

به کارگیری صافی‌های تغییرشکل برای همسان‌سازی موجک‌های حاصل از چشمه ارتعاشی و انفجاری

عبدالناصر یوسف‌زاده* و حمیدرضا سیاه‌کوهی*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵.

چکیده

در این مطالعه برای رفع مشکلاتی که متفاوت بودن موجک‌های لرزه‌ای به هنگام پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی بوجود می‌آورد، دو نوع صافی تغییر شکل دوطرفه از نوع بازگشتی طراحی و مورد استفاده قرار گرفته است. مشکلات بالا به‌خاطر بکارگیری دو چشمه انرژی متفاوت یعنی انفجاری (دینامیت) و نوسانی (وایبروسایز) در یک خط لرزه نگاری ایجاد می‌شوند.

در این مقاله نشان داده شده است که موجک دوطرفه حاصل از خود همبستگی سوپر ارتعاشگر در اثر اعمال صافی تغییرشکل طراحی شده، به یک موجک الی تبدیل می‌شود. انجام عمل مشابه روی موجک چشمه انفجاری با استفاده از صافی تغییرشکل مربوطه موجب ایجاد موجک الی دیگری می‌شود. همسان‌سازی نهایی موجک‌های الی حاصل با اجرای دیکانولوشن (واهمامیخت) از نوع اسپایک و یکی کردن طیف دامنه برای هر دو نوع موجک به کمک صافی‌های بسامدی تکمیل می‌شود. در این مقاله ضمن ارائه روش طراحی صافی‌های تغییرشکل دوطرفه از نوع بازگشتی، نتایج به‌کارگیری آنها برای همسان‌سازی موجک‌های مختلف و رفع مشکلات ناشی از به‌کارگیری چشمه‌های متفاوت روی مقاطع لرزه‌ای مصنوعی و برای مدل‌های زمین با لایه‌بندی افقی و شیبدار نشان داده می‌شود.

کلیدواژه: پردازش داده‌های لرزه‌ای، موجک چشمه لرزه‌ای ارتعاشی، موجک چشمه لرزه‌ای انفجاری، صافی‌های تغییرشکل دوطرفه نوع بازگشتی، همسان‌سازی موجک‌ها

۱ مقدمه

مشکلات همچون نبود امکان حرکت وایبروسایز در زمین‌های باتلاقی، جنگل‌ها، مناطق کوهستانی و یا نبود مجوز برای انفجار و امثال آن به ناچار برای ثابت نگه‌داشتن پوشش زیر سطحی در طول برداشت لرزه‌ای از هر دو نوع چشمه استفاده می‌شود (شیمونک و استروبل، ۱۹۸۵ و پروتز و همکاران، ۱۹۸۷).

در میان روش‌های شناخته شده برای اکتشاف مخازن نفتی، روش لرزه‌نگاری بازتابی، به دلیل حداقل سه برتری یعنی دقت زیاد، توان تفکیک بالا و نفوذ به عمق زیاد از جایگاه خاصی برخوردار است و با وجود هزینه زیاد این روش هنوز هیچ شرکت نفتی به خود اجازه نمی‌دهد که محل یک چاه اکتشافی را بدون اطلاعات لرزه‌ای تعیین کند (شریف، ۱۹۹۵).

۲ مشکلات ناشی از تفاوت چشمه‌ها

معمولاً چشمه انفجاری یک موجک با فاز حداقل و یک طرفه (الی) تولید می‌کند در حالی که موجک حاصل از چشمه ارتعاشی بعد از انجام همبستگی، با فاز صفر و دوطرفه (غیر الی) است. در موجک با فاز حداقل، شروع رویداد لرزه‌ای منطبق بر محل رسیدن موجک الی است در حالی که در موجک با فاز صفر، محل قله (یا گودی) موجک موقعیت رویداد لرزه‌ای را نشان می‌دهد. در نتیجه وقتی در یک خط لرزه‌نگاری از دو چشمه متفاوت استفاده شود، به‌خاطر متفاوت بودن شکل موجک‌های ایجاد شده،

هدف نهایی مطالعات لرزه‌ای، تفسیر مقاطع لرزه‌ای به مفاهیم زمین‌شناسی برای رسیدن به اهداف اکتشافی است. این امر مستلزم آن است که موجک‌های حاصل از چشمه انرژی در طول برداشت یکسان باشد و تفاوت مشاهده شده در طیف دامنه، فاز و شکل موجک در مقاطع لرزه‌ای تا حد امکان متاثر از زمین‌شناسی منطقه باشند.

معمول‌ترین چشمه‌های انرژی برای لرزه‌نگاری در خشکی چشمه‌های انفجاری (دینامیت) و ارتعاشی (وایبروسایز) هستند. هر کدام از این چشمه‌ها معایب و محاسن مربوط به خود را دارند. در عملیات لرزه‌نگاری به‌خاطر پاره‌ای

$$f_0 = \frac{f_f + f_i}{2}$$

کیفیت موجک کلودر که اغلب تابع خودهمبستگی نیز نامیده می‌شود به وسیله نسبت دامنه قله (یا گودی) مرکزی آن به دامنه فرورفتگی‌های کناری و پهنای قله (یا گودی) اصلی مشخص می‌شود. تاثیر بسامد غالب، طول سوپ و استفاده از پنجره کنترل کننده دامنه بر روی کیفیت موجک کلودر به‌طور گسترده‌ای توسط یوسف زاده (۱۳۸۰) مورد بررسی قرار گرفته است.

در مقاطع لرزه‌ای که حاوی موجک کلودر هستند، فرورفتگی‌های دوطرف قله (یا گودی) اصلی مربوط به موجک بازتابیده شده از یک سطح ممکن است با قله (یا گودی) اصلی مربوط به موجک بازتابی از سطح بالایی و یا پائینی تداخل نماید و باعث کاهش قدرت تفکیک مقاطع لرزه‌ای شود. از این رو قدم اساسی در مدل‌سازی نگاشت‌های چشمه ارتعاشگر، انتخاب محدوده بسامدی مناسب برای سوپ است. در این بررسی محدوده بسامدی انتخاب شده برای سوپ بین ۱ تا ۱۱۰ هرتز و فاصله نمونه‌برداری دو میلی ثانیه در نظر گرفته شد. این مقادیر غالباً در برداشت داده‌های لرزه‌ای با چشمه ارتعاشی نیز به کار می‌رود.

