



کاربرد روش سطح بازتاب مشترک (CRS) در پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی

◀ مریم صدری^۱ - جواد جمالی^۲

چکیده:

یکی از اهداف مهم در پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی، رسیدن به مدل صحیح از ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی است. این مسئله در مطالعات لرزه‌نگاری عمیق دارای اهمیت می‌باشد. یک روش استاندارد تصویرسازی از زیر سطح زمین، شبیه‌سازی مقطع بر انبارش از روی داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی است. برای این منظور از دو روش متداول پردازشی، تصحیح دینامیک / تصحیح شیب / برانبارش یا روش برانبارش قبل از مهاجرت استفاده می‌شود. ولیکن صحت روش‌های ذکر شده، به شدت به مدل سرعتی لایه‌های زمین بستگی دارد.

روش سطح بازتاب مشترک (CRS)، بازتاب‌های قطعه‌ای از سطح بازتابنده را براساس نشانگرهای دو جبهه موج فرضی بررسی می‌کند. نشانگرهای جبهه موج شامل شیب، موقعیت و میزان انحنای سطح بازتابنده هستند و برای هر نمونه در مقطع بر انبارش محاسبه می‌شوند تا در آنالیزهای بعدی مثل تهیه مدل سرعتی دقیق در مناطق زمین‌شناسی پیچیده با کمک توموگرافی به کار روند. با کمک این نشانگرها می‌توان تغییرات جانبی سطح بازتابنده را بررسی کرد. مقطع بر انبارش CRS براساس این نشانگرها محاسبه شده و به مدل سرعتی بستگی ندارد. برای هر نمونه در مقطع دورافت صفر، یک سطح برانبارش تعریف شده و از طریق آنالیز کهرنسی (جسبندگی و ارتباط) اپراتوری را که به داده‌های بازتابی برازش می‌شود، انتخاب می‌کند. در مقطع برانبارش CRS، نسبت سیگنال به نویز افزایش یافته و پیوستگی بازتابنده‌ها بر روی مقطع بیشتر می‌شود. کلمات کلیدی: سطح بازتاب مشترک (SRC)، تصویرسازی داده‌های بازتابی، نشانگرهای جبهه موج

مقدمه

اولین نظریه‌ها برای تصویرسازی داده‌های بازتابی در نقطه دورافت صفر بدون وابستگی به مدل سرعت، توسط بازلاری (۱۹۸۶) و گلچینسکی (۱۹۸۸) مطرح شد [۷]. هوبرال و همکارانش (۱۹۹۹) تلاش زیادی برای بسط این‌گونه روش‌های تصویرسازی انجام دادند. روش Common Reflection Surface (CRS) یا سطح بازتاب مشترک که توسط من و همکارانش (۱۹۹۹) ارائه شد، مستقل از مدل سرعت است. در این روش سطح بازتاب‌کننده از مجموع قطعاتی تشکیل شده که موقعیت، شیب و میزان انحنای این قطعات مورد توجه قرار می‌گیرد. از این روش CRS به ماهیت واقعی زمین نزدیکتر است و در نتیجه می‌تواند بازتابنده‌هایی با شیب و انحنای مختلف را به خوبی نمایش دهد. در سال ۲۰۰۴، دانک با استفاده از نشانگرهای CRS مدل سه بعدی سرعت را از طریق توموگرافی ساخت.

روش‌های متداول پردازشی برای ساختن تصویر لایه‌های زیر سطح زمین، به مدل سرعتی صحیح نیاز دارند. از طرف دیگر در مناطقی که ساختمان‌های زمین‌شناسی پیچیده وجود دارد یا داده‌ها دارای نسبت سیگنال به نویز پایین هستند. ساختن مدل سرعت با دشواری‌هایی همراه است و معمولاً تصویر دقیقی به دست نمی‌آید. روش تصحیح دینامیک / تصحیح شیب و برانبارش (NMO/DMO stack)، تصویر بازتابنده را در نقطه دورافت صفر شبیه‌سازی می‌کند، در حالی که در روش برانبارش قبل از مهاجرت (Pre-stack migration) فرض می‌کنیم که سطح بازتاب از یک‌سری نقاط پراش مستقل از هم تشکیل شده است. هر دو روش قادر نیستند شکل بهینه‌ای از سطح منحنی شکل بازتابنده ایجاد کنند.

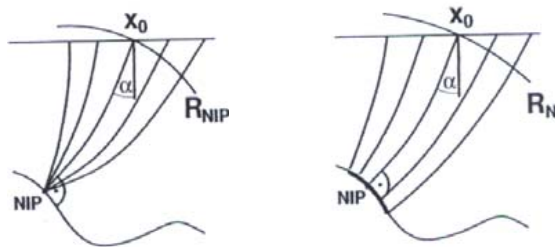
۱- مدیر پیت اکتشاف (اداره ژئوفیزیک) - دانشجوی دکترا

۲- مدیر پیت اکتشاف (اداره ژئوفیزیک) - کارشناس ارشد مهندسی نفت

۱. اصول روش CRS

اصول روش CRS براساس خصوصیات و شکل سطح بازتابنده است. ابتدا نقطه R را روی بازتابنده در نظر می‌گیریم. اگر یک چشمه نقطه‌ای در نقطه R قرار دهیم، یک جبهه موج کروی با شعاع R_{NIP} خواهیم داشت و اگر قطعه‌ای از سطح بازتابنده را به عنوان چشمه در نظر بگیریم، جبهه موج تخت با شعاع R_N تولید می‌شود. این جبهه‌های موج فرضی روی سطح بازتابنده، برای اولین بار توسط هوبرال (۱۹۸۳) ارائه شدند [۷]. با فرض شعاع تابش قائم، این جبهه‌های موج در نقطه و تحت زاویه α به سطح زمین برخورد می‌کنند (شکل-۱). شعاع R_N بیانگر میزان انحنای بازتابنده، شعاع R_{NIP} مقدار عمق و زاویه α همان زاویه سطح بازتاب است.

شکل-۱: جبهه موج‌های تئوری تولیدشده از چشمه واقع روی سطح بازتابنده [۸].



اپراتور دو بعدی برانبارش CRS که در رابطه (۱) ارائه شده است، تخمین هایپربولی از زمان سیر می‌باشد (تیگل، ۱۹۹۷) و زمان سیر پرتوهای بازتابی را در مجاورت پرتو در نقطه نشان می‌دهد.

$$t^2(x_m, h) = [t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{V_0}(x_m - x_0)]^2 + \frac{2t_0 \cdot \cos^2 \alpha}{V_0} \left[\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right] \quad (1)$$

که در آن: h ، نصف دورافت بین چشمه و گیرنده، x_m نقطه میانی بین چشمه و گیرنده، V_0 ، سرعت لایه سطحی است. برای هر نمونه (t, x) در مقطع بر انبارش باید نشانگرهای جبهه موج (seismic attributes) شامل (α, R_N, R_{NIP}) را مشخص کرد. یک روش برای تعیین پارامترها این است که ابتدا اپراتور برانبارش را با صفحه رکورد میانی مشترک $(x_m = x_0)$ تقاطع دهیم:

$$t_{CMP}^2(h) = t_0^2 + \frac{2t_0 h^2 \cdot \cos^2 \alpha}{V_0 \cdot R_{NIP}} \quad (2)$$

در رابطه (۱) فرض کرده:

$$V_{NMO}^2 = \frac{2V_0 \cdot R_{NIP}}{t_0 \cdot \cos^2 \alpha} \quad (3)$$

با جایگذاری رابطه (۳) در رابطه (۲) به فرمول شناخته‌شده تصحیح دینامیک می‌رسیم:

$$t_{CMP}^2(h) = t_0^2 + \frac{4h^2}{V_{NMO}^2} \quad (4)$$

با انجام آنالیز سرعت معمولی در مقطع رکورد میانی مشترک، می‌توان مقدار سرعت برانبارش V_{NMO} را تعیین کرد. در مرحله بعد، اپراتور بر انبارش CRS را با مقطع دورافت صفر $(h = 0)$ تلاقی داده و اپراتور دوبعدی (رابطه-۱) به حالت یک بعدی تبدیل می‌شود:

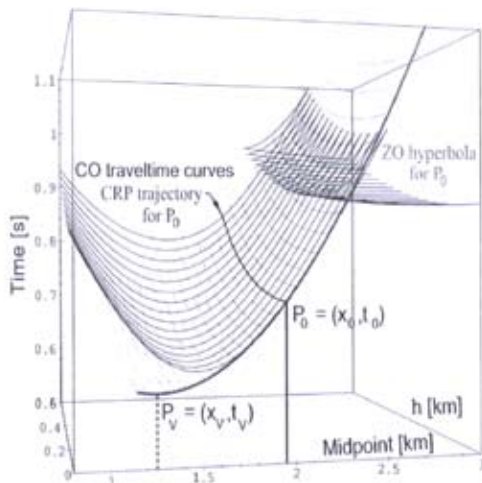
$$t_{ZO}^2(x_m) = [t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{V_0}(x_m - x_0)]^2 + \frac{2t_0 \cdot \cos^2 \alpha}{V_0 \cdot R_N} \cdot (x_m - x_0)^2 \quad (5)$$

دو پارامتر α و R_N در معادله بالا مجهول هستند. ابتدا فرض می‌شود که جبهه موج صفحه‌ای با سطح زمین برخورد کرده است. در این حالت $R_N = \infty$ می‌باشد و رابطه (۵) به شکل زیر ساده می‌شود:

$$t_{ZO}(x_m) = t_0 + \frac{2 \sin \alpha}{V_0}(x_m - x_0) \quad (6)$$

از این رابطه خطی می‌توان زاویه برخورد موج به سطح زمین را به دست آورد. با معلوم بودن α و V_{NMO} در رابطه (۳)، R_{NIP} محاسبه می‌شود. همینطور R_N در رابطه (۵)، با مشخص بودن α قابل تعیین است.

شکل-۲: مجموعه داده‌های بازتابی اطراف نقطه (t_0, x_0) [۳].

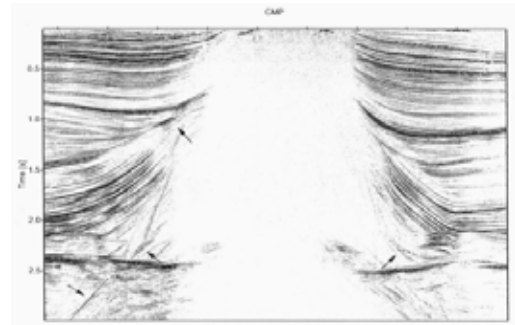


حال با معلوم بودن سه نشانگر CRS برای موقعیت هر نمونه (t_0, x_0) می‌توان داده‌ها را در راستای اپراتور دوبعدی برانبارش (رابطه-۱) جمع کرد تا مقطع برانبارش CRS حاصل شود. برای تعیین پارامترهای بهینه باید آنالیز کهنسی (چسبندگی و ارتباط) انجام گیرد (کهلر و تنر، ۱۹۶۹) تا اپراتوری که بیشترین تطابق را با پدیده‌های واقعی بازتاب دارد، انتخاب شود.

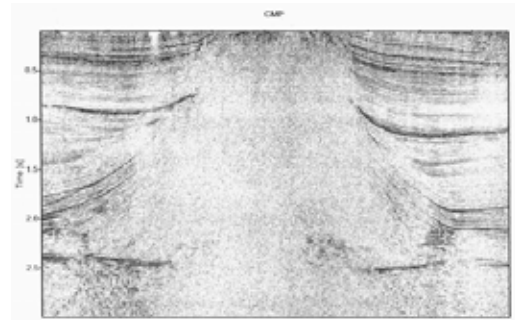
۲. کاربردها و نمونه‌ها

در لرزه‌نگاری بازتابی نشانگرهای متعددی تعریف شده‌اند که بیشتر آنها به تفسیر اطلاعات لرزه‌ای کمک می‌کنند. نشانگرهایی که از مقطع برانبارش CRS (CRS attributes) به دست می‌آیند، متعلق به نشانگرهای زمانی هستند. از طرف دیگر چون این نشانگرها وابسته به جبهه موج می‌باشند، به آنها نشانگرهای جبهه موج (wavefront attributes) نیز می‌گویند. حین پردازش CRS برای هر نمونه علاوه بر نشانگرهای جبهه موج، مقدار سرعت برانبارش نیز محاسبه می‌شود که

شکل-۳: نتایج مقطع بر انبارش (الف) حاصل از CRS. (ب) حاصل از پردازش متداول NMO/DMO stack روی داده‌های خشکی مقایسه شده‌اند [۴]. در شکل (الف) افزایش پیوستگی بازتابنده‌ها در حاشیه گنبد نمکی دیده می‌شود.

