

YAPAY SİNİR AĞLARI YARDIMIYLA MODELLENEN PENCERE FONKSİYONU KULLANARAK FIR FİLTRE TASARIMI

Turgay KAYA^a, Melih Cevdet İNCE^a

^aFırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
tkaya@firat.edu.tr, mcince@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 12.08.2011; Kabul/Accepted: 02.02.2012)

ÖZET

Bu çalışmada pek çok uygulama alanında tercih edilen kullanışlı spektral parametrelili pencere fonksiyonunun modellenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızın amacı, literatürde yaygın olarak kullanılan Kaiser penceresi ve ultraspherical pencere fonksiyonlarının iyi özelliklerini bir arada bulunduran kullanışlı bir pencere fonksiyonunun tasarımı gerçekleştirilmesidir. Kaiser penceresi, analog genişliği ve dalgalanma oranı karakteristiğinin kontrolünü sağlarken, yanlob azalma oranının kontrolünü yapamamaktadır. Üç parametrelili ultraspherical penceresi, literatürdeki diğer pencerelerden çok daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiği sağlamaktadır. Bu çalışmada, Kaiser penceresinin analog genişliği ve dalgalanma oranı ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğine sahip yeni bir pencere fonksiyonunun tasarımı YSA (Yapay Sinir Ağları) yardımıyla elde edilmiştir. Geliştirilen yöntemden elde edilen pencere FIR (Finite Impulse Response, Sonlu İmpuls Cevaplı) filtre tasarımında kullanılmıştır. Böylece, kullanışlı spektral parametrelilere sahip pencere ile tasarlanan filtrenin daha iyi davranış göstermesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pencere fonksiyonu, Kaiser penceresi, Küresel pencere, YSA, FIR filtre.

DESIGN OF FIR FILTER USING MODELED WINDOW FUNCTION WITH HELPING OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

In this study the process of modeling a window function having useful spectral parameter preferred at many application area has been presented. The aim of this study is to implement designing a useful window function containing good properties of Kaiser and Ultraspherical windows widely used in literature. While Kaiser window can control mainlobe width and ripple ration characteristic but it cannot control the sidelobe roll-off ratio. The three-parameter ultraspherical window provides a much better sidelobe roll-off ratio characteristic than other windows in literature. At work, the design of a new window function that has side-lobe roll-off ratio characteristic of ultraspherical window and Kaiser window's main-lobe width and ripple ratio was obtained by helping of ANN (Artificial Neural Networks). The window obtained from the improved method was used at FIR (Finite Impulse Response) filter design. Thus it was provided to show better properties of the filter designed with window having useful spectral parameters.

Key Words: Window function, Kaiser window, ultraspherical window, ANN, FIR filter.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sayısal filtreler, sayısal işaret işleme alanlarında en çok kullanılan elemanlardır. İmpuls cevaplarına göre sonsuz impuls cevaplı (Infinite Impulse Response, IIR) ve sonlu impuls cevaplı (Finite Impulse Response, FIR) sayısal filtreler şeklinde iki gruba

ayrılırlar. Her bir filtre türünün birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır.

FIR filtreler tam olarak doğrusal faz cevabına sahip olabilir ve çok basit olarak uygulanabilirler [1]. Literatürde tekrarsız FIR sayısal filtre tasarımı için pek çok yöntem vardır. Bu yöntemler Fourier serisi

yöntemi, sayısal yöntemler ve optimizasyon yöntemleridir [2]. Fourier serisi yöntemi, tekrarsız filtre tasarımında en anlaşılır yöntemdir ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında en az hesaplama yüküne sahiptir[3]. Pencere fonksiyonları (veya kısaca pencere), FIR filtre tasarımında kullanılan Fourier serisinin kesilmesiyle meydana gelen Gibbs salınımlarını ortadan kaldırabilmek için kullanılan zaman bölgesi fonksiyonlarıdır. Pencere fonksiyonları sayısal filtre tasarımında, kozmik verilerin sınıflandırılmasında [4,5], hava tahmin modellerinin güvenilirliğinin geliştirilmesinde [6], biyomedikal alanda hastalığın belirlenmesinde kolaylık sağlaması [7] ve konuşma işleme [2] gibi pek çok alanda tercih edilmektedir.