۳ مبانی نظری صافی تغییرشکل دو طرفه نوع بازگشتی برای چشمه ارتعاشی

اگر سوپ واقعی حاصل از یک ارتعاشگر را در حوزه Z با S(Z) و تابع انتقال صافی ضبط را با F(Z) و پاسخ کلیه دستگاه‌های استفاده شده را با I(Z) نمایش دهیم، تبدیل Z موجک حاصله پس از همبستگی یعنی V(Z) به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$V(Z) = S(Z)F(Z)S(1/Z)F(1/Z)I(Z) \quad (۴)$$

رابطه (۴) نشانگر حاصل خودهمبستگی سوپی است که توسط دستگاه ثبات به هنگام نگاشت صافی شده (صافی ضبط) و پاسخ سایر دستگاه‌های موجود در سر راه (مثل ژئوفون و ...) روی آن اثر کرده است (پاسخ دستگاهی). در آن V(Z) بیانگر موجکی با فاز صفر است که قله (یا گودی) مرکزی آن در زمان صفر قرار دارد. حال به دنبال

وایپچی در رویدادهای بازتابی مقاطع لرزه‌ای مشاهده می‌شود که می‌تواند در مرحله تفسیر مشکلاتی را پدید آورد. مثلاً ممکن است مفسر تغییر در شکل و خصوصیات موجک رویداد بازتابی را تغییر جانبی در رخساره زمین‌شناسی، ناهنجاری سرعت و یا نظایر آن در امتداد بازتابنده تلقی نماید.

شکل (۱) این مسئله را روی لرزه‌نگاشت‌های مصنوعی دوبعدی که در تهیه آنها از موجک‌های مصنوعی هر دو چشمه استفاده شده است، نشان می‌دهد. در این مطالعه سعی شده با طراحی و استفاده از صافی‌های تغییرشکل دوطرفه از نوع بازگشتی، موجک‌های مربوط به دو چشمه متفاوت به موجک واحدی تبدیل شوند، تا مقاطع لرزه‌ای نهایی عاری از اثرات چشمه‌های متفاوت باشند.

موجک با فاز حداقل به کار رفته در این مطالعه برای ساختن لرزه‌نگاشت مصنوعی (یعنی مدل‌سازی نگاشت حاصل از چشمه انفجاری) از اولین مشتق تابع توزیع نرمال گوسی به دست می‌آید و دارای شکل ریاضی زیر است (آلفورد و همکاران، ۱۹۷۴)

$$f(t) = -(2\pi f_0)^2 (t - t_0) \exp\left(-\frac{(2\pi f_0)^2}{2}(t - t_0)^2\right) \quad (۱)$$

که در آن f_0 بسامد مرکزی و $t_0 = 2/\pi f_0$ است.

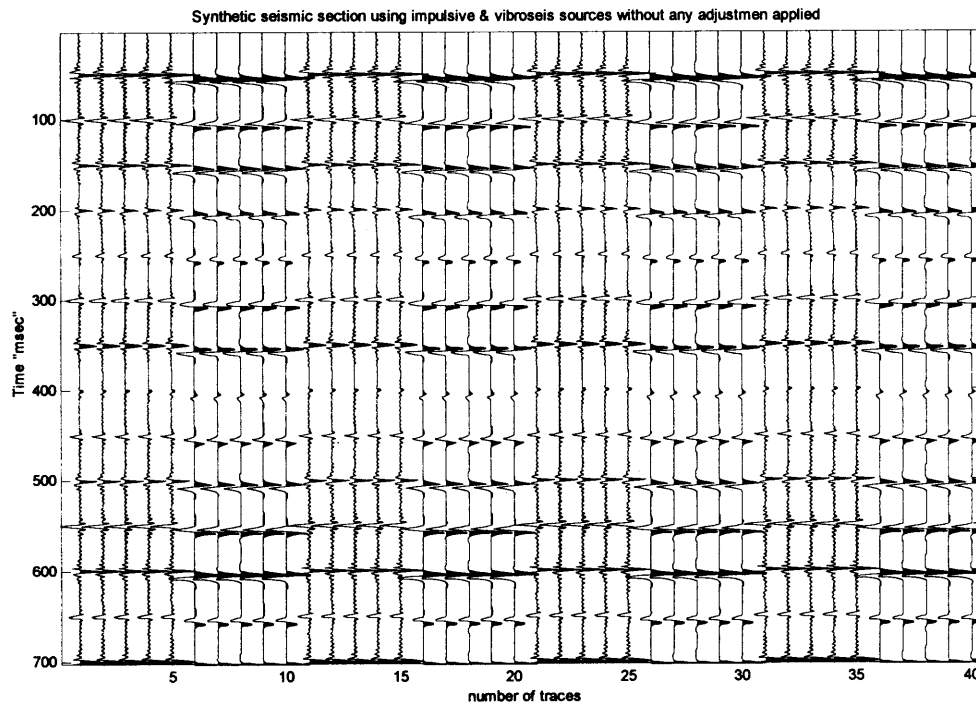
همچنین برای ساختن لرزه‌نگاشت مصنوعی از موجک با فاز صفر (یعنی مدل‌سازی نگاشت حاصل از چشمه ارتعاشی) از سوپ خطی با رابطه ریاضی به صورت زیر استفاده شد

$$y(t) = A \sin \pi t \left(f_i + f_f + \frac{f_f - f_i}{L} t \right) \quad (۲)$$

