر دامنه بازتاب موج در حالت عمودی، و B شیو تغییرات دامنه نسبت به توان دوم سینوس زاویه تابش است.

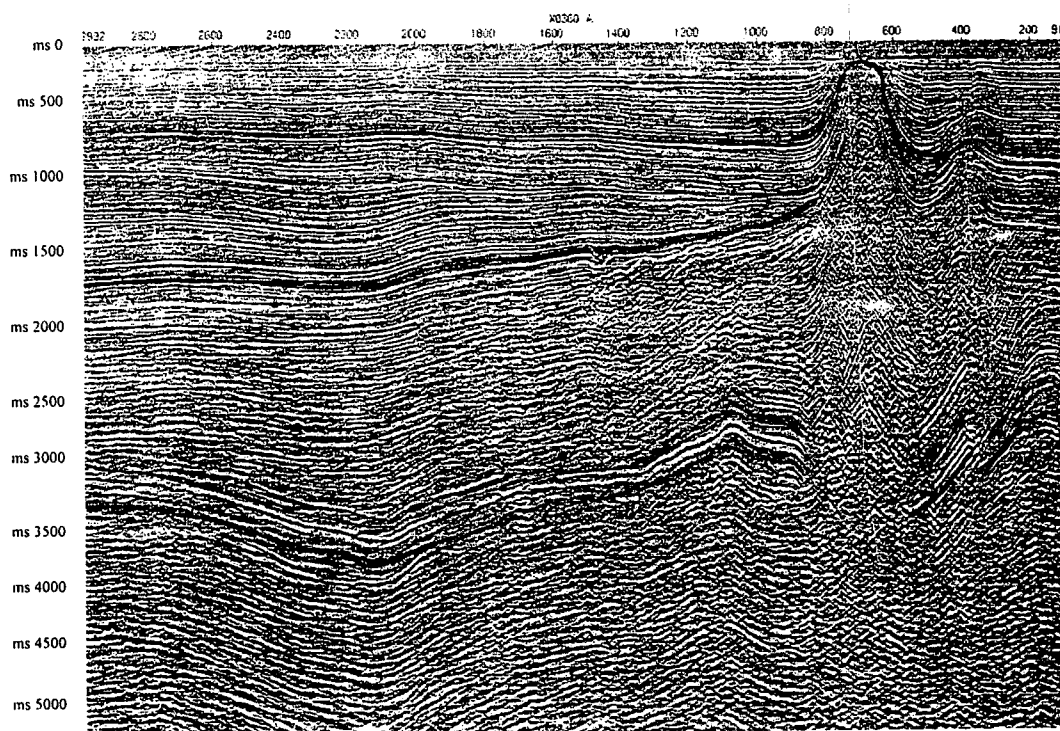
برای استفاده از عملگر AVO روی داده‌های لرزه‌ای، چندین روش موجود است که چهار روش متداول‌تر از بقیه آنها است. اولین روش، مطالعه با استفاده از مقاطع لرزه‌ای برانبارش شده‌ای صورت می‌گیرد که محدوده خاصی از زاویه تابش (amplitude variation versus angle: AVA) را تشکیل می‌دهند. روش دوم استفاده از عملگرهای AVO، تهیه مقطع شیو شیب دامنه‌ها و مقایسه آن با مدل‌سازی مصنوعی است که با استفاده از داده‌های حاصل از چاه‌ها انجام می‌شود. روش سوم،

اندازه گیری درون چاهی باروش مقاومت ویژه از چاه های حفاری شده تعیین شده است. در منطقه مورد مطالعه حضور ناپیوستگی از یک سو و نیز حضور یک گنبد نمکی باعث شده است تا منطقه از نظر حضور هیدروکربورها بهره خیز باشد. در مقطع لرزه ای مورد مطالعه (شکل ۱) بالا آمدگی یک توده نمکی قابل مشاهده است. این پدیده در نواحی زاگرس چین خورده، خلیج فارس و تنگه هرمز عمومیت دارد و اغلب توام با منابع نفت و گاز است. نمک به دلیل دارا بودن خاصیت نرمش پذیری بیشتر نسبت به سنگ های اطراف و نیز وزن مخصوص کم تر، قابلیت جابه جایی به سمت طبقات بالاتر را دارد. این جابه جایی موجب بهم ریختگی طبقات سنگ های داخل زمین شده و به صورت دیواره ای غیر قابل نفوذ مانع فرار هیدروکربورهای گازی و مایع می شود.

