



## تخمین طیف سیگنال غیر ایستای داپلر ماورای صوت بازگشتی از جریان خون با روشهای زمان-فرکانسی

دکتر حمید سلطانیان زاده

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

دانشکده فنی دانشگاه تهران

پست الکترونیکی: [hszadeh@chamran.ut.ac.ir](mailto:hszadeh@chamran.ut.ac.ir)

اسماعیل نظری پیکانی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

دانشکده فنی دانشگاه تهران

پست الکترونیکی: [snpayk@yahoo.com](mailto:snpayk@yahoo.com)

چکیده: برای اندازه گیری سرعت حرکت خون در طول زمان یک پروید قلب و بررسی آن با استفاده از پرتو های ماورای صوت نیاز به تخمین فرکانسهای موجود در سیگنال بازگشتی می باشد. برای تخمین این فرکانسها از توزیعهای زمان-فرکانسی جو-ویلیام ویگنروسل استفاده می کنیم. با توجه به غیر ایستا بودن سیگنال مورد بحث این روشها از روشهای مبتنی بر فرض ایستا بودن سیگنال مثل اسپکتروگرام مناسب تر می باشند. در این مقاله ابتدا برای سیگنال داپلر یک شبیه سازی انجام داده و پارامترهای هر یک از این روشها را برای بدست آمدن سیگنال داپلر واقعی بهینه نموده ایم. در نتیجه، پارامتر ثابت برای توزیع بسل  $2/5$  و برای توزیع جو-ویلیام برابر بدست آمد. طول بهینه پنجره زمانی برای توزیع جو-ویلیام برابر ۲۵ میلی ثانیه، برای توزیع بسل ۱۵ میلی ثانیه و برای توزیع ویگنر ۳۰ میلی ثانیه بدست آمد. همچنین سطح آستانه ای نیز برای کاهش اثرات جملات متقابل ولوهای فرعی در نظر گرفتیم و این سطح را بهینه کردیم. برای نسبت سیگنال به نویزهای مختلف این روشها را با هم مقایسه کردیم. در مجموع توزیع جو-ویلیام بهتر از سایر توزیعها عمل کرد و طیف را بهتر تخمین زد.

کلمات کلیدی: داپلر ماورای صوت، جریان خون، سیگنال غیر ایستا، تخمین طیف، توزیع زمان-فرکانسی.



## ۱-مقدمه

داپلر ماورای صوت یک روش غیر مخرب برای مطالعه سرعت جریان خون در یک پریود قلب می باشد [۵]. داپلر ماورای صوت پالسی سرعت خون را با اندازه گیری شیفت داپلر بوجود آمده در فرکانس پرتوهای بازگشتی از سلولهای قرمز خون متحرک مشخص می کند [۴]. سلولهای قرمز خون دارای توزیع مکانی تصادفی هستند و جریان خون نیز پالسی است لذا سیگنال داپلر متغیر با زمان و تصادفی می باشد. اغتشاش جریان خون و تغییر در شکل موج سرعت منجر به افزایش پهنای باند سیگنال می گردد [۶].

روشهای قبلی که برای آنالیز طیف بکار برده می شدند از قبیل تخمین گره های اتورگرسیو مرتبه دو و سه و بالاتر [۹] و یا روشهای مبتنی بر تبدیل فوریته سریع مثل تبدیل فوریته زمان کوتاه به نوعی سیگنال را ایستا فرض می کردند [۱]. توزیع های زمان-فرکانسی برای آنالیز سیگنالهای غیر ایستا بکار می روند و تغییرات مولفه های فرکانسی را در زمانهای مختلف بررسی می کنند. این کار با تصویر کردن تابع یک بعدی از زمان به تابع دو بعدی از زمان و فرکانس انجام می شود. این روشها اثری سیگنال را در موقعیت های زمان و فرکانس مختلف نشان می دهند [۳]. این روشها نیازی به ایستا بودن سیگنال در مدت زمان آنالیز ندارند.

## ۲-توزیع زمان-فرکانسی

توزیع ویگنر عضوی از کلاس عمومی توزیع های زمان-فرکانسی به نام کلاس کوهن-Cohen می باشد، هر عضو این کلاس با رابطه زیر بدست می آید [۲].

$$C(t, \omega) = \frac{1}{4\pi^2} \iiint s^*(u - \tau/2) s(u + \tau/2) \phi(\theta, \tau) e^{-j\theta t - j\omega \tau + j\theta u} du d\tau d\theta \quad (1)$$

که در آن  $s(u)$  سیگنال زمانی و  $s^*(u)$  مزدوج آن است.  $\phi$  تابع هسته نامیده می شود. برای توزیع ویگنر تابع هسته برابر با مقدار واحد می باشد یعنی این توزیع دارای تابع هسته خاصی نمی باشد و بنابراین ساده ترین نوع توزیع زمان-فرکانسی است. با در نظر گرفتن این تابع هسته و ساده سازی در روابط، رابطه توزیع به این ترتیب به دست می آید.

$$W(t, \omega) = 1/2\pi \int s^*(t - 1/2\tau) s(t + 1/2\tau) e^{-j\omega \tau} d\tau \quad (2)$$

با جایگذاری تابع هسته واحد و با در نظر گرفتن پنجره  $h(\tau)$  برای کاهش تداخل، توزیع

ویگنر زمان گسسته [۴] حاصل می شود.

$$DWD(n, k) = 2 \sum_{\tau} h(\tau) e^{-j2nk\tau/N} s(n + \tau) s^*(n) \quad (3)$$

توزیع چو-ویلیام CWD دارای تابع هسته نمایی  $\phi(\theta, \tau) = e^{-\theta^2 \tau^2 / \sigma}$  می باشد. ( $\sigma > 0$ )

ضریب مقیاس می باشد. توزیع زمان گسسته مناسب جهت کاهش تداخل به این شکل نوشته

می شود [۴].

$$DCWD(n, k) = 2 \sum_{\tau} w_{\tau}(\tau) e^{-j2nk\tau/N} \left[ \sum_{u=-m}^m \frac{1}{\sqrt{4\pi\tau^2/\sigma}} \exp\left(-\frac{(u + \tau/2)^2}{4\tau^2/\sigma}\right) s(n + u + \tau) s^*(n + u) \right] \quad (4)$$



توزیع بسل نیز دارای تابع هسته  $J_1(2\pi\alpha\xi\tau)/\pi\alpha\xi\tau$ ; می‌باشد.  $J_1$  تابع بسل نوع اول از مرتبه یک است. توزیع زمان گسسته بسل به این شکل می‌باشد [۱۲و۴].

(۵)

$$DBD(n, k) = 2 \sum W(\tau) e^{-2jnk\tau/N} \left[ \sum_{u=(-\tau-2\alpha|\tau|)/2}^{(-\tau+2\alpha|\tau|)/2} \frac{2}{\pi\alpha|\tau|} \sqrt{1 - (2u + \tau/2\alpha\tau)^2} s(n+u+\tau) s^*(n+u) \right]$$

### ۳- شبیه‌سازی سیگنال داپلر

تخمین طیف سیگنال داپلر در یک پریود کامل قلب انجام می‌گیرد. این زمان حدوداً ۰.۷ ثانیه طول می‌کشد، لذا لازم است که سیگنال داپلر شبیه‌سازی شده، تغییرات فرکانسی داپلر را حداقل برای مدت ۰.۷ ثانیه در خود داشته باشد. در اینجا، روشی برای شبیه‌سازی سیگنال داپلر بکار رفته است که هم شرط غیرایستا بودن را داراست و هم روشی است که سیگنال را برای یک پریود کامل قلب شبیه‌سازی می‌کند. این روش [۶] براساس شکل موج واقعی زمان-فرکانسی (متوسط فرکانس) سیگنال داپلر پایه‌ریزی شده است، سیگنال شبیه‌سازی داپلر غیرایستا به این شکل نوشته می‌شود.

$$x(t) = A(t) e^{j\phi_r(t)} e^{j\phi_e(t)} \quad (6)$$

که در آن  $A(t) e^{j\phi_r(t)}$  یک تابع تصادفی باند پایه می‌باشد. تابع شیفیت فرکانس می‌باشد که شکل موج فرکانس لحظه‌ای آن در هر لحظه برابر با فرکانس مرکزی طیف می‌باشد.

$$\phi_e(t) = 2\pi \int_0^t f_i(t) dt \quad (7)$$

لازم به ذکر است که در اینجا هدف تخمین طیف سیگنال داپلر سرخرگ common carotid می‌باشد. بنابراین شکل موج  $f_i(t)$  که نمایانگر تغییرات متوسط سرعت خون در این سرخرگ می‌باشد مطابق شکل ۱ است.