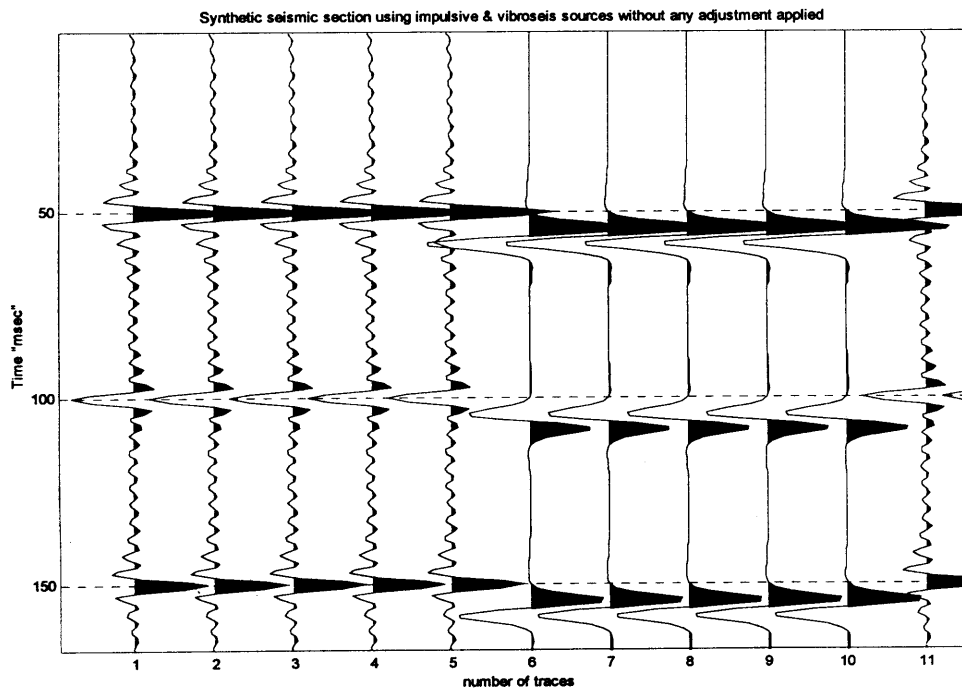
که در آن f_i و f_f به ترتیب بسامدهای اولیه و نهایی و L طول زمانی سوپ بر حسب ثانیه و A دامنه سیگنال است (بتن و زیلکوفسکی، ۱۹۹۰). از خودهمبستگی سوپ چشمه ارتعاشی موجک با فاز صفر معروف به موجک کلودر پدید می‌آید. رابطه خودهمبستگی سوپ خطی یا موجک کلودر که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته به صورت زیر است (کانینگ‌هام، ۱۹۷۹)

$$C(t) = \frac{A^2}{2} L \frac{\sin \pi \Delta F t}{\pi \Delta F t} \cos 2\pi \left(f_0 + \frac{\Delta F}{2L} t \right) t \quad (۳)$$

که در آن $\Delta F = f_f - f_i$ پهنای نوار بسامدی و



شکل ۱-الف. مقطع لرزه‌ای مصنوعی حاصل از به‌کارگیری دو موجک مختلف بدون تعدیل موجک‌ها، ردهای با شماره‌های ۱ تا ۵، ۱۱ تا ۱۵، ۲۱ تا ۲۵ و به همین ترتیب تا آخر، با چشمه ارتعاشی و سایر ردها با چشمه انفجاری مدل‌سازی شده‌اند.



شکل ۱-ب. ۱۱ رد و ۱۶۰ میلی‌ثانیه از شکل ۱-الف) که با بزرگنمایی نشان داده شده است.

رد صافی شده ارتعاشگر، یعنی $VT'(Z)$ ، به صورت زیر به دست می آید

$$VT'(Z) = VT(Z)SF_V(Z) \\ = S_0(Z)F_0(Z)S_0(1/Z)F_0(1/Z)I(Z)R(Z) \frac{1}{S_0(1/Z)F_0(1/Z)} \\ = S_0(Z)F_0(Z)I(Z)R(Z) \quad (۸)$$

اگر نتیجه به دست آمده کماکان حاصل همایخت R و موجک چشمه باشد، در نتیجه رابطه ریاضی موجک جدید یعنی $V'(Z)$ که انتظار می رود به صورت یک طرفه و با فاز حداقل باشد، به صورت زیر قابل تعریف خواهد بود

$$V'(Z) = S_0(Z)F_0(Z)I(Z) \quad (۹)$$

که در آن $V'(Z)$ معرف موجک جدید است و از همایخت سویپ (با فاز حداقل)، صافی ضبط (با فاز حداقل) و پاسخ دستگاهها (با فاز مخلوط) حاصل می شود. اگر $I(Z)$ هم در عمل معلوم باشد، می توان معادل آن با فاز حداقل را محاسبه کرد و در رابطه (۹) قرار داد.

۴ مبانی نظری صافی تغییرشکل دو طرفه نوع بازگشتی برای چشمه انفجاری

چشمه انفجاری یک پالس (تپه) تغییر حجمی در زمین ایجاد می کند که دارای فاز حداقل است. اگر $Q(Z)$ سیگنال واقعی تولید شده به وسیله چشمه باشد، با وجود پاسخ دستگاهی $I(Z)$ و صافی ضبط $F(Z)$ ، موجک چشمه انفجاری $IM(Z)$ در حوزه Z به صورت زیر نوشته می شود

$$IM(Z) = Q(Z)F(Z)I(Z) \quad (۱۰)$$

از آنجا که سیگنال تولید شده واقعی به وسیله انفجار دارای فاز حداقل است، لذا می توان نوشت

$$Q(Z) = Q_0(Z) \quad (۱۱)$$

که در آن اندیس صفر نشانگر حداقل بودن فاز است. با توجه به رابطه (۹)، صافی تغییرشکل دوطرفه، نوع بازگشتی برای موجک حاصل از چشمه انفجاری، یعنی $SF_{IM}(Z)$ ، به صورت زیر تعریف می شود

$$SF_{IM}(Z) = \frac{F_0(Z)}{F(Z)} \quad (۱۲)$$

چون $F(Z)$ (صافی ضبط) یک صافی با فاز مخلوط است، پس صافی تغییرشکل به دست آمده در رابطه (۱۲) ناپایدار

طراحی یک صافی هستیم که $V(Z)$ را به صورت موجک با فاز حداقل درآورد. در تبدیل هر موجک به موجکی معادل با فاز حداقل، طیف دامنه موجک بدون تغییر می ماند ولی طیف فاز آن تغییر می کند. پس از همبستگی مشخصات مربوط به فاز سیگنال از میان می رود و سیگنال حاصل با فاز صفر می شود. لذا می توان سمت راست معادله (۴) را که حاصل کرویلین است به صورت زیر هم نوشت

$$S(Z)F(Z)S(1/Z)F(1/Z) = S_0(Z)F_0(Z)S_0(1/Z)F_0(1/Z) \quad (۵)$$

که در آن اندیس صفر اشاره به حداقل بودن فاز دارد. بر اساس رابطه (۵)، برای این که موجک $V(Z)$ دارای فاز حداقل باشد یا به بیان دیگر سمت راست معادله (۴) به $S_0(Z)F_0(Z)$ ساده شود، نیاز به عملگری به صورت زیر است که در دو طرف معادله (۴) ضرب شود (بروتر و همکاران، ۱۹۸۷).

$$SF_V(Z) = \frac{1}{S_0(1/Z)F_0(1/Z)} \quad (۶)$$

که در آن $SF_V(Z)$ همان صافی تغییرشکل برای موجک حاصل از چشمه ارتعاشگر است (بروتر و همکاران، ۱۹۸۷). این صافی دارای خاصیت بازگشتی بوده ولی برگشت آن تنها رو به عقب است. مهم ترین ویژگی این عملگر آن است که برای محاسبه آن نیازی به استفاده از تک تک ردها نیست یا به عبارتی غیر وابسته به رد است. فقط داشتن مشخصات سویپ و صافی ضبط برای طراحی آن کافی است و پس از طراحی قابل اجرا بر روی کلیه ردهایی است که با همان سویپ ایجاد و با همان صافی ضبط، ثبت شده اند. به این ترتیب نیاز به نوشتن برنامه رایانه ای جداگانه برای هر رد وجود ندارد.

برای اثبات صحت کارآیی صافی معرفی شده بر روی ردی با موجک $V(Z)$ ، فرض می کنیم $R(Z)$ تابع بازتاب در محل یک نقطه عمقی مشترک (CDP) باشد، در این حالت رد حاصل از چشمه ارتعاشی، یعنی $VT(Z)$ ، به صورت زیر از کاتولوشن (همایخت) R و V حاصل می شود.

$$VT(Z) = V(Z)R(Z) = S_0(Z)F_0(Z)S_0(1/Z)F_0(1/Z)I(Z)R(Z) \quad (۷)$$

اگر صافی تغییرشکل $SF_V(Z)$ را بر این رد اعمال نماییم،

طرفه و الی به دست خواهد آمد.

صافی تغییرشکل به دست آمده برای موجک چشمه‌های انفجاری نیز خاصیت غیر وابستگی به رد را دارد. یعنی فقط با داشتن مشخصات صافی ضبط می‌توان عملگر صافی تغییرشکل را محاسبه کرد و روی تمامی ردهای حاصل از چشمه انفجاری مورد نظر و ثبت شده با این صافی ضبط به کار برد.

همان‌طور که در روابط (۶) و (۱۵) مشاهده می‌شود، برای به دست آوردن عملگر صافی‌های تغییرشکل لازم است معادله‌های با فاز حداقل $S(1/Z)F(1/Z)$ و $F(1/Z)$ را در اختیار داشته باشیم. در این بررسی از روش کولوموگوروف استفاده شده است (کلرپوت، ۱۹۸۵). برای اطلاع بیشتر از این روش به یوسف زاده (۱۳۸۰) رجوع شود.

در ادامه نشان داده می‌شود که پس از اعمال دو صافی بالا، ردهای به دست آمده از چشمه‌های ارتعاشی و انفجاری دارای موجک‌های الی و یک طرفه خواهند شد. برای رفع تفاوت احتمالی بین دو موجک از لحاظ فاز و یا نوار بسامدی می‌توان از یک عملگر واهم‌میخت مناسب و در نهایت یک صافی میان‌گذر استفاده کرد.

۵ همسان‌سازی موجک‌ها و مقاطع لرزه‌ای مصنوعی

در این‌جا برای بررسی کارآیی صافی‌های تغییرشکل معرفی شده در بالا، موجک‌ها و مقاطع لرزه‌ای مصنوعی برای چشمه‌های ارتعاشی و انفجاری تهیه می‌شود و نتایج قبل و بعد از اعمال صافی‌های تغییرشکل مقایسه می‌شوند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد (رابطه ۲)، موجک مصنوعی مربوط به چشمه ارتعاشی از سوپ با بسامدهای ۱ تا ۱۱۰ هرتز و طول سوپ ۱۰ ثانیه و با فاصله نمونه‌برداری دو میلی‌ثانیه محاسبه شد. همچنین، موجک مصنوعی مربوط به چشمه انفجاری نیز با بسامد مرکزی ۶۰ هرتز محاسبه شده است (رابطه ۱). شکل (۲) این موجک‌ها را قبل از همسان‌سازی (شکل ۲-الف برای چشمه انفجاری و شکل ۲-ب برای چشمه ارتعاشی) و پس از همسان‌سازی و واهم‌میخت (شکل ۲-ب برای انفجاری و شکل ۲-ه برای ارتعاشی) و بالاخره پس از اعمال صافی میان‌گذر نهایی

