

تضعیف نوفه بازتاب تکراری از داده لرزهای با الگوریتم آنالیز نوفه در حوزه موجک

محمد ایرانی مهر'، محمد علی ریاحی"*و علیرضا گودرزی^۳

۱ – دانشجوی دکتری، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران ۲ – استاد، موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران ۳ – دانشیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۰۸؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

* نویسنده مسئول مکاتبات: mariahi@ut.ac.ir

واژگان کلیدی	چکیدہ
	 بازتابهای تکراری یا چندگانهها از نوفههای همدوس لرزه ای میباشند؛ که حضور آنها به خصوص در دادههای دریایی باعث
	کاهش کیفیت داده میشود. در این تحقیق از تبدیل موجک جدیدی با نام "تبدیل موجک دو شاخهای ضریب اتساع
	گویا"(DT-RADWT) برای حذف نوفه بازتاب تکراری از دادههای لرزهای استفاده خواهد شد. مزیت این تبدیل نسبت به
تبديل موجك كسسته	تبدیلهای موجک گسسته رایج، نمونهبرداری گویای آن است؛ که امکان تفکیک پذیری زمانی- فرکانسی بالاتری را فراهم
بېدين ټر د ^ي باز تاب تک اري	میکند. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله آنالیز نوفه در حوزه موجک یا WDNA میباشد؛ که در آن از DT-RADWT و
جر يې دير ري جدايش برگمان	تكرار جدایش برگمان استفاده خواهد شد. الگوریتم تكرار جدایش برگمان به منظور حصول سریع به پاسخ بهینه طراحی
:یین بر دندن تبدیل رادهن	شده است. WDNA الگوریتمی بر پایه داده میباشد. استفاده از تبدیل رادون برای تضعیف بازتابهای تکراری رایج است؛ که
یا را را آنالیز نوفه در حوزه موجک	برای بدست آوردن الگوی اولیه بازتابهای تکراری استفاده خواهد شد. هدف WDNA این است که خروجی تبدیل رادون
WDNA	ارتقا یابد و امواج بازتابی بهتر حفظ شوند. حضور سطوح بالای نوفه اتفاقی باعث کاهش کیفیت نوفهزدایی میشود؛ اما
DT-RADWT	WDNA به گونه ای طراحی شده است که بتواند بر اثر مخرب نوفه اتفاقی غلبه کند. نتایج WDNA در تضعیف بازتاب
	تکراری، با داده مصنوعی و دریایی آزمایش شده و نتایج آن با خروجی تبدیل رادون و WDGA مقایسه گردیده و ارائه شده
	است. نتایج نشان دهنده بهبود کیفیت دادههای لرزهای در الگوریتم WDNA و حفظ بهتر بازتابهای اولیه نسبت به تبدیل
	رادون مىباشد.

۱–مقدمه

دادههای لرزهای با استفاده از چشمه انرژی تولید امواج کشسان به دست میآیند؛ که توسط ساختارهای زیر سطح به گیرندههای در سطح بازتاب می شوند. بازتاب های اولیه تنها یک بار منعکس می شوند و اطلاعات مفیدی مانند سرعت و مشخصات ساختارهای زیر سطح را در اختیار قرار میدهند. روشهای تصویربرداری لرزهای بر اساس بازتابهای اولیه توسعه یافتهاند (Marcos & Filipo, 2000). با این حال، علاوه بر بازتابهای اولیه، گیرندهها چندگانهها را نیز ثبت میکنند. موج بازتابی، که بین بازتابندههای زیر سطح یا سطح آزاد، قبل از دریافت بر روی گیرندهها بیش از یک بار منعکس شده است؛ بازتاب تکراری یا چندگانه نامیده می شود. بازتاب های تکراری اغلب به صورت مخرب با بازتاب های اصلی تداخل میکنند و منجر به کاهش کیفیت تصاویر لرزهای میشوند و در صورت قوى بودن دامنه آنها، ممكن است مانع ظاهر شدن سطوح بازتابنده عمیقتر در مقطع شوند (Backus, 1959) بازتابهای تکراری درون آب یکی از مهمترین انواع نوفههای همدوس در عملیات لرزهای بازتابی اکتشافی محسوب می شوند (Weglein, et al., 2011) بازتابهای تکراری بسته به مسیری که بازتاب تکراری طی کرده و سطوحی که از آنها بازتابش داشته به انواع مختلفی تقسیم می شوند؛ مانند تکراری کف دریا، تکراری سطح زمین، تکراری چوبپایی^۱، تکراری داخل لایهای و تکراری بین لایهای (Weglein, et al., 2011). بسته به فاصله ای که تکراری در بازتابشهای مختلف طی میکند، که در نهایت منجر به فاصله زمانی بین بازتابش اولیه و تکراریهای مرتبههای بالاتر می شود، تكراريها را به انواع بلند مسير ً و كوتاه مسير ً تقسيم ميكنند. مثلاً در یک برداشت دریایی با عمق آب زیاد تکراریهای بلند مسیر کف دریا دیده می شوند در حالی که در برداشتی که در دریای کم عمق انجام شده، تکراریهای کوتاه مسیر و باز آوایش[†] دیده میشوند (Yilmaz, 2001). تضعیف چندگانهها در لرزه نگاری بازتابی یک مشکل دیرینه در ژئوفیزیک اکتشافی بوده است. بازتابهای تکراری اثرات چشمگیری به ویژه در لرزه نگاری دریایی میگذارد؛ که به دلیل تضاد بسیار زیاد تباین^۵ صوتی بین سطح آب و هواست. اگر لایه پایین آب جامد باشد، لایه آب می تواند انرژی بین سطح آب و زمین را به دام بیاندازد. در این حالت بازتابهای تكراری میتوانند بسیار قویتر از بازتابهای اولیه عمیق باشند. در داده برداری خشکی بازتاب چندگانه میتواند برای مثال در محیطهای دارای لايەھاى نمكى نيز رخ دھد.

پیش از آن که صنعت اکتشاف لرزهای از روش برانبارش نقطه میانی مشترک (CMP) یا نقطه عمقی مشترک (CDP) استفاده کند، شناسایی چندگانهها به تفسیر و شناخت بازتابهای اولیه کمک میکرد

(Ellsworth, 1948). ویژگیهای اصلی بازتابهای چندگانه شامل: ۱) زمان سیر، ۲) برونراند نرمال⁶ (NMO)، ۳) تناوب رویدادها و ۴) برونراند بازتابندههای شیب دار میباشد. باکوس (Backus, 1959) نخستین بار برای تضعیف بازتابهای تکراری آب از یک فیلتر معکوس-بر اساس واپیچش پیشگو⁴- با استفاده از ویژگی دورهای استفاده کرد.

