JRAG
نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی
دانشگاه صنعتی شاهرود
انجمن ژئوفیزیک ایران - ۱۳۵٤
Iranian Geophysical Society- 1975

کاربرد روش تجزیه مقدار تکین برای حذف امواج تکراری

علی اشرف شرفخانی [1*]؛ سید جمال شیخ ذکریایی [2]؛ علی اسفندیاری بیات [3]

۱- دانشجو؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
۲- استادیار؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران
۳- استادیار؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران

واژگان کلیدی

نویز
همدوس
ناهمدوس
تکراری
تجزیه مقدار تکین

چکیده

هنگامی که داده لرزه‌ای برداشت می‌شود معمولا آلوده به نویز می‌باشد. نویزها به دو گروه همدوس و ناهمدوس تقسیم شده که معمولا داده لرزه‌ای را تحت تاثیر قرار می‌دهند. حضور نویز باعث می‌شود تا تصویر مناسبی از پدیده‌های لرزه‌ای بدست نیامده و منجر به خطا در تفسیر داده‌های لرزه‌ای می‌گردد. عمدتا استفاده از داده پردازش نشده غیر ممکن است. نویزهای تکراری یکی از مهم‌ترین انواع نویز همدوس می‌باشند. تکراری‌ها هم در رکوردهای خشکی و هم در داده‌های دریایی وجود دارند اما اثر آن‌ها در داده های دریایی شدیدتر است. گاها شدت حضور آنها در داده‌های دریایی تا حدی است که عملا امکان استفاده از داده لرزه‌ای وجود ندارد. امواج تکراری بارتابها شامل امواج تکرار با دوره تناوب زیاد و امواج تکراری با دوره تناوب کم هستند.

مهم‌ترین روش‌های متداول در حذف نویزهای تکرای استفاده از تبدیل رادن سهمی و واهمامیخت پیشگو می‌باشند. روش تجزیه مقدار تکین بر اساس جبر خطی و همدوسی داده، می‌تواند پدیده‌های همدوس افقی را در تصاویر مشخصه ابتدایی شناسایی نماید. برای تضعیف امواج تکراری در داده نقطه عمقی مشترک پس از تحلیل سرعت و انجام تصحیحات دینامیک و پیش از برانبارش، بازتاب‌های افقی شده در تصاویر مشخصه ابتدایی شناسایی شده و بازسازی می‌گردند، در نتیجه امواج تکراری تضعیف خواهد شد.

در این مطالعه، روش فوق در قالب کد *MATLAB* بر داده‌های مصنوعی و واقعی اعمال و نتایج ارائه گردیده است. نتایج و ارزیابی آن‌ها نشان داد که روش تجزیه مقدار تکین می‌تواند به عنوان یک روش موثر در حذف نویزهای تکراری کوتاه دوره و بلند دوره روی داده نقطه عمقی مشترک اعمال شود.

* نویسنده مسئول مکاتبات؛ دکتر سید جمال شیخ ذکریایی،
آدرس: تهران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده مهندسی نفت و شیمی، گروه مهندسی نفت- اکتشاف تلفن ثابت: ۴۴۸۶۸۵۵۵ داخلی ۴۰۲۱۱
تلفن همراه: ۰۹۱۰۲۴۷۱۳۴۶ پست الکترونیک: **j.sheikhzakaria@gmail.com**

۱- مقدمه

حضور نویز در هنگام عملیات برداشت در داده لرزه‌ای اجتناب ناپذیر بوده و عموماً سیگنال را تا حدی تحت تاثیر قرار می‌دهد که بدون پردازش استفاده از داده غیر ممکن است. لذا مرحله تضعیف نویز همواره از اصلی ترین مراحل پرادازشی به شمار می‌آید. نویزهای لرزه‌ای ممکن است همدوس یا ناهمدوس باشند. نویز همدوس را حداقل در چند رد می‌توان دنبال کرد. نویز ناهمدوس بر روی ردهای مختلف غیر متشابه است و با اطلاعات ردهای مجاور نمی‌توان وضع رد بخصوصی را پیش‌بینی کرد. ناهمدوسی می‌تواند در راستای مکان و یا زمان باشد. امواج تکراری (امواج تکراری بازتابها یا چند باره‌ها) از انواع نویز همدوس غیر خطی بوده که بویژه در داده‌های دریایی حضور داشته و در صورتی که تضعیف نگردند، کیفیت داده پس از برانبارش را به شدت تحت تاثیر قرار خواهند داده و مفسر را در تفسیر ساختارها به اشتباه می‌اندارند.

تجزیه مقدار تکین (*SVD*) یک روش ریاضی بر پایه جبر خطی با استفاده از خواص ماتریس‌ها می‌باشد که به عنوان یک روش کاهنده، یک ماتریس را به ضرب سه ماتریس و در حقیقت به تصاویر مشخصه سازنده‌اش تجزیه می‌کند که دو ماتریس متعامد و سومی قطری است و می‌تواند در تصاویر مشخصه ابتدایی پدیده‌های افقی را شناسایی نماید. این روش در علوم مختلف کاربرد دارد. این روش بر اساس همدوسی کار می‌کند و علاوه بر اینکه نویزها را تا حدود زیادی تضعیف می‌کند، کیفیت بازتاب‌ها را نیز تا حد قابل قبولی حفظ می‌کند. این روش تاکنون بطور عمده در تضعیف نویز زمین‌غلت مورد استفاده قرا گرفته است و کاربرد کمی در حذف سایر انواع نویز داشته است.

از روش‌های مختلفی برای حذف تکراری‌ها استفاده می‌شود که بر پایه اختلاف برونراند مابین امواج اصلی و تکراری‌ها (تباین سرعت)، تفاوت محتوای فرکانسی موجود بین امواج اصلی و تکراری‌ها و تناوبی بودن تکراری‌ها می‌باشد. از روش‌های متداول حذف تکراری‌ها می‌توان به تبدیل رادن سهمی ، روش فرکانس- عدد موج، واهمامیخت پیشگو و تبدیلτ-p نام برد (ایلماز، ۲۰۰۱). یکی از روش‌هایی که اخیرا برای حذف تکراری‌ها مورد توجه قرار گرفته است، روش تجزیه مقدار تکین می‌باشد که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تا کنون روش‌های بسیاری برای تضعیف نویزهای زمین‌غلت و اتفاقی ارائه شده است. هر یک از روش‌ها با استفاده از بخشی از خواص طبیعی زمین‌غلت اقدام به تضعیف آن می‌کند. هر یک از این روش ها دارای مزایا و همچنین مشکلات و معایبی نیز هستند. متداول‌ترین آنها، استفاده از فیلترهای فرکانسی یک بعدی و دو بعدی می‌باشد، به علاوه در هنگام عملیات برداشت نیز با طراحی مناسب آرایه‌های چشمه و گیرنده می‌توان تا حدی اثر زمین‌غلت را تضعیف نمود. در مورد نویز اتفاقی نیز برانبارش چند رد لرزه در یک ایستگاه در هنگام برداشت و نیز استفاده از فیلتر f-x می‌تواند تا حدی آنها را تضعیف نمود.

روش تجزیه مقدار تکین تاکنون بطور عمده در حذف سایر نویزها مورد استفاده قرار گرفته است. فریبر و اولریچ (۱۹۸۸) از تجزیه مقدار تکین در جداسازی امواج بالارونده و پایین رونده در پروفیل لرزه نگاری قائم (*VSP*) بهره بردند. لو (۲۰۰۶) ابتدا پدیده‌های خطی غیر افقی مانند زمین‌غلت را شناسایی کرده سپس آنها را افقی ساخته و با اعمال تجزیه مقدار تکین و حذف تصاویر مشخصه ابتدایی که بیانگر پدیده خطی افقی هستند، زمین‌علت را تضعیف می‌کند. بکارا و بان (۲۰۰۶) پس از افقی سازی سیگنال در هر پنجره زمانی و اعمال *SVD* تنها اولین تصویر مشخصه را که بیانگر سیگنال می‌باشد را حفظ کرده و آنرا بازسازی می‌کنند. این فرایند برای تک تک پنجره‌ها با ۵۰٪ همپوشانی ادامه می‌یابد. کری و ژانگ (۲۰۰۹) زمین‌غلت را به عنوان پدیده خطی غیر افقی با اعمال برون راند خطی (*LMO*) افقی ساخته و پس از تجزیه به تصاویر مشخصه، با صفر قرار دادن تصاویر مشخصه ابتدایی که بیانگر زمین‌غلت می‌باشند، آنرا تضعیف نمودند. پرسانی و همکاران (۲۰۰۹) یک روش جدید را برای تضعیف زمین‌غلت با استفاده از تجزیه مقدار تکین ارائه نمودند، پیش از اعمال *SVD* در این روش باید تحلیل سرعت و تصحیح برون‌راند نرمال (*NMO*) روی داده انجام پذیرد، سپس در پنجره‌های مکانی با همپوشانی، تجزیه مقدار تکین اعمال شده و سیگنال افقی شده بازسازی می‌گردد.