Farklı alanlarda kullanılan pencereler sahip oldukları parametrelere göre sabit ve değişken parametrelili pencereler şeklinde iki gruba ayrılmaktadırlar [8]. Sabit pencereler, sahip oldukları tek değişken olan pencere uzunluğu N ile pencere spektral parametrelerinden analob genişliğini kontrol etmektedir. Ayarlanabilir pencere fonksiyonları ise, sahip oldukları iki veya daha fazla bağımsız değişken yardımıyla daha kullanışlı pencere genlik spektrumu davranışı sağlayabilmektedir. Ayarlanabilir pencere fonksiyonlarından iki parametrelili olan ve en çok kullanılanları Dolph-Chebyshev [9], Kaiser [10,11] ve Saramaki [12] pencereleri gösterilebilir. İki parametrelili pencereler içerisinde Dolph-Chebyshev penceresi, özelleştirilmiş maksimum yanlob seviyesi için minimum analob genişliği sağlamaktadır. Saramaki penceresi ise yanlob enerjisi minimize etme işleminde Kaiser penceresinden daha iyi bir karakteristik göstermektedir. Sahip olduğu parametreler sayesinde pek çok alanda tercih edilen Kaiser penceresi, analob da maksimum enerji yoğunluğu, diğer pencerelere göre daha iyi bir analob karakteristiği ve dalgalanma oranı sağlamaktadır. Kaiser penceresi temel alınarak geliştirilen diğer iki parametrelili pencere fonksiyonları olan üstel ve cosh pencereleri Avcı ve Nacaroğlu tarafından önerilmiştir [13,14]. Çalışmalarında, pencere parametrelerinin uygun seçilmesiyle spektral parametreler açısından bu pencerelerin Kaiser penceresinden daha iyi karakteristiğe sahip olduklarını göstermişlerdir. Ancak iki parametrelili pencere fonksiyonları pencere spektral parametrelerinden yanlob azalma oranının kontrolünde yetersiz kalmaktadır. Bunların yerine üç parametrelili olan ultraspherical pencere fonksiyonu önerilmiştir [15-17]. Ultraspherical pencere analob genişliği, dalgalanma oranı, tepeden-tepeye genişlik ve kullanıcının belirlediği yanlob modeli gibi spektral parametrelere sahiptir.

Son yıllarda problemlerin çözümünde klasik hesaplama yöntemlerinin yetersiz kaldığı uygulamalarda, akıllı hesaplama yöntemlerinden olan Genetik Algoritma (GA) veya Yapay Sinir Ağları (YSA) sağladıkları başarı ve kolaylıklardan dolayı

tercih edilmektedirler. GA kullanılarak kullanışlı spektral parametrelili pencere fonksiyonunun elde edilmesi ile ilgili yazarlar tarafından geliştirilen çalışmalar [18-20] ve bu pencere fonksiyonun FIR filtre tasarımında kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [21,22]. Diğer bir yöntem olan ve insan beyin modelinden esinlenerek geliştirilen YSA ise sinyal işleme, arıza tespiti ve analizi, görüntü işleme, sistem modelleme gibi pek çok farklı uygulama alanında kullanılmaktadır [23-25].

Bu çalışmada amaç, literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak iki farklı kullanışlı pencere fonksiyonun spektrum karakteristiğini tek bir fonksiyonda bulunduracak yeni bir pencerenin gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Çalışmada, Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı karakteristiğini ve ultraspherical pencerenin ise yanlob azalma oranı karakteristiğini sağlayacak yeni pencere fonksiyonu katsayı değerlerinin YSA yardımıyla MATLAB (lisans numarası: 585775) ortamında hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen pencere fonksiyonu FIR sayