ن. فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۸، شماره ۲، ۱۳۸۱، صفحهٔ ۹-۱۵

به‌کارگیری امواج پایین‌رونده در لرزه‌نگاری درون چاهی برای تضعیف بازتاب‌های تکراری

همایون گرامی*، حمیدرضا سیاهکوهی* و حسن معصوم‌زاده**

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵.
**مرکز بازخوانی شرکت ملی‌نفت ایران

دریافت مقاله: ۸۰/۴/۱۶ پذیرش مقاله: ۸۱/۱۰/۱۱

چکیده

از ویژگی‌های شاخص داده‌های VSP، شناسایی آسان بازتاب‌های تکراری در امواج بالارونده است. در این مقاله نشان داده شده است که می‌توان از روی امواج پایین‌رونده، کارآمدترین عملگرهای واهامیخت پیش‌یاب را برای تضعیف بازتاب‌های تکراری طراحی نمود. این عملگرها بازتاب‌های تکراری موجود را به نحو مطلوبی تضعیف می‌نمایند و تأثیر مخربی بر بقیه قسمت‌های رکورد VSP ندارند. همچنین نشان داده شده است که اگر این عملگرهای واهامیخت روی داده‌های خط لرزه‌نگاری سطحی در مجاورت چاه اعمال شوند، ضمن تضعیف بازتاب‌های تکراری موجود در مقطع لرزه‌نگاری سطحی، همخوانی بهتری نیز بین رد حاصل از پردازش داده‌های VSP و مقطع لرزه‌نگاری سطحی پدید می‌آورند. این امر یکی از مهم‌ترین کاربردهای روش VSP است و اطمینان کافی را برای پردازشگر و مفسر داده‌های لرزه‌نگاری سطحی در زمینه حذف امواج تکراری فراهم می آورد.

کلیدواژه: پردازش داده‌های VSP، امواج پایین‌رونده، امواج بالارونده، بازتاب‌های تکراری، واهامیخت پیش‌یاب

۱ مقدمه

برجا ماندن بازتاب‌های تکراری در مقاطع لرزه‌ای حاصل از پردازش داده‌های لرزه‌نگاری سطحی ممکن است ارزیابی نادرست و نابهنجاری از ساختارهای زیرسطحی به‌همراه داشته باشد. شناسایی و تضعیف بازتاب‌های تکراری همواره یکی از هدف‌های پردازش داده‌های لرزه‌ای بوده است (ایلماز، ۱۹۹۴).

در رد لرزه‌نگاری امواج تکراری به‌صورت رویدادهایی با نرخ زمانی مشخص تکرار می‌شود (بازتاب‌های تکراری) و قابل پیش‌بینی است. به همین خاطر به کمک عملگر واهامیخت پیش‌یاب از روی رد لرزه‌نگاری حذف می‌شود و رخدادهای غیرقابل پیش‌بینی (مانند ضرایب بازتاب) بدون تغییر حفظ می‌شوند. عملگر واهامیخت پیش‌یاب می‌تواند بازتاب‌های تکراری موجود در رد لرزه‌نگاری را به نحو مطلوبی تضعیف نماید.

بسیاری از متخصصین ژئوفیزیک معتقدند که علی‌رغم وجود روش‌هایی نظیر f-k و τ-p که کاربردهایی برای تضعیف بازتاب‌های تکراری دارند، طراحی عملگرهای واهامیخت پیش‌یاب از داده‌های امواج پایین‌رونده VSP تنها راه تضعیف بازتاب‌های تکراری عمیق با زمان سیر بلند از روی داده‌های لرزه‌نگاری سطحی است.

از آنجا که دامنه امواج پایین‌رونده ثبت شده در نگاشت‌های VSP بین ۲۰-۴۰ دسی‌بل بیشتر از دامنه امواج بالارونده ثبت شده در لرزه‌نگاری سطحی است، در نتیجه عملگرهای واهامیخت پیش‌یابی طراحی شده از روی داده‌های VSP نسبت به عملگرهای واهامیخت پیش‌یابی که با استفاده از امواج ضعیف در نگاشت‌های سطحی تهیه می‌شوند در تضعیف بازتاب‌های تکراری بسیار موفق‌تر عمل خواهند کرد (هارداگ، ۲۰۰۰).

۲ صافی‌های واهامیخت پیش‌یاب

صافی‌های بهینه وینر عملگرهایی هستند که برای تبدیل شکل سیگنال ورودی (x(t)) به صورت سیگنال دلخواه (d(t)) مورد

استفاده قرار می‌گیرند (ایلماز، ۱۹۹۴). این عملگرها با استفاده از روش کم‌ترین مربعات به‌نوعی تعیین می‌شوند که اختلاف سیگنال حاصل از اثر عملگر (y(t)) و سیگنال دلخواه حداقل باشد. ضرایب صافی بهینه وینر از رابطه مارد زیر به‌دست می‌آید:

$$RF=G \qquad (۱)$$

که در آن R مارد خودهمبستگی سیگنال ورودی، F مارد ضرایب صافی (یا عملگر) و G مارد همبستگی متقابل سیگنال ورودی و خروجی دلخواه است. رویدادهای تکراری در ردهای لرزه‌ای به بیانی همان سیگنال مربوط به بازتاب اولیه هستند که پس از مدت زمان معینی به گیرنده‌ها رسیده‌اند.

استفاده از صافی‌های وینر بهینه این امکان را فراهم می‌کند تا سیگنال رویداده‌های تکراری را به عنوان خروجی دلخواه این صافی‌ها به‌دست آورد. واضح است که در این صورت، خروجی دلخواه d(t) در واقع همان سیگنال x(t) یا بازتاب اولیه خواهد بود که به اندازه α در محور زمان جا به جا شده است

$$d(t)= x (t + \alpha) \qquad (۲)$$

و در آن α مدت زمانی است که سیگنال مربوط به رویداد تکراری پس از رویداد بازتاب اولیه به گیرنده رسیده است (و آن را تاخیر پیش‌یابی می‌نامند). با این تعاریف می‌توان شکل ماردی عملگر پیش‌یاب سیگنال رویداد تکراری را بدین صورت نوشت

$$\begin{bmatrix} r0 & r1 & \dots & rn-1 \\ r1 & \dots & \dots & rn-2 \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ rn-1 & \dots & \dots & r0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f0 \\ f1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ rn-1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ra \\ ra+1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ ra+n-1 \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

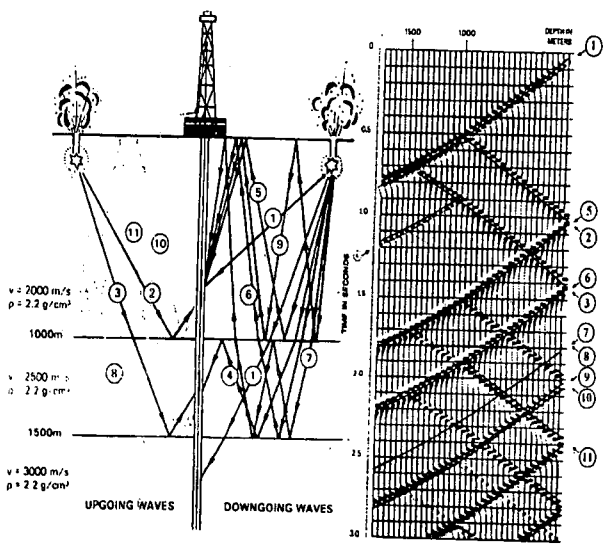
پس از تعیین ضرایب صافی (یا عملگر) پیش‌یاب از حل دستگاه معادلات فوق، می‌توان عملگر دیگری را طراحی نمود که بتواند سیگنال رویداد بازتاب تکراری را که α ثانیه بعد از رویداد بازتاب اولیه به گیرنده رسیده است ، پیش‌یابی کند و سپس از رد مورد نظر حذف نماید. ضرایب چنین صافی به‌صورت زیر خواهد بود.

$$a(t)= (1,0,0,\dots,0,-f0,-f1,\dots,-fn-1) \qquad (۴)$$

که در آن به مقدار $(\alpha-1)$ ضریب با مقدار صفر وجود دارد. اعمال صافی a(t) روی رد لرزه‌ای، واهمامیخت پیش‌یاب نامیده می‌شود. برای عملکرد بهینهٔ این نوع واهمامیخت، انتخاب مقدار α عاملی اساسی است و معمولاً از روی خودهمبستگی نگاشت رد لرزه‌نگاری تعیین می‌شود.

۳ شناسایی بازتاب‌های تکراری در داده‌های VSP

یکی از ویژگی‌های نگاشت VSP آن است که به خاطر قرارگیری گیرنده در عمق‌های مختلف، بازتاب‌های اولیه یا به بیان دیگر امواج بالارونده اولیه تنها به وسیلهٔ گیرنده‌هایی ثبت می‌شوند که در داخل چاه بالاتر از سطح بازتاب قرار گرفته باشند. بر این اساس اگر گیرنده‌ای در داخل چاه عمیق‌تر از سطح بازتاب باشد در رد مربوطه اثری از امواج بازتابی از سطح بازتابنده مورد نظر نخواهد بود. همین طور هرگاه رویداد بازتابی مربوط به یک سطح بازتابنده روی نگاشت VSP به‌عنوان بازتاب اولیه تشخیص داده شود (رویداد ۳ در شکل ۱) و در زمان رسید بزرگ‌تری مجدداً رویداد بازتابی مشابهی وجود داشته باشد (رویداد ۱۱ در شکل ۱)،



شکل ۱. نمایش مسیر امواج پایین‌رونده و بالارونده (اولیه و تکراری) و چگونگی حضور آنها در نگاشت VSP (شلومبرگر، ۱۹۸۵).

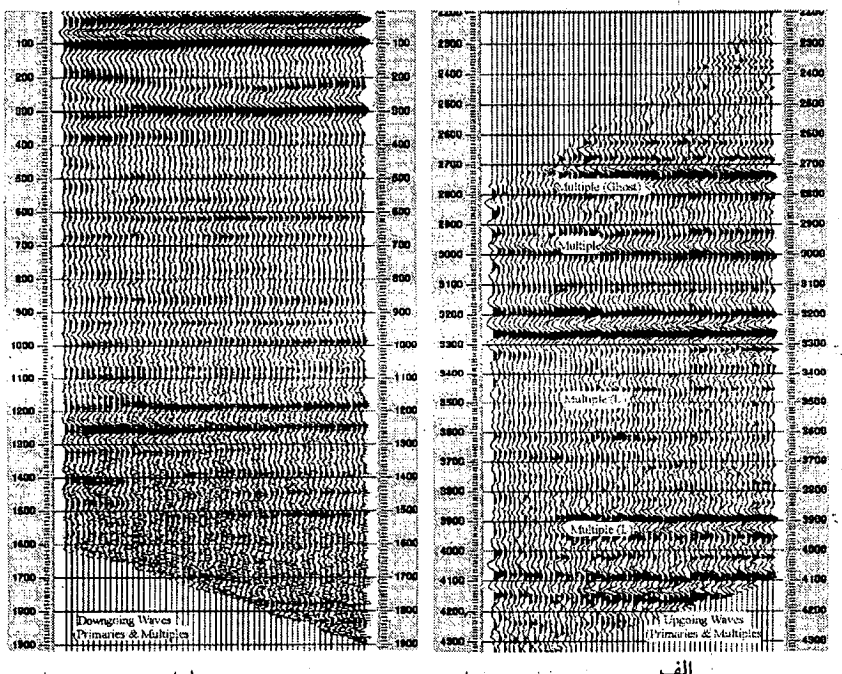
چون رویداد بازتابی دوم در زمانی دیرتر رسیده است، در نتیجه می‌باید مربوط به سطح بازتاب کننده عمیق‌تری نسبت به سطح بازتابندهٔ اولیه باشد. از این‌رو انتظار می‌رود که گیرنده‌هایی که در عمق‌های زیادتری نسبت به سطح بازتابندهٔ اول (یعنی عمیق‌تر از ۱۵۰۰ متر) قرار گرفته‌اند، این موج بازتابی را ثبت کرده باشند. در شرایطی که اثری از رویداد بازتابی دوم در گیرنده‌های عمیق وجود نداشته باشد، به‌طور قطع بازتاب بالارونده دوم تکراری است (شکل ۱).

۴ داده‌های VSP مورد مطالعه

در مطالعه حاضر از داده‌های VSP یکی از چاه‌های دشت آبادان استفاده شده است. عملیات VSP این چاه از نوع بدون دورافت است و از تفنگ بادی به عنوان چشمهٔ انرژی استفاده شده است. قبل از مرحله جداسازی امواج پایین‌رونده و بالارونده از داده‌های VSP، مراحل مختلف پردازش همچون تصحیح استاتیک، بازیافت دامنه‌های حقیقی، مشخص نمودن زمان‌های اولین رسید و انجام برونراند خطی روی داده‌ها به‌منظور خطی نمودن رویدادهای بالارونده و پایین‌رونده صورت گرفته است (گرامی، ۱۳۸۰). شکل ۲ رویدادهای بالارونده و پایین‌رونده اولیه و تکراری را نشان می‌دهد که براساس روش بیان شده در شکل ۱ به وجودشان پی‌برده شده است. در این شکل امواج تکراری موجود در داده‌های VSP دشت آبادان پس از انجام پردازش‌های یاد شده، افقی شده‌اند.

۵ طراحی عملگر واهامیخت با استفاده از امواج پایین‌رونده

در نگاشت‌های عملیات لرزه‌نگاری سطحی امواج پایین‌رونده وجود ندارد و هر آنچه ثبت شده از نوع بالارونده است. اما در عملیات لرزه‌نگاری VSP هر دو نوع موج وجود دارد و امواج پایین‌رونده از امواج بالارونده به سهولت قابل تمیز است. معمولاً به‌خاطر نحوهٔ قرارگیری گیرنده‌ها در داخل چاه منحنی زمان ـ عمق حاصل دارای شیب متضادی برای امواج بالارونده و پایین‌رونده خواهد بود. به‌همین خاطر با اعمال صافی سرعتی



الف ب

شکل ۲. بازتاب‌های اولیه و تکراری بالارونده (الف) و رویدادهای اولیه و تکراری پایین‌رونده (ب).

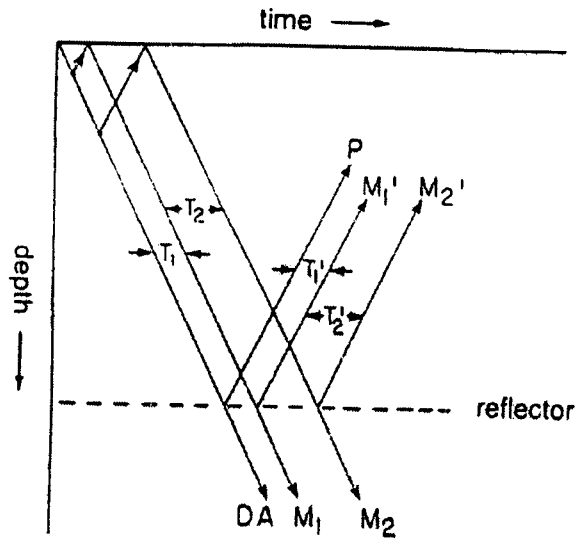
مناسب می‌توان امواج بالارونده را از امواج پایین‌رونده در داده‌های VSP جدا نمود.

همان‌طور که ذکر شد، دامنهٔ امواج پایین‌رونده در مطالعات VSP به طور نسبی ۲۰- ۴۰ دسی‌بل از امواج بالارونده‌ٔ ثبت شده در سطح زمین قوی‌تر است، این امر موجب می‌شود تا بتوان به کمک آنها عملگر واهمامیخت کارآمدتری برای تضعیف بازتاب‌های تکراری بالارونده طراحی کرد و این در واقع برتری عمدهٔ طراحی عملگر واهمامیخت با استفاده از امواج پایین‌رونده است.

واضح است که تنها رخداد پایین‌روندهٔ اولیه می‌تواند در هر حد فاصل در زیر زمین، بازتاب بالارونده اولیه تولید نماید. این نوع رخداد پایین‌رونده که در نگاشت داده‌های VSP به صورت اولین رسید مشخص می‌شود، در شکل ۳ با DA و بازتاب اولیهٔ تولید شده با آن با P نمایش داده شده است. امواج پایین‌روندهٔ بعدی یعنی M_1 و M_2 که از بازتاب از لایه‌های نزدیک به سطح تولید شده‌اند، در مسیر خود به پایین، بازتاب‌های تکراری بالارونده $M_{1'}$ و $M_{2'}$ را ایجاد خواهند کرد. مطابق شکل ۳، زمان تأخیر $T_{1'}$ و $T_{2'}$ بین امواج بالارونده‌ٔ متوالی برابر با زمان تأخیر T_1 و T_2 موجود بین امواج پایین‌روندهٔ متوالی پدید آورندهٔ آنها است. به همین ترتیب نسبت دامنه‌های $M_{2'}, M_{1'}, P$ نیز مشابه نسبت دامنه‌های M_2, M_1, DA است. بنابراین به‌خاطر چنین تقارنی، عملگر واهمامیختی که بتواند امواج پایین‌روندهٔ ثبت شده بعد از اولین رسید را تضعیف نماید، قادر خواهد بود تا بازتاب‌های تکراری بالارونده را نیز تضعیف کند.

استفاده از خودهمبستگی یکی دیگر از راه‌های تشخیص امواج تکراری است. در این مطالعه برای تشخیص امواج تکراری در داده‌های VSP از این روش هم استفاده شده است. شکل ۴ خودهمبستگی نگاشت امواج بالارونده و امواج پایین‌روندهٔ موجود در شکل ۲ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل پیدا است، بازتاب‌های تکراری بالارونده مشخص شده در شکل ۲ در خودهمبستگی نگاشت امواج بالارونده نیز به چشم می‌خورند.

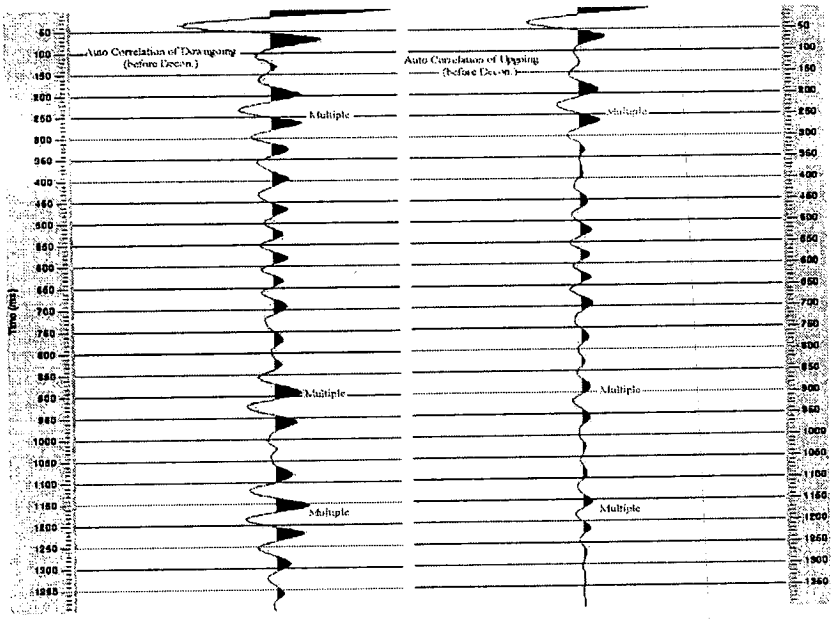
با مقایسه خودهمبستگی نگاشت امواج بالارونده و پایین‌رونده در شکل ۴ مشاهده می‌شود که امواج تکراری پایین‌رونده از لحاظ توالی زمانی معادل با بازتاب‌های تکراری مشخص شده در خودهمبستگی نگاشت امواج بالارونده است (مشابه مفاهیم شکل ۳). تشابه بین خودهمبستگی نگاشت امواج بالارونده و پایین‌رونده نشانگر این است که عملگرهای واهمامیخت پیش‌یابی که بتوانند رویدادهای تکراری پایین‌رونده را تضعیف کنند، قادرند که بازتاب‌های تکراری بالارونده را نیز تضعیف کنند.



شکل ۳. نمایش یکسانی تأخیر زمانی میان امواج پایین‌رونده اولیه و تکراری با تأخیر زمانی بین امواج بالارونده اولیه و تکراری (هارداگ، ۲۰۰۰).

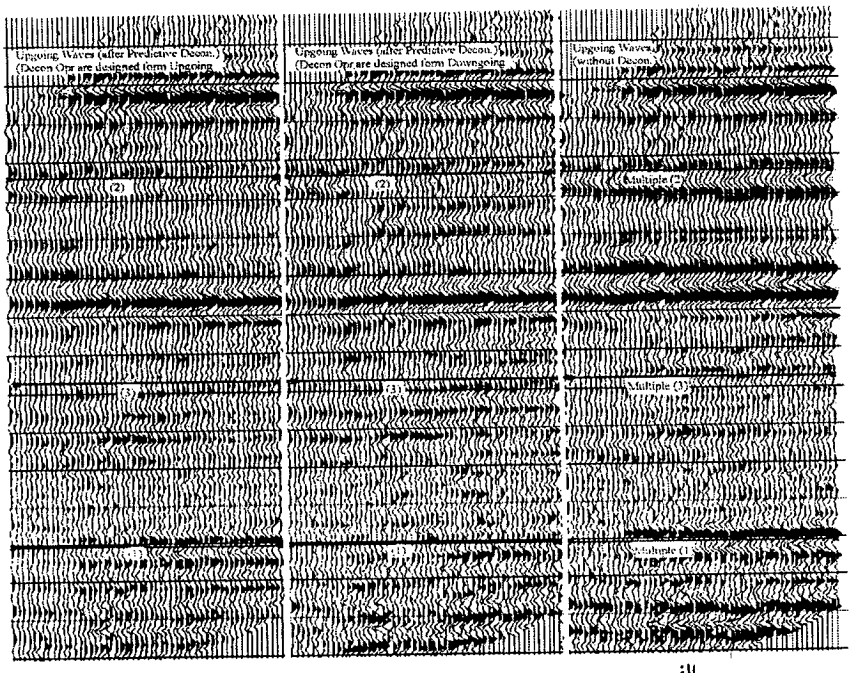
با انتخاب پنجره‌های مناسبی در نگاشت حاوی امواج پایین‌رونده، داده‌های لازم برای تعیین شکل موج چشمه در اعماق مورد نظر برای طراحی عملگر واهمامیخت انتخاب شد و سپس عملگرهای واهمامیخت پیش‌یاب با تأخیرهای پیش‌بینی کنندهٔ ۱۸۰، ۸۸۰ و ۱۱۵۰ میلی‌ثانیه و طول‌های ۳۴۰، ۱۰۴۰ و ۱۳۱۰ میلی‌ثانیه طراحی شدند (گرامی، ۱۳۸۰).

شکل ۵ مقایسه‌ای بین کارکرد عملگرهای واهمامیخت پیش‌یاب طراحی شده از روی امواج پایین‌رونده و بالا رونده در این مطالعه است که برای تضعیف بازتاب‌های تکراری در امواج بالارونده



الف ب

شکل ٤. خودهمبستگی نگاشت امواج پایین‌رونده (الف) و بالارونده (ب) بازتاب‌های تکراری بالارونده و رویدادهای تکراری معادل آنها در امواج پایین‌رونده مشخص شده است.



ج ب الف

شکل ۵. (الف): امواج بالارونده قبل از واهمامیخت، (ب): امواج بالارونده بعد از واهمامیخت، (ج): امواج بالارونده بعد از واهمامیخت. عملگرهای واهمامیخت از امواج پایین‌رونده طراحی شده است. عملگرهای واهمامیخت از امواج بالارونده طراحی شده است.

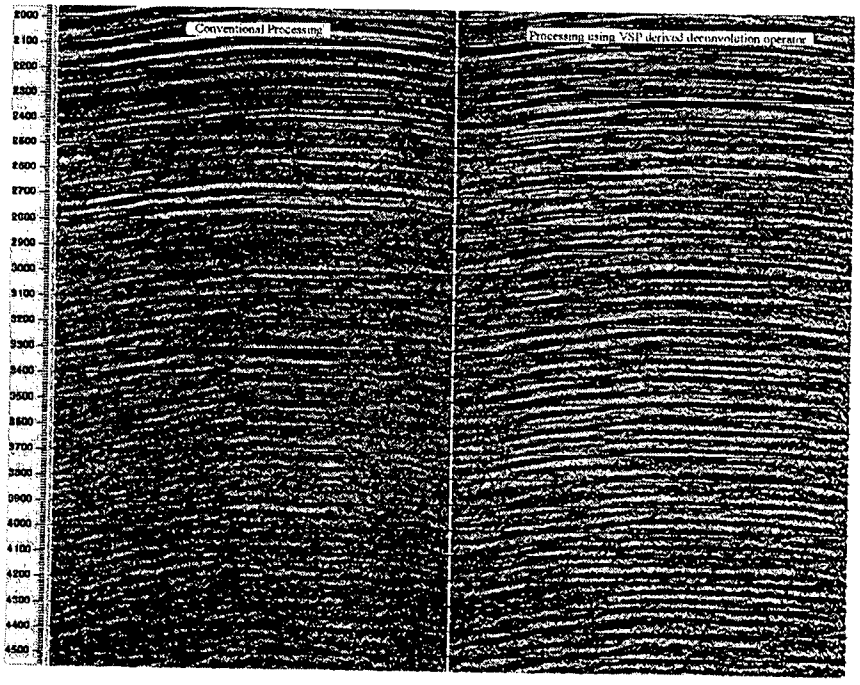
به‌کار رفته‌اند. این مقایسه نشان می‌دهد که هر دو دسته عملگر برای این منظور موفق بوده‌اند، اما به علت قوی‌تر بودن دامنه امواج پایین‌رونده نسبت به امواج بالارونده، عملگرهای واهمامیخت پیش‌یاب طراحی شده از امواج پایین‌رونده جهت تضعیف بازتاب‌های تکراری بالارونده موفق‌تر بوده‌اند.

شکل ۶ همامیخت عملگرهای واهمامیخت پیش‌یاب طراحی شده از امواج پایین‌رونده داده‌های VSP را روی داده‌های پروفیل سطحی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این کار ضمن این‌که باعث تضعیف بازتاب‌های تکراری موجود در مقطع لرزه‌ای سطحی شده، بازتاب‌های اولیه را هم مشخص‌تر نموده است. همچنین همخوانی بهتری نیز بین داده‌های VSP و پروفیل سطحی پس از واهمامیخت به وجود آمده است (شکل ۷). لازم به اشاره است که عملگرهای واهمامیخت پیش‌یاب حاصل از داده‌های VSP می‌تواند قبل و یا بعد از مرحله برانبارش روی داده‌های پروفیل سطحی اعمال شود.

۶ نتیجه‌گیری

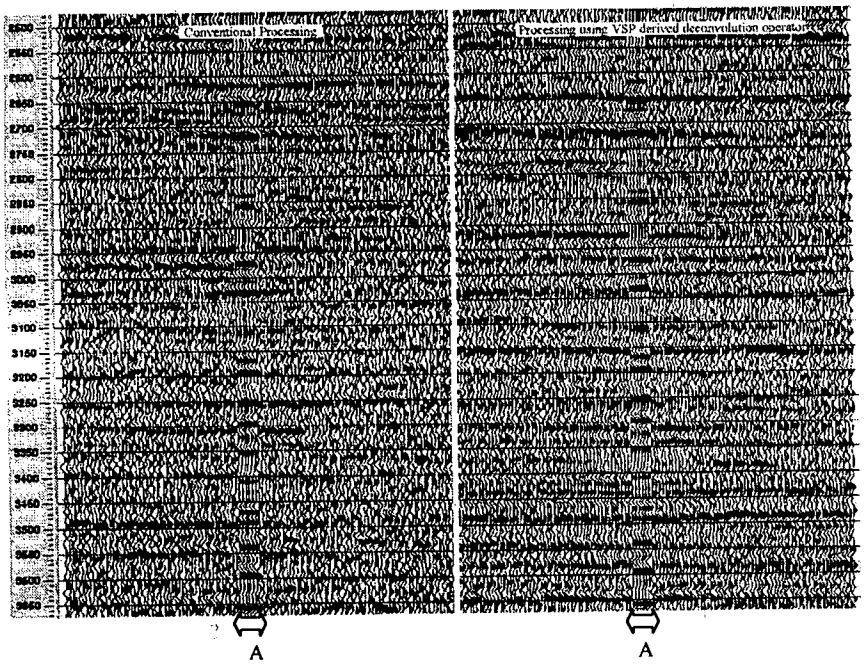
در این مطالعه نشان داده شد که عملگرهای واهمامیخت طراحی شده از امواج پایین‌رونده مناسب‌ترین عملگر برای تضعیف بازتاب‌های تکراری در امواج بالارونده است. همچنین مشاهده شد که تطابق رد حاصل از پردازش داده‌های VSP با مقطع حاصل از پردازش داده‌های پروفیل سطحی موجب شناسایی بازتاب‌های تکراری موجود در مقطع پروفیل سطحی می‌شود.

همچنین نشان داده شد که بهره‌گیری از عملگرهای واهمامیخت طراحی شده از داده‌های VSP در پردازش داده‌های پروفیل سطحی ضمن تضعیف بازتاب‌های تکراری، بازتاب‌های



پردازش به کمک اطلاعات VSP پردازش معمولی

شکل ٦. اعمال عملگرهای واهمامیخت VSP، روی داده‌های پروفیل سطحی ضمن تضعیف بازتاب‌های تکراری موجود، بازتاب‌های اولیه را نیز مشخص‌تر ساخته است.



شکل ۷. اعمال عملگرهای واهمامیخت حاصل از داده‌های VSP بر روی داده‌های پروفیل سطحی ضمن تضعیف بازتاب‌های تکراری، همخوانی بهتری بین داده‌های VSP و پروفیل سطحی ایجاد نموده است. در شکل، A نشانگر ردهای حاصل از پردازش داده‌های VSP است.[۱]

اولیه را هم تا حدودی مشخص‌تر می‌سازد. این امر به خصوص برای بازتاب‌های اولیه و تکراری با زمان سیر طولانی مشهودتر است.

اعمال عملگرهای واهمامیخت طراحی شده از امواج پایین‌رونده بر روی مقطع لرزه‌ای حاصل از پردازش داده‌های پروفیل سطحی موجب همخوانی و تطابق بهتر بین رد حاصل از VSP و مقطع پروفیل سطحی شد. این امر دقت و اطمینان کافی در تشخیص امواج تکراری را برای پردازشگران و مفسرین داده‌های لرزه‌ای فراهم می‌آورد.

تشکر و قدردانی

در این مطالعه از داده‌های VSP یکی از چاه‌های منطقه دشت آبادان و خط لرزه‌نگاری عبور کرده از آن استفاده شده است. همچنین اجرای مراحل پردازشی آن در مرکز بازخوانی شرکت ملی نفت توسط نگارندهٔ اول صورت گرفته است. به همین خاطر از همکاری آقای مهندس محمدباقر فرشیدنسب (ریاست محترم اداره بازخوانی) و آقای مهندس مجتبی محمدو خراسانی (ریاست محترم اداره ژئوفیزیک) و کلیه کارکنان مرکز بازخوانی صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

گرامی، ه، ۱۳۸۰، پردازش داده‌های لرزه‌نگاری درون‌چاهی منطقه دشت آبادان و به‌کارگیری امواج پایین‌رونده جهت تضعیف بازتاب‌های تکراری، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

Hardage, B.A., 2000, Vertical seismic profiling: part A., **14,** of the Handbook of Geophysical Exploration, Pergamon, Amsterdam.

Schlumberger, 1985, Well seismic techniques: Paris.

Yilmaz O., 1994, Seismic Data Processing: Society of Exploration Geophysicists.