در این مقاله ابتدا تجزیه مقدار تکین به لحاظ مفهوم ریاضی شده و سپس نحوه اعمال تجزیه مقدار تکین و الگوریتم مربوطه برای تضعیف نویزهای تکراری بیان می‌شود. در نهایت نتایج اعمال فیلتر روی داده واقعی مربوط به یکی از میادین هیدروکربوری آورده شده است. لازم به توضیح است که کلیه کدهای مربوطه بر اساس الگوریتم طراحی شده با نرم افزار *MATLAB* نوشته شده است.

۲- اساس ریاضی تجزیه مقدار تکین

تجزیه مقدار تکین بر پایه خواص و قوانین جبر خطی یک ماتریس $n*m$ مانند X را به ضرب سه ماتریس Umm و Σmn و $VTnn$ و به تصاویر مشخصه سازنده‌اش تجزیه می‌کند. *SVD* می‌تواند به عنوان تبدیل‌گر متغیرهای وابسته به متغیرهای مستقل عمل کند. *SVD* یک روش کاهنده است که می‌تواند با بهترین تخمین ابعاد داده‌ها را کاهش دهد تا ویژگی‌های متغیر اصلی بهتر نمایان شود. *SVD* به عنوان یک تجزیه‌گر و فاکتورگیر ماتریسی تجزیه مقدارهای تکین، قدمی اساسی در بسیاری از محاسبات علمی و مهندسی به حساب می‌آید (بیکر، ۲۰۰۵).

$$X_{mn} = U_{mm} \sum_{mn} V_{nn}^{T} \qquad (1)$$

که Xmn ماتریس اصلی، Umm مقدار تکین سمت چپ، Σmn مقدار تکین، Vnn مقدار تکین سمت راست می‌باشد. ماتریس‌های مقدار تکین سمت چپ و مقدار تکین راست، متعامد و ماتریس مقدار تکین یک ماتریس قطری است.

بر اساس مطالب عنوان شده *SVD* توانایی تجزیه یک ماتریس به ضرب سه ماتریس را داراست. بر همین اساس می توان تجزیه مقدار تکین را بصورت زیر بیان نمود

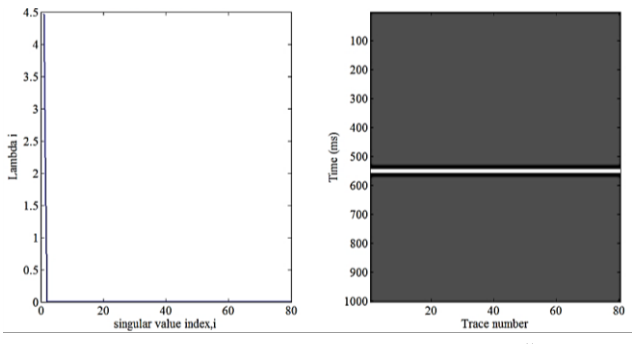
$$X = \sum_{i=1}^{r} \sigma_i u_i v_i^T \quad (2)$$

حاصلضرب $uiviT$ که ماتریسی هم بعد با ماتریس اصلی را تشکیل می‌دهد، i امین تصویر مشخصه می‌باشد. پس از تجزیه ماتریس داده به تصاویر مشخصه سازنده‌اش با هر تعداد از این تصاویر مشخصه داده قابل بازسازی است. هر چه از تصاویر مشخصه بیشتری در بازسازی ماتریس بهره گرفته شود، حاصل به ماتریس اولیه نزدیک‌تر خواهد بود. به همین ترتیب هر قدر از تصاویر مشخصه کمتری در بازساری داده استفاده گردد، خطای بیشتری حاصل می‌گردد.

۳- کاربرد تجزیه مقدار تکین در تضعیف امواج تکراری

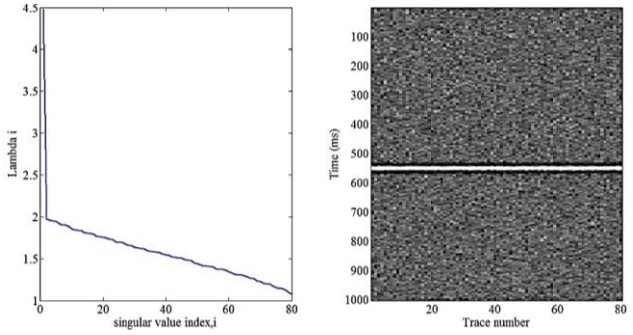
بر اساس روابط بیان شده، هر چه یک پدیده لرزه‌ای افقی‌تر باشد، بدلیل پایین آمدن مرتبه ماتریس و افزایش وابستگی خطی بین نمونه‌ها می‌توان بوسیله تصاویر مشخصه ابتدایی‌تر پدیده را بازسازی نمود. به عبارت ساده‌تر پدیده‌های افقی بوسیله *SVD* قابل شناسایی هستند.

داده‌های مصنوعی در حالتهای مختلف با استفاده از *MATLAB* ساخته شده است و طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین برای هر یک از آنها محاسبه و آورده شده است. همانطور که گفته شد هرچقدر پدیده‌ها افقی‌تر و قابلیت پیش‌بینی بیشتری داشته باشند، در ماتریس مقدار تکین، دارای مقادیر بیشتری در تصاویر مشخصه ابتدایی‌تر خواهند بود. بنابراین پس از اعمال تصحیحات دینامیک، بازتابهای افقی شده در تصاویر مشخصه ابتدایی و نویز امواج تکراری در تصاویر مشخصه انتهایی قرار میگیرند. در ادامه تصاویر مربوط به داده مصنوعی در حالتهای مختلف به همراه طیف تجزیه مقدار تکین آورده شده است. این موارد شامل پدیده افقی (با و بدون نویز تصادفی)، پدیده هذلولی (با و بدون حضور نویز)، پدیده شیبدار خطی (با و بدون حضور نویز تصادفی) و نویز تصادفی می‌باشد که در به ترتیب در شکلهای ۱ تا ۷ آورده شده است.



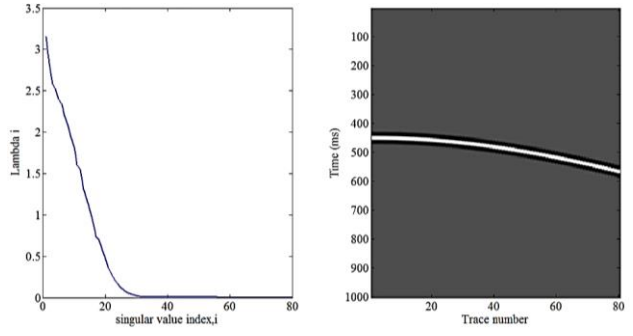
(ب) (الف)

شکل ۱. (الف) پدیده افقی بدون حضور نویز تصادفی و (ب) طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین.



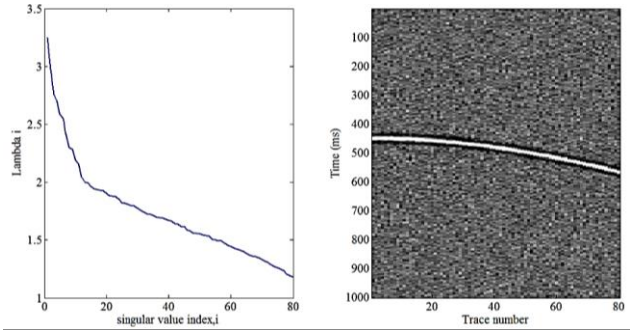
(ب) (الف)

شکل ۲. (الف) پدیده افقی در حضور نویز تصادفی و (ب) طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین



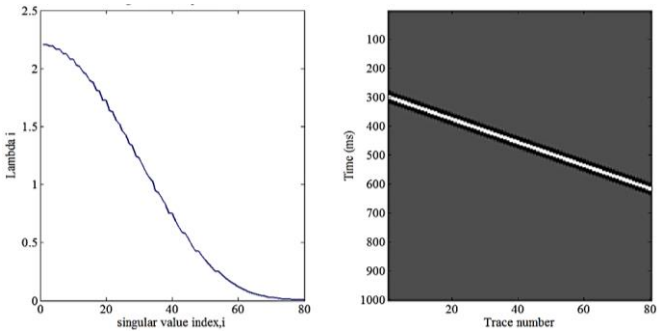
(ب) (الف)

شکل ۳. (الف) پدیده هذلولی بدون حضور نویز تصادفی و (ب) طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین.



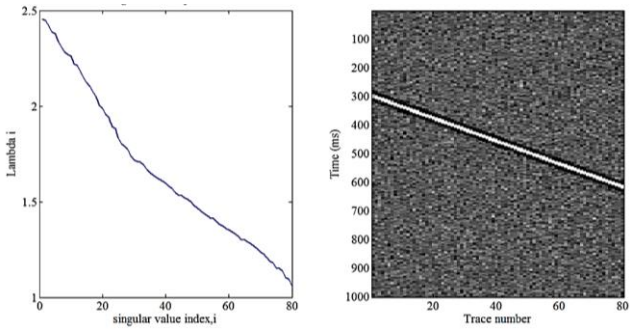
(ب) (الف)

شکل ۴. (الف) پدیده هذلولی در حضور نویز تصادفی و (ب) طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین.



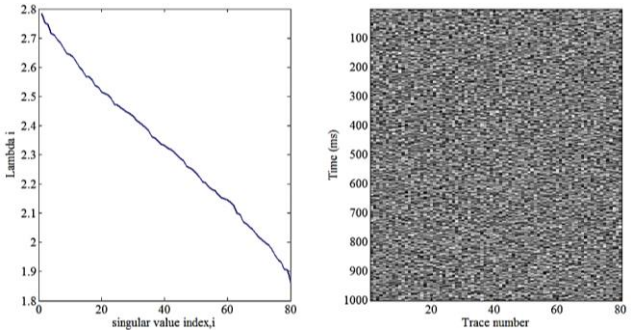
(ب) (الف)

شکل ۵. (الف) پدیده خطی شیبدار بدون حضور نویز تصادفی و (ب) طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین.



(ب) (الف)

شکل ۶. (الف) پدیده افقی در حضور نویز تصادفی و (ب) طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین.



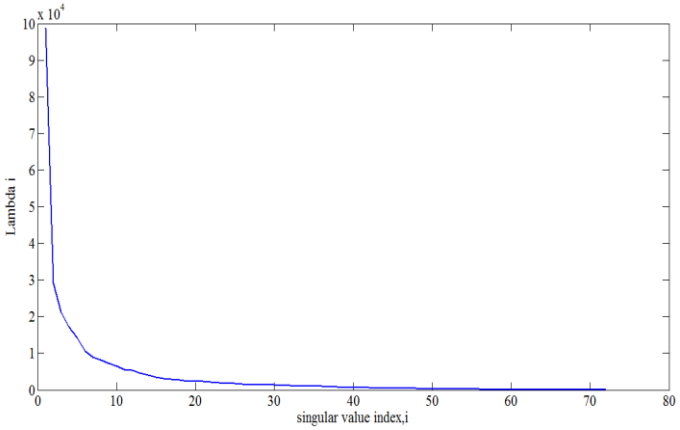
(ب) (الف)

شکل ۷. (الف) نویز تصادفی و (ب) طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین.

مطابق شکل‌های ۱ تا ۷، *SVD* تنها می‌تواند پدیده‌های افقی را بوسیله تصاویر مشخصه ابتدایی بازسازی نماید. این تئوری اساس تضعیف تکراری‌ها بوسیله این روش را تشکیل می‌دهد. برای این منظور ابتدا داده باید پس از معرفی هندسه برداشت بر حسب نقطه عمقی مشترک (*CDP*) مرتب گردد، سپس روی داده‌ی نقطه عمقی مشترک تحلیل سرعت صورت می‌گیرد. با استفاده از روش تحلیل سرعت "طیف شبیه سازی سرعت" بهترین هذلولی بر داده برازش می‌شود تا سرعت و زمان پدیده‌های موجود بدست آید. پیش از اعمال این دو مرحله باید نویز زمین‌غلت تضعیف شده باشد، زیرا حضور آنها که دارای دامنه‌های قوی هستند در داده نقطه عمقی مشترک باعث می‌شود که تحلیل سرعت صحیحی صورت نپذیرد. سایر مراحل پردازشی اعم از بازیافت دامنه، تصحیحات استاتیک و ویرایش داده نیز باید انجام شده باشد. پس از انجام تحلیل سرعت میزان اختلاف زمانی پدیده هذلولی نسبت به حالت افقی که از دورافت ناشی می‌گردد، برای هر ردلرزه محاسبه شده و تصحیح برون‌راند نرمال انجام می‌پذیرد. در هنگام انجام تصحیح *NMO* بخشی از داده دچار کشیدگی می‌شود که کشیدگی‌های زیاد باید از داده حذف گردد. در صورت شیبدار بودن لایه‌ها تصحیح برون‌راند شیب (*DMO*) نیز باید روی داده اعمال گردد. پس از انجام تصحیحات دینامیک، سرعت انتخاب شده برای بازتابها مناسب بوده و باعث افقی شدن آنها می‌گردد در حالیکه سرعت انتخاب شده برای امواج تکراری بیشتر از مقدار مناسب بوده و در نتیجه امواج تکراری بویژه در دورافتهای دور دچار افتادگی می‌شوند، بنابراین بازتابهای افقی شده بوسیله تجزیه مقدار تکین در تصاویر مشخصه ابتدایی قابل شناسایی و جداسازی از امواج تکراری هستند. پس از اعمال تجزیه مقدار تکین، اختلاف بین هر دو مقدار ویژه متوالی محاسبه می‌شود. اندیسی که بیشترین اختلاف را نتیجه می‌دهد، به عنوان نقطه‌ای که پیش از آن معرف بازتابهای هذلولی افقی شده است، در نظر گرفته می‌شود. کلیه تصاویر مشخصه پس از این نقطه معرف سایر پدیده‌ها از جمله امواج تکراری و نویز تصادفی می‌باشند، که برابر صفر قرار گرفته و حذف می‌شوند. پس از بازسازی داده با تصاویر مشخصه باقی مانده، امواج تکراری تضعیف می‌گردد. با افزایش تعداد تصاویر مشخصه‌ای که برابر صفر قرار می‌گیرند، نویز کمتری در داده باقی مانده ولی ممکن است بازتابها نیز آسیب بیشتری ببینند و به همین ترتیب با کاهش تعداد تصاویر مشخصه‌ای که برابر صفر قرار می‌گیرند، نویز کمتر تضعیف شده و به بازتابها نیز آسیب کمتری وارد می‌آید. با محاسبه اختلاف بین داده پس از اعمال فیلتر با قبل از آن، میزان نویز تضعیف شده بدست می‌آید.

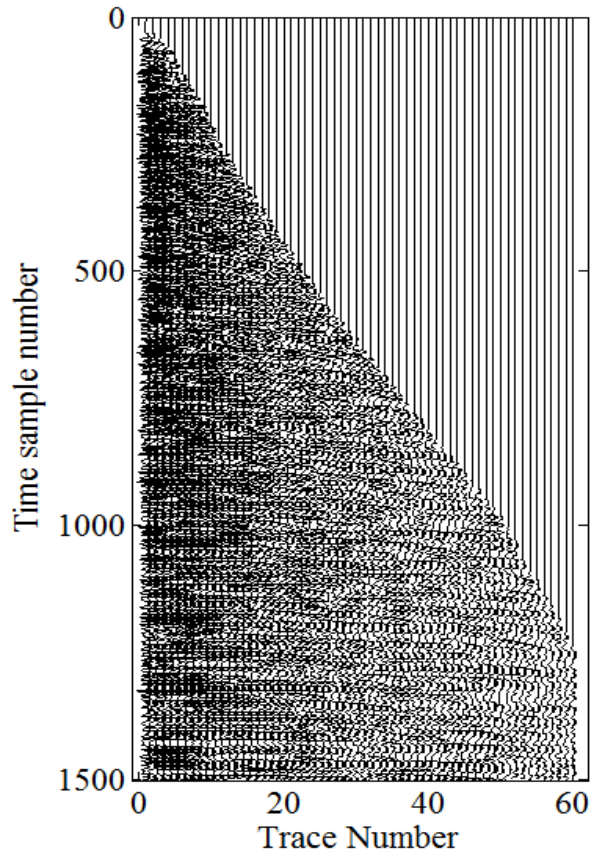
۴- نتایج اعمال روش روی داده واقعی

الگریتم طراحی شده بر روی داده واقعی پس از اعمال تصحیات دینامیک اعمال گردیده است و نتایج در ادامه آورده شده است. شکل ۸ طیف تجزیه مقدار تکین مربوط به داده واقعی نقطه عمقی مشترک بعد از اعمال تصحیحات دینامیک را نشان می‌دهد. مقادیر موجود در اندیسهای ابتدایی در برگیرنده بازتابهای افقی شده و اندیسهای بعدی نیز بیانگر نویز امواج تکراری و نویز تصادفی هستند و با شناسایی و حذف آنها نویز حذف خواهد گردید.