خواهد بود. اگر صافی فوق را در خودهمبستگی $F(Z)$ ضرب و بر آن تقسیم نماییم خواهیم داشت

$$SF_{IM}(Z) = \frac{F_0(Z)F(1/Z)}{F(Z)F_0(1/Z)} \quad (13)$$

بر اساس استدلالی که در مورد معادله (۷) به کار برده شد، می‌توان نوشت

$$F(Z)F_0(1/Z) = F_0(Z)F_0(1/Z) \quad (14)$$

و در نهایت صافی تغییرشکل دو طرفه نوع بازگشتی $SF_{IM}(Z)$ برای موجک چشمه انفجاری به صورت زیر تعریف خواهد شد (بروتز و همکاران، ۱۹۸۷)

$$SF_{IM}(Z) = \frac{F_0(Z)F(1/Z)}{F_0(Z)F_0(1/Z)} = \frac{F(1/Z)}{F_0(1/Z)} \quad (15)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود این یک صافی از نوع بازگشتی و با پاسخ ضربه یک طرفه نامحدود است. برای محاسبه آن ابتدا باید همبستگی $F(Z)$ را حساب کرده و سپس معادله با فاز حداقل را به دست آورد.

رد حاصل از این چشمه انفجاری از هم‌میخت موجک چشمه با سری ضرایب بازتابی زمین $R(Z)$ به دست می‌آید

$$IMT(Z) = IM(Z)R(Z) = Q_0(Z)F(Z)I(Z)R(Z) \quad (16)$$

وقتی صافی $SF_{IM}(Z)$ به این رد اعمال شود، رد جدید $IMT'(Z)$ به صورت زیر به دست می‌آید

$$IMT'(Z) = IMT(Z)SF_{IM}(Z) \quad (17)$$

$$= Q_0(Z)F(Z)I(Z)R(Z) \frac{F(1/Z)}{F_0(1/Z)}$$

و از معادله (۱۴) داریم که

$$\frac{F_0(Z)}{F(Z)} = \frac{F(1/Z)}{F_0(1/Z)} \quad (18)$$

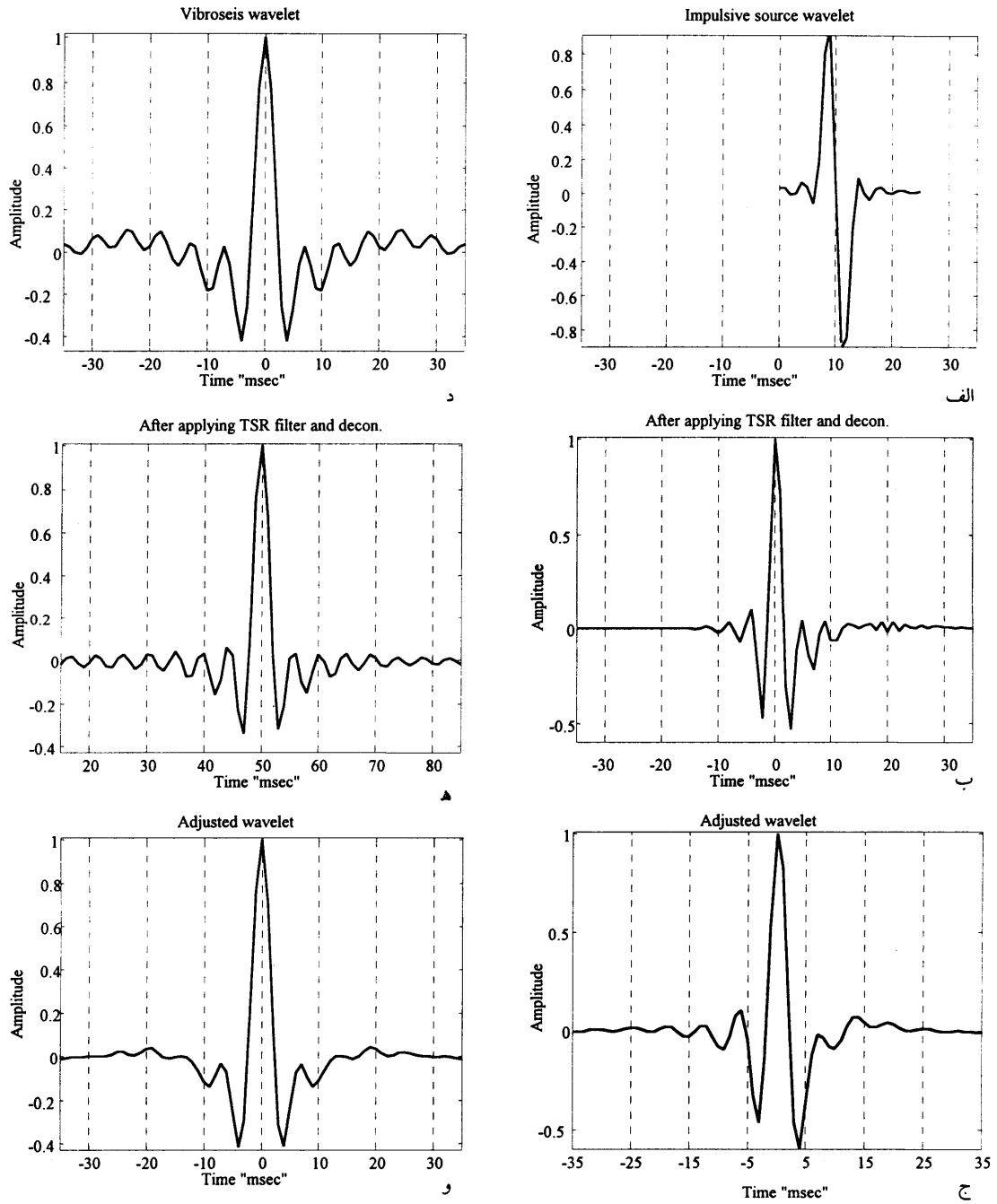
پس از جایگزینی، معادله (۱۷) به صورت زیر در خواهد آمد

$$IMT'(Z) = Q_0(Z)F_0(Z)I(Z)R(Z) \quad (19)$$

اگر رابطه (۱۹) حاصل هم‌میخت R و موجک چشمه انفجاری باشد، پس موجک جدید برای چشمه انفجاری، یعنی $IM'(Z)$ ، به صورت زیر قابل تعریف خواهد بود

$$IM'(Z) = Q_0(Z)F_0(Z)I(Z) \quad (20)$$

اگر پاسخ دستگامی نیز مشخص باشد، می‌توان $I(Z)$ را با معادل با فاز حداقلش یعنی $I_0(Z)$ جایگزین نمود. بنابراین پس از اعمال صافی تغییرشکل دو طرفه نوع بازگشتی (یعنی $SF_{IM}(Z)$) موجک جدید، یعنی $IM'(Z)$ ، به صورت یک