این واقعیت که چندگانهها و بازتابهای اولیه، برونراند و زمان سیر متفاوتی را نشان میدهند پایه و اساس تئوری بسیاری از روشهای تضعیف چندگانهها مانند روش برانبارش CMP، فیلتر K-F و تبدیل رادون میباشد. مین (Mayne, 1962) پیشنهاد تضعیف چندگانهها را با استفاده از روشهای برانبارش CMP یا CDP بر اساس تفاوت سرعت بین بازتابهای اولیه و تکراری داد، به طور معمول یک اولیه از برونراند کمتری نسبت به تکراری برخوردار است. اگر تصحیح MMV با استفاده از سرعتهای بازتاب اولیه اعمال شود، اولیهها در مجموعه CMP تمایل به صاف و تراز شدن دارند؛ در حالی که تکراریها هنگامی که برانبارش شوند، تضعیف می گردند (Yilmaz, 2001). این روش به عنوان قوی ترین و مؤثر ترین روش برای تضعیف تکراریها و نوفه تصادفی در نظر گرفته شده است (Foster & Mosher, 1992).

تبدیل رادون یک روش ریاضی است؛ که در پردازش دادههای لرزهای و تجزیه و تحلیل تصاویر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. سه نوع تبدیل رادون به عنوان روشهای تضعیف چندگانهها در پردازش دادههای لرزهای استفاده میشود: slant-stack یا تبدیل رادون هذلولی و هذلولی؛ و تبدیل رادون سهمی (Trad, 2001). تبدیل رادون هذلولی و سهمی در تضعیف چندگانهها بر اساس تفاوت برونراند بین چندگانهها و اولیه اعمال میشود. تبدیل رادون اولین بار توسط یوهان رادون

(Thorson & Claerbout, الرابق مد. تورسون و کلربات براسی را وی (Radon, 1917) ارایه شد. تورسون و کلربات , Radon, 1917) (Radon, 1917) ارایه شد. تورسون و کلربات , 1985 از تجزیه و تحلیل (Hampson, سرعت استفاده کردند و برای نخستین بار تبدیل رادون سهمی به عنوان (Hampson, یک روش تضعیف چندگانهها توسط هامپسون (Radon, 1990) یک روش تضعیف چندگانهها توسط هامپسون (Kelamis, et al., 1990)) تبدیل رادون به یکی از پرکاربردترین (Kelamis, et al., 1990)) یک (Kelamis, et al., 1990)) تبدیلها در تضعیف چندگانهها شده است ((Sacchi & Ulrych, 1995)) (Trad, et al., (Trad, et al., 2002) ؛ (Sacchi & Porsani, 1999) (Trad, et al., (Trad, et al., 2002) ؛ (Sacchi & Porsani, 1999) (Trad, et al., (Trad, et al., 2002) ؛ (Sacchi & Porsani, 1999) (تامان برای ژئوفیزیکدانان وضوح تبدیل رادون همیشه یک مشکل جدی بوده است. محققان در تلاشند تا قدرت تمرکز این تبدیل را تقویت کنند (عابدی، ۲۳۹۲).

گودرزی و ریاحی (Goudarzi & Riahi, 2012) روشی به نام آنالیز زمین غلت در حوزه موجک^۸ (WDGA) که بر پایه نوع داده می باشد؛ ارایه دادند. WDGA روشی کارآمد در تضعیف نوفه زمین غلت بود و

¹⁻Peg-leg

²⁻Long Period 3-Short Period

⁴⁻Reverberation

⁵⁻Impedance

⁶⁻Normal Moveout

⁷⁻Predictive Deconvolution

⁸⁻Wavelet Domain Groundroll Analysis

نتایج این روش بهبود خوبی در نسبت سیگنال به نوفه ایجاد کرد روش آنها قابلیت تضعیف انواع نوفههای لرزه ای مانند بازتاب تکراری را نیز داشت؛ اما روش آنها در صورت وجود سطح بالای نوفه اتفاقی در داده، نمیتوانست به خوبی نوفه همدوس را از بازتابیها جدا کند؛ که این مساله نیاز به تحقیق بیشتر برای یافتن راهی برای غلبه بر این محدودیت را ضروری مینمود. هدف این تحقیق آن است که از مزایای تبدیل رادون استفاده شود و همزمان از تواناییهای تبدیل موجک دو شاخه اتساع گویا¹ وابلیت الگوریتم تکرار جدایش برگمان در ساختن مدل نوفه بازتاب تکراری و غلبه بر سطوح بالای نوفه اتفاقی استفاده شود.

روش پیشنهادی این مقاله الگوریتم آنالیز نوفه در حوزه موجک^۲ (WDNA) نام دارد. این روش نیز مانند WDGA بر پایه داده میباشد؛ که به دلیل استفاده از تکرار جدایش برگمان، کمتر به نوفه اتفاقی حساس است و به علاوه زمان رسیدن به پاسخ بهینه را کاهش میدهد و همگرایی خوبی دارد. این ویژگیها باعث تشخیص بهتر نوفه مورد نظر و جداسازی بهتر سیگنال از نوفه میشود.

در ادامه تحقیق، روش معرفی شده برای تعیین الگوی نوفه بازتاب تکراری و تضعیف آن از داده مصنوعی نقطه عمقی مشترک و داده دریایی به کار خواهد رفت و نتایج تضعیف نوفه روشهای رادون و WDGA و WDNA مقایسه خواهد شد.

۲-الگوریتم آنالیز نوفه در حوزه موجک(WDNA)

تبدیل موجک دوتایی با وجود سودمندی آن برای سیگنالهای ناپایا، برای پردازش سیگنالهای نوسانی (مانند گفتار، صدا، سیگنالهای مختلف پزشکی) به دلیل تفکیک پذیری فرکانسی پایین آن، کمتر موثر است. در این رابطه، تبدیل موجک دو شاخه ضریب اتساع گویا (DT-RADWT). که تجزیه و تحلیل فرکانسی دقیق تر را فراهم میکند؛ مناسبتر است. با Q-) این وجود تبدیل موجک DT-RADWT یک تبدیل با factor یا فاکتور کیفیت برای تبدیل موجک برابر با فرکانس مرکزی به پهنای باند موجک است) و قابل تنظیم توسط کاربر است. در این بخش، یک تبدیل موجک- دو شاخه اتساع گویا معرفی می شود؛ که دارای ویژگیهای وضوح فرکانس خوب و Q ثابت است و اتمهای آن جفت چهار تایی را تشکیل میدهند. در ادامه الگوریتم برگمان و نسخه جدیدتر آن به نام جدایش برگمان شرح داده خواهد شد. در انتهای این قسمت از ترکیب تبدیل موجک دو شاخه اتساع گویا و الگوریتم جدایش برگمان استفاده خواهد شد و الگوریتمهای جدید WDNA معرفی می گردند. هدف WDNA بهبود تضعیف موثر نوفههای موجود در داده لرزهای می باشد. برنامه نویسی الگوریتم معرفی شده در محیط متلب انجام شده است.