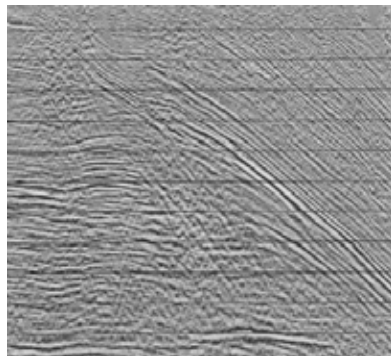


(الف)

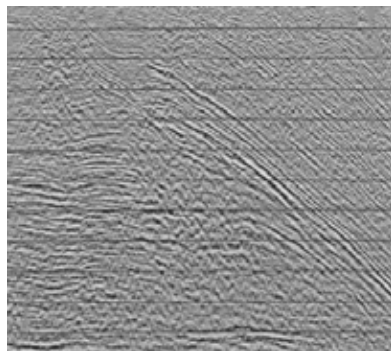


(ب)

شکل-۴: (الف) مقطع بر انبارش CRS. (ب) مقطع حاصل از پردازش با روش معمول NMO/DMO stack. افزایش پیوستگی بازتابنده‌ها در زیر گسل تراستی دیده می‌شود [۱].



(الف)



(ب)

مقایسه شده است. همانطور که دیده می‌شود، روش CRS پیوستگی بازتابنده‌ها در اطراف گنبد نمکی را افزایش می‌دهد. شکل (۴-الف) افزایش نسبت سیگنال به نویز و پیوستگی بازتابنده در زیر گسل تراستی را روی مقطع بر انبارش CRS نشان می‌دهد.

انرژی لرزه‌ای با رسیدن به سطح گسل به صورت پراش درمی‌آید و تشخیص دقیق سطح گسل و لایه‌های زیر آن دشوار می‌گردد. از طرف دیگر الگوی سرعتی سطح بالا و پایین گسل متفاوت است و باعث ایجاد تغییرات جانبی سرعت می‌شود که این مسئله در ایجاد مدل عمقی و نهایتاً تفسیر اطلاعات لرزه‌ای دارای اهمیت است. اپراتور بر انبارش CRS بر انحنای بهینه سطح بازتابنده تطابق دارد، به همین علت قادر است از ساختمان‌های کوچک مقیاس که حتی دارای گسل خوردگی هستند، تصویری با وضوح بسیار ایجاد کند.

شکل (۵-الف)، داده‌های لرزه‌نگاری روی خشکی و شکل (۵-ب) داده‌های لرزه‌نگاری دریایی را نشان می‌دهند. در هر دو شکل لایه‌هایی با شیب زیاد در اثر گنبد نمکی ایجاد شده‌اند. به علت اینکه شیب سطح بازتابنده مستقیماً در اپراتور بر انبارش CRS در نظر گرفته می‌شود، تصویر واضحی از بازتابنده‌های شیبدار به دست می‌آید. در مقاطع بر انبارش CRS که در سمت راست شکل-۵ دیده می‌شوند، وضوح بازتابنده‌های شیبدار افزایش یافته و پراش‌ها در منطقه گنبد نمکی قابل دیدن هستند.

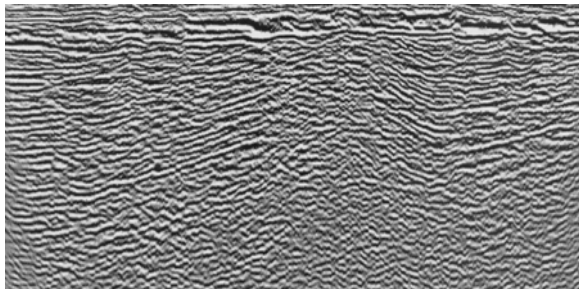
شکل-۶ مربوط به داده‌های لرزه‌نگاری خشکی است که یک ساختمان طاق‌دیس را نشان می‌دهد. برای اینکه بخش‌های مرکزی طاق‌دیس بهتر مشخص شود، از روش مهاجرت عمقی قبل از برانبارش استفاده شده است. ولی مقطع مهاجرت عمقی قبل از برانبارش بهبود زیادی را نشان نمی‌دهد (شکل-۶-الف). در مقطع بر انبارش CRS پیوستگی بازتابنده‌ها به طور قابل

مدل اولیه سرعت را می‌توان از روی آنها تخمین زد (هویرال و کری، ۱۹۸۰). همچنین در مراحل بعدی پردازش با کمک روش توموگرافی نشانگرهای جبهه موج (CRS tomography)، می‌توان مدل سرعتی دقیق برای مهاجرت عمقی به دست آورد [۲]. زیرا نشانگرهای جبهه موج بیانگر خصوصیات سطح بازتاب هستند. مدل سرعتی حاصل از روش CRS tomography نسبت به مدل‌های سرعتی که از روش‌های مهاجرت قبل از برانبارش به دست می‌آیند، نرم‌تر بوده و تغییرات جانبی سرعت را بهتر نشان می‌دهد. در بسیاری از موارد، مهاجرت بعد از برانبارش روی مقطع CRS می‌تواند مانند مهاجرت عمقی قبل از برانبارش در مناطق پیچیده به کار رود (ترپ، ۲۰۰۱) و نتایج بهتری نسبت به مهاجرت عمقی قبل از برانبارش حاصل می‌شود. همچنین از این نشانگرها در تشخیص پدیده‌های بازتابی از پراش و تعیین فاکتور انتشار هندسی و زون فرنل می‌توان استفاده کرد. روش بر انبارش CRS بر روی مدل مصنوعی توسط مولر (۱۹۹۸) با موفقیت انجام شد. در مقطع بر انبارش CRS تعداد ردلرزه‌ها خیلی بیشتر از مقطع بر انبارش معمولی است. در نتیجه نسبت سیگنال به نویز به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. افزایش پوشش زیرزمینی (fold)، پیوستگی بازتابنده‌ها را بهبود بخشیده و پدیده‌های واقعی بازتاب بهتر شناسایی می‌شوند.

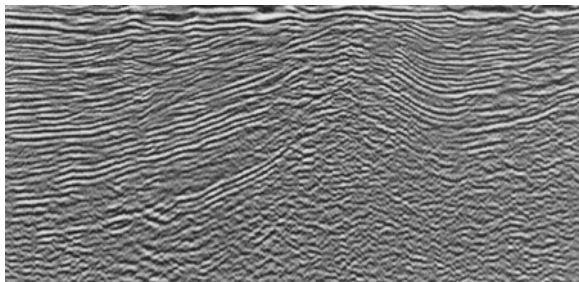
گنبد نمکی انرژی لرزه‌ای را به صورت پراش پراکنده می‌کند و در نتیجه وضوح بازتاب‌های حاصل از لایه‌های اطراف نمک کاهش می‌یابد. این مسئله در تفسیر تله‌های نفتی که در حاشیه نمک‌ها وجود دارند، دارای اهمیت است. شکل-۳، نتایج پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی را که از بالای گنبد نمکی برداشت شده‌اند، نشان می‌دهد.

مقطع بر انبارش CRS (شکل-۳-الف) با مقطع برانبارش حاصل از پروسه متداول NMO/DMO stack (شکل-۳-ب)

شکل-۶: (الف) مقطع مهاجرت عمقی قبل از برانبارش، (ب) مقطع مهاجرت عمقی بعد از برانبارش روی مقطع CRS [۱°].

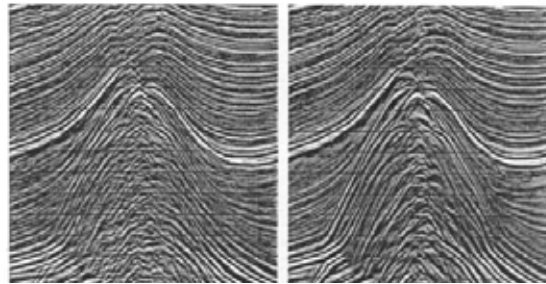


(الف)

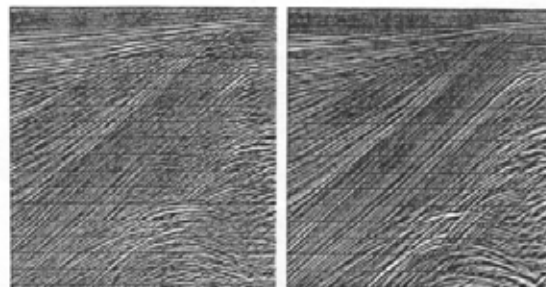


(ب)

شکل-۵: مقطع برانبارش حاصل از NMO/DMO stack در سمت چپ و مقطع برانبارش CRS در سمت راست تصاویر دیده می‌شوند. شکل (الف-۵) مربوط به داده‌های خشکی و شکل (ب-۵) مربوط به داده‌های دریایی است که از روی گنبد نمکی و لایه‌های شیبدار حاشیه نمک ثبت شده‌اند [۱°].



(الف)



(ب)

مراجع

- [1] Bolte, J.F.B., «The common focal point and common reflection surface methodologies», *Geophysical Prospecting*, Vol. 52, pp. 523-534, 2004.
- [2] Duveneck, E., «3D tomographic velocity model estimation with kinematic wavefield attributes», *Geophysical Prospecting*, Vol. 52, pp. 535-545, 2004.
- [3] Hocht, G.; Bazelaire, E.; Majer, P.; Hubral, P.; «Seismic and optics: hyperbolae and curvatures», *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 42, pp. 261-281, 1999.
- [4] Hubral, P.; Hocht, G.; Jager, R.; «Seismic illumination», *The Leading Edge*, pp. 1268-1299, 1999.
- [5] Hubral, P.; Krey, T.; «Interval velocities from seismic reflection travel-time measurements», SEG, Tulsa, 1980.
- [6] Jager, R.; Mann, J.; Hocht, G.; Hubral, P.; «Common-Reflection-surface stack: Image and attributes», *Geophysics*, Vol. 66, pp. 97-109, 2001.
- [7] Mann, J.; Jager, R.; Muler, T.; Hocht, G.; Hubral, P.; «Common-reflection-surface stack», *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 42, pp. 301-318, 1999.
- [8] Mann, J.; Duveneck, E.; Hertweck, T.; Jager, C.; «A seismic reflection imaging workflow based on the Common-Reflection-Surface stack», technical report, 2003.
- [9] Muller, T.; «Common Reflection Surface imaging workflow based on the Common Reflection Surface stack versus NMO/DMO/stack», 60th Conf. Eur. Assn. Geosci. Eng., Session, pp. 1-20, 1998.
- [10] Trappe, H.; Gierse, G.; Pruessmann, J.; «Case studies show potential of Common Reflection Surface stack- structural resolution in the time domain beyond the conventional NMO/DMO stack», *Journal of first break*, Vol. 19, pp. 625-633, 2001.
- [11] Tygel, M.; Muller, T.; Hubral, P.; Schleicher, J.; «Eigenwave based multiparameter traveltimes expansions», 67th Ann. Internat. Mtg. SEG, pp. 1770-1773, 1997.

توجهی زیاد شده و نسبت سیگنال به نویز افزایش می‌یابد. به همین جهت از مدل سرعتی به دست آمده از مهاجرت عمقی قبل از برانبارش برای مهاجرت عمقی مقطع برانبارش CRS استفاده شده است. همانطور که شکل (۶-ب) نشان می‌دهد، نسبت سیگنال به نویز و واقع‌نمایی در مقطع عمقی افزایش یافته و شکل طاق‌دیس به وضوح دیده می‌شود. در مناطقی که زمین‌شناسی پیچیده وجود دارد می‌توان از روش مهاجرت عمقی بعد از برانبارش روی مقطع CRS، به عنوان ابزاری در کنار مقطع مهاجرت عمقی قبل از برانبارش استفاده کرد.

۴. نتیجه‌گیری

روش CRS قادر است کیفیت تصویر حاصل از پردازش لرزه‌نگاری را نسبت به روش‌های متداولی مانند روش تصحیح دینامیک، تصحیح شیب و برانبارش (NMO/DMO stack) یا روش مهاجرت قبل از برانبارش (Pre-stack migration) بهبود بخشد. نتیجه اصلی این روش، افزایش نسبت سیگنال به نویز و پیوستگی بیشتر بازتابنده‌ها است. بهبود وضوح تصاویر لرزه‌ای در بخش‌های نوپیزی و مناطقی که ساختمان مورد نظر در عمق زیاد است، بیشتر محسوس می‌باشد. با این روش بازتابنده‌های شیبدار به‌خصوص در دامنه‌های گنبد نمکی که مشکلات بازتابی وجود دارد، به خوبی نمایش داده می‌شوند. همچنین گسل‌ها و ناپوستگی‌ها با دقت بیشتری قابل تشخیص هستند. با کمک نشانگرهای جبهه موج می‌توان مدل سرعتی دقیق برای ساختارهای زمین‌شناسی به دست آورد. در نتیجه مقطع عمقی حاصل، نسبت به سایر روش‌های پردازشی دارای وضوح بیشتری است که باعث بهبود تفسیر ساختمانی و زمین‌شناسی مقاطع لرزه‌نگاری بازتابی می‌شود.