

## تضعیف نوفه های خطی با استفاده از تبدیل $\tau$ - $p$ در داده های لرزه ای بازتابی

محبوبه رضایی فرح آبادی<sup>۱</sup>، دکتر محمد علی ریاحی<sup>۲</sup> و دکتر میرستار مشین چی<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از روشهای تضعیف نوفه های خطی لرزه ای روش تبدیل  $\tau$ - $p$  می باشد. با انتقال داده های لرزه ای به حوزه  $\tau$ - $p$  و اعمال فیلتر در آن حوزه می توان نوفه های خطی را تضعیف نمود. نتایج اعمال این روش بر روی داده های مصنوعی و واقعی نشان می دهد که روش تبدیل  $\tau$ - $p$  کاربرد خوبی در تضعیف نوفه های خطی دارد و در جاهایی که هدف بدست آوردن داده هایی برای مطالعات مخزنی باشد این روش می تواند جایگزین خوبی برای فیلتر F-K جهت تضعیف نوفه های خطی باشد.

کلید واژه ها: نوفه خطی، تبدیل  $\tau$ - $p$ ، فیلتر F-K، حداقل مربعات.

## Attenuation of linear noise using $\tau$ - $p$ transform in reflection seismic data

Mahboobeh Rezaeifarahabadi, Dr. MohammadAli Riahi, Dr. MirSattar Mishinchi

### Abstract

One of the linear noise attenuation methods is  $\tau$ - $p$  transform. By transformation of seismic data to  $\tau$ - $p$  domain and applying a filter in this domain, we can attenuate linear noise. Results of this method on synthetic and real data show that  $\tau$ - $p$  transform has good application in linear noise attenuation and when reservoir study is the case,  $\tau$ - $p$  transform is preferred to F-K filter for linear noise attenuation.

**Keywords:** Linear noise,  $\tau$ - $p$  Transform, F-K Filter, Least Squares.

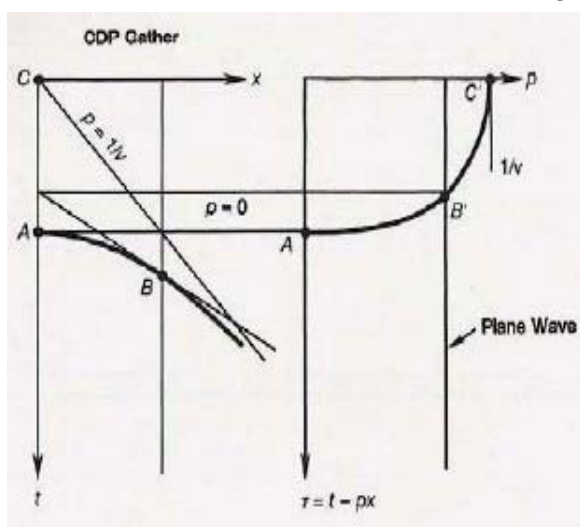
<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناس ارشد ژئوفیزیک لرزه شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات - تهران

<sup>۲</sup> دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> استادیار دانشگاه علوم تحقیقات

## مقدمه:

که  $u(p, \tau)$  نشان دهنده یک موج تخت می باشد. با تکرار تصحیح برونراند خطی برای یک محدوده از مقادیر  $p$  و انجام جمع با استفاده از رابطه (۲)، یک برداشت کامل بر انبارش مورب بدست می آید. در عمل یک برداشت برانبارش مورب به عنوان برداشت  $\tau-p$  شناخته می شود که شامل همه مولفه های شیب با مقادیر مشخص شده  $p$  در داده دورافت اصلی می باشد (ایلماز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۱). یک نمایش شماتیک از تصویر موج خطی بدست آمده از معادلات (۱) و (۲) در شکل (۱) نشان داده می شود.



شکل ۱- یک هذلولی در حوزه  $h-t$  که در حوزه  $\tau-p$  به یک بیضی تصویر می گردد (ایلماز، ۲۰۰۱)

انتقال داده ها از حوزه  $h-t$  به  $\tau-p$  معکوس پذیر است (تورسن<sup>۴</sup>، ۱۹۷۸). ابتدا تصحیح برونراند خطی معکوس روی داده ها در حوزه  $\tau-p$  اعمال می گردد.

$$t = \tau + ph \quad (3)$$

سپس داده ها در حوزه  $\tau-p$  در امتداد محور پارامتر پرتو جمع می گردند.

$$d(h, t) = \sum_p U(p, t - ph) \quad (4)$$

برای بازسازی صحیح دامنه ها فیلتر  $\rho$  قبل از عمل معکوس بکار می رود. این عمل با ضرب طیف دامنه هر رد لرزه بر انبارش مورب با قدر مطلق مقدار فرکانس

دراکتشافات لرزه ای، داده های لرزه ای پس از برداشت، پردازش و سپس تفسیر می شوند و به صورت تصویری از ساختار زمین ارائه می شوند. بهبود تصویر زیر زمین هدف اساسی این مراحل است و کیفیت این تصاویر وابستگی زیادی به چگونگی انجام عملیات پردازش دارد. فرض اساسی تکنیک های تصویرسازی لرزه ای آن است که داده های لرزه ای عاری از نوفه هستند که البته در عمل چنین نیست. داده های لرزه ای بازتابی در بسیاری از موارد با نوفه های خطی مانند امواج سطحی، راهنما، شکستی و مستقیم آلوده می شوند. این رویدادهای خطی ممکن است باعث پوشاندن و در نتیجه عدم وضوح بازتابها در یک برداشت لرزه ای گردد (سپایترز، نیتس و گرین<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱). یکی از راه های تضعیف این نوفه های خطی تبدیل رادون خطی یا  $\tau-p$  می باشد. حال برای اینکه داده را عاری از نوفه کنیم باید داده را به حوزه  $\tau-p$  برده تا رویداد خطی در آنجا به یک نقطه و رویداد بازتابی به بیضی تصویر شوند. سپس با حذف این نقاط در حوزه  $\tau-p$  و بازگرداندن داده به حوزه  $t-h$ ، داده اصلی عاری از نوفه خواهیم داشت (ساجی<sup>۲</sup>، ۱۹۹۹).

تبدیل  $\tau-p$ :

برای انتقال داده ها از حوزه  $t-h$  به حوزه  $\tau-p$  ابتدا تصحیح برونراند خطی (LMO) بر روی داده ها اعمال می گردد.

$$\tau = t - ph \quad (1)$$

$p$  = پارامتر پرتو

$h$  = دور افت

$t$  = زمان سیر رفت و برگشت

$\tau$  = زمان برخوردگاه در  $h=0$

سپس داده ها در امتداد محور دور افت جمع می گردند.

$$u(p, \tau) = \sum_h d(h, \tau + ph) \quad (2)$$

<sup>3</sup> Yilmaz

<sup>4</sup> Thorson

<sup>1</sup> Spitzer, Nitsche and Green

<sup>2</sup> Sacchi

نمونه برداری ۴ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که نوفه های خطی مستقیم، شکستی ها، و امواج راهنما و همچنین پدیده خطی پراکنش بازگشتی (Backscattered) مربوط به امواج راهنما در این مدل دیده می شود (مطابق شکل ۲-ا). با استفاده از برنامه تهیه شده این مدل مصنوعی به حوزه  $\tau$ - $p$  منتقل شده است (شکل ۲-ب). همانطور که در شکل مشخص است در این حوزه پدیده های خطی به صورت نقطه (همراه با زبانه) و پدیده های هذلولی به صورت بیضی هستند. بعد از طراحی یک فیلتر متغیر با زمان مناسب در این حوزه (شکل ۲-ب) و اعمال آن، داده های فیلتر شده به حوزه  $h$ - $t$  برگردانده شده اند (شکل ۲-ج). با توجه به این شکل، نوفه های خطی تا حدود زیادی تضعیف شده اند و فقط در دورافت های دور مقداری از انرژی شکستی ها و امواج راهنما (که مقدار  $p$  کم و نزدیک  $p$  بازتابی ها می باشد) باقی مانده است. لازم به ذکر است که این نوفه های باقی مانده مشکلی در پردازش داده ها ایجاد نمی کنند زیرا این پدیده ها بعد از تصحیح NMO کشیده شده و در محدوده زون حذف قرار دارند (شکل ۲-د). شکل (۲-د) نیز که از کم کردن خروجی از مدل مصنوعی اولیه بدست آمده است مربوط به نوفه های خطی حذف شده می باشد.

## مدل مصنوعی شماره ۲

این مدل مربوط به یک داده مصنوعی خشکی است. تعداد گیرنده ها ۱۰۱، فاصله آنها از هم ۲۰ متر، فاصله چشمه با اولین گیرنده ۱۰ متر، زمان ثبت ۲ ثانیه و فاصله نمونه برداری زمانی ۴ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است. لایه اول که یک لایه هوازه است ۵ متر ضخامت دارد. عمق چاله انفجاری نیز ۵ متر در نظر گرفته شده است. به همین دلیل از سطح مشترک لایه اول و دوم بازتابی نداریم. نوفه های خطی مستقیم، شکستی ها و امواج سطحی در این مدل دیده می شود (مطابق شکل ۳-ا).

بدست می آید. فرم ماتریسی رابطه (۴) در حوزه فرکانس بصورت زیر خواهد بود:

$$d' = Lu \quad (5)$$

$$e = d - Lu \quad (6)$$

هدف تعیین  $u$  از رابطه ماتریس (۵) درحوزه فوریه است به طوری که برای هر  $W$  بردار مختلط  $u:u(p,w)$  به نحوی تعیین شود که اختلاف  $e:e(h,w)$  بین بردار مختلط وروداشت اصلی،  $d:d(h,w)$  و بردار مختلط وروداشت مدل شده،  $d':d'(h,w)$  در مفهوم حداقل مربعات کمینه شود. راه حل حداقل مربعات درحوزه فوریه بصورت زیر بدست می آید:

$$u = (L^T L)^{-1} L^T d, \quad (7)$$

که در آن علامت ستاره نشان دهنده مزدوج مختلط است. رابطه (۷) حل حداقل مربعات محدود نشده برای  $u$  ارائه می کند. برای اجتناب از تکینگی<sup>۱</sup> یا شبه تکینگی<sup>۲</sup> در ماتریس  $(L^T L)$ ، راه حل با بکارگیری یک فاکتور میرایی  $\beta$  در رابطه (۷) محدود می گردد (لاینز و تریتل<sup>۳</sup>، ۱۹۸۴):

$$u = (L^T L + \beta I)^{-1} L^T d, \quad (8)$$

که  $I$  ماتریس همانی می باشد و فاکتور میرایی  $\beta$  یک اسکالر است که از ناپایدار شدن راه حل جلوگیری می کند. حال با استفاده از حوزه فرکانس و راه حل حداقل مربعات برنامه ای در نرم افزار MATLAB تهیه شده است که نتایج آن بر روی دو مدل مصنوعی و دو مدل واقعی نشان داده شده است.

## داده های مصنوعی

### مدل مصنوعی شماره ۱

این مدل مربوط به یک داده مصنوعی دریایی است. تعداد گیرنده ها ۱۳۰، فاصله آنها از هم ۱۵ متر، فاصله چشمه با اولین گیرنده ۵۰ متر، زمان ثبت ۲ ثانیه و فاصله

<sup>1</sup> Singularity

<sup>2</sup> Near- Singularity

<sup>3</sup> Lines and Treitel

$\tau$ - $p$  یک فیلتر مناسب طراحی و روی داده ها اعمال گردید (شکل ۴-ب). سپس داده ها به حوزه  $h$ - $t$  برگردانده شدند (شکل ۴-ج). همانطور که از شکل پیداست بعد از تضعیف نوفه های خطی (امواج راهنما، شکستی و مستقیم) و نوفه های تصادفی، پیوستگی بازتابها بهتر گردید. شکل (۴-د) نیز نوفه های خطی و تصادفی حذف شده را نمایش می دهد.

حال این داده دریایی را به حوزه  $F$ - $K$  انتقال داده (شکل ۵-ا) و یک زون حذف مناسب طراحی و روی داده ها اعمال نمودیم (شکل ۵-ب). شکل (۵-ج) نیز نوفه های حذف شده را نمایش می دهد. با مقایسه دو روش مشخص است که نتایج دو روش تقریباً شبیه هم است.

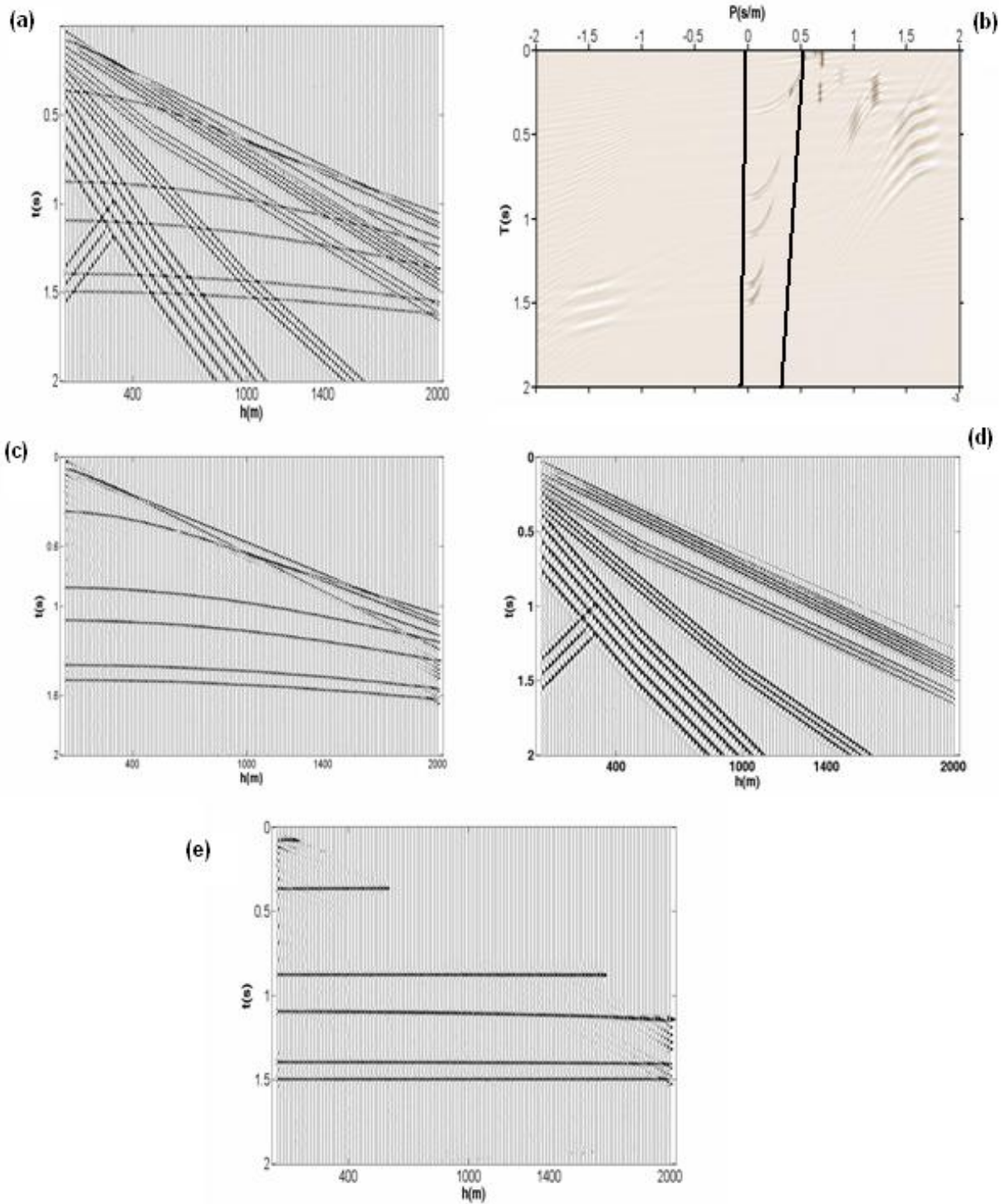
سرعت امواج سطحی کم (حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ متر بر ثانیه) و فرکانس میانی آنها نیز کم (۶ تا ۱۰ هرتز) می باشد. (مطابق شکل ۳-ا). همانند مدل قبلی داده ها به حوزه  $\tau$ - $p$  منتقل می شوند و فیلتر متغیر با زمان بر روی آن اعمال و سپس به حوزه دورافت بازسازی می گردند. نتایج در شکل های (۳-ا) تا (۳-ع) آمده است.

### داده های واقعی

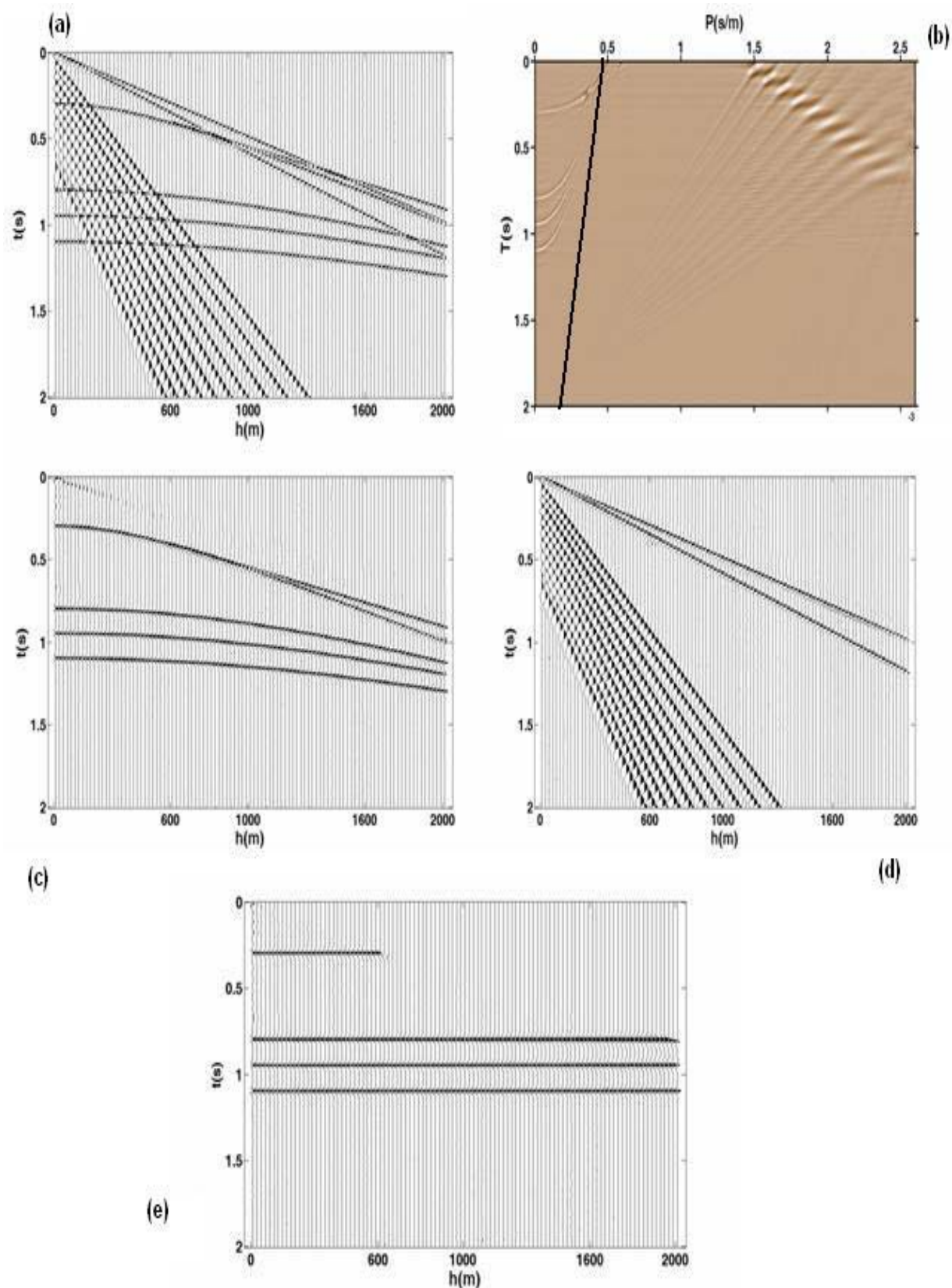
#### داده واقعی دریایی

شکل (۴-ا) مربوط به یک داده دریایی واقعی خلیج فارس می باشد. فاصله گیرنده ها از هم برابر با ۱۲/۵ متر می باشد. همانطور که در شکل پیداست علاوه بر شکستی ها و بازتابی ها، نوفه های خطی (امواج راهنما) نیز در این برداشت دیده می شود. بعد از انتقال این داده به حوزه

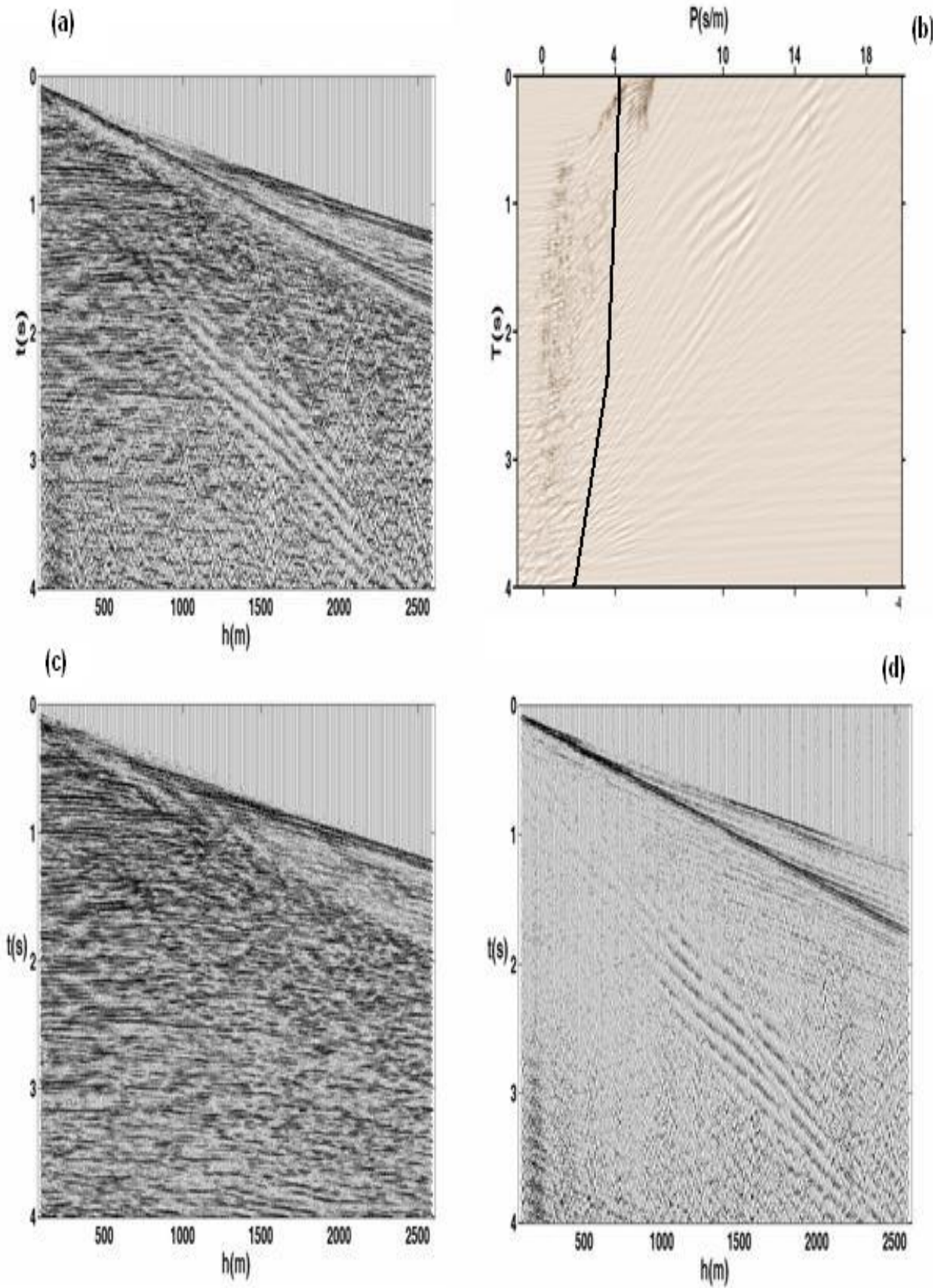
Archive of SID



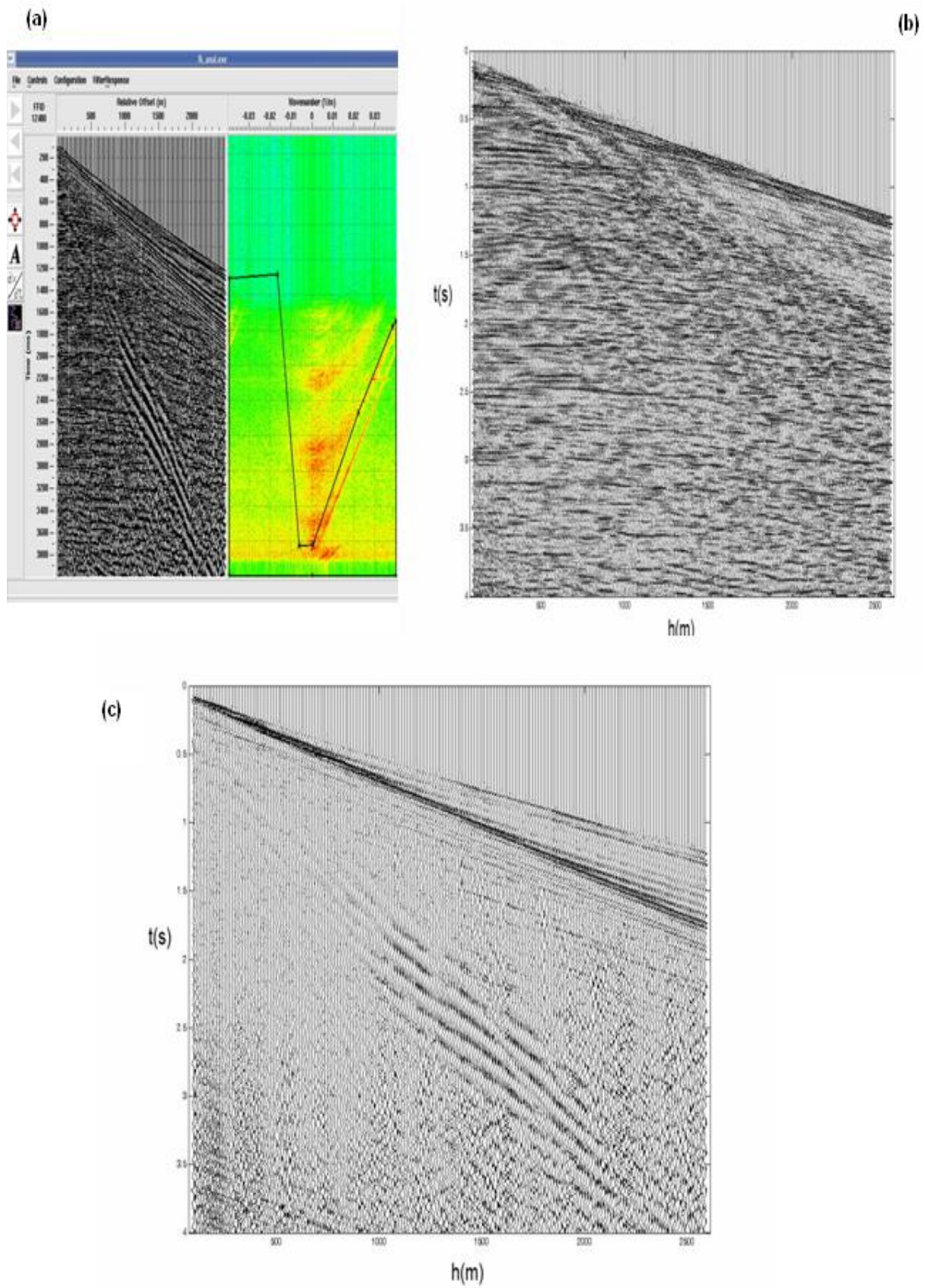
شکل ۲- (a) نمونه ای از یک مدل مصنوعی دریایی (b) حوزه  $\tau$ - $p$  این داده و فیلتر متغیر با زمان (c) بازسازی داده از حوزه  $\tau$ - $p$  بعد از اعمال فیلتر (d) نوفه های حذف شده (e) تصحیح NMO شکل ۲- c.



شکل ۳- (a) نمونه ای از یک مدل مصنوعی خشکی (b) حوزه  $\tau$ - $p$  این داده و فیلتر متغیر با زمان (c) بازسازی داده از حوزه  $\tau$ - $p$  بعد از اعمال فیلتر (d) نوفه های حذف شده (e) تصحیح NMO شکل ۳- c



شکل ۴- (a) نمونه ای از یک مدل واقعی دریایی (b) حوزه  $\tau$ - $p$  این داده و فیلتر متغیر با زمان (c) بازسازی داده از حوزه  $\tau$ - $p$  بعد از اعمال فیلتر (d) نوفه های حذف شده.



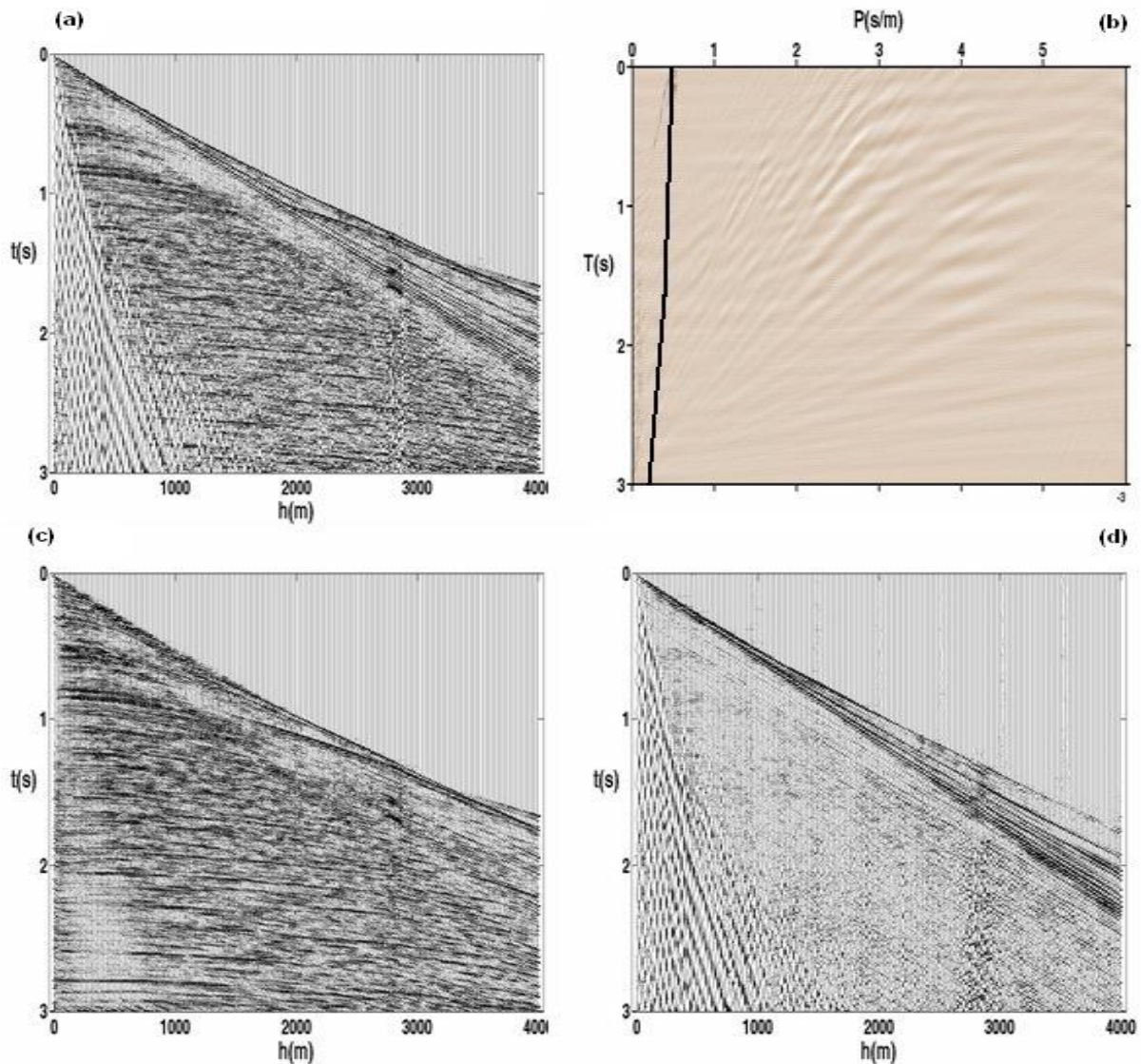
شکل ۵- (a) حوزه F-K داده دریایی (b) خروجی روش F-K (c) نوفه های حذف شده