1-Dual Tree Rational Dilation Wavelet Transforms

2-Wavelet Domain Noise Analysis

1-1-تبديل موجك DT-RADWT

روشهای متفاوتی برای اعمال تبدیل موجک معرفی شده است. تبدیل موجک جدیدی به نام DT-RADWT در سال ۲۰۱۱ معرفی شده است؛ که به دلیل این که با نمونهبرداری گویا کار میکند؛ توانسته است تفکیکپذیری فرکانسی را بهبود ببخشد (ابراهیمی بردر و همکاران، ۱۳۹۷). نتایج نشانگر آن است که تبدیل موجک DT-RADWT نتایج بهتری دارند و خطای نشت فرکانسی آنها کمتر از تبدیل موجک گسسته رايج است (Bayram & Selesnick, 2011). اين تبديل بر مبناي نمونهبرداری گویا طراحی شده است و میتواند تفکیک پذیری زمانی و فرکانسی را همزمان بهبود ببخشد. کاربر با تنظیم سه عامل p و g و s می تواند فاکتور نمونه برداری و فاکتور کیفیت دلخواه را بدست آورد (ایرانیمهر و همکاران، ۱۳۹۸). ضریب نمونهبرداری می تواند عددی گویا باشد. فاکتور کیفیت یا Q-factor برای فیلترهای باندگذر نسبت فرکانس مرکزی به عرض باند است. رابطه ۱ ارتباط فاکتور کیفیت (Q) را با عرض باند و فرکانس میانی نشان میدهد. F_{\circ} نماد فرکانس مرکزی (Bayram & موجک میباشد BW نماد عرض باند[†] موجک میباشد BW</sup> Selesnick, 2009)

$$Q = \frac{F_0}{BW} \tag{1}$$

با تغییر Q-factor می توان عرض باند موجک را به دلخواه تغییر داد. در DT-RADWT فاکتور کیفیت که نسبت فرکانس مرکزی به عرض باند است، از رابطه (۲) محاسبه می شود (بایرام و سلزنیک، ۲۰۱۱):

$$Q = \frac{RF}{BW} = \sqrt{\frac{p}{q}} \frac{1}{1 - \frac{p}{q}}$$
(Y)

با در نظر گرفتن رابطه ۲ مشاهده می شود که در این تبدیل، فاکتور کیفیت مقداری ثابت و مستقل از تعداد مراحل پردازش است.



شکل ۱: DT-RADWT شامل دو بانک فیلتر با ضرایب نمونهبرداری گویا است. ضرایب نمونهبرداری به صورت موازی بر روی ورودی اعمال میشوند. سیستم در کادر خطچین، مشابه RADWT عمل می کند (Bayram & Selesnick, 2011)

عملکرد فیلتر در فضای DT-RADWT بسیار بهتر از حوزه زمان است. مهمترین دلیل آن تجزیه مقیاس به مقیاس سیگنال ورودی و تفکیک-

³⁻Quality factor

⁴⁻Band Width

ایرانی مهر و همکاران، تضعیف نوفه بازتاب های تکرار از داده لرزهای با الگوریتم آنالیز نوفه در حوزه موجک ، صفحات ۱۱۵-۱۱۸.

پذیری قابل قبول روش DT-RADWT به دلیل استفاده از ضرایب اتساع گویا منجر به کاهش دگرنامی زمان و همچنین کاهش همپوشانی سطوح شده است (ابراهیمی بردر و همکاران، ۱۳۹۷).

۲-۲-الگوریتم تکرار برگمان و جدایش برگمان

کلاس منظم سازی *II* مسائل بهینهسازی به تازگی به دلیل معرفی "سنجش فشرده"، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. سنجش فشرده اجازه میدهد تصاویر و سیگنالها از مقادیر کوچک دادهها بازسازی شوند. با این وجود، بسیاری از مسائل منظم سازی *II* هنوز هم برای حل مساله دشوار و زمان بر هستند؛ یا نیازمند به روشهایی بسیار اختصاصی برای حل مساله است. در این بخش، نشان داده می شود که تکرار برگمان می تواند برای حل طیف گسترده ای از مسائل بهینه سازی مقید مورد استفاده قرار گیرد. برای استفاده از این روش، روش جدایش برگمان پیشنهاد می شود؛ که می تواند کلاس بسیار گسترده ای از مسائل منظم سازی *II* را حل کند. مسائل منظم سازی *II* شامل بسیاری از مسائل مهم در مهندسی، کامپیوتر و علوم تصویربرداری است. فرم کلی این گونه مسائل به صورت رابطه (۳) است:

 $\min_{u} |\Phi(u)| + H(u)$ (٣) $\min_{u} |\Phi(u)| + H(u) = R(u) |\Phi(u)| = R(u)| =$

که در آن p زیر گرادیان E در v است. روشن است که این تعریف رایج "فاصله" نیست؛ به این دلیل که به طور کلی متقارن نیست. با این حال، $D_E^p(u.v) \ge 0 \le 0$ می کند. به این معنی که $0 \ge 0 \ge p_E^p(u.v)$ $p_e^p(u.v) \ge 0$ بر روی پاره خط بین u $p_E^p(u.v) \ge D_E^p(w.v)$ R^n را در نظر بگیرید. $p_e^{n}(u.v) = 0$ $p_e^{n}(u.v) \ge 0$ $min_u e_n^n H(u) = 0$ $min_u E(u) + \lambda H(u)$ (Δ) $u^{k+1} = min_u D_E^p(u.u^k) + \lambda H(u)$ (F)

1-Compressed Sensing

$$= \min_{u} E(u) - \langle p^k . u - u^k \rangle + \lambda H(u)$$

همان طور که توسط برگمان (Bregman, 1967) پیشنهاد شد، برای (Osher, سادگی فرض می شود که H مشتق پذیر است. او ر و همکاران (Osher, سادگی فرض می شود که H مشتق پذیر است. او شر و همکاران را تحلیل می کنند. به طور خاص، نشان داده شده است که تحت فرض های نسبتا ضعیف در E و H هنگامی که $\infty \to k \to \infty$ این جا هستند؛ که آنها بازگو می شوند. است. و شمیه ۱: فرض کنید که E و H توابعی محدب و H مشتق پذیر است. همچنین فرض کنید که راه حل های زیر مساله در ۵ وجود دارد، آنگاه همچنین فرض کنید که راه حل های زیر مساله در ۵ وجود دارد، آنگاه خواهیم داشت:

 $H: H(U^{K+1}) \leq H(U^{K})$.) د کاهش یکنواخت H در .(.) $H: H(u^{k}) \leq$... جمگرایی H به یک کمینهساز $H(u^{k})+J(u^{k})/k$

علاوه بر این نتایج همگرایی، تکرار برگمان چندین خواص خوب حذف نوفه دارد (Osher, et al., 2005).