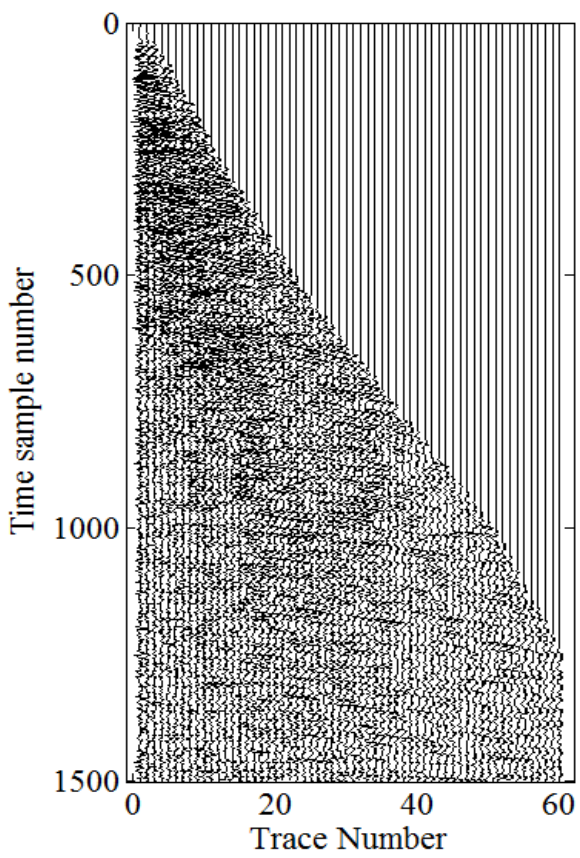


شکل ۸. طیف مربوط به تجزیه مقدار تکین داده واقعی

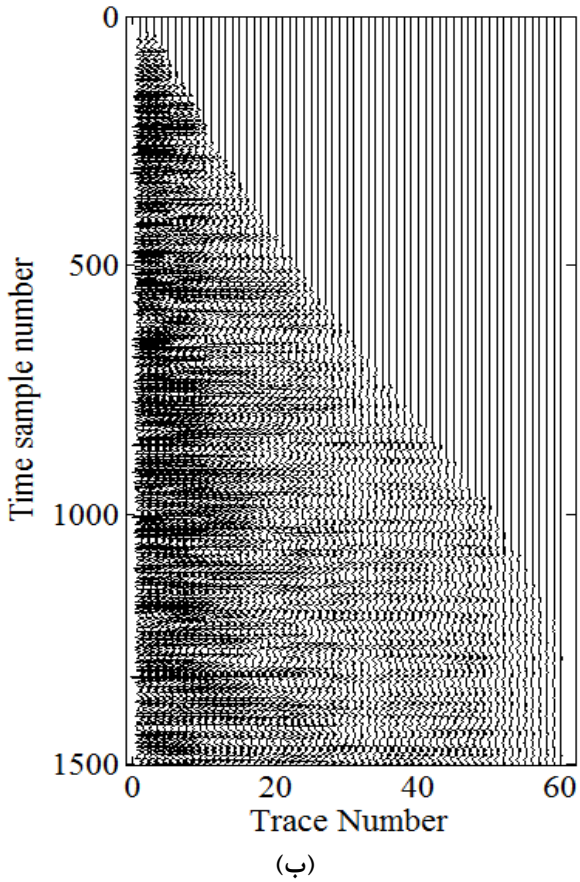
شکل ۹ نتایج مربوط به اعمال الگوریتم بر روی داده واقعی را نشان می‌دهد. در قسمت (الف) داده واقعی ورودی پس از اعمال تصحیحات دینامیک آورده شده است. قسمت (ب) داده پس از اعمال فیلتر و قسمت (ج) اختلاف بین داده ورودی و فیلتر شده را نشان میدهد که نشان دهنده نویز حذف شده است. نتایج نشان میدهد که روش به خوبی توانسته است تا نویز تکراری را حذف نماید.



(الف)

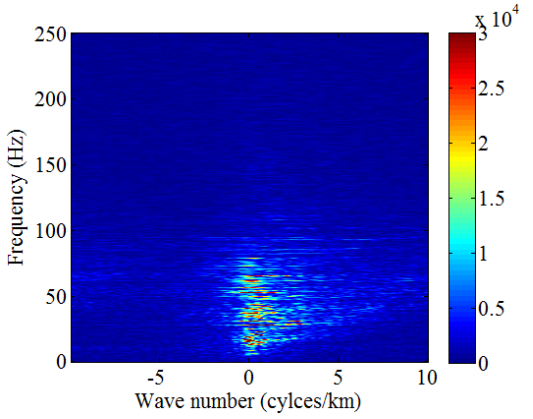


(ج)

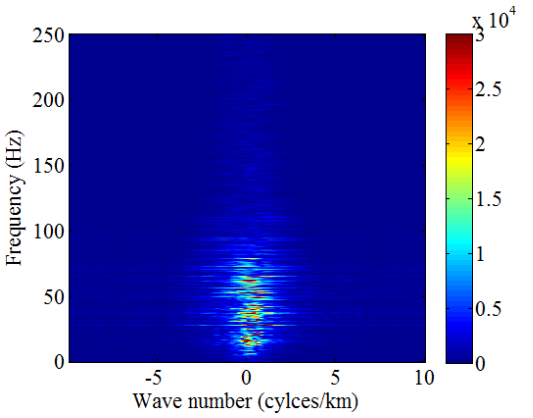


(ب)

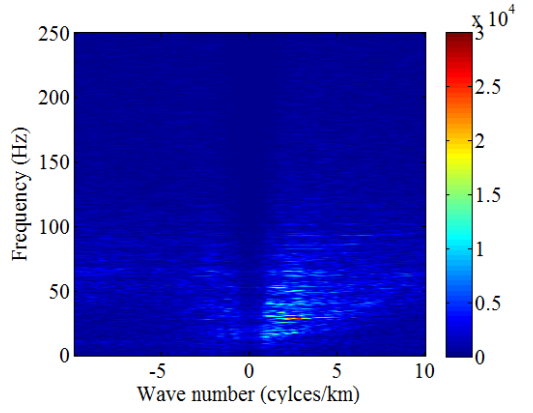
در ادامه جهت اعتبار سنجی نتایج حاصل شده، از طیف روش طیف فوریه دو بعدی (طیف *f-k*) استفاده شه است. طیف *f-k* مربوط به داده ورودیف داده فیلتر شده و اخلاف بین داده ورودی و فیلتر شده با اعمال فوریه دو بعدی بدست آمده است و به ترتیب در قسمتهای الف تا ج شکل ۱۰ آورده شده است. بر اساس نتایج به خوبی مشاهده میگردد که نویز تکراری که بطور طبیعی بدلیل داشتن شیب بیشتر در محدوده خارج از عدد موج صفر قرار گرفته است، به خوبی در داده فیلتر شده است و بازتابها نیز به خوبی حفظ شده اند.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۰. طیف فرکانس-عدد موج: (الف) داده واقعی ورودی پس از اعمال تصحیحات دینامیک (ب) داده پس از اعمال فیلتر و (ج) اختلاف بین داده ورودی و فیلتر شده

۵-نتیجه‌گیری

با طراحی الگوریتم با استفاده از تجزیه مقدار تکین برای حذف امواج تکراری بازتابها بر روی داده های مصنوعی و واقعی می توان بیان نمود که تجزیه مقدار تکین می تواند به عنوان یک روش موثر در تضعیف نویز تکرای بازتابها روی داده نقطه عمقی مشترک پس از اعمال تصحیحات دینامیک عمل نماید.

بر اساس مطالب عنوان شده ، برای تضعیف امواج تکراری بازتابها باید در داده نقطه عمقی مشترک، تحلیل سرعت و تصحیحات دینامیک انجام پذیرد، سپس بازتابهای افقی شده در تصاویر مشخصه ابتدایی نمایان شده و بازسازی شود. به این ترتیب نویز تکراری بازتابها تضعیف خواهد شد. از آنجایی که این فیلتر بر اساس همدوسی کار می کند و می تواند پدیده های افقی را شناسایی نماید، حتی با وجود کاهش مرتبه پوشش عمقی باز هم می تواند بازتابهای افقی شده را از امواج بازتابها جدا نماید و به مرتبه پوشش عمقی حساس نمی باشد. البته با افزایش مرتبه پوشش تحلیل سرعت بهتری می تواند صورت گیرد.

یکی از پارامترهای تاثیرگذار اصلی در میزان امواج تکراری حذف شده تعداد تصاویر مشخصه ای است که برابر صفر قرار گرفته و یا بازسازی می شوند. با افزایش تعداد تصاویر مشخصه ای که برابر صفر قرار می گیرند، نویز کمتری در داده باقی مانده ولی ممکن است بازتابها نیز آسیب بیشتری ببینند و به همین ترتیب با کاهش تعداد تصاویر مشخصه ای که برابر صفر قرار می گیرند، نویز کمتر تضعیف شده و به بازتابها نیز آسیب کمتری وارد می آید.

از آنجایی که پیش از اعمال فیلتر باید تحلیل سرعت و تصحیحات دینامیک صورت پذیرد، هر قدر این مراحل دقیق تر بوده و با نتایج بهتری همراه باشد، نتیجه اعمال فیلتر نیز بهتر خواهد بود. زیراکه روش تجزیه مقدار تکین هرقدر که داده ها افق تر باشند، بهتر می تواند بازتابهای افقی شده را در تصاویر مشخصه ابتدایی شناسایی نماید.

۶-منابع

Freire, S.L.M., and Ulrych, T.J., 1988, Application of singular value decomposition to vertical seismic profiling: Geophysics, 53: 778-785.

Lu, W., 2006, Adaptive noise attenuation of seismic images based on singular value decomposition and texture direction detection, Journal of Geophysics and Engineering, 3: 28-34.

Bekara, M., and Baan, M.V., 2007, Local singular value decomposition for signal enhancement of seismic data: Geophysics, 72: 59–65.

Cary, P., and Zhang, C., 2009, Ground roll attenuation via SVD and adaptive subtraction, Frontiers + Innovation – 2009 CSPG CSEG CWLS Convention, Calgery: 372-375.

Porsani, M. J., Silva, M. G., Melo, P. E. M., Ursin, B., 2009, Ground-roll attenuation based on SVD filtering: 82nd Ann. Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Houston, Expanded Abstracts: 3381-3385.

Baker, K., 2005, Singular Value Decomposition Tutorial, http://www.cs.wits.ac.za/~michael/SVDTut.pdf, accessed 14 April 2011.

Yilmaz, Ö., 2001, Seismic data analysis: processing, inversion and interpretation of seismic data (Vols. 1 & 2), Society of Exploration Geophysicists, Tulsa Oklahoma