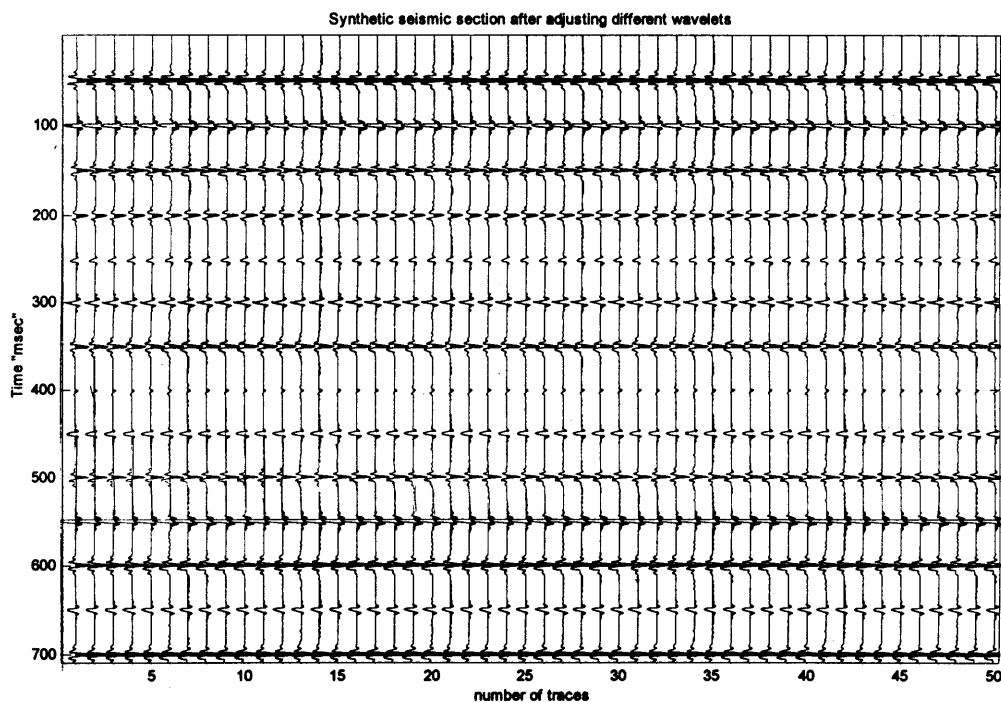
شکل ۲. مقایسه موجک‌ها قبل و بعد از همسان‌سازی:

الف) موجک مربوط به چشمه انفجاری، ب) پس از اعمال صافی TSR مربوطه و واهمامیخت، ج) موجک مربوط به چشمه انفجاری پس از محدود کردن طیف دامنه.
 د) موجک مربوط به چشمه ارتعاشی، ه) پس از اعمال صافی TSR مربوطه و واهمامیخت، و) موجک مربوط به چشمه ارتعاشی پس از محدود کردن طیف دامنه.

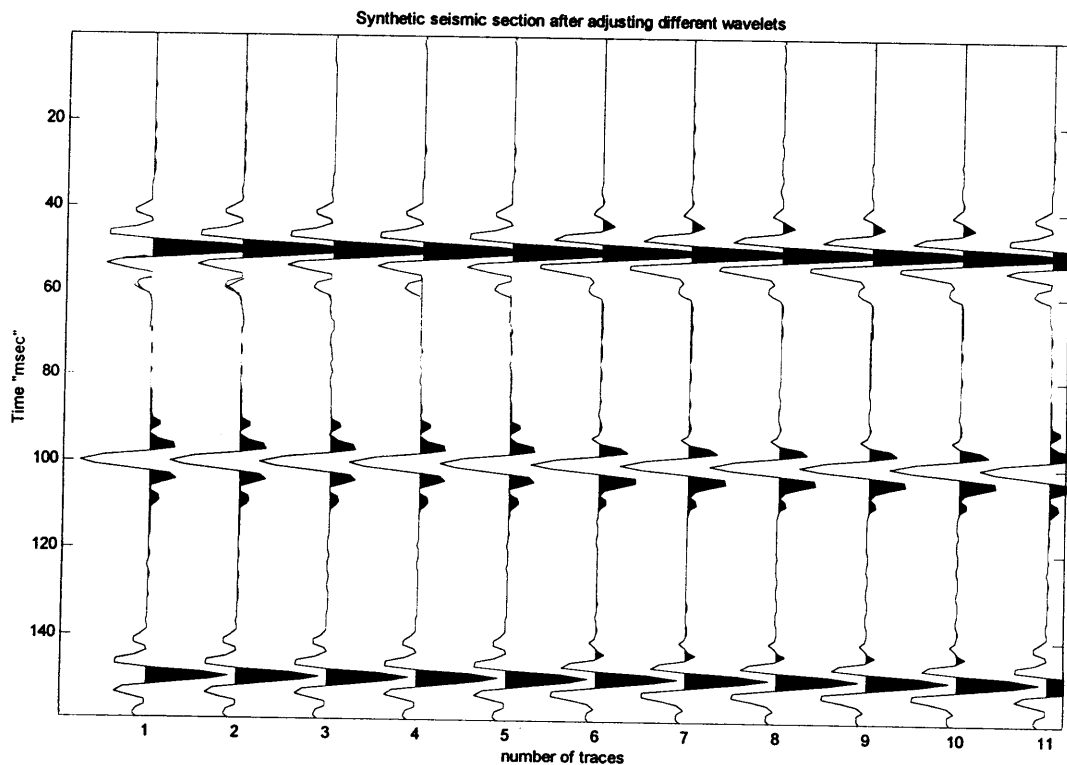
همسان‌سازی آورده شده است. همچنین برای بررسی وابسته نبودن صافی طراحی شده به رد، در شکل (۴) اثر اعمال صافی و همسان‌سازی نهایی بر یک مدل زمین نسبتاً پیچیده‌تر که شامل لایه‌های شیدار بین لایه‌های افقی در بالا و پایین است، نشان داده شده است. بررسی شکل‌های (۳-الف) و (۴-ب) نشان می‌دهد که پس از همسان‌سازی، شکل سیگنال‌ها مشابه، همگن و محتوای فرکانس آنها نزدیک به هم شده و ردیابی یک بازتابنده یا تفسیر داده‌ها بدون هیچ مشکلی انجام پذیر است. لازم به اشاره است که در مثال‌های بالا برای یکسان شدن گستره فرکانسی موجک‌های حاصل از اعمال صافی‌های تغییرشکل، از واهمامیخت نوع اسپایک (ایلماز، ۲۰۰۱) با نوفه سفید مناسب (۰/۱ درصد) و صافی میان‌گذر نوع یول‌واک مرتبه ۲۰ با فرکانس بالا گذر برابر ۸۰ هرتز با شیب ۴۰ دسی‌بل در هر اکتاو و فرکانس گذر پایین برابر ۱۵ هرتز و شیب ۲۰ دسی‌بل در هر اکتاو، استفاده شده است.

(شکل ۲ - ج برای چشمه انفجاری و شکل ۲ - و برای چشمه ارتعاشی) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود موجک‌ها پس از اعمال مراحل بالا همسان شده‌اند و شباهت آنها بسیار زیاد شده است.

شکل‌های (۳) و (۴) نیز اثر همسان‌سازی را روی مقاطع مصنوعی نشان می‌دهند. در شکل (۱-الف)، یک مدل زمین با ۱۴ لایه افقی در نظر گرفته شد که در آن به‌طور متناوب پنج رد اول مربوط به چشمه ارتعاشی و پنج رد بعدی مربوط به چشمه انفجاری (همین‌طور الی آخر) است. شکل (۳-الف) همین مقطع را پس از همسان‌سازی نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل برمی‌آید، شکل موجک‌های سازنده این مقطع تقریباً یکسان شده و به سختی می‌توان بین ردهای حاصل از چشمه ارتعاشی (اول تا پنجم، یازدهم تا پانزدهم و ...) و موجک حاصل از چشمه انفجاری (ششم تا دهم، شانزدهم تا بیستم و ...) تفاوتی مشاهده کرد. جهت مشاهده بهتر، ۱۶۰ میلی‌ثانیه از ۱۱ رد اول شکل‌های فوق در شکل‌های (۱-ب) قبل از همسان‌سازی و (۳-ب) پس از



شکل ۳- الف. مقطع لرزه‌ای مصنوعی نشان داده شده در شکل (۱-الف) پس از همسان‌سازی دو موجک مختلف. ردهای با شماره‌های ۱ تا ۵، ۱۱ تا ۱۵، ۲۱ تا ۲۵ و به همین ترتیب تا آخر با چشمه ارتعاشی و سایر ردها با چشمه انفجاری مدل‌سازی شده‌اند.



شکل ۳-ب. ۱۱ رد و ۱۶۰ میلی‌ثانیه از شکل ۳-الف) که با بزرگنمایی نشان داده شده و همسان‌سازی دو موجک مختلف را بهتر نشان می‌دهد.

۶ نتیجه‌گیری

مواردی در عمل پیش می‌آید که در حین عملیات لرزه‌نگاری به دلیل پاره‌ای مشکلات مجبور به استفاده از دو چشمه انفجاری و ارتعاشی در یک خط لرزه‌نگاری هستیم. به هنگام استفاده توأم از دو چشمه فوق لازم است قبل از شروع پردازش داده‌ها، موجک‌های حاصل از دو چشمه همسان‌سازی شوند. در این مطالعه جهت همسان‌سازی موجک‌ها، صافی‌های تغییرشکل دو طرفه از نوع بازگشتی برای هر کدام از چشمه‌های ارتعاشی و انفجاری طراحی شد. این بررسی نشان داد که مناسب‌ترین عملگر برای تغییر شکل موجک حاصل از وایروسایز و چشمه انفجاری به ترتیب

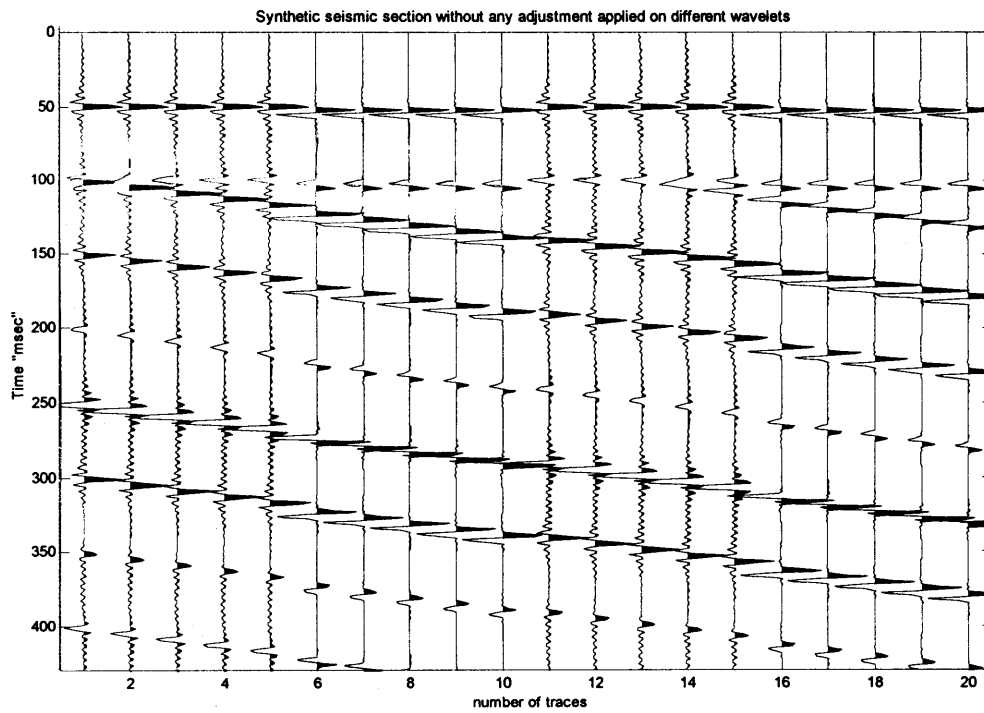
$$SF_{IM}(Z) = \frac{F(1/Z)}{F_0(1/Z)} \quad \text{و} \quad SF_V(Z) = \frac{1}{S_0(1/Z)F_0(1/Z)}$$

است. این بررسی همچنین نشان داد که برای یکسان شدن گستره بسامدی موجک‌های حاصل از اعمال صافی تغییرشکل لازم است از واهمامیخت نوع اسپایک با نوفه

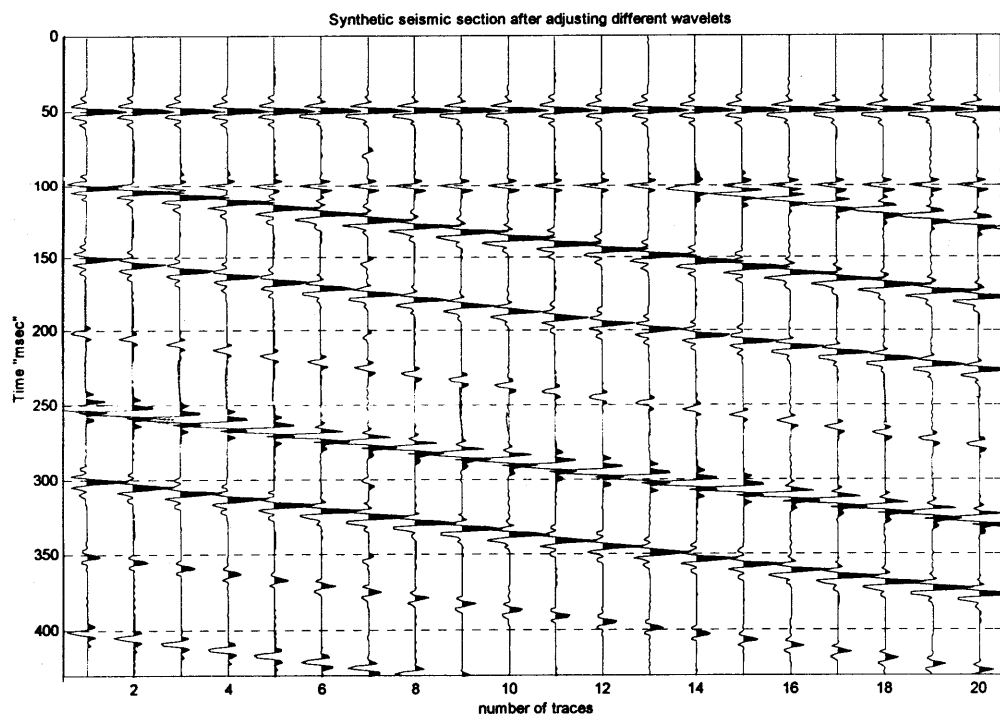
سفید مناسب (۰/۱ درصد) و صافی میان‌گذر نوع یول‌واک مرتبه ۲۰ با بسامد بالا گذر برابر ۸۰ هرتز و شیب ۴۰ دسی‌بل در هر اکتاو و بسامد پایین گذر برابر ۱۵ هرتز و شیب ۲۰ دسی‌بل در هر اکتاو، استفاده شود.

منابع

- یوسف‌زاده، ع، ۱۳۸۰، همسان‌سازی موجک‌های حاصل از چشمه‌های ارتعاشی و انفجاری: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- Alford, R.M., Kelly, K.P., and Boore, D.M., 1974, Accuracy of finite-difference modeling of the acoustic wave equation: *Geophysics*, 39, 834-842.
- Baeten, G., and Ziolkowski, A., 1990, *The Vibroseis source*: Elsevier Publications, Amsterdam.
- Brotz, R., Marshall, R., and Knecht, M., 1987, *Signal adjustment of Vibroseis and impul-*



شکل ۴-الف. مقطع لرزه‌ای مصنوعی و با استفاده از یک مدل زمین‌شناسی متفاوت حاصل از به کارگیری دو موجک مختلف، بدون تعدیل موجک‌ها، ردهای با شماره‌های ۱ تا ۵ و ۱۱ تا ۱۵ با چشمه ارتعاشی و سایر ردها با چشمه انفجاری مدل‌سازی شده‌اند.



شکل ۴-ب. مقطع مصنوعی نشان داده شده در قسمت (الف) پس از همسان‌سازی موجک‌های متفاوت.

- sive source data: *Geophysical Prospecting* **35**, 739 – 766.
- Claerbout, J.F., 1985, *Fundamentals of geophysical data processing, with application to petroleum prospecting*: Blackwell Scientific Publications, Boston Mass.
- Cunningham, A.B., 1979, Some alternate Vibrator signals: *Geophysics*, **44**, 1901-1921.
- Schimunek, K., and Strobl, E., 1985, A combined dynamite–Vibro seis 3-D survey in the subalpine overthrust zone of Austria: *First Break* **3**, 9-15.
- Sheriff, R.E., and Geldart, L.P., 1995, *Exploration seismology*: Cambridge University Press, New York.
- Yilmaz, O., 2001, *Seismic data analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data*, **1**, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK.