

عملگر واهمامیخت متغیر با زمان در حوزه گابور

هانیه جهدی^۱ و حمیدرضا سیاهکوهی^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ استادیار گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۰۸۵/۴/۲۰، پذیرش نهایی: ۰۸۶/۱۰/۲۵)

چکیده

در محیط درون زمین به دلیل وجود جذب (absorption) و گسترش کروی (spherical spread)، محتوای بسامدی سیگنال لرزه‌ای با گذشت زمان تغییر می‌کند. در این مقاله روشی از واهمامیخت به کار گرفته می‌شود که سیگنال را به صورت ناپایا در نظر می‌گیرد و با توجه به این ویژگی عملگر طراحی می‌کند. در این روش با تبدیل گابور لرزه‌نگاشت به حوزه گابور منتقل می‌شود و از آن برای برآورد تبدیل گابور سری بازتاب استفاده می‌شود. به عبارت دیگر با برآورد توام طیف دامنه تابع منبع و فاکتور Q و سپس تقسیم تبدیل گابور لرزه‌نگاشت به حاصل ضرب این دو، تبدیل گابور سری بازتاب حاصل می‌شود. در نهایت با اعمال عکس تبدیل گابور سری بازتاب به دست می‌آید. در این مقاله نحوه عملکرد واهمامیخت در حوزه گابور روی لرزه‌نگاشت مصنوعی و واقعی بررسی شده و مقایسه نتایج آن با واهمامیخت با استفاده از فیلتر وینر نشانگر برتری این روش به روش وینر است.

واژه‌های کلیدی: عملگر متغیر با زمان، واهمامیخت متغیر با زمان، تبدیل گابور، واهمامیخت گابور

Time-varying deconvolution operator in Gabor domain

Jahdi, H¹. and Siahkoohi, H. R².

¹M.Sc. student of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Assistant professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 11 Jul 2006, Accepted: 15 Jan 2008)

Abstract

Due to the spherical divergence and specifically absorption in the earth, amplitude of a propagating seismic wave varies as a function of time. This stretches the wavelet in time and reduces the time (or vertical) resolution of the seismic sections. To overcome the problem one has to apply so called spatial migration or deconvolution on data.

Usually the least square Wiener deconvolution is used to boost up the attenuated frequency components. Unfortunately, the Wiener based deconvolution methods assume that the source generated seismic wavelet is stationary (i.e. its frequency content remains unchanged within the record). A method of deconvolution in the Gabor domain is applied in this paper that considers the seismic data as a non-stationary phenomenon.

The Gabor transform (Equation 1) is a windowed or short time Fourier transform, where the window used to isolate the frequency content of input record in time, is a Gaussian type. According to the uncertainty principle, the Gabor transform has the least uncertainty among other windowed Fourier transforms.

$$v_g s(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)g(t - \tau)e^{-\gamma\pi i f t} dt \quad (1)$$

In this method the Gabor transform of reflectivity series is calculated using the Gabor transform of the seismic trace. Due to the semi-random distribution of the reflectivity sequence, we estimate in the Gabor domain, source function (or wavelet) and Q factor together by smoothing the Gabor transform of trace. The two estimated quantities both resemble the non-stationary source generated wavelet. Then dividing the Gabor transform of trace by the estimated wavelet and Q factor, the Gabor transform of reflectivity series is achieved (Equation 2). This is in fact performing of the non-stationary deconvolution in the Gabor domain. Finally by using the inverse Gabor transform, the reflectivity series will be calculated in time domain.

$$V_{gR}(\tau, f)_{est} = \frac{V_g s(\tau, f)}{|V_g s(\tau, f)|_{sep}} e^{-i\phi(\tau, f)} \quad (2)$$

We generated two synthetic seismic traces using an arbitrary reflectivity series and two different wavelets (zero and minimum phase). To extract the Gabor transform of the reflectivity series from that of the seismic trace, we used a two dimensional box function. The dimensions of the box were selected by trial and error. Application of the box smoothens the Gabor transform of the trace which is the estimation of the Gabor transform of the non-stationary wavelet. We determined the phase spectrum of the non-stationary wavelet using the Kolmogorov method (Equation 3).

$$\phi'(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\ln |V_g s(\tau, f')|_{sep}}{f - f'} df' \quad (3)$$

Applying both the Gabor deconvolution and Wiener deconvolution on synthetic and real data showed that the performance of the Gabor deconvolution is better than that of the Wiener deconvolution.

Key words: Time variant function, Time variant deconvolution, Gabor Transform, Gabor deconvolution

۱ مقدمه

در نظر گرفت. در روش وینر با در نظر گرفتن شروطی از جمله حداقل بودن فاز موجک لرزه‌ای و تصادفی بودن سری بازتاب می‌توان با استفاده از لرزه‌نگاشت ثبت شده سری بازتاب را محاسبه کرد که این عمل واهمامیخت نامیده می‌شود.

از طرف دیگر در محیط درون زمین به دلیل وجود جذب (absorption) و گسترش کروی (spherical spread) شکل موج در حال انتشار با گذشت زمان تغییر

واهمامیخت (deconvolution) لرزه‌ای یکی از مهم‌ترین بخش‌های پردازش اطلاعات لرزه‌ای است. هدف از به‌کارگیری واهمامیخت، استخراج ضرایب بازتاب از مقطع لرزه‌ای ثبت شده و یا تشخیص و تضعیف بازتاباننده‌های تکراری (multiples) است. مرسوم‌ترین روش واهمامیخت استفاده از فیلتر وینر است که رابینسون و تریتل (۱۹۶۷) آن را معرفی کردند. لرزه‌نگاشت را می‌توان حاصل همایخت موجک لرزه‌ای و سری بازتاب

ساخت.

تبدیل گابور پیوسته سیگنال $s(t)$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$v_g s(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) g(t - \tau) e^{-2\pi i f t} dt \quad (1)$$

که در آن $g(t)$ پنجره تجزیه گابور با زمان مرکزی τ نامیده می شود. اگرچه در این تبدیل $g(t)$ تابع گوس است ولی نظریه برای هر تابع دیگری از جمله تابع دلتا دیراک (Delta Dirac Function) نیز صادق است. همچنین می توان سیگنال را به صورت زیر بازسازی کرد:

$$s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} v_g s(\tau, f) \gamma(t - \tau) e^{2\pi i f t} df dt \quad (2)$$

که در آن $\gamma(\tau)$ پنجره ترکیبی گابور نامیده می شود. پنجره های تجزیه و ترکیب باید در شرط زیر صدق کنند:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \gamma(t) dt = 1 \quad (3)$$

در حالت گسسته روابط رفت و برگشت تبدیل گابور به صورت زیر است:

$$s(t) \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} s_k(t) e^{-2\pi i f t} dt \hat{s}(f) \quad (4)$$

$$s(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\sum_{k \in Z} s_k^u(f) \right] e^{2\pi i f t} df \quad (5)$$

همان طور که مشاهده می شود این تبدیل در زمان پنجره ها گسسته ولی کماکان در بسامد پیوسته است. به دلیل تکراری بودن محاسبات در تبدیل گابور پیوسته، به نظر می رسد که استفاده از توابع گوسی در زمان های مرکزی گسسته مناسب تر باشد. این مسئله را باستیانز (۱۹۸۰) مطرح و اثبات کرد.

۳ مدل همامیخت برای یک موجک پایا

در حالت پایا واهمامیخت داده های لرزه ای بر پایه یک

می کند و این مسئله منجر به تغییر محتوای بسامدی سیگنال لرزه ای، با زمان می شود (کلارک، ۱۹۶۸). با توجه به ناپایا بودن لرزه نگاشت بهتر است از عملگر واهمامیختی استفاده شود که با زمان تغییر کند. واهمامیخت در حوزه گابور واهمامیختی است که مقطع لرزه ای را در حکم یک داده ناپایا در نظر می گیرد. در این روش افت دامنه بسامدهای بالا مخصوصا در رسیده های دیرتر (یعنی زمان های زیاد در لرزه نگاشت) که به دلیل جذب و گسترش کروی از بین رفته اند، تقریب زده شده و اعمال می شوند.

۲ معرفی تبدیل گابور

گابور (۱۹۴۶)، مخترع تصویر تمام نگار یا هولوگرام، مقاله ای چاپ کرد که در آن انتشار یک موج را به صورت بسته های موج گوسی ارائه داده بود. مثالی از چنین بسته موجی یک موج سینوسی است که در تابع گوسی ضرب شده باشد. با توجه به تبدیل فوریه می دانیم که با داشتن یک مجموعه توابع سینوسی و کسینوسی با بسامدهای متفاوت می توان یک تابع دلخواه ساخت که با ضرب آن در یک تابع گوسی با طول محدود و زمان مرکزی مشخص به صورت محلی (local) در آید.

با تکرار این تابع تا زمان بی نهایت و سپس اعمال تبدیل فوریه روی آن یک طیف فوریه محلی حاصل می شود. با جابه جا کردن تابع گوسی در زمان و تکرار مراحل فوق، تابع اولیه که فقط تابعی از زمان بود، به صورت تابعی از زمان و بسامد در می آید. به عبارت دیگر تابع ورودی یک بعدی به صفحه دوبعدی زمان- بسامد منتقل می شود. از آنجا که این عمل بازگشت پذیر است، یعنی می توان سیگنال را از صفحه زمان- بسامد بازسازی کرد، این عمل یک تبدیل است. این تبدیل گابور نام دارد. تبدیل گابور را می توان با استفاده از توابع گوسی که زمان های مرکزی پیوسته یا گسسته دارند عملی

مدل ساده همامیخت به صورت زیر استوار است:

$$s(t) = (r * w)(t) \equiv \int_{-\infty}^{+\infty} w(t - \tau) r(\tau) d\tau \quad (6)$$

که در آن $w(t)$ موجک لرزه‌ای و $r(t)$ سری بازتاب است. سری بازتاب در واقع یک سری زمانی است که نمونه‌های آن ضرایب بازتاب موج p از بازتاب کننده‌های زیرزمین در زمان مربوط به رفت موج به صورت عمودی از سطح زمین به بازتاب کننده‌اند. حال اگر پاسخ ضربه لایه‌های زیرزمین مشخص باشد، می‌توان پاسخ هر منبع دیگری را به صورت همامیخت موجک منبع با پاسخ ضربه به دست آورد.

در لرزه‌نگاری و هنگام کار با داده واقعی یک مشکل اساسی وجود دارد و آن ناپایا بودن سیگنال لرزه‌ای است. ناپایا بودن سیگنال لرزه‌ای به این دلیل است که محیط زمین کاملاً کشسان نیست و لذا امواج لرزه‌ای انرژی خود را به تدریج در اثر انتشار از دست می‌دهند. ساده‌ترین مدل جذب را کجارتانسون (۱۹۷۹) با استفاده از فاکتور Q ارائه داد. فاکتور Q در محدوده بسامدهای لرزه‌ای مستقل از بسامدها است ولی ممکن است وابسته به مکان باشد.

فاترمن (۱۹۶۲) ثابت کرد که در یک محیط جاذب که خطی و علی (casual) است، موجک لرزه‌ای به صورت یک موجک با فاز حداقل ظاهر می‌شود و این بدان معنا است که در هر لحظه، طیف فاز موجک برابر با تبدیل هیلبرت لگاریتم نیرین طیف دامنه است. از طرف دیگر، اگر محیط جاذب نباشد، موج لرزه‌ای همچنان در حال انتشار دچار دگرگونی می‌شود و این به دلیل وجود امواج تکراری درون لایه‌ای است که دنباله (tail) موجک را تشکیل می‌دهند. به این نوع دگرگونی موج، فیلتر چینه‌ای (stratigraphic filtering) گفته می‌شود. اثر این امواج بازتابی تکراری نیز مانند محیط جاذب، تضعیف

بسامدهای زیاد است و این مسئله به کارگیری شرط فاز حداقل را دچار شک و تردید می‌کند. در عمل نمی‌توان اثر محیط جاذب را از اثر فیلتر چینه‌ای جدا کرد و به همین دلیل از فاکتور Q که هر دو اثر را در خود مستتر دارد استفاده می‌شود. ویژگی مهم واهمامیخت گابور این است که این روش بدون نیاز به فاکتور Q عمل می‌کند (مونتاننا و مارگریو، ۲۰۰۵).

۵ مدل همامیخت برای یک موجک ناپایا

مدل ریاضی موجود برای یک لرزه‌نگاشت ناپایا حاصل از منبع ضربه‌ای که شامل موجک منبع و اثرات ناپایای جذب و گسترش کروی که توسط فاکتور Q بیان می‌شود، به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$s_Q = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha_Q(\tau, f) r(\tau) e^{2\pi i f [t - \tau]} d\tau df \quad (7)$$

که در آن $r(\tau)$ سری بازتاب، s_Q در حوزه زمان-بسامد است. α_Q تابع تبدیل فاکتور Q به صورت زیر است:

$$\alpha_Q(\tau, f) = e^{-\pi f \tau / Q + i H(\pi f \tau / Q)} \quad (8)$$

که در آن H نمایش‌دهنده تبدیل هیلبرت روی f در زمان ثابت است.

$$a_Q(\tau, t - \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha_Q(\tau, f) e^{2\pi i f [t - \tau]} df \quad \text{با فرض}$$

رابطه (۷) به صورت زیر در می‌آید:

$$s_Q = \int_{-\infty}^{+\infty} a_Q(\tau, t - \tau) r(\tau) d\tau \quad (9)$$

که یک فیلتر همامیخت ناپایاست که توسط مارگریو (۱۹۹۸) آن را معرفی کرد.

چنانچه در رابطه (۷) دیده می‌شود، s_Q پراکندگی (جذب و گسترش کروی) را برای یک منبع موج ضربه‌ای

فرض کنیم که $|\hat{w}(f)|$ مستقل از τ بوده و در f نیز نرم باشد و $|\alpha_Q(\tau, f)|$ به طور نمایی در هر دو بعد در حال تضعیف باشد. ساده ترین الگوریتم واهمامیخت در حوزه گابور، طیف $|\hat{w}(f)|\alpha_Q(\tau, f)$ را توسط نرم کردن طیف $|V_g s(\tau, f)|$ برآورد می کند. این کار از راه همامیخت آن با یک تابع box دویبعدی در حوزه زمان و بسامد صورت می گیرد. در بسیاری از موارد این کار نتیجه بسیار خوبی به دست می دهد اگرچه پاسخ آن به شدت وابسته به ابعاد تابع box در هر دو بعد است. در واقع با نرم کردن طیف $|V_g s(\tau, f)|$ اثر سری تصادفی بازتاب که معمولاً دارای تغییرات سریع است، از طیف لرزه نگاشت حذف می شود.

شایان ذکر است که طول پنجره های گوسی و ابعاد تابع box تنها پارامترهای این نوع واهمامیخت اند و برای تعیین آنها باید چندین آزمون صورت می گیرد و بهترین شان انتخاب شود. همچنین می توان از انواع متفاوت توابع از جمله توابع مثلثی، گوسی و غیره برای نرم کردن طیف $|V_g s(\tau, f)|$ استفاده کرد (مارگریو و لوماروکس، ۲۰۰۲؛ مارگریو و همکاران، ۲۰۰۲؛ مارگریو و همکاران، ۲۰۰۳ و مارگریو و همکاران، ۲۰۰۴).

در ادامه با در نظر گرفتن طیف $|V_g s(\tau, f)|_{\text{sep}}$ به شکل نرم شده طیف $|V_g s(\tau, f)|$ که برآوردی از طیف $|\hat{w}(f)|\alpha_Q(\tau, f)$ هم هست، و دخالت دادن شرط فاز حداقل به صورت زیر، خواهیم داشت:

$$\hat{w}(f)\alpha_Q(\tau, f) \approx |V_g s(\tau, f)|_{\text{sep}} e^{i\phi(\tau, f)} \quad (12)$$

که در آن $\phi'(\tau, f)$ طیف فاز موجک لرزه ای است و با رابطه کولموگوروف، به صورت زیر به دست می آید (مارگریو و لوماروکس، ۲۰۰۱):

$$\phi'(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\ln |V_g s(\tau, f')|_{\text{sep}}}{f - f'} df' \quad (13)$$

نشان می دهد. با در نظر گرفتن یک تابع منبع عمومی تر، مدل لرزه نگاشت ناپایا به صورت زیر خواهد بود:

$$\hat{s}(f) = \hat{w}(f) \int_{-\infty}^{+\infty} \alpha_Q(\tau, f) r(\tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (10)$$

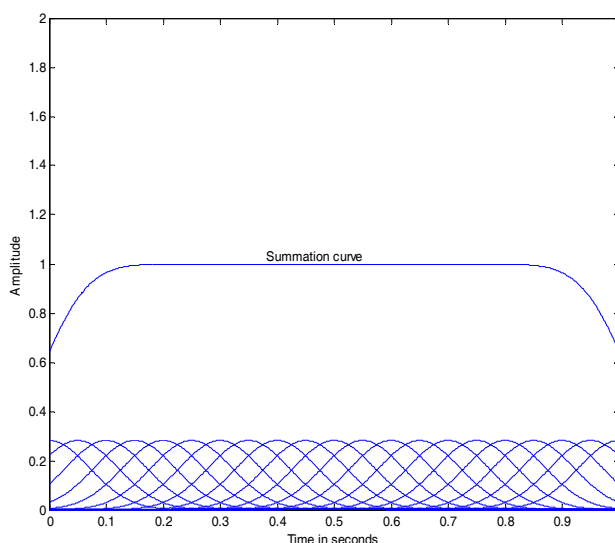
که در آن \hat{w} و \hat{s} بترتیب تبدیل فوریه تابع منبع و لرزه نگاشت ناپایا هستند. رابطه (۱۰) مدل ریاضی لرزه نگاشت ناپایاست که در این بررسی جایگزین مدل همامیخت پایا برای لرزه نگاشت است و برای سادگی آن را در حوزه بسامد معرفی کرده ایم. با اعمال تبدیل گابور روی رابطه (۱۰) خواهیم داشت (مارگریو و همکاران، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴):

$$V_g s(\tau, f) \approx \hat{w}(f)\alpha_Q(\tau, f)V_g r(\tau, f) \quad (11)$$

همان طور که از رابطه (۹) بر می آید، تبدیل گابور یک لرزه نگاشت ناپایا $(V_g s(\tau, v))$ برابر است با حاصل ضرب تبدیل فوریه تابع منبع $(\hat{w}(f))$ ، تابع تبدیل فاکتور Q و تبدیل گابور سری بازتاب $(V_g r(\tau, f))$ (برای اثبات رابطه ۱۱ به جهدی، ۱۳۸۵، رجوع شود).

۶ الگوریتم واهمامیخت در حوزه گابور

معمولاً $|V_g r(\tau, f)|$ تابعی است که به سرعت در حال تغییر در هر دو بعد زمان و بسامد است (یعنی همان فرض تصادفی بودن سری بازتاب). اگرچه پنجره گوسی نیز بر این فرض بی تأثیر نیست، به عبارت دیگر هر چه عرض پنجره انتخاب شده در زمان کوتاه تر باشد، $|V_g r(\tau, f)|$ در بسامد نرم تر خواهد بود و بر عکس. قابل ذکر است که تنها شرط در انتخاب طول پنجره ها و فاصله مراکز آنها این است که حاصل جمعشان مساوی یک شود. شکل ۱ نشان دهنده این شرط است.



شکل ۱. تنها محدودیت در انتخاب طول پنجره‌های گوسی و فاصله مراکز آنها این است که حاصل جمعشان برابر یک شود.

$$V_{gr}(\tau, f)_{est} = \frac{V_g s(\tau, f)}{\left| V_g s(\tau, f) \right|_{sep} + \mu A_{max}} e^{-i\varphi(\tau, f)} \quad (15)$$

در این رابطه، μ یک مقدار ثابت کوچک بدون بعد و A_{max} بیشترین مقدار طیف $\left| V_g s(\tau, f) \right|_{sep}$ است. در پایان با اعمال عکس تبدیل گابور روی طیف $V_{gr}(\tau, f)$ سری بازتاب در حیطه زمان به دست می‌آید.

۷ اعمال واهمامیخت در حوزه گابور روی لرزه‌نگاشت مصنوعی

در این بخش واهمامیخت در حوزه گابور روی دو لرزه‌نگاشت ناپایا اعمال می‌شود. یکی از موجک‌های لرزه‌ای به کار رفته برای ساخت این لرزه‌نگاشت‌ها با فاز صفر و بسامد مرکزی ۳۵ هرتز و دیگری با فاز حداقل و بسامد مرکزی ۴۰ هرتز است. برای تولید این لرزه‌نگاشت‌های ناپایا از همامیخت موجک‌های لرزه‌ای که بسامد غالب آنها با زمان تغییر می‌کند، با سری بازتاب استفاده شده است. نمودار گردشی (فلوچارت) برنامه

رابطه (۱۲) در واقع همان برآورد موجک متغیر با زمان در حوزه گابور است. به بیان دیگر همان تابع منبع است که تحت تاثیر تضعیف و پراکندگی قرار گرفته است. قدم بعد در اجرای واهمامیخت متغیر با زمان، برآورد تبدیل گابور سری بازتاب از راه حذف اثر موجک متغیر با زمان به صورت زیر است:

$$V_{gr}(\tau, f)_{est} = \frac{V_g s(\tau, f)}{\left| V_g s(\tau, f) \right|_{sep}} e^{-i\varphi(\tau, f)} \quad (14)$$

که در آن فاز $\varphi(\tau, f)$ حاصل تفاضل طیف فاز لرزه‌نگاشت و موجک لرزه‌ای است:

$$\varphi(\tau, f) = \varphi'' - \varphi'$$

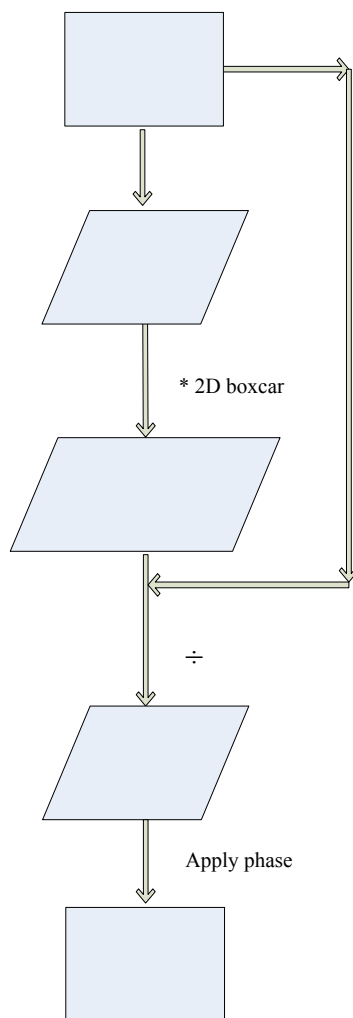
که در آن φ'' طیف فاز لرزه‌نگاشت حاصل از تبدیل فوریه و φ' طیف فاز موجک لرزه‌ای است. در عمل، باید رابطه (۱۴) را از تقسیم شدن بر صفر یا اعداد خیلی کوچک محفوظ داشت. به همین منظور مخرج کسر را با یک مقدار بسیار کوچک و ثابت جمع می‌کنیم (whitening):

نشان می‌دهد. چنانچه در شکل دیده می‌شود، محتوای بسامدی لرزه‌نگاشت، متغیر با زمان است. در زمان‌های کم، لرزه‌نگاشت شامل همه بسامدها است ولی در زمان‌های زیاد بسامدهای زیاد حذف می‌شوند. تبدیل گابور لرزه‌نگاشت با استفاده از یک تابع box دوبعدی به ابعاد ۹ و ۱ نمونه نرم شده است (شکل ۵). ابعاد تابع box به صورت تجربی به گونه‌ای انتخاب می‌شود که علی‌رغم نرم کردن تبدیل گابور لرزه‌نگاشت، باعث نرم شدن بیش از حد آن نشود. با این عمل تقریباً اثر سری بازتاب از لرزه‌نگاشت حذف می‌شود و آنچه باقی می‌ماند طیف دامنه موجک لرزه‌ای در زمان‌های متفاوت است.

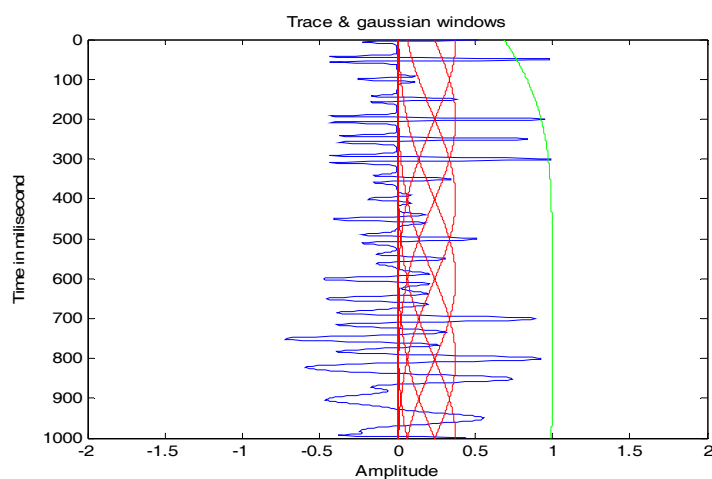
تدوین شده برای واهمامیخت گابور نیز به صورت شکل ۲ است.

الف- موجک با فاز صفر

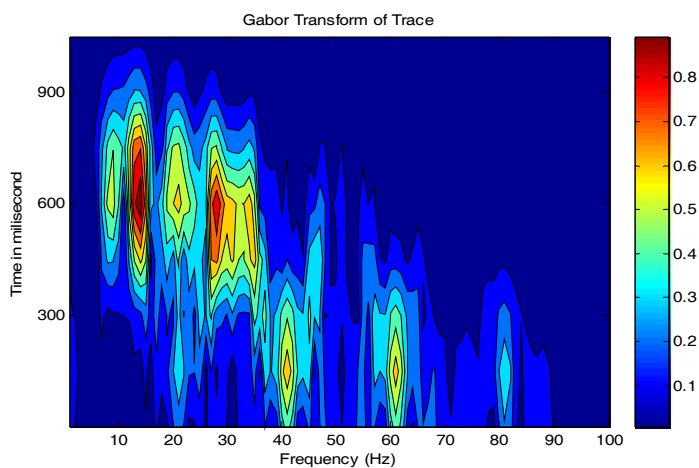
شکل ۳ لرزه‌نگاشت در حوزه زمان و پنجره‌های گوسی را که برای واهمامیخت در حوزه گابور استفاده می‌شوند نشان می‌دهد. برای ساخت این لرزه‌نگاشت از موجک لرزه‌ای که بسامد غالب آن با گذشت زمان بین ۱۴ تا ۶۶ هرتز تغییر می‌کند، استفاده شده است. عرض پنجره‌ها ۱۲۰۰ میلی‌ثانیه و فاصله بین مرکز آنها ۲۰۰ میلی‌ثانیه است. شکل ۴ تبدیل گابور روی لرزه‌نگاشت شکل ۳ را



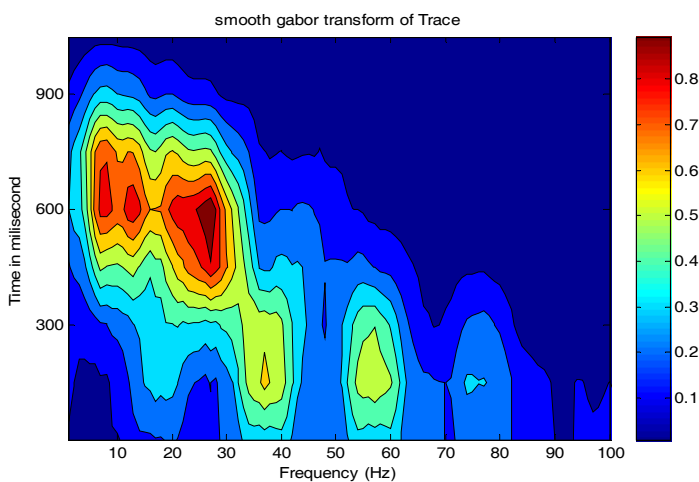
شکل ۲. نمودار برنامه تدوین شده برای واهمامیخت در حوزه گابور.



شکل ۳. منحنی آبی موجک لرزه‌ای با فاز صفر، منحنی‌های سرخ پنجره‌های گوسی و منحنی سبز حاصل جمع پنجره‌های گوسی است. عرض پنجره‌های گوسی ۱۲۰۰ میلی‌ثانیه و فاصله مرکز آنها ۲۰۰ میلی‌ثانیه است.



شکل ۴. تبدیل گابور لرزه‌نگاشت شکل ۲. محور افقی بسامد، محور قائم زمان و رنگ‌ها دامنه را نشان می‌دهند. در ضمن دامنه‌ها نرمال شده‌اند.



شکل ۵. طیف شکل ۳ نرم شده که از هم‌مایخت شکل ۳ با یک تابع box دویعدی به ابعاد ۹ و ۱ به‌دست آمده است.

هر بازتاب کننده به عنوان بازتاب کننده اصلی در نظر گرفته شود. شکل ۸ سری بازتاب پیشنهادی حاصل از واهمامیخت گابور را نشان می دهد.

ب- موجک با فاز حداقل

شکل ۹ لرزه نگاشت در حوزه زمان و پنجره های گوسی را که برای واهمامیخت در حوزه گابور استفاده می شوند نشان می دهد. برای ساخت این لرزه نگاشت از موجک لرزه ای که بسامد غالب آن با گذشت زمان بین ۷۵ تا ۱۰ هرتز تغییر می کند، استفاده شده است. عرض پنجره ها ۳۱۵ میلی ثانیه و فاصله مرکز آنها ۲۰۰ میلی ثانیه است. نوفه تصادفی نیز به لرزه نگاشت اضافه شده است.

شکل ۱۰ نتایج حاصل از اعمال تبدیل گابور روی لرزه نگاشت شکل ۹ را نشان می دهد. چنانچه دیده می شود، محتوای بسامدی لرزه نگاشت در حال تغییر با زمان است. در زمان های کم لرزه نگاشت شامل همه بسامدها است ولی در زمان های زیاد بسامدهای زیاد حذف می شوند. لازم به ذکر است که در انتخاب پنجره های گوسی محدودیتی از لحاظ لطمه به قدرت تفکیک زمانی وجود ندارد زیرا در مسیر واهمامیخت فقط با بسامد سروکار داریم و پس از آن نیز پنجره انتخابی اثری در تبدیل گابور معکوس ندارد.

در ادامه تحقیق، روش مرسوم واهمامیخت با استفاده از فیلتر وینر (spiking deconvolution) نیز روی لرزه نگاشت شکل ۹ اعمال می شود و نتیجه آن با واهمامیخت در حوزه گابور مقایسه خواهد شد. طول این اپراتور ۲۵ میلی ثانیه انتخاب و از $pre-wightening$ ۰/۰۱ استفاده شده است. شکل ۱۵ نتیجه واهمامیخت با استفاده از فیلتر وینر را نشان می دهد.

از مقایسه دو شکل ۱۴ و ۱۵ مشخص است که عملکرد واهمامیخت در حوزه گابور در همه زمان ها خوب است حال آنکه روش مرسوم واهمامیخت با استفاده

شکل ۶ حاصل تقسیم شکل ۴ بر شکل ۵ را نشان می دهد. فاز لرزه نگاشت و موجک لرزه ای نیز به آن افزوده شده اند. فاز لرزه نگاشت با استفاده از تبدیل فوریه محاسبه شده است. فاز موجک لرزه ای نیز به ازای همه بسامدها صفر است. همچنین از مقایسه لرزه نگاشت قبل و بعد از واهمامیخت در حوزه گابور می توان نتیجه گرفت که واهمامیخت در حوزه گابور بسامدهای زیاد را در زمان های زیاد تقویت کرده است. با اعمال عکس تبدیل گابور بر این شکل، سری بازتاب حاصل از واهمامیخت در حوزه گابور به دست می آید.

شکل ۷ لرزه نگاشت شکل ۳ را پس از اعمال واهمامیخت در حوزه گابور نشان می دهد. در این شکل سری بازتاب استفاده شده برای تهیه لرزه نگاشت مصنوعی برای مقایسه با حاصل واهمامیخت همزمان نشان داده شده است. تفاوت های مشاهده شده در شکل ۷ بین سری بازتاب و حاصل واهمامیخت می تواند به دلایلی از جمله کوتاه بودن ابعاد تابع نرم کننده، کاملاً تصادفی نبودن سری بازتاب تولید شده توسط رایانه و استفاده از برآوردی از موجک لرزه ای در الگوریتم واهمامیخت گابور و نه خود موجک لرزه ای باشد.

انتظار می رود نتیجه واهمامیخت سری بازتاب را به صورت تابع ضربه نشان دهد در حالی که نه تنها هیچ یک از پاسخ ها به این صورت نیست بلکه به نظر می رسد شبیه موجک لرزه ای اند. دلیل آن است که در روند واهمامیخت، طیف گابور لرزه نگاشت بر طیف دامنه برآوردی از موجک لرزه ای تقسیم می شود نه به طیف خود موجک لرزه ای و به همین دلیل مقداری از اثر موجک لرزه ای باقی می ماند و پاسخ ها به صورت تابع ضربه نخواهند بود. در بخش های بعدی نیز به دلایل مشابه چنین اختلافاتی وجود دارند. قابل ذکر است که جهت تطابق هر چه بیشتر نتیجه واهمامیخت گابور با سری بازتاب واقعی پیشنهاد می شود در نتیجه واهمامیخت، نمونه وسط

گابور کاملاً واضح است.

۲. یکی از شروط واهمامیخت با استفاده از فیلتر وینر فاز حداقل موجک لرزه‌ای تولیدکننده لرزه‌نگاشت است. در حالی که در واهمامیخت در حوزه گابور موجک لرزه‌ای می‌تواند با فاز حداقل یا فاز صفر باشد.

۳. واهمامیخت در حوزه گابور برای حذف اثر طیف سری بازتاب از لرزه‌نگاشت، از روش نرم کردن طیف لرزه‌نگاشت استفاده می‌کند.

۴. از جمله برتری‌های واهمامیخت در حوزه گابور نسبت به روش‌های دیگر، برآورد موجک لرزه‌ای برای هر بخش از لرزه‌نگاشت است که باعث می‌شود خطای محاسباتی هر بخش مختص همان بخش باشد و خطاهای قسمت‌های گوناگون محاسبه با هم جمع نشوند.

۵. اعمال واهمامیخت در حوزه گابور روی لرزه‌نگاشت مصنوعی و مقایسه نتایج آن با واهمامیخت از راه استفاده از فیلتر وینر نشانگر برتری این روش به روش وینر است.

۶. از اعمال واهمامیخت در حوزه گابور بر داده واقعی کاملاً واضح است که بسامدهای زیاد به خوبی بازگشت شده‌اند و محتوای بسامدی افزایش یافته است.

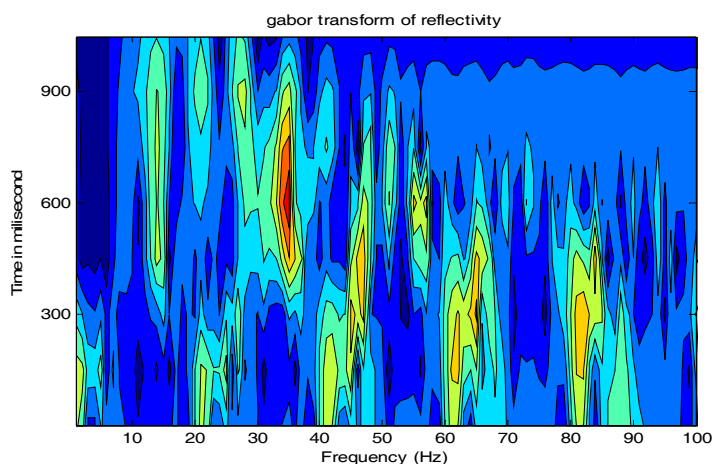
از فیلتر وینر از زمان حدود ۴۰۰ میلی‌ثانیه به بعد در مقایسه با واهمامیخت در حوزه گابور ضعیف شده است. به بیان دیگر روش مرسوم واهمامیخت پاسخ مطلوبی برای زمان‌های زیاد (پایین مقطع لرزه‌ای) که مد نظر برای زنده کردن بسامدهای زیاد هستند، به دست نمی‌دهد.

۸ اعمال واهمامیخت در حوزه گابور روی مقطع لرزه‌نگاری واقعی

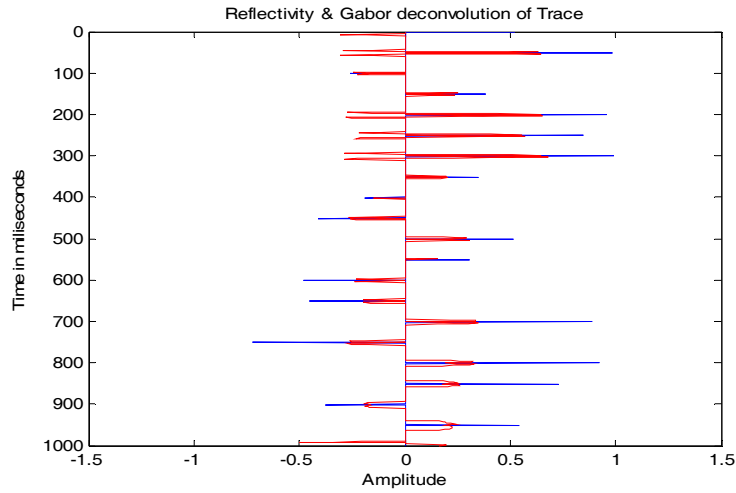
در این بخش از یک مقطع لرزه‌نگاری که مربوط به یکی از مناطق جنوب ایران است، استفاده و واهمامیخت گابور بر آن اعمال شده است. شکل ۱۶-الف و ۱۶-ب به ترتیب مقطع را قبل و بعد از انجام واهمامیخت نشان می‌دهند. از مقایسه دو شکل کاملاً مشخص است که پس از واهمامیخت، محتوای بسامدی افزایش یافته و به پاسخ ضربه (spike) نزدیک شده است. قابل توجه است که حتی در زمان‌های زیاد نیز بسامدهای زیاد بازیافت شده‌اند.

۹ نتیجه‌گیری

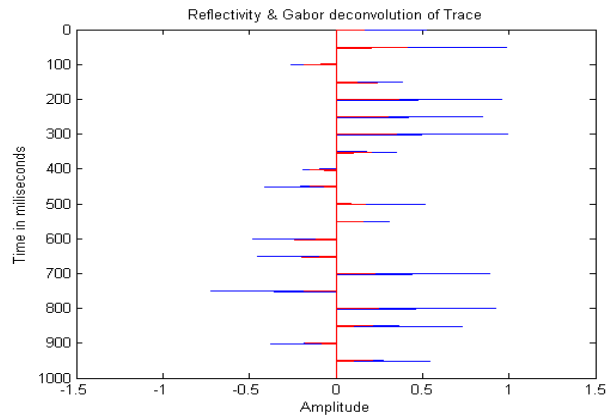
۱. با توجه به ناپایا بودن لرزه‌نگاشت، همه فیلترهایی که به منظور تعیین سری بازتاب یا افزایش قدرت تفکیک قائم به کار می‌روند، از جمله واهمامیخت، باید ناپایا باشند. بنابراین لزوم استفاده از واهمامیخت در حوزه



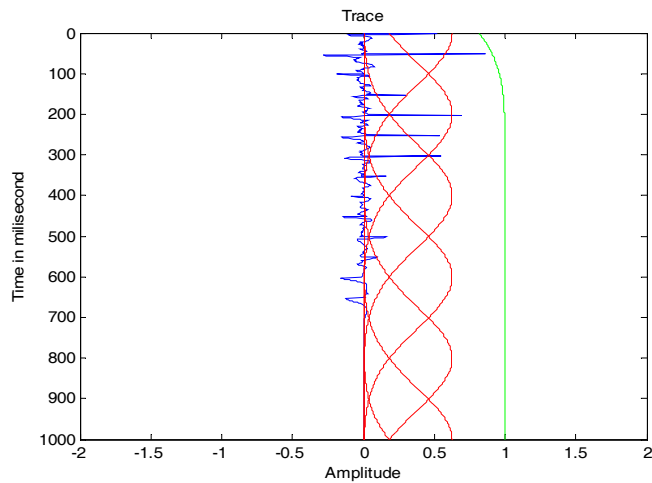
شکل ۶. حاصل تقسیم شکل ۴ بر شکل ۵ و افزودن فاز لرزه‌نگاشت و موجک لرزه‌ای.



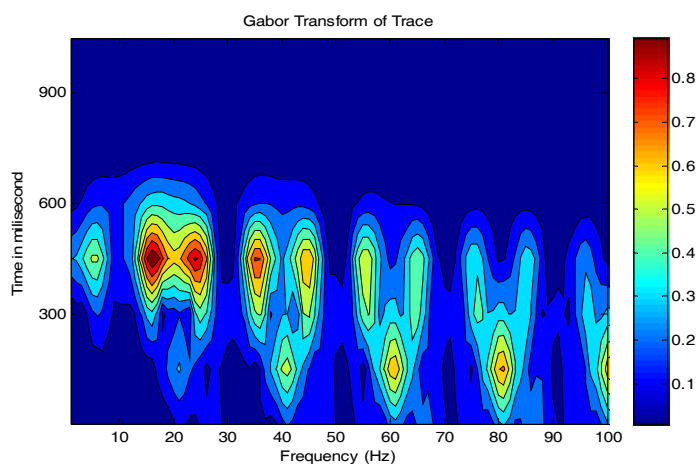
شکل ۷. منحنی آبی رنگ سری بازتاب و منحنی قرمز رنگ سری بازتاب حاصل از اعمال واهمامیخت در حوزه گابور و نرمال شدن است.



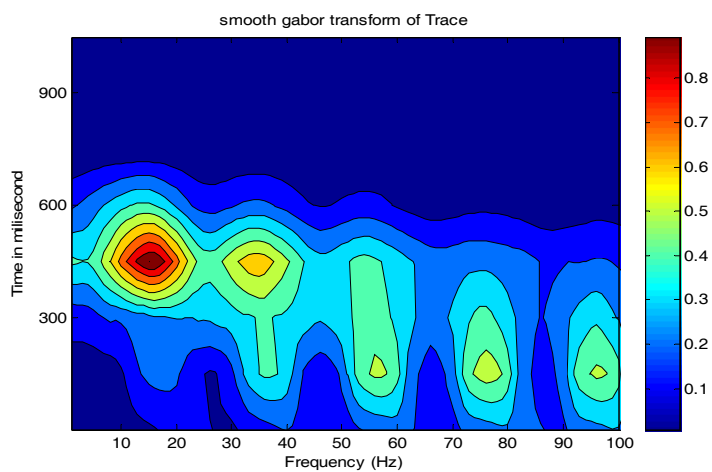
شکل ۸. منحنی آبی رنگ سری بازتاب و منحنی سرخ رنگ سری بازتاب حاصل از واهمامیخت گابور است (به توضیحات قبل از شکل ۶ مراجعه شود).



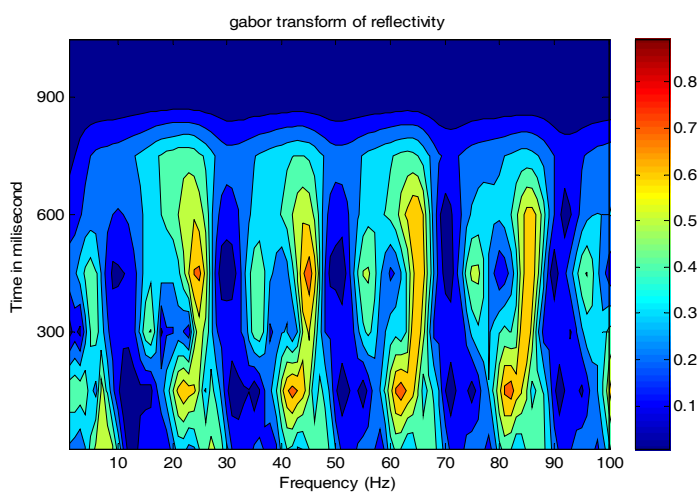
شکل ۹. منحنی آبی رنگ لرزه‌نگاشت، منحنی‌های سرخ‌رنگ پنجره‌های گوسی و منحنی سبز حاصل جمع آنها است. عرض پنجره‌های گوسی ۳۱۵ میلی‌ثانیه و فاصله آنها ۲۰۰ میلی‌ثانیه است.



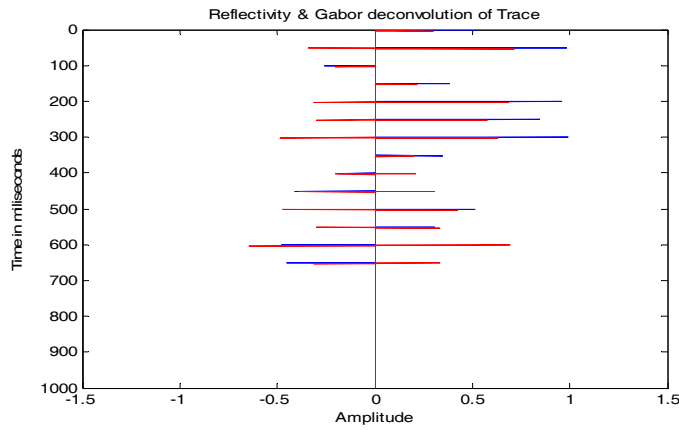
شکل ۱۰. تبدیل گابور لرزه‌نگاشت شکل ۸



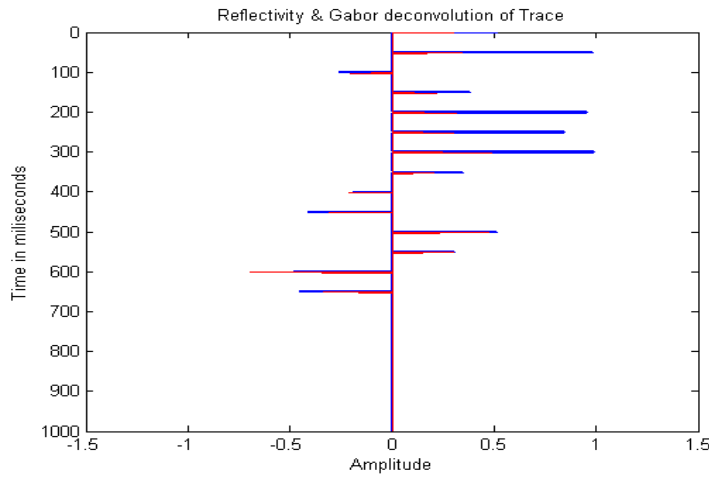
شکل ۱۱. تبدیل گابور لرزه‌نگاشت (شکل ۱۰) پس از نرم شدن با تابع box دویبعدی به ابعاد ۱۰ و ۱.



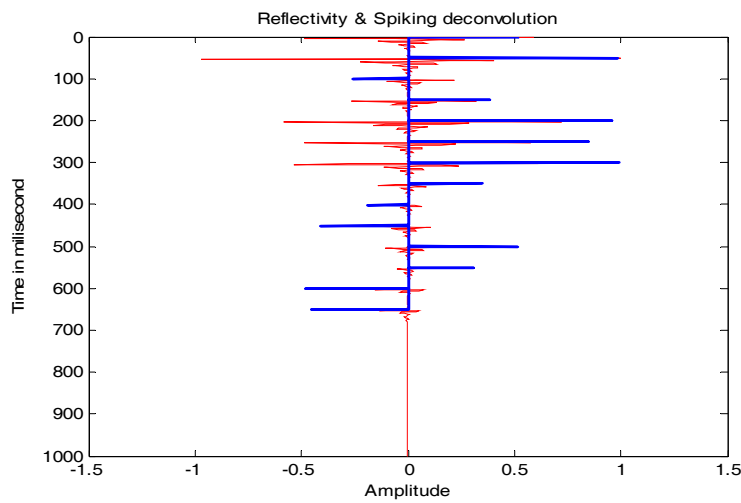
شکل ۱۲. حاصل تقسیم شکل ۱۰ بر شکل ۱۱ پس از افزودن طیف فاز لرزه‌نگاشت و موجک لرزه‌ای.



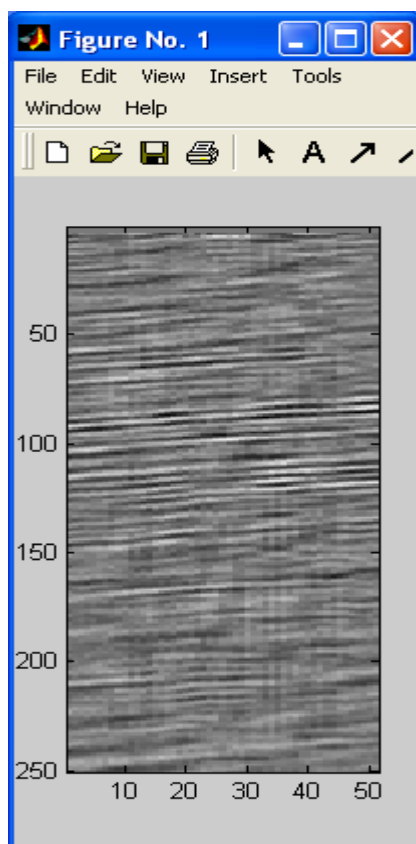
شکل ۱۳. مجموعه بازتاب اولیه برای تهیه لرزه‌نگاشت مصنوعی (منحنی آبی رنگ) و سری بازتاب حاصل از اعمال واهمامیخت در حوزه گابور (منحنی سرخ رنگ) پس از نرمال شدن.



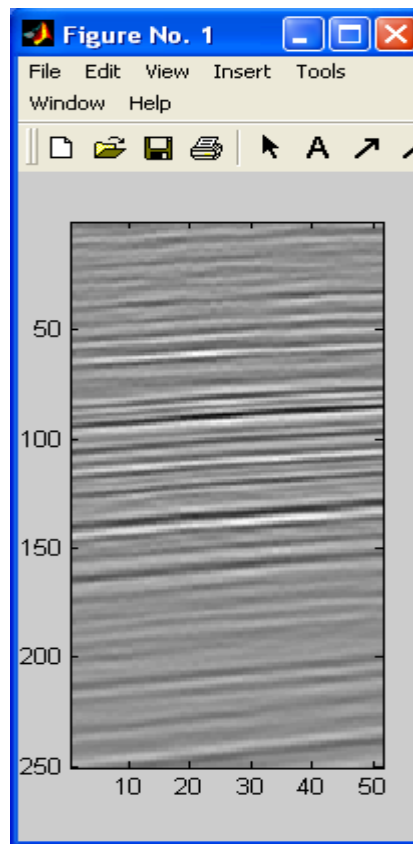
شکل ۱۴. منحنی آبی رنگ سری بازتاب اولیه و منحنی سرخ رنگ سری بازتاب حاصل از واهمامیخت در حوزه گابور است (به توضیحات قبل از شکل ۶ مراجعه شود).



شکل ۱۵. نتیجه اعمال واهمامیخت با استفاده از فیلتر وینر با طول ۲۵ میلی ثانیه و pre-wighting ۰/۰۱ روی لرزه‌نگاشت شکل ۹. پاسخ واهمامیخت نرمال شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۱۶. (الف) مقطع لرزه‌ای مربوط به یکی از مناطق جنوب ایران قبل از واهمامیخت (ب) مقطع بخش الف بعد از واهمامیخت گابور. طول پنجره‌های گوسی ۴۸ میلی‌ثانیه و ابعاد تابع مستطیلی ۸ در ۸ نمونه است.

Kjartanson, E., 1979, Constant Q-wave propagation and attenuation: *Geophys. Res.*, **84**, 4737-4748.

Margrave, G. F., 1998, Theory of nonstationary linear filtering in the Fourier domain with application to time-variant filtering: *Geophysics*, **63**, 244-259.

Margrave, G. F., Gibson, P. C., Grossman, J. P., Henley, D. C., and Lamoureux, M., 2003, Gabor deconvolution: extending Wiener's method to nonstationary: *CSEG RECORDER*, **28**, (December), 12-18.

Margrave, G. F., Gibson, P. C., Grossman, J. P., Henley, D. C., and Lamoureux, M. P., 2004, Gabor deconvolution: theory and practice: *EAGE 66th Conference and Exhibition-Paris, France, Z-99*, 1-4.

منابع

جهدی، هـ، ۱۳۸۵، واهمامیخت داده‌های لرزه‌ای با استفاده از تبدیل گابور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

Bastiaans, M. J., 1980, Gabor's expansion of a signal into Gaussian elementary signals: *Proceedings of the IEEE*, **68**, 538-539.

Clarke, G. K., 1968, Time-varying deconvolution filters: *Geophysics*, **33**, 936-944.

Futterman, W. I., 1962, Dispersive Body Waves: *Geophys Res.*, **67**, 5279-5291.

Gabor, D., 1946, Theory of Communication: *IEEE (London)*, **93** (III), 429-457.

- Margrave, G. F., and Lamoureux, M. P., 2001, Gabor deconvolution: CREWES Research Report, **13**, 241- 276.
- Margrave, G. F., and Lamoureux, M. P., 2002, Gabor Deconvolution: CSEG, Calgary, Canada, 203-206.
- Margrave, G. F., Lamoureux, M. P., Grossman, J. P., and Iliescu, V., 2002, Gabor deconvolution of seismic data for source waveform and Q correction: SEG Int'l Exposition and 72nd Annual Meeting, Salt Lake City, Utah, 2190-2193.
- Montana, C. A., and Margrave, G. F., 2005, Phase correction in Gabor deconvolution: Consortium for Research on Elastic Wave Exploration Seismology, University of Calgary.
- Robinson, E. A., and Treitel, S., 1967, Principles of digital Wiener filtering: Geophys. Prospect, **15**, 311-333.