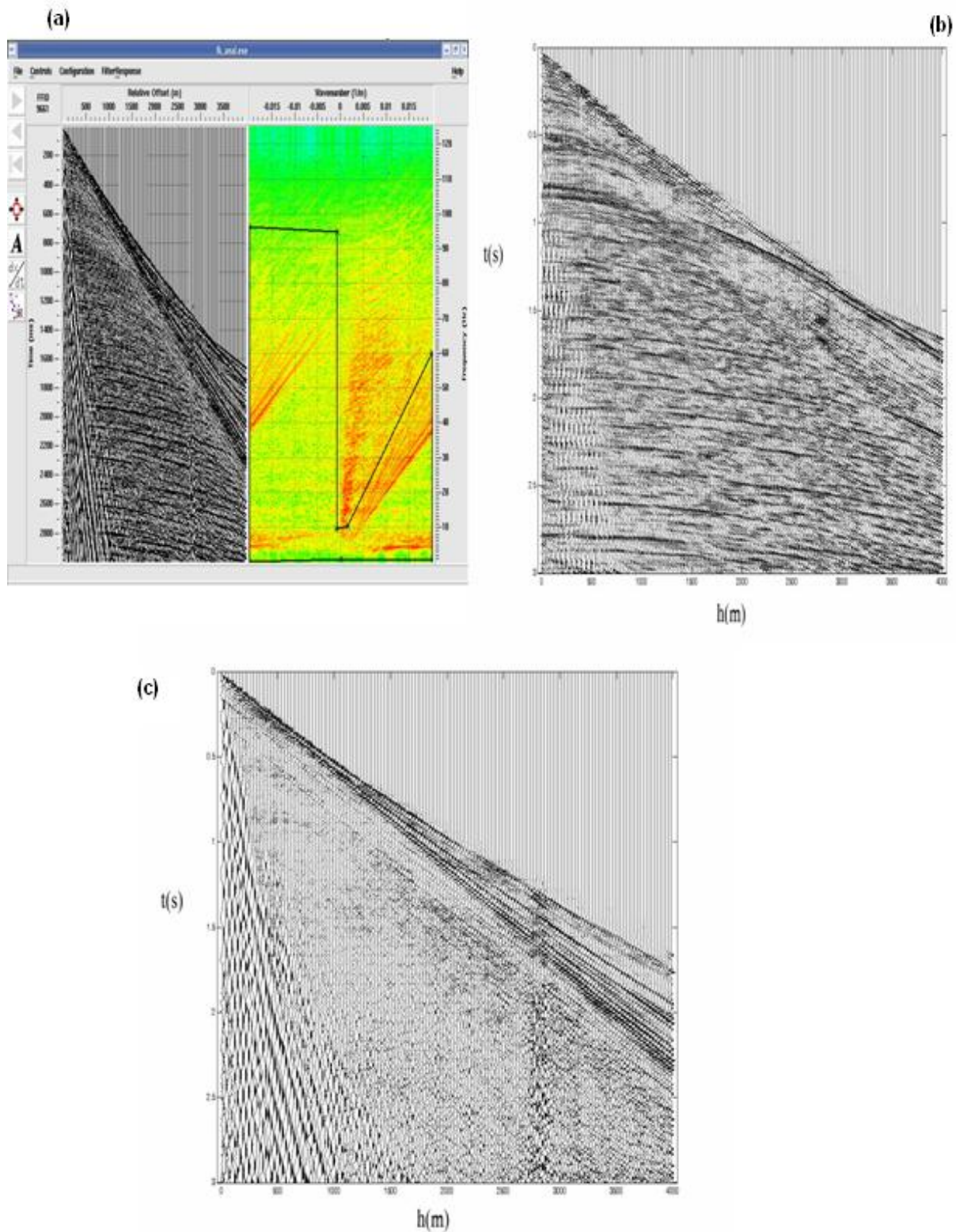
که از شکل پیداست در روش  $\tau$ - $p$  بعد از تضعیف نوفه‌های خطی (امواج سطحی، شکستی و مستقیم) و نوفه‌های تصادفی، پیوستگی بازتابها بهتر گردید. اما در خروجی روش F-K مقداری از انرژی امواج سطحی باقیمانده است که به دلیل دگرنامی این امواج می باشد. همچنین مقداری از انرژی بازتابها تضعیف شده است.

### داده واقعی خشکی

شکل (۶-ا) مربوط به یک داده خشکی واقعی مربوط به جنوب ایران می باشد. فاصله گیرنده‌ها از هم برابر با ۲۵ متر می باشد. با توجه به شکل علاوه بر شکستی‌ها و بازتابی‌ها، نوفه‌های خطی (امواج سطحی) نیز در این برداشت دیده می شوند. نتایج اعمال این روش و همچنین فیلتر F-K در شکل های (۶) و (۷) آمده است. همانطور



شکل ۶- (a) نمونه ای از یک مدل واقعی خشکی (b) حوزه  $\tau$ - $p$  این داده و فیلتر متغیر با زمان (c) بازسازی داده از حوزه  $\tau$ - $p$  بعد از اعمال فیلتر (d) نوفه های حذف شده.



شکل ۷- (a) حوزه F-K داده خشکی (b) خروجی روش F-K (c) نوفه های حذف شده.

۱- روش تبدیل  $\tau$ - $p$  کاربرد خوبی در تضعیف نوفه های خطی دارد و بعد از تضعیف این نوفه ها پیوستگی بازتابها بهتر می شود.

## نتایج

با توجه به مطالب ارائه شده نتایج زیر را می توان

عنوان کرد:

## منابع

- Lines, L. R., and Treitel, S., 1984, Tutorial: A review of least-squares inversion and its application to geological problems: *Geophysical Prospecting*, 32, 259-186.
- Sacchi, M. D., 1999, *Statistical and transform methods for seismic signal processing*: University of Alberta.
- Spitzer, R., Nitsche, F.O., and Green, A.G., 2001, Reducing source-generated noise in shallow seismic data using linear and hyperbolic  $\tau$ -p transformation: *Geophysics*, 66, 1612-1621.
- Thorson, J. R., 1984, *Velocity stack and slant-stack inversion methods*, PH.D. thesis, Stanford University.
- Yilmaz, O., 2001, *Seismic data Analysis*, Vol. 1, ISBN: 1-56080-098-4.

۲- این روش در تضعیف نوفه های تصادفی نیز اثربخش است.

۳- با مقایسه این روش با روش فیلتر F-K مشخص شده است که روش F-K در بعضی از داده ها، در تضعیف نوفه های خطی (مثل امواج سطحی) توانایی خوبی ندارد و ممکن است تحت تاثیر دگرنامی مکانی قرار بگیرد. همچنین فیلتر F-K ممکن است باعث تضعیف بازتابها نیز گردد.

۴- در جاهایی که هدف بدست آوردن داده هایی برای مطالعات مخزنی باشد این روش می تواند، جایگزین خوبی برای فیلتر F-K جهت تضعیف نوفه ها باشد.

Archive of SID