قسمت تصادفی سیگنال شبیه‌سازی داپلر به این صورت است.

$$A(t) e^{j\phi_r(t)} = F^{-1} [G(f) N(f)] \quad (8)$$

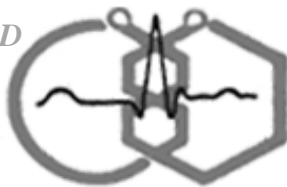
که در آن  $F^{-1}$  [ ] عملگر تبدیل فوریه معکوس می‌باشد.  $N(f)$  یک متغیر تصادفی موهومی با چگالی طیف توان نرمال و واریانس واحد می‌باشد و تصادفی بودن سیگنال را نشان می‌دهد.  $G(f)$  نیز یک فیلتر حقیقی با متوسط صفر و طیف گوسی با پهنای باند  $b$  است و مطابق رابطه

$$G(f) = \left( e^{-0.5(f/b)^2} \right)^{1/2} \quad (9)$$

می‌باشد. مقدار  $b$  در اینجا ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. یک نویز گوسی با چگالی طیف یکنواخت نیز به سیگنال اضافه می‌شود. به این ترتیب سیگنال داپلر غیرایستای شبیه‌سازی برای مدت یک پریود قلب بدست می‌آید.

### ۴- معیارهای مقایسه و بهینه‌سازی

بعد از بدست آمدن توزیع زمان-فرکانس سیگنال داپلر باید شکل موج متوسط فرکانس و پهنای باند سیگنال بدست آید. برای مقایسه پاسخهای توزیعهای مختلف، ضریب همبستگی بین



شکل موج متوسط فرکانس تخمین زده شده از هر توزیع با شکل موج متوسط تئوری  
یعین  $f_i(n)$  محاسبه می‌گردد. رابطه زیر چگونگی محاسبه این معیار را نشان می‌دهد [4].

$$\rho = \frac{\sum [f_{mean}(n) - \bar{f}_{mean}] [f_i(n) - \bar{f}_i]}{\sqrt{[\sum (f_{mean}(n) - \bar{f}_{mean})^2] [\sum (f_i(n) - \bar{f}_i)^2]}} \quad (10)$$

که در آن  $f_i(n)$  شکل موج متوسط فرکانس اولیه (تئوری) و  $f_{mean}(n)$  شکل موج متوسط فرکانس تخمین زده شده است.  $\bar{f}_i$  و  $\bar{f}_{mean}$  به ترتیب متوسط شکل موج تئوری و تخمین زده شده می‌باشند. از روی توزیع زمان فرکانس  $TFD(n, k)$  بدست می‌آید. جملات خودی در توزیع زمان-فرکانس همواره مثبتند در حالی که جملات متقابل می‌توانند مثبت و یا منفی شوند لذا جملات منفی توزیع زمان-فرکانس حذف می‌شوند و تنها جملات مثبت برای بدست آوردن متوسط فرکانس مطابق روابط زیر مورد استفاده واقع می‌شوند [6].

$$f_{mean}(n) = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} f_k P(n, k)}{\sum_{k=0}^{N-1} P(n, k)} \quad P(n, k) = \begin{cases} TFD(n, k) & TFD(n, k) > 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (11)$$

$n$  و  $k$  متغیرهای گسسته زمان و فرکانس می‌باشند و  $f_k$  فرکانس نقطه  $k$  می‌باشد.  
پارامتر دیگری که در تخمین طیف سیگنال داپلر مهم است، پهنای باند سیگنال داپلر در هر لحظه می‌باشد که به این صورت بدست می‌آید.

$$\hat{b}(n) = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{N-1} (f_{mean}(n) - f_k)^2 P(n, k)}{\sum_{k=0}^{N-1} P(n, k)}} \quad (12)$$

ریشه مربعات خطای پهنای باند نیز معیار کمی مناسبی برای بررسی توزیع‌ها می‌باشد و برای بدست آوردن آن ابتدا بایاس و واریانس پهنای باند بدست می‌آیند.

$$Bias = \frac{1}{m} \sum_{n=0}^{m-1} E[\hat{b}(n) - b] \quad \text{و} \quad Variance = \frac{1}{m} \sum_{n=0}^{m-1} E\left[\left(\hat{b}(n) - \bar{\hat{b}}(n)\right)^2\right] \quad (13)$$

که در آن  $E[\cdot]$  عملگر امید ریاضی و  $b$  مقدار پهنای باند صحیح و  $\hat{b}(n)$  پهنای باند تخمین زده شده در لحظه  $n$  می‌باشند.  $\bar{\hat{b}}(n)$  متوسط پهنای باند تخمین زده شده در لحظه  $n$ ، و  $m$  تعداد نقاطی است که در هر سیکل پهنای باند آنها تخمین زده می‌شود. ریشه مربعات خطا نیز با رابطه  $rms\ error = \sqrt{bias^2 + variance}$  بدست می‌آید.

##### ۵ - بهینه کردن پارامترها با سیگنال شبیه‌سازی

پارامترهایی که باید بهینه شوند عبارتند از پارامترهای توابع هسته و پارامترهای سطح آستانه و طول پنجره. بعد از بدست آمدن توزیع، لازم است که برای کاهش اثر نویز دامنه‌های کمتر از یک سطح آستانه بهینه شده برابر صفر در نظر گرفته شود. برای بدست آوردن توزیع زمان-گسسته در هر



لحظه باید از مقادیر سیگنال در آن لحظه و لحظات قبل و بعد آن استفاده کرد. اینکه چه مدت از سیگنال برای این کار مناسب است توسط طول پنجره باید بهینه شود. در مورد این پارامترها و اثرات آنها در ادامه بحث بیشتر توضیح می‌دهیم.

#### ۵-۱- توزیع ویگنر

همانطور که میدانیم تابع توزیع ویگنر دارای تابع هسته واحد می‌باشد لذا تابع هسته آن پارامتری ندارد و برای این توزیع تنها باید سطح آستانه و طول پنجره بهینه شود. لازم به ذکر است که بکار بردن سطح آستانه بیش از حد باعث از بین رفتن اطلاعات مهم توزیع و لذا خطای زیاد در محاسبه پارامترهای معیار می‌گردد ضمن اینکه استفاده از سیگنال بدون سطح آستانه نیز باعث بروز خطای زیاد می‌شود لذا بکار بردن مقادیر بهینه سطح آستانه همانطور که از شکل ۲ مشخص می‌شود می‌تواند تا حد زیادی تخمین را بهبود بخشد. همچنین از آنجایی که سیگنال شبیه‌سازی شده یک سیگنال غیر ایستاست لذا افزایش بیش از حد طول پنجره در محاسبه توزیع می‌تواند باعث بروز خاصیت غیر ایستا بودن سیگنال و بروز خطا در محاسبه مقادیر معیار گردد.

برای بهینه کردن پارامترها، توزیع ویگنر سیگنال شبیه‌سازی بدست آمد و ضریب همبستگی و خطای متوسط پهنای باند برای مقادیر مختلف طول پنجره و سطح آستانه محاسبه شد. مقادیر بهینه برای نسبت سیگنال به نویز ۲۰ dB، بدست آمد. شکل ۳ تغییرات این پارامترها را نشان می‌دهد و از روی آن سطح آستانه بهینه ۱۱٪ و طول پنجره بهینه ۳۰ میلی ثانیه بدست می‌آید.

#### ۵-۲- توزیع چو- ویلیام

تابع هسته توزیع چو- ویلیام دارای پارامترهای  $m$  و  $\sigma$  می‌باشد علاوه بر آن مقدار سطح آستانه و طول پنجره نیز مقادیری هستند که باید برای توزیع چو- ویلیام بهینه شوند. مقادیر بهینه  $m=22$  و  $\sigma=6$  بدست آمد (مطابق شکل ۴-آوب). مقدار سطح آستانه ۴٪ و طول پنجره نیز ۲۵ میلی ثانیه بدست آمد (شکل ۵). مقادیر پارامترها برای مقادیر سیگنال به نویزهای مختلف نیز به همین مقادیر همگرا شد.

#### ۵-۳- توزیع بسل

تنها پارامتر موجود در تابع هسته این توزیع  $\alpha$  می‌باشد لذا پارامترهای توزیع بسل که باید بهینه شوند عبارتند از  $\alpha$  و  $L$  (طول پنجره) و سطح آستانه. مقادیر بهینه به مقادیر  $\alpha=3/5$  و طول پنجره ۱۵ میلی ثانیه و سطح آستانه ۲۳ درصد همگرا شد. شکل ۶ نمودارهای تغییرات مقادیر معیار را بر حسب تغییرات مقادیر پارامترهای توزیع بسل نشان می‌دهد.

مقادیر رسم شده در شکل‌های فوق برای نسبت سیگنال به نویز ۲۰ dB می‌باشند. همانطور که از شکل‌های این توزیع پیداست این توزیع مقدار پهنای باند را خوب تخمین نمی‌زند و دارای خطای زیادی است که به علت تابع هسته آن و بوجود آمدن لوب‌های فرعی می‌باشد.



جدول ۲ مقادیر ضریب همبستگی و خطای تخمین پهنای باند در حالت بهینه را برای توزیع‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول مشاهده می‌شود توزیع چو-ویلیام بهتر از دو روش دیگر توانسته است طیف داپلر را تخمین بزند، توزیع بسل به خاطر شکل خاص تابع هسته‌اش پهنای باند را با خطای زیاد تخمین زده است و توزیع ویگنر نیز به خاطر بوجود آمدن تداخل بین سیگنال ونویز و همچنین تداخل بین نویزها با هم ضریب همبستگی را بخوبی تخمین نمی‌زند در صورتی که در حالت بدون نویز ممکن است در بعضی از موارد بهتر از توزیع چو-ویلیام طیف را تخمین بزند.

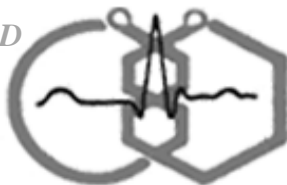
#### ۶- سیگنال واقعی

سیگنال واقعی که در اینجا بکار برده شد توسط پروفیسور Piero Tortoli از دانشگاه Florence ایتالیا در اختیار ما قرار داده شد. این سیگنال از یک سیستم پالس داپلر با فرکانس تکرار پالس (PRF) برابر با ۱۶ کیلو هرتز می‌باشد. نمونه برداری از آن ۱۶ بیتی می‌باشد و ما توزیع‌های زمان-فرکانسی بهینه شده را برای پردازش این داده‌ها مورد استفاده قرار دادیم. شکل‌های ۷ و ۸ و ۹ نتایج اعمال توزیع ویگنر، چو-ویلیام و بسل (به ترتیب) بر این سیگنال می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌کنید توزیع بسل در اینجا نیز پهنای باند را بیشتر از سایر توزیع‌ها تخمین زده است. همچنین اثر تداخل در توزیع ویگنر ملاحظه می‌گردد.

#### ۷- جمع بندی و نتیجه‌گیری

معیارهای اصلی که مبنای بهینه سازی پارامترها بود، یکی ضریب همبستگی بین فرکانس متوسط تخمین زده شده و فرکانس متوسط تئوری و دیگری خطای تخمین پهنای باند سیگنال بودند. این دو پارامتر برای مقایسه کیفیت تخمین توزیع‌های مختلف نیز مناسب هستند. ما در اینجا برای مقایسه کارایی توزیع‌های مختلف از این دو پارامتر استفاده کردیم. برای مقایسه توزیع‌های مختلف علاوه بر مقادیر معیار، باید کیفیت تخمین را برای شرایط مختلف سیگنال به نویز مورد مقایسه قرار داد. در جداول ۱ و ۲ مقادیر عددی معیارها در شرایط بهینه برای چند مقدار شاخص سیگنال به نویز به عنوان نمونه آورده شده است.

مقادیر جداول برای توزیع ویگنر با طول پنجره بهینه ۳۰ میلی ثانیه بدست آمد. برای توزیع چو-ویلیام که در میان توزیع‌های زمان فرکانسی بهتر از بقیه عمل کرده است، طول پنجره ۲۵ میلی ثانیه بکار برده شد. همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌کنید توزیع چو-ویلیام مقدار ضریب همبستگی را نسبتاً خوب بدست آورده است. توجه کنید که شکل تابع هسته این توزیع نمایی است و در مقایسه با توزیع ویگنر که تابع هسته‌ای ندارد، در بهینه کردن پاسخ و همچنین کاهش اثر نامطلوب تداخل‌ها تاثیر بسزایی دارد، اثر نامطلوب تداخل‌ها در توزیع ویگنر، در جدول ۲ باعث افزایش خطای پهنای باند شده است. برای توزیع چو-ویلیام پارامترهای تابع هسته بهینه یعنی  $m$  و  $\sigma$  به ترتیب برابر با ۲۲ و ۶ بدست آمده‌اند.



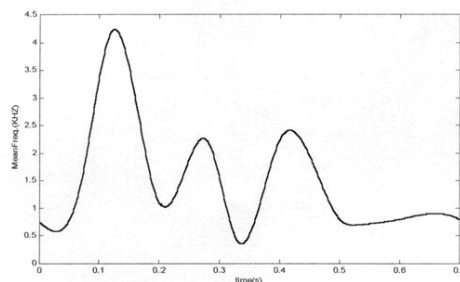
برای توزیع بسل پارمتر تابع هسته  $\alpha=3/5$  و طول پنجره بهینه ۱۵ میلی ثانیه بدست آمد. این توزیع همانطور که از جداول ۱ و ۲ مشخص می‌شود، مقادیر معیار را بدتر از سایر توزیع‌ها بدست آورده است. مخصوصاً مقدار خطای پهنای باند آن زیاد می‌باشد که این بخاطر شکل تابع هسته آن و ایجاد لوب‌های فرعی در سیگنال می‌باشد.

جدول ۱. مقادیر ضریب همبستگی (در صد) به ازای تغییرات نسبت سیگنال به نویز.

بسل	جو-ویلیام	ویگنر	SNR
۸۷/۷	۸۷/۶	۸۱/۷	۵
۸۸/۱	۹۱/۵	۸۹/۴	۱۰
۹۶/۹	۹۸	۹۶/۵	۲۰
۹۷/۱	۹۸/۴	۹۸/۶	بینهایت

جدول ۲. مقادیر خطای پهنای باند (هرتز) به ازای تغییرات نسبت سیگنال به نویز.

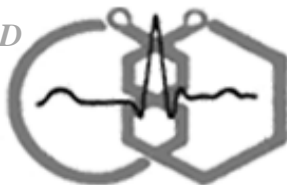
بسل	جو-ویلیام	ویگنر	SNR
۲۰۵	۵۷	۱۶۰	۵
۱۶۴	۴۶	۱۲۴	۱۰
۱۱۸	۳۷/۴	۹۵	۲۰
۵۸	۳۰	۲۵/۷	بینهایت



شکل ۱. شکل موج متوسط شیفت فرکانس داپلر.

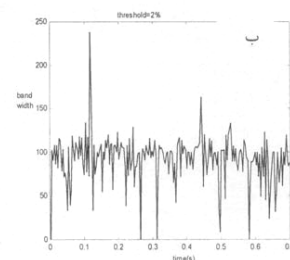
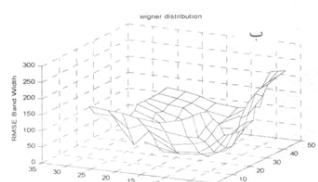
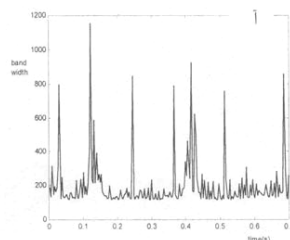
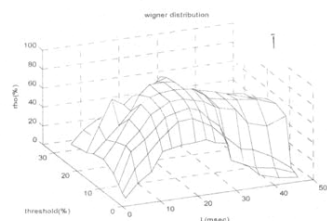
#### مراجع

- [ ۱ ] F. W. Kremkau, "Doppler ultrasound: principles and instruments," 1995 by W. B. Saunders Company, Philadelphia, Pennsylvania.
- [ ۲ ] L. Cohen, "time-frequency analysis," 1995 by prentice Hall PTL, Newjersey.
- [ ۳ ] A. Zerira, E. M. Zeira, "Pseudo-wigner distribution for analysis of pulsed Doppler ultrasound," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 41, No. 3, pp. 346-352, May 1994.



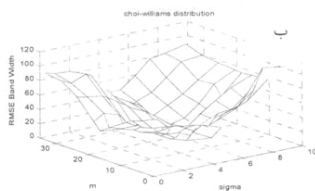
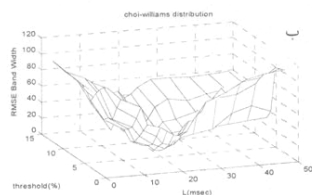
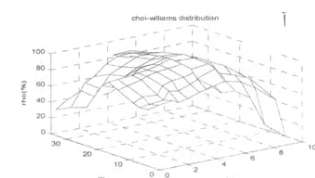
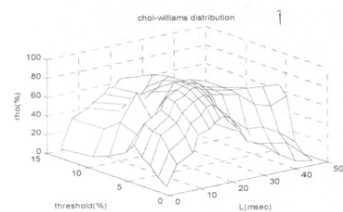
- [ ۴ ] F. Forsberg, H. Oung, " Doppler spectral estimation using time-frequency Distributions," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 46, No. 3, pp. 595-607, 1999.
- [ ۵ ] H. Choi & William J. W., " improved time-frequency representation of multi component signal using exponential kernels, " *IEEE Trans. Acoust, Speech, Signal Processing*, Vol. 37, pp. 862-871, 1989.
- [ ۶ ] J. Carlos, P. J. Fish, "nonstationary broadening reduction in pulsed Doppler spectrum measurements using time-frequency estimators," *IEEE Trans. Biomedical Engineering*. Vol. 43, No. 12, pp. 1176-1186, 1996.
- [ ۷ ] A. Carlos, Peter J. Fish, "spectrum of Doppler ultrasound signal from nonstationary blood flow", *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 46, No. 5, pp. 1201-1217, 1999.
- [ ۸ ] L.Y. Mo, C. Cobbold, " A unified approach to modeling the backscattered Doppler ultrasound signal from blood", *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, Vol. 39, No. 5 , pp. 450-461, May 1992.
- [ ۹ ] Z. Guo, L. G. Durand, "Comparison of time-frequency distribution techniques for analysis of simulated Doppler ultrasound signals of the femoral artery," *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, Vol. 41, No. 4, pp. 332-342, 1994.
- [ ۱۰ ] L. Xiaoming, T. Hams " Interpolation methods for time-delay estimation using cross-correlation method for blood velocity mesurment," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 46, No. 2, pp.277-288, March 1999.
- [ ۱۱ ] H. Andreas, H. Trop, "ultrasound Doppler measurements of low velocity blood flow: limitations due to clutter signals from vibrating muscles," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 44, No. 4, pp. 873-881, July 1997.
- [ ۱۲ ] B. Lee, H. K. Chiang , C. D. Kuo, W. Lin, "Doppler angle and flow velocity estimations using the classic and transverse Doppler effects," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 46, No.1, pp. 252-256, Jun 1999.
- [ ۱۳ ] T. H. Ting, V.L. Newhouse, "Doppler ultrasound technique for measuring capillary-speed flow velocity with strong stationary echos," *Ultrasonics*, Vol. 30, No. 4, pp. 225-231, 1992.





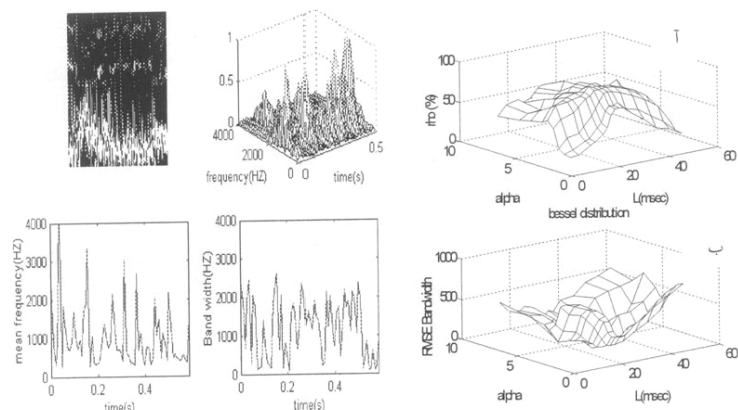
شکل ۳-ا- تاثیر تغییرات طول پنجره و سطح آستانه روی ضریب همبستگی بین فرکانس متوسط تخمین زده شده و فرکانس متوسط تئوری برای توزیع ویگنر. ب- تاثیر تغییرات طول پنجره و سطح آستانه روی خطای تخمین پهنای باند.

شکل ۳-ب- تاثیر سطح آستانه روی تخمین پهنای باند: آ- سطح آستانه ۰/۵، ب- سطح آستانه ۰/۱۱.



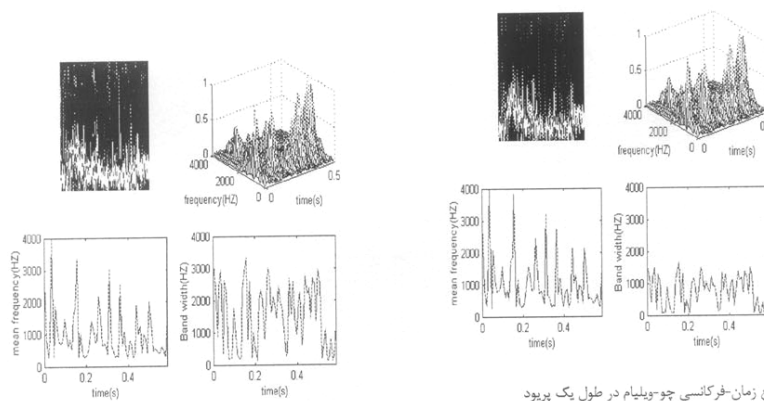
شکل ۴-ا- تاثیر تغییرات طول پنجره و سطح آستانه روی ضریب همبستگی بین فرکانس متوسط تخمین زده شده و فرکانس تئوری. ب- تاثیر تغییرات طول پنجره و سطح آستانه روی خطای تخمین پهنای باند.

شکل ۴-ب- تاثیر تغییرات  $m$  و  $\sigma$  روی ضریب همبستگی بین فرکانس متوسط تخمین زده شده و فرکانس تئوری. ب- تاثیر تغییرات  $m$  و  $\sigma$  روی خطای تخمین پهنای باند.



شکل ۶-۱. توزیع زمان-فرکانسی ویگنر در طول یک پرپود در نمای دو بعدی. ب- نمای سه بعدی آن. ج- متوسط تخمین زده شده. د- پهنای باند بدست آمده در طول یک پرپود از سیگنال واقعی.

شکل ۶-۲. تاثیر تغییرات  $\alpha$  و طول پنجره روی ضریب همبستگی بین فرکانس متوسط تخمین زده شده و فرکانس تئوری برای توزیع بسل. ب- تاثیر تغییرات  $\alpha$  و طول پنجره روی خطای تخمین پهنای باند.



شکل ۸-۱. توزیع زمان-فرکانسی بسل در طول یک پرپود در نمای دو بعدی. ب- نمای سه بعدی آن. ج- متوسط تخمین زده شده. د- پهنای باند بدست آمده در طول یک پرپود از سیگنال واقعی.

شکل ۸-۲. توزیع زمان-فرکانسی چو-ویلپام در طول یک پرپود در نمای دو بعدی. ب- نمای سه بعدی آن. ج- متوسط تخمین زده شده. د- پهنای باند بدست آمده در طول یک پرپود از سیگنال واقعی.