واقعی است و در غیر این صورت بی هنجاری صحیح تشخیص داده نشده است (کاستاگنا و اسمیت، ۱۹۹۴).

۳ زمین شناسی منطقه

منطقه مورد نظر در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس واقع است و از نظر زمین شناسی سازندهای هدف، مربوط به گروه فارس و گروه بنگستان است. چینه شناسی مرزبالایی سازندهای تشکیل دهنده مقطع لرزه ای (شکل ۱) عبارت اند از: خامی، بنگستان، پابده، معادل آسماری، گورپی و میشان. سازندهای مورد اشاره به ترتیب در ۳۳۰۰، ۳۱۰۰، ۲۹۰۰، ۱۷۰۰، ۸۰۰ و ۵۰۰ میلی ثانیه زمان رفت و برگشت (TWT) مقطع مذکور واقع شده اند. البته باید توجه داشت که زمان های ذکر شده همراه با شیب مختصر لایه ها در طول مقطع تغییر می کند. تشخیص این مرزها براساس



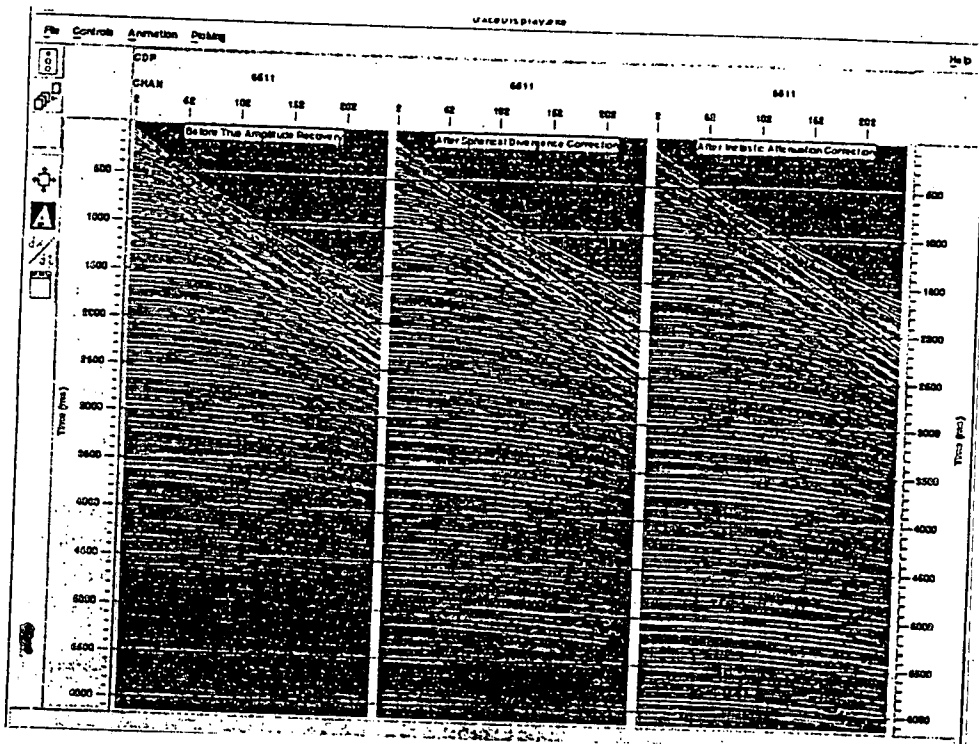
شکل ۱. مقطع لرزه ای برانبارش مورد مطالعه به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر از خط لرزه نگاری دریایی واقع در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس. چینه شناسی مرز بالایی سازندهای تشکیل دهنده مقطع لرزه ای عبارت اند از: خامی، بنگستان، پابده، معادل آسماری، گورپی و میشان. سازندهای مورد اشاره به ترتیب در ۳۳۰۰، ۳۱۰۰، ۲۹۰۰، ۱۷۰۰، ۸۰۰ و ۵۰۰ میلی ثانیه زمان رفت و برگشت (TWT) این مقطع واقع شده اند.

و بدین ترتیب نیمی از ردلرزه‌ها برای پردازش آماده شدند و سپس مراحل پردازش شامل: وارد نمودن هندسه برداشت، ویرایش ردلرزه‌ها، جبران واگرایی کروی موج و جبران جذب غیر الاستیک (inelastic absorption) محیط عبور موج (نیومن و ورتینگتون، ۱۹۸۲) بکار رفت که سبب شد تا تاثیر فاصله و اثر جذب روی دامنه امواج بازتابی جبران شود (شکل ۲). سپس عمل برابرسازی ردلرزه‌ها (trace equalization) و تصحیح دامنه وابسته به سطح (surface consistent amplitude correction) ردلرزه‌ها در یک پنجره محدود انجام شد. بدین ترتیب دامنه هر ردلرزه با ردلرزه قبلی و بعدی متعادل شد (شکل ۳). هم‌چنین برای حذف امواج مستقیم با دامنه بالا و امواج شکست مرزی، عمل برش (muting) در محدوده پنجره‌هایی با زاویه‌های مختلف

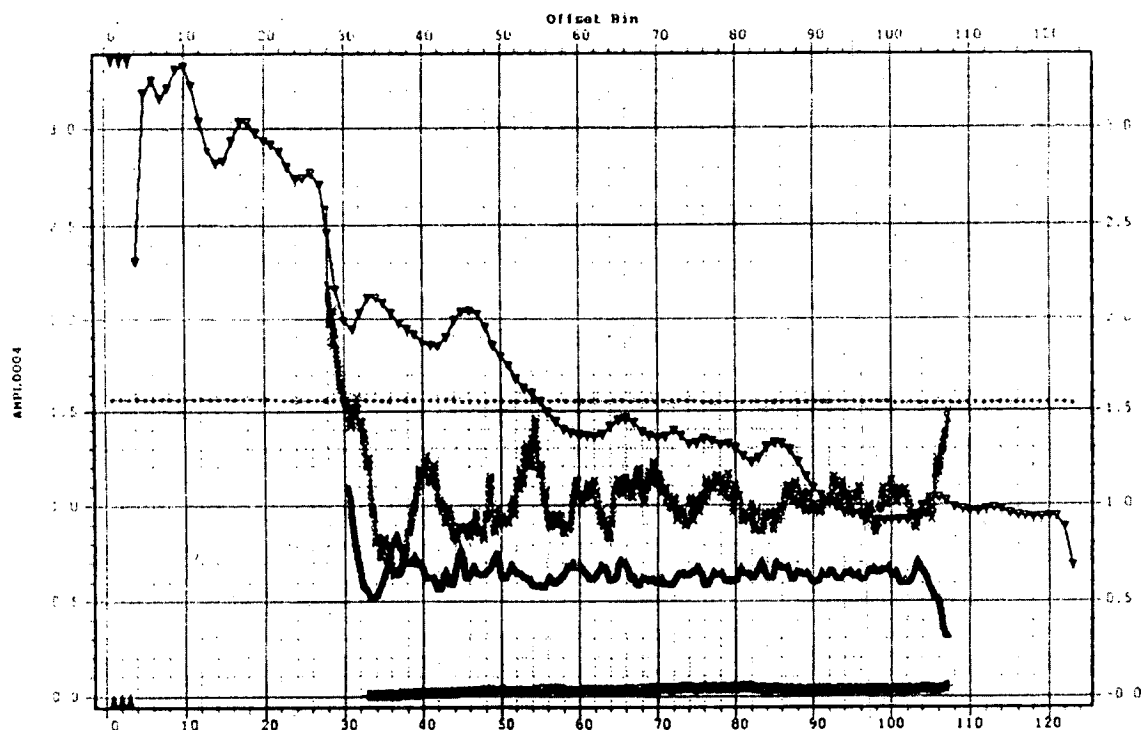
ویژگی عمده نمک علاوه بر ایجاد ساختارهای به هم خورده زمین‌شناسی، ناشی از بالا آمدگی، جذب شدید انرژی امواج لرزه‌ای در کنار سرعت زیاد انتشار امواج الاستیک در آن است. از ویژگی‌های دیگر این منطقه، تغییرات رخساره‌های شدید، گم‌شدگی و جابه‌جایی شدید چینه‌ها و حضور لایه‌های پر سرعت و کم سرعت در مجاورت یکدیگر است.

۴ پردازش داده‌ها

داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه، دارای فاصله نمونه‌گیری ۲ میلی ثانیه، تعداد کانال‌ها ۲۴۰ عدد، فاصله هردو موقعیت چشمه از یکدیگر ۲۵ متر و فاصله CMP‌ها از یکدیگر ۶/۲۵ متر است. در مرحله بازخوانی فاصله نمونه‌گیری ۴ میلی ثانیه انتخاب شد، تعداد کانال‌های انتخاب شده نصف شدند



شکل ۲. تصحیح دامنه با استفاده از جبران واگرایی کروی موج (وسط) و جبران تصحیح جذب یا کاهش غیر الاستیک (سمت راست). اعمال این پردازشگرها سبب شده است تا تاثیر جذب روی دامنه امواج بازتابی جبران شود. داده‌ها از خط لرزه‌نگاری دریایی واقع در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس به دست آمده‌اند.



شکل ۳. توزیع دامنه RMS ردلرزه‌ها در یک مورعیت چشمه بر حسب فاصله، قبل و بعد از اعمال ضرایب تصحیح دامنه. در این مرحله در یک پنجره محدود، برابرسازی ردلرزه‌ها و تصحیح دامنه وابسته به سطح ردلرزه‌ها انجام شده است.

مشخص شد. سپس تصحیح برونراند نرمال روی داده‌ها اعمال شد. مبانی ریاضی و شرح هر یک از عملگرهای به کار برده شده در این مقاله به تفکیک در پایان نامه (نظریان، ۱۳۷۸) آمده است.

در این مرحله تحلیل AVO روی داده‌ها صورت گرفت، برای این کار همان‌طور که در مبانی نظری عنوان شد، مهم‌ترین مرحله در تحلیل AVO، پردازش صحیح داده‌ها است و به عبارتی دیگر دامنه نسبی داده‌ها تا حد امکان تغییر نکند. بنابراین، در مرحله پردازش برای بازگرداندن دامنه داده‌ها به میزان واقعی‌شان که در واقع مهم‌ترین بخش پردازش است، علاوه بر استفاده از عملگرهای مورد اشاره در بالا، ادغام ردلرزه‌های (trace mix) با نقطه عمق مشترک به منظور تقویت بازتاب‌های هم‌دوس (coherent) و حذف نوفه‌های اتفاقی نیز انجام شد.

انجام شد. در این بررسی، فیلتر میان‌گذر (band pass filter)، معادل سازی طیف دامنه، واهم آمیخت از نوع اسپایک (spiking deconvolution) وابسته به سطح (surface consistent) به کار برده شده است. عملگر واهم آمیخت با مشخصه ۱۸۰ میلی ثانیه و ۴ میلی ثانیه lag بوده است. برای جلوگیری از حضور بازتاب‌های تکرار روی داده‌های لرزه‌ای، فیلتر رادون در حیطه تاو - پی استفاده شد و پس از آن تابع تحلیل سرعت به دست آمد. پس از تهیه تابع تحلیل سرعت نتیجه حاصل به صورت طیف سرعت در مقابل زمان و فاصله مورد مطالعه قرار گرفت. مقطعی که به این ترتیب تهیه می‌شود معرف مقطع V_{rms} است و افزایش سرعت در هر نقطه این مقطع نشان دهنده افزایش سرعت لایه‌ها در قسمت بالایی لایه یادشده است. بدین ترتیب محدوده توده نفوذی نمک و عمق زمانی آن بر روی مقطع (شکل ۱)

از عملگر AVO دیده نمی‌شوند (شکل ۴- چپ). شکل (۵) میزان بهبود مقطع که در اثر به کارگیری AVO ایجاد شده است را در مقیاس بزرگ تر نشان می‌دهد.

بنابراین از مقایسه شکل (۱) که حاصل از پردازش معمولی داده‌های لرزه‌ای است با شکل (۴) که نتیجه استفاده از عملگر AVO است، مشاهده می‌شود که در شکل (۱)، تفکیک لایه‌ها صرفاً بر اساس دامنه موج بازتابی صورت گرفته است و تمایز بین بازتابنده‌های مختلف فقط به شکل موج بازتابی که شامل دامنه و ظاهر موج است، محدود شده. ولی در شکل (۴) تفاوت بازتاب‌ها با توجه به تغییرات دامنه در مقابل دورافت و زاویه فرود موج به دست آمده است. البته سیالات درون سازندها حتی به میزان اندک می‌توانند روی مقاطع پردازش شده حاصل از عملگر AVO تاثیر زیاد داشته باشند، ولی از این طریق، تخمین نوع سیال درون سازند ممکن نیست.

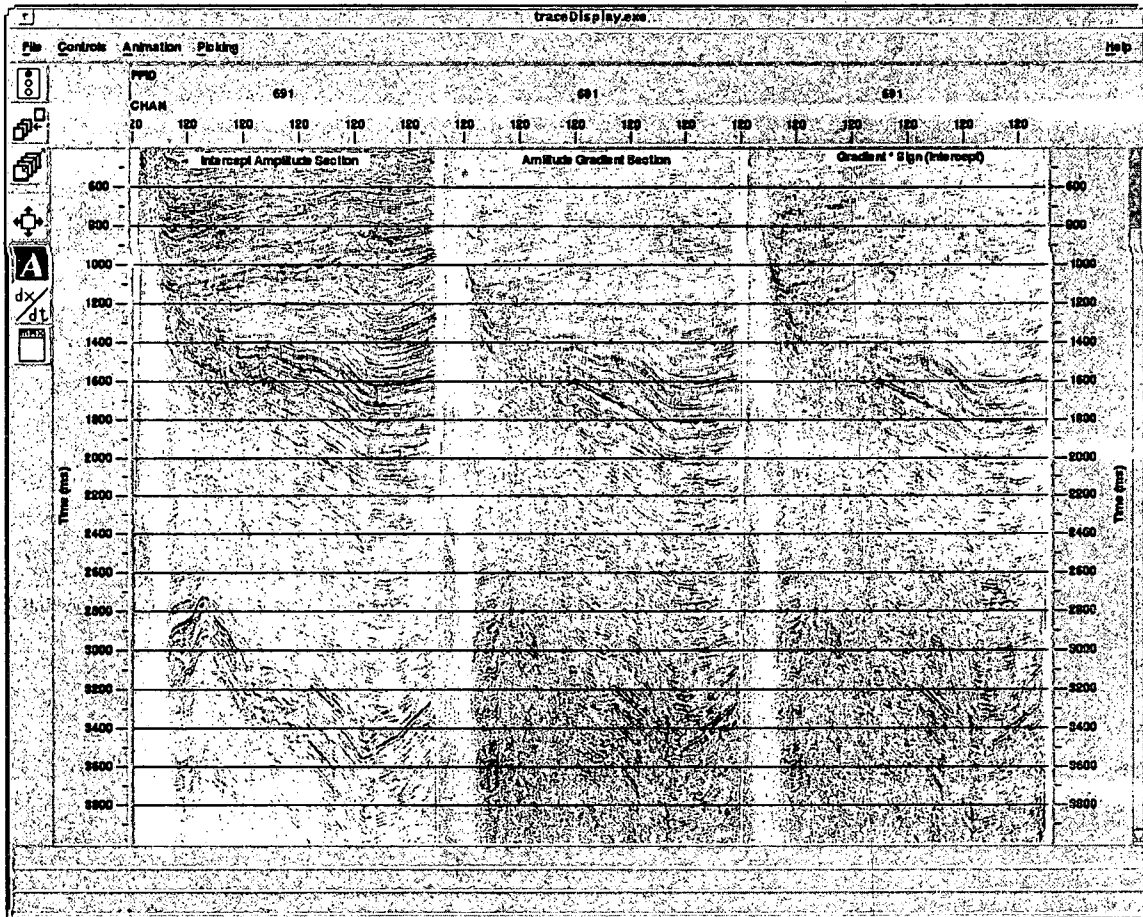
کاربرد عملگر AVO در پردازش داده‌های لرزه‌ای، دارای محدودیت‌هایی است که به طور خلاصه می‌توان به مواردی از آنها اشاره کرد. مثلاً حضور شیل در کنار ماسه سنگ‌های تمیز (clean sandstone) با درجه تخلخل زیاد، روی مقطع لرزه‌ای، رفتاری مشابه با ماسه سنگ‌های باتخلخل کم، ولی حاوی گاز نشان می‌دهند. همچنین ناهمسان‌گردی بین ماسه سنگ‌های مرطوب و شیل‌ها و یا درون لایه‌های شیلی، بدون تغییر امپدانس صوتی (acoustic impedance) میان سنگ‌های یاد شده می‌تواند رفتار دامنه موج بازتابی را مانند لایه‌های حاوی گاز نشان دهد؛ و یا اثر نازک شدگی لایه (tuning)، رفتار دامنه موج را تحت تاثیر قرار دهد.

۵. نتیجه گیری

حذف نوفه‌های اتفاقی، بازتاب‌های تکرار، امواج مستقیم و شکست مرزی روی داده‌های لرزه‌ای بازتابی، با استفاده از پردازشگرهای مورد اشاره در این مطالعه، موجب آشکار شدن

بنابراین برای حذف نوفه‌های اتفاقی هر چهار CDP مجاور ادغام شدند و بدین ترتیب ابردسته‌های CDP (CDP super gather) تشکیل شدند. برابراش جزئی (partial stack) ابردسته‌های CDP که روشی مؤثر برای دسترسی به بهبود کیفیت داده‌ها، بدون تغییر دامنه‌های نسبی است، انجام شد. این عمل سبب تضعیف نوفه‌های اتفاقی و تقویت بازتاب‌های اصلی شد. دامنه در هر لحظه از زمان با استفاده از دریچه قطبی (polarity gate) به دست می‌آید که عبارت است از برابراش جزئی دامنه‌ها در یک بازه زمانی محدود به یک قطب، به طوری که متوسط دامنه برای هر ردلرزه در بازه یاد شده به دست آید. یعنی یا حداکثر دامنه در نظر گرفته می‌شود و دامنه RMS محاسبه می‌شود و یا از روش کم‌ترین مربعات، متوسط دامنه به دست می‌آید. حال می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف، یک خط را به تمام این نقاط که هر کدام معرف دامنه یک بازه است، برازش نمود. برای این منظور می‌توان از شیوه روبااست استفاده کرد. این منحنی با استفاده از نرم دوم به نقاط یاد شده برازش می‌شود. در این مقادیر، پارامترهای A و B که به ترتیب نقطه برخورد و برابر R_0 دامنه بازتاب موج در حالت عمودی، و شیو دامنه نسبت به $\sin^2\theta$ هستند، محاسبه شدند. سپس با داشتن پارامترهای یاد شده، مقاطع A، B، و $A*B$ تهیه شدند (شکل ۴). شکل (۴- چپ) مقطع برابراش شده با زاویه تابش صفر را نشان می‌دهد. شکل (۴- وسط)، مقطع شیو AVO را که در واقع شیب تغییرات دامنه نسبت به $\sin^2\theta$ است نشان می‌دهد. شکل (۴- راست) از حاصل ضرب مقطع شیو در علامت دامنه در حالت برخورد تابش عمودی (شکل ۴- چپ) تهیه شد را نشان می‌دهد.

روی مقاطع به دست آمده (شکل‌های ۴- وسط و راست) در فاصله زمانی ۱۶۰۰ تا ۱۸۵۰ میلی ثانیه و در ۳۲۰۰ میلی ثانیه بازتاب‌هایی دارای دامنه زیاد مشاهده می‌شود که شیو منفی دارند. در صورتی که این بازتابنده‌ها روی مقطع، قبل از استفاده



شکل ۴. مقطع برانبارش شده با زاویه تابش صفر (چپ) در مقایسه با مقطع شیو دامنه (وسط) و مقطع حاصل ضرب علامت دامنه با شیو آن (راست). روی مقاطع وسط و سمت راست، در فاصله زمانی ۱۶۰۰ تا ۱۸۵۰ میلی ثانیه، و در ۳۲۰۰ میلی ثانیه، بازتاب‌های با دامنه زیاد دیده می‌شود. در صورتی که بازتاب‌های با دامنه زیاد در فواصل زمانی یادشده روی مقطع سمت چپ دیده نمی‌شود. داده‌ها از خط لرزه نگاری دریایی واقع در جنوب جزیره قشم در خلیج فارس به دست آمده‌اند.



شکل ۵. ناحیه بی‌هنجاری که در اثر به‌کارگیری AVO روی مقطع شکل ۴ مشخص شده است، در مقیاس بزرگ‌تر. این مقطع بازتابنده‌های بین ۱۲۰۰ تا ۲۸۰۰ میلی‌ثانیه زمان رفت و برگشت (TWT) را تشکیل داده است. این مقطع میزان بهبود دامنه بازتاب‌ها را، در فاصله زمانی ۱۶۰۰ تا ۱۸۵۰ میلی‌ثانیه، بر اثر به‌کارگیری عملگر دامنه در مقابل دورافت (AVO) را بهتر نشان می‌دهد.

منابع

- ۱- نظریان، ر.، ۱۳۷۸. کاربرد دامنه در مقابل دورافت (AVO) در اکتشافات نفت و گاز، پایان نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- Aki, K., and Richards, P.G., 1980, Quantitative seismology: Theory and methods: W. H. Freeman and Co.
- Berryman, J. G., 2000, Transformation of seismic velocity data to extract porosity and saturation values for rocks: *J. Acoust. Soc. Am.*, **107**, 3018-3027.
- Berryman, J. G., Berge, P., and Bonner, B. P., 2002, Estimating rock porosity and fluid saturation using only seismic velocities: *Geophysics*, **67**, 391-404.
- Biot, M. A., 1956, Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid, I: Low - frequency range: *J. Acoust. Soc. Am.*, **28**, 168-178.
- Cardoret, T., Mavko, G., and Zinszner, B., 1998, Fluid distribution effect on sonic attenuation in partially saturated limestones: *Geophysics*, **63**, 154 - 160.
- Castagna, J. P., and Smith, S. W., 1994, Comparison of AVO indicators: A modeling study: *Geophysics*, **59**, 1849 - 1855.
- Castagna, J. P., Swan, H. W., and Foster, D. J., 1998, Frame work of AVO gradient and intercept interpretation: *Geophysics*, **63**, 948 - 956.
- Chen, H., Castagna, J. P., and Ramos, A. C. B., 2001, Three-parameter AVO crossplotting in anisotropic media: *Geophysics*, **66**, 1359 - 1363.
- Gassman, F., 1951, On the elasticity of porous media: *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft: Zürich*, **96**, 1 - 23.
- Hilterman, F., 1990, Is AVO the seismic signature of lithology? A case history of Ship Shoal-South Addition, *Leading Edge*, **9**, No. 6, 15 - 22.
- Koefode, O., 1955, On the effect of Poisson's ratios of rock strata on the reflection coefficient of plane waves: *Geophys. Prosp.*, **3**, 381 - 387.
- Krail, P. M., and Brysk, H., 1983, Reflection of spherical seismic waves in elastic layered media: *Geophysics*, **48**, 655-664.
- Mallick, S., 1993, A simple approximation to P-wave reflection coefficient and its implication in the

بازتاب‌های اصلی شد. در مرحله پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی با استفاده از عملگر دامنه در مقابل دورافت (AVO) مقطع به دست آمده (شکل ۴- وسط) نشان می‌دهد که چگونه مقطع شیو تغییرات دامنه در مقابل دورافت در مقایسه با مقطع معمولی یا بازتاب با زاویه صفر (شکل ۴- چپ) توانسته است در محدوده زمانی ۱۶۰۰ تا ۱۸۵۰ میلی ثانیه، در مقطع (شکل ۴- وسط) حضور یک بی‌هنجاری قابل ملاحظه را آشکار نماید. در صورتی که بی‌هنجاری یاد شده روی مقطع عادی (شکل ۴- چپ) مشاهده نمی‌شود. بنابراین آشکارسازی بازتاب‌های اصلی در قسمت میانی مقطع مورد مطالعه، حاصل از کاربرد عملگر AVO بود که به کمک آنها، این بازتاب‌ها به تصویر کشیده شدند. مقایسه بین بی‌هنجاری‌های مورد اشاره در مقطع لرزه‌ای و اطلاعات زمین‌شناسی موجود از منطقه مورد مطالعه و داده‌های به دست آمده از چاه‌های مجاور خط لرزه‌ای، همخوانی نسبتاً خوبی را نشان داده است. با توجه به این که گاستاگنا و اسمیت (۱۹۹۴) نشان دادند که وجود شیو منفی در امتداد یک بازتاب و یا منفی‌تر شدن شیو یاد شده، می‌تواند معرف حضور گاز باشد، در نتیجه بی‌هنجاری‌های یاد شده روی مقطع لرزه‌ای (شکل ۴- وسط) به احتمال وجود یک منبع گاز نسبت داده است.

تشکر و قدر دانی

بدین وسیله از همکاری رئیس محترم اداره کل ژئوفیزیک شرکت نفت، آقای مهندس محمود خراسانی و رئیس محترم مرکز پردازش داده‌های آن اداره، آقای مهندس فرشید نسب که با وجود محدودیت‌های فراوان، امکانات خود را در اختیار مؤلفین قرار دادند سپاسگزاری می‌شود. از حوزه معاونت محترم پژوهشی دانشگاه نیز به خاطر مساعدت‌های مالی طرح، تحت شماره ۶۵۱/۱۷۲۵ تشکر و قدر دانی به عمل می‌آید.

Zoeppritz, K., 1919, *Über reflexion and durchgang seismischer wellen durch unstetigkerlsflaschen*: Berlin, *Über Erdbebenwellen VII B*, Nachrichten Koniglichen Geschaft der Wissenschaften Zu Gottingen, Mathe – Phys., K1, 57 – 84.

inversion of amplitude variation with offset data: *Geophysics*, **58**, 544-552.

Newman, P. J., and Worthington, M. H., 1982, *In -Situ investigation of seismic body wave attenuation in heterogeneous media*: *Geophys. Prosp.*, **30**, 377-400.

Shuey, R. T., 1985, *A simplification of the Zoeppritz equations*: *Geophysics*, **50**, 609-614.