روش تکرار برگمان دارای مزایای متعددی نسبت به روش رایج تابع جریمه/روش پیگیری[†] است (Goldstein & Osher, 2009). اولا، تکرار برگمان هنگامی که به نوع خاصی از توابع هدف اعمال میشود، بسیار سریع همگرا میشود. به ویژه برای مسائلی که در آن E شامل یک عبارت منظم سازی *II* است. هنگامی که تکرار برگمان به سرعت همگرا میشود، فقط باید تعدادی کم از مسائل بدون قید حل شوند.

دومین (و شاید مهمترین) مزیت تکرار بر گمان در مورد روشهای پیگیری این است که مقدار h ثابت باقی میماند. بنابراین میتوان مقداری برای hانتخاب نمود که عدد وضعیت زیر مسائل را به حداقل می ساند؛ که نتیجه آن همگرایی سریع برای روشهای بهینهسازی تکرار مانند نیوتن و یا گاوس–سایدل خواهد بود. تکرار برگمان نیز مانع از مساله ناپایداری عددی است؛ که هنگام استفاده روش پیگیری در $\infty - h$ رخ می دهد. اکنون قرار است چارچوب برگمان برای حل مساله بهینه سازی عمومی *II* بکار گرفته شود. در ادامه بحث باید (۰)*H* و $|(\cdot)\Phi|$ را توابع محدب و بخشهای *II* و *SI* انرژی از هم جدا شوند. این فرمول بندی دو تکه، بخشهای *II* و *SI* انرژی از هم جدا شوند. این فرمول بندی دو تکه، ردنباله روی روش پیشنهاد شده توسط وانگ , *II* اعمال دنباله روی روش پیشنهاد شده توسط وانگ , *II* اعمال میشود. مساله زیر را در نظر بگیرید

 $\min_{u,d} |d| + H(u) \text{ such that } d = \Phi(u) \tag{Y}$

برای حل این مساله ابتدا باید آن را به یک مساله بدون قید تبدیل نمود:

$$\min_{u,d} |d| + H(u) + \frac{\lambda}{2} ||\mathbf{d} - \Phi(u)||_2^2 \tag{A}$$

این جایی است که روش جدایش برگمان از روش وانگ جدا می شود. اگر

²⁻Extremum

³⁻Basis Pursuit Problem

⁴⁻Penalty Function/Continuation Method

تعريف شوند؛ برای تحميل $A(u.d) = d \cdot \Phi(u) = E(u.d) = /d/+H(u)$ شرايط قيدی، اکنون اين جملات به فرمول برگمان بالا (روابط ۵ و ۶) اضافه می شوند:

$$(u^{k+1}.d^{k+1}) = \min_{\substack{u,d \\ u,d}} D_E^p (u.u^k.d.d^k) + \frac{\lambda}{2} \|d - \Phi(u)\|_2^2 = \min_{\substack{u,d \\ u.d}} E (u.d) - \langle p_u^k.u.u^k \rangle - \langle p_d^k.d.d^k \rangle + \frac{\lambda}{2} \|d - \Phi(u)\|_2^2$$
(9)

$$p_u^{k+1} = p_u^k - \lambda (\nabla \Phi)^T (\Phi(u^{k+1}) - d^{k+1})$$

$$p_d^{k+1} = p_d^k - \lambda (d^{k+1} - \Phi(u^{k+1}))$$

(1.)

با سادهسازی، الگوریتم دو مرحله ای تکرار جدایش برگمان بدست میآید: $(u^{k+1}. d^{k+1}) = \min|d| + H(u)$

$$+\frac{\lambda}{2}\|d-\Phi(u)-b^k\|_2^2$$
(11)

$$b^{k+1} = b^k + (\Phi(u^{k+1}) - d^{k+1}) \tag{11}$$

این روابط مشکل منظمسازی *I1* را به دنبالهای از مسائل بهینهسازی نامقید و به روز رسانی برگمان کاهش میدهد. ممکن است فورا روشن نباشد که چرا این الگوریتم بسیار موثر است. در ادامه خواهید دید این فرمول حل مساله را از طریق روابط منظمسازی *I1* رایج بسیار سادهتر میکند.

به منظور اجرای الگوریتم، باید بتوان مساله ۵ را حل نمود. به خاطر روشی که در بخشهای *II و I2* این تابع راجدا کردهایم، حال میتوان این کمینه سازی را به طور موثر با توجه به u و b به طور جداگانه و با حداقل تکرار به نتیجه رساند. دو مرحلهای که باید انجام شوند، عبارتند از (Goldstein & Osher, 2009):

step 1:
$$(u^{k+1}) = \min_{u} H(u) + \frac{\lambda}{2} ||d^{k} - \Phi(u) - b^{k}||_{2}^{2}$$

step 2: $(d^{k+1}) = \min_{d} |d| + \frac{\lambda}{2} ||d - \Phi(u^{k}) - b^{k}||_{2}^{2}$

سرعت روش جدایش برگمان تا حد زیادی به این که چقدر سریع بتوان هر یک از این دو زیر مساله را حل کرد؛ وابسته است. برای حل مرحله ۱، توجه داریم، از آنجا که u از قسمت *۱۱* مساله جدا شده است؛ لذا مساله بهینهسازی که باید برای u^k حل شود، اکنون مشتق پذیر شده است. بنابراین میتوان از طیف گستردهای از روشهای بهینهسازی برای حل این مساله استفاده نمود. روش خاصی که برای حل این مساله بهینهسازی استفاده میشود، بستگی به ماهیت دقیق H دارد. هرچند برای بسیاری از مسائل رایچ، میتوان از روشهای تبدیل گاوس – سایدل یا فوریه استفاده مرحلهای است، روش گرادیان مزدوج میتواند برای حل تقریبی این مساله مورد استفاده قرار گیرد. در مرحله ۲ الگوریتم فوق، ارتباطی بین

نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، دوره6، شماره ۱، ۱۳۹۹.

عناصر d وجود ندارد؛ لذا میتوان به طور مستقیم مقدار بهینه d را با استفاده از عملگرهای انقباضی به سادگی محاسبه نمود:

$$d_j^{k+1} = shrink(\Phi(u)_j + b_j^k. 1/\lambda)$$
(17)

$$shrink(x,y) = \frac{x}{|x|} * max(|x| - y, 0)$$
 (19)

این انقباض بسیار سریع است و فقط نیاز به چند عملیات بر هر عنصر d^{k+1} دارد.

WDNA معرفى-۳-۲

هدف از طراحی WDNA این است که با کمک الگوریتم جدایش برگمان، در حیطه موجک DT-RADWT فیلتری طرحی شود، که با گرفتن الگوی اولیهای از نوفه بتواند با هم سنجی بین نوفه و داده ورودی، الگوی کاملی از نوفه را استخراج کند. سپس اختلاف داده ورودی و نوفه بدست آمده، سیگنال را نتیجه دهد.

در این تحقیق تمرکز بر روی تضعیف نوفه همدوس بازتاب تکراری از داده لرزهای است؛ که مراحل اجرای آن به شرح زیر است:

 ۲. تمامی داده ابتدا به حیطه رادون یا هر فضای دیگری که بتواند نوفه بازتاب تکراری را از داده جدا کند، برده شود.

۲. پس از تبدیل رادون با توجه به الگوی مشخص بازتابهای تکراری در حیطه رادون، آنها از برداشت لرزهای نقطه میانی مشترک (CMP) جدا میشوند و سیگنال فیلتر شده بدست میآید (جداسازی بازتابهای تکراری از بازتابهای اولیه توسط کاربر انجام میشود).

۳. وارون تبدیل رادون از خروجی مرحله ۲ بدست میآید؛ تا الگوی اولیه نوفه در فضای x-t نتیجه شود.

۴. خروجی مرحله ۳ برداشت لرزهای که تنها حاوی بازتابهای تکراری است؛ به حیطه موجک دو شاخه اتساع گویا برده شده و ضرایب بدست آمده Wni نامیده می شوند.

۵. تمام داده ورودی که حاوی سیگنال و نوفه است، به حیطه موجک برده شده و Wa خوانده میشوند.

 P_{Ni} میان W_{ni} و W_{d} با الگوریتم بهینه تکرار جدایش برگمان همگرایی صورت می گیرد؛ تا جایی که الگوی نوفه بازتاب تکراری از درون داده خارج شود و ضرایب بدست آمده W_n نامیده می شوند. هدف از فرایند تکرار جدایش برگمان، یافتن الگویی است که در آن تنکی و همگرایی بیشینه گردند.

۲. ضرایب موجک بازتابهای تکراری از ضرایب موجک داده ورودی کم می شود؛ تا ضرایب موجک بازتابهای اولیه (Wout) بدست آیند.

$$W_{out} = W_d - W_n \tag{10}$$

۸. وارون تبدیل موجک Wout ، خروجی بدون بازتابهای تکراری با تضعیف حداکثری را ارائه میدهد.

این روش از توانایی هر دو تبدیل رادون و تبدیل موجک و نیز منظمسازی

ایرانی مهر و همکاران، تضعیف نوفه بازتاب های تکرار از داده لرزهای با الگوریتم آنالیز نوفه در حوزه موجک ، صفحات ۱۰۵-۱۱۸.

نرم یک در تعیین الگوی سیگنال بهره گرفته میشود. شکل ۲ روند نمای ارایه شده را نمایش میدهد.



شکل ۲. روند نمای تضعیف چندگانهها با WDNA.

₩DNA - ٢- تضعيف نوفه باز تاب چندگانه با الگوريتم

در این بخش الگوریتم WDNA برای تضعیف نوفه بازتاب چندگانه تنظیم می شود. در شکل (۳-الف) برداشت مصنوعی نقطه میانی مشترک حاوى سه بازتاب اوليه و سه بازتاب تكرارى مشاهده مى شود. تبديل رادون سهمی^۱ برای جداسازی بازتابهای چندگانه از اولیه استفاده شده است (شکل ۳-ب). از تفاضل مدل شکل (۳-ب) و (۳-الف) الگوی نوفه بازتاب تکراری بدست می آید و در حوزه موجک بین الگوی نوفه و داده ورودى توسط الگوريتم برگمان همگرايى صورت مى گيرد؛ تا الگوى كامل-ترى از نوفه توليد شود. سپس الگوى جديد نوفه از داده ورودى تفريق می شود. نتیجه روش WDNA در شکل (۳-د) قابل مشاهده است. الگوریتم WDGA نیز مدل اولیه مورد نیاز خودش را از رادون می گیرد؛ ولی در فرایند جداسازی نوفه از عملگر مقایسه استفاده می کند (شکل ۳-ج). شکل ۴ رد لرزه شماره ۴۰ از شکل ۳ را نمایش میدهد. شکل ۵ طیف دامنه داده ورودی (سیاه رنگ) و خروجی فیلتر رادون سهمی (سبز)، خروجی فیلتر WDGA (قرمز) و خروجی فیلتر WDNA (آبی) را نمایش میدهد. شکل ۶ طیف فرکانس-عددموج را در تضعیف بازتاب برای مقاطع شکل ۳ مقایسه کرده است.

پس از اجرای موفق جداسازی بازتابهای تکراری، به داده اولیه

حاوی بازتابهای تکراری نوفه اتفاقی سفید اضافه شد؛ نسبت سیگنال به نوفه، ۵٫۲ dB بود. در شکل ۷ نتایج تضعیف نوفه با روشهای مختلف نشان داده شده است. مشاهده می شود که حضور نوفه اتفاقى نتوانسته است مانع كارايي WDNA شود. به علاوه اين که بخ دلیل ماهیت همگرایی الگوریتم برگمان، تا حدود زیادی نوفه اتفاقی توسط آن تضعیف شده است. در شکل ۸ طیف دامنه در تضعيف بازتاب چندگانه همراه نوفه تصادفی نمایش داده شده است. نمودار سیاه رنگ داده ورودی، نمودار سبز رنگ خروجی فیلتر رادون سهمی، نمودار قرمز رنگ خروجی فیلتر WDGA و نمودار آبی رنگ خروجی فیلتر WDNA را نشان میدهد. نوفه اتفاقی در همه فركانسها حضور دارد؛ اما الگوريتمهاي WDGA و WDNA بهتر توانستهاند نوفه اتفاقی را از سیگنال بازتابی جدا کنند. مشاهده می شود که WDNA بهتر از سایر فیلترها انرژی سیگنال بازتابی را حفظ می کند. در شکل ۹ طیف F-K برای مقاطع شکل ۷ ترسیم شده است. در جدول ۱ نیز نتایج مقایسه نسبت سیگنال به نوفه داده ورودی و خروجی WDGA ،RADON و WDNA آمده است. در رديف اول داده فقط نوفه بازتاب تكراري دارد و فاقد نوفه اتفاقى است (مقطع شکل ۳) و در ردیفهای ۲ تا ۸ به تدریج به مقطع ۳، نوفه اتفاقی هم افزوده شده است. نتایج عددی نشان از بیشترین بهبود نسبت سیگنال به نوفه (SNR) با WDNA می باشد

WDNA تضعیف نوفه بازتاب تکراری از داده دریایی با WDNA در ادامه این بخش الگوریتم معرفی شده بر روی داده دریایی حاوی نوفه بازتاب چندگانه اعمال میشود. داده مورد استفاده مقطع پس از برانبارش و تصحیح برون راند نرمال میباشد. در زمانهای ۶٫۰ ۸٫۰ و ۱ ثانیه بازتابهای تکراری به خوبی مشخص هستند و لایههای عمیق را پوشاندهاند. ابتدا با تبدیل رادون، سهمی نوفه بازتاب چندگانه از داده جدا میگردد و مدل اولیه مورد نیاز برای تبدیل MDNA بدست میآید.در ادامه این بخش الگوریتم معرفی شده بر روی داده دریایی حاوی نوفه بازتاب چندگانه اعمال میشود. داده مورد استفاده مقطع پس از برانبارش و تصحیح برون راند نرمال میباشد. در زمانهای ۶٫۰، ۸٫۰ و ۱ ثانیه بازتابهای تکراری به خوبی مشخص هستند و لایههای عمیق را پوشاندهاند.

1-Parabolic

نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، دوره6، شماره ۱، ۱۳۹۹.



شکل ۳. تضعیف باز تاب چندگانه. الف: داده ورودی. ب: خروجی فیلتر رادون سهمی. ج: خروجی فیلتر WDGA. د: خروجی فیلتر WDNA.



شکل ۴: رد لرزه شماره ۴۰. الف: رد لرزه ورودی. ب: رد لرزه خروجی فیلتر رادون سهمی. ج: رد لرزه خروجی فیلتر WDGA. د: رد لرزه خروجی فیلتر



شکل۵: طیف دامنه در تضعیف باز تاب چندگانه . سیاه: داده ورودی. سبز: خروجی فیلتر رادون سهمی. قرمز: خروجی فیلتر WDGA. آبی: خروجی فیلتر WDNA.

ایرانی مهر و همکاران، تضعیف نوفه بازتاب های تکرار از داده لرزهای با الگوریتم آنالیز نوفه در حوزه موجک، صفحات ۱۰۵-۱۱۸.



شکل ۶: طیف فرکانس-عددموج در تضعیف بازتاب چندگانه . الف: داده ورودی. ب: خروجی فیلتر رادون سهمی.



ج: خروجي فيلتر WDGA. د: خروجي فيلتر WDNA.

شکل ۷: تضعیف باز تاب چندگانه همراه نوفه تصادفی. الف: داده ورودی. ب: خروجی فیلتر رادون سهمی.

ج: خروجي فيلتر WDGA.د: خروجي فيلتر WDNA.

نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره6، شماره ۱، ۱۳۹۹.





شکل ۹: طیف فرکانس-عددموج در تضعیف بازتاب چندگانه همراه نوفه تصادفی. الف: داده ورودی. ب: خروجی فیلتر رادون سهمی. ج: خروجی فیلتر WDNA. د: خروجی فیلتر WDGA.

	SNR of	SNR of	SNR of	SNR of
	Input	RADON	WDGA	WDNA
١	۵,۴۸	۸,۶۷	10,77	27.73
٢	3,05	۵,۲۸	17,09	51,47
٣	1,54	4,70	۱۰,۶۱	۱۷,۸۳
۴	۵, ۰	٣,١٩	٨,۴٩	18,00
۵	-7,78	1,74	۶,۱۷	13,78
٩	-4,71	۰ ۵۰	۳,۷۸	۱۰,۲۱
٧	-7,14	-1,47	7,14	٧,•٨
٨	-11,08	۵۵, ۲-	-7,77	۳,۳۷

جدول ۱: نسبت سیگنال به نوفه داده ورودی و خروجی فیلترهای WDNA ، RADON و WDNA

در ادامه این بخش الگوریتم معرفی شده بر روی داده دریایی حاوی نوفه بازتاب چندگانه اعمال می شود. داده مورد استفاده مقطع پس از برانبارش و تصحیح برون راند نرمال می باشد. در زمان های ۰٫۶، ۸٫۰ و ۱ ثانیه بازتاب های تکراری به خوبی مشخص هستند و لایه های عمیق را پوشانده اند. ابتدا با تبدیل رادون، سهمی نوفه بازتاب چندگانه از داده جدا می گردد و مدل اولیه مورد نیاز برای تبدیل WDNA بدست می آید. در مرحله بعد این مدل اولیه به تبدیل MONA داده می شود و الگوریتم برگمان در حوزه TT-RADWT شوی بین الگوی نوفه و

ایرانی مهر و همکاران، تضعیف نوفه بازتاب های تکرار از داده لرزهای با الگوریتم آنالیز نوفه در حوزه موجک ، صفحات ۱۰۵–۱۱۸.

داده ورودی می کند؛ تا مدل بهبود یافته بدست آید. در شکل (۱۰-الف) داده ورودی نمایش داده است. نتایج حاصل از تبدیل رادون و تبدیل WDNA در شکلهای (۱۰–ب) و (۱۰–ج) نمایش داده شده است. هر دو تبدیل به خوبی تکراریها را از داده جدا کردهاند؛ اما تبدیل NAدامنه بازتابهای اولیه را بهتر حفظ کرده است. در شکلهای (۱۰–د) و دامنه بازتابهای اولیه را بهتر حفظ کرده است. در شکلهای (۱۰–د) و شده است. در شکل (۱۰–ش) تفاضل خروجی NDNA و رادون شده است. مشاهده می شود که

WDNA توانسته است مقدار زیادی از بازتابهای اولیه را که در تبدیل رادون تضعیف شده بودند؛ را برگرداند. در شکل ۱۱ طیف توان فرکانسی مقطع ۱۰ نمایش داده شده است. به خوبی قابل مشاهده است؛ که در فرکانسهایی که بازتابها وجود دارندغ انرژی خروجی *WDNA* (نمودار قرمز) بیشتر از *RADON* (نمودار قرمز) است. در شکل ۱۲ طیف فرکانس-عددموج مقطع دریایی ورودی و خروجی فیلتر رادون سهمی و خروجی فیلتر *WDNA* نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: تضعیف باز تاب چندگانه از مقطع دریایی. الف: مقطع ورودی. ب: خروجی فیلتر رادون سهمی. ج: خروجی فیلتر WDNA. د: پسماند مقطع ب. س: پسماند مقطع ج. ش: تفاوت ب و ج.



موجک دو شاخه ضریب اتساع گویا با کمک الگوریتم تکرار جدایش برگمان به تهیه مدل کامل نوفه می پردازد. با تفریق مدل کامل نوفه از داده ورودی مقطعی تقریبا بدون نوفه بازتاب تکراری بدست میآید و بازتابهای اولیه به خوبی حفظ می شوند. استفاده از تبدیل موجک -DT RADWT موجب افزایش تفکیک پذیری فرکانسی در حوزه موجک گردید و الگوریتم جدایش برگمان در رسیدن سریع به پاسخ همگرا کمک کرد و همچنین موجب عدم حساسیت فرایند تضعیف بازتابهای تکراری به وجود نوفه اتفاقی در داده گردید. نتایج حاصل از اعمال روش MDNA بر روی داده مصنوعی و واقعی خروجی بهتری از نظر دیداری و طیف فرکانسی نسبت به روشهای رادون و MDGA نشان داد. در جدول ۱ نیز SNR برای داده مصنوعی و در سطوح مختلف نوفه اتفاقی بدول ۱ نیز RADON و MDNA و MDGA ارائه گردید. نتایج جدول انشان میدهد روش WDNA توانسته است سیگنال بازتابی را بهتر از روشهای دیگر حفظ و نوفههای بازتاب تکراری و اتفاقی را تضعیف کند.

۵–منابع

- ابراهیمی بردر، ۱؛ اسکوئی. ب.؛ گودرزی، ع. ر.، ۱۳۹۸، ارتقاء کارایی نوفهزدایی TV و GSTV در فضاهای RADWT و DTRADWT، پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۱ص. ۲۹-۵۵.
- الهدینی، پ.؛ زارع، الف.؛ بختیاری، م. ر.،۱۳۹۵، تضعیف تکراریها با استفاده از تبدیل رادون سهموی روی دادهی لرزهای دو بعدی. ماهنامه علمی-ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز. (۱۳۸)، ۵۳–۵۶.
- ایرانی مهر، م.؛ ریاحی، م. ع.؛ گودرزی، ع. ر.، ۱۳۹۸، اثر رفتار نوسانی موجک مادر در تبدیل موجک گسسته به منظور تضعیف نوفه لرزهای تصادفی، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۵، (۱)، ۶۳–۷۹.
- عابدی، م. م.، ۱۳۹۲، تضعیف تکراریها با استفاده از تبدیل رادون در حوزههای زمان و فرکانس، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- Backus, M. M., 1959. Water reverberations-their nature and elimination. *Geophysics*, pp. 24(2), 233–261.
- Bayram, I. & Selesnick, I., 2009. Frequency-domain design of dvercomplete rational-dilation wavelet transforms. *IEEE Trans. Signal Process*, 57(8), p. 2957–2972.
- Bayram, I. & Selesnick, I., 2011. A dual-tree rationaldilation complex wavelet transform. *IEEE Transactions* on Signal Processing, 59(12), pp. 6251-6256.
- Bregman, L., 1967. The relaxation method of finding the common points of convex sets and its application to the solution of problems in convex optimization. *USSR*

شکل ۱۲: طیف فرکانس-عددموج در تضعیف بازتاب چندگانه از مقطع دریایی. الف: مقطع ورودی. ب: خروجی فیلتر رادون سهمی. ج: خروجی فیلتر WDNA.

۴-نتیجهگیری

در این تحقیق الگوریتم جدید آنالیز نوفه در حوزه موجک یا به اختصار WDNA معرفی شد و کاربرد آن در تضعیف بازتابهای تکراری از داده لرزهای بررسی گردید. الگوریتم WDNA بر پایه نوع داده می باشد و برای تضعیف بازتابهای تکراری نیازمند مدل اولیه ای از نوفه می باشد؛ که آن را از تبدیل رادون (یا هر فیلتر مناسب دیگری) بدست می آورد و در حوزه Abstracts, 2160-2163.

- Osher, S. et al., 2005. An iterative regularization method for total variation-based image restoration. *MMS*, Volume 4, pp. 460-489.
- Radon, J., 1917. Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte Längs gewisser Mannigfaltigkeiten. Berichte Sächsische Akadamie der Wissenschaften, Leipzig.
- Rudin, L., Osher, S. & Fatemi, E., 1992. Nonlinear total variation based noise removal algorithm. *Physica. D.*,, Volume 60, pp. 259-268.
- Sacchi, M. D. & Porsani, M., 1999. Fast high-resolution parabolic Radon transform. s.l., 69th Ann. Mtg, Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1477-1480..
- Sacchi, M. D. & Ulrych, T. J., 1995. High-resolution velocity gathers and offset space reconstruction. *Geophysics*, Volume 60, pp. 1169-1177.
- Thorson, J. R. & Claerbout, J. F., 1985. Velocity-stack and slant-stack stochastic cinversion. *Geophysics*, Volume 50, pp. 2727-2741.
- Trad, D., 2001. Implementations and applications of the sparse Radon transform. *Ph. D.Thesis, The University of British Columbia.*.
- Trad, D., Ulrych, T. J. & Sacchi, M. D., 2002. Accurate interpolation with highresolution time-variant Radon transforms. *Geophysics*, Volume 67, pp. 644-656.
- Trad, D., Ulrych, T. & Sacchi, M., 2003. Latest views of the sparse Radon transform. *Geophysics*, Volume 68, pp. 386-399.
- Wang, Y., Yin, W. & Zhang, Y., 2007. A fast algorithm for image deblurring with total variation regularization. *CAAM Technical Reports*.
- Weglein, A., Hsu, S., Terenghi, P. & Stolt, R., 2011. Multiple attenuation recent advances and the road ahead. *The Leading Edge*, pp. 30(8), p864–875.
- Yilmaz, Ö., 2001. Seismic Data Analysis

- *Computational Mathematics and Mathematical Physics*, Volume 7, pp. 200-217.
- Bush, J., 2011. Bregman Algorithms, Senior Thesis. University of California, Santa Barbara.
- Cary, P., 1998. *The simplest discrete Radon transform.* s.l., 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts..
- Ellsworth, T. P., 1948. Multiple reflections. *Geophysics*, Volume 13, pp. 1-18.
- Foster, D. & Mosher, C., 1992. Suppression of multiple reflections using the Radon transform. *Geophysics*, Volume 57, pp. 386-395.
- Goldstein, T.; Osher, S., 2009. The Split Bregman Method for L1 Regularized Problems. SIAM J. Imaging Sci., 2(2), p. 323–343.
- Goudarzi, A. & Riahi, M., 2012. Seismic Coherent and Random Noise Attenuation Using the Undecimated Discrete Wavelet Transform Method with WDGA Technique. *Journal of Geophysics and Engineering*, Volume 9, p. 619.
- Hampson, D., 1986. Inverse velocity stacking for multiple elimination. J. Can. Soc. Expl. Geophys, Volume 22, pp. 44-55.
- Kelamis, P. G., Chiburis, E. F. & Shahryar, S., 1990. Radon multiple elimination, a practical methodology for land data. s.l., 60th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys. pp 1611-1613.
- Kostov, C., 1990. *Toeplitz structure in slant-stack inversion*. s.l., 60th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1618-1621..
- Marcos, P. & Filipo, E., 2000. *Multiple attenuation overview*. Houston, Texas, s.n.
- Mayne, W. H., 1962. Common reflection point horizontal data stacking techniques. *Geophysics*, Volume 27, pp. 927-938.
- Ng, M. & Perz, M., 2004. *High resolution Radon transform in the t-x domain using "intelligent" prioritization of the Gauss-Seidel estimation sequence.* s.l., 74th Ann. Internat. Mtg, Soc. Expl. Geophys., Expanded *,.* s.l.:Society of Exploration Geophysicists.



J OURNAL OF R ESEARCH ON A PPLIED G EOPHYSICS

(JRAG) 2020, VOL 6, No 1



(DOI): 10.22044/JRAG.2019.8901.1265

Multiple reflection noise attenuation from seismic data using wavelet domain noise analysis algorithm

Mohammad Irani Mehr¹, Mohammad Ali Riahi^{*2} and Alireza Goudarzi³

1. Ph.D. Candidate, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Faculty of Sciences and Modern Technologies, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran.

Received: 8 september 2019; Accepted: 2 december 2019

Corresponding author: mariahi@ut.ac.ir

Keywords	Extended Abstract
Discrete wavelet transform	Summary
Multiple reflection	Multiple reflections are coherent seismic noises whose presence, especially in
Split Bergman	marine data, lower data quality. In this research "dual-tree rational dilatation
Radon transform	wavelet transform" Or DT-RADWT is used to attenuate multiple reflection
Wavelet domain noise analysis	noise from seismic data. The advantage of this transform to the dyadic discrete
WDNA	wavelet transform, is its fractional sampling, which allows for higher time-
DT-RADWT	frequency resolution. The proposed algorithm in this research is wavelet
	domain noise analysis or WDNA, in which DT-RADWT and split Bergman

iteration algorithm are used. WDNA is a data-based algorithm. The split Bergman iterative algorithm is designed to quickly obtain the optimal solution. Radon transform is a common method to attenuate multiple reflections, and it is used to obtain the initial pattern of multiple reflections. The purpose of WDNA is to improve Radon transform output and to better maintain primary reflections. The presence of high levels of random noise reduces the quality process of noise reduction, but WDNA is designed to overcome the adverse effect of random noise. The WDNA results in multiple reflection attenuation have been tested by synthetic and marine data, and their results have been compared with Radon and WDGA outputs. The results show good improvement in seismic data quality using WDNA algorithm in comparison with Radon transform.

Introduction

The reflection waves, which is reflected between the subsurface or free surface reflectors more than once before being received on the receivers, are called multiple reflections. Multiple reflections, often destructively interact with the primary reflections and reduce the quality of the seismic image. An inverse filter based on predictive deconvolution using the periodic feature is used to attenuate multiple reflections in the water. Multiple and primary reflections show different moveout and travel-times, This property is the basis of the theory of many multiple attenuation techniques such as CMP stacking, F-K filter, and Radon transform. Radon transform was first introduced by Johann Radon (1917) and for the first time, parabolic Radon conversion was used as a multiple attenuation technique by Hampson (1986). Since then, the Radon transform became one of the most widely used tools to suppress multiple noises. Goudarzi and Riahi (2013) presented WDGA method based on the data type, as an efficient way of attenuating various seismic noises. However, this approach, if there is a high level of random noise in the data, cannot well separate the coherent noise from the reflections. Here we try to introduce a new method to solve this problem.

Methodology and Approaches

The proposed method in this research is called wavelet domain noise analysis (WDNA) algorithm. Similar to WDGA, this method is based on data, but because of the use of the split Bergman iteration is less sensitive to random noise. It also reduces the time to reach an optimal solution and it has better convergence. These features enable better detection of the desired noise and better signal separation from the noise. The goal of this research is to apply the benefits of Radon transform, and at the same time, to use the DT-RADWT wavelet transform capabilities to provide high

2020, VOL 6, No 1

resolution. We take advantage of the split Bergman iterative algorithm to build a full multiple reflection model from initial multiple models (achieved from Radon filter). Finally, in the DT-RADWT domine, full model of multiple reflections would be subtracted from the input data, and thus, the filtered data would be obtained.

Results and Conclusions

In this research, the WDNA algorithm has been introduced and its application in attenuating multiple reflections from seismic data has been investigated. The WDNA algorithm is based on the data and requires an initial noise model that is obtained from Radon transform (or any other suitable filter) to attenuate multiple reflections and in the dual-tree wavelet transform domain, it is used to produce a complete noise model with the Bergman iteration algorithm. Subtracting the full noise model from seismic input data yields almost no multiple reflection noise and the initial reflections are well maintained. The use of the DT-RADWT wavelet transform increases the frequency resolution and split Bergman algorithm helps to achieve a fast convergent solution that also causes insensitivity with random noise in the attenuation process of multiple reflections. The results of applying the WDNA method on synthetic and real data have resulted in better outputs than Radon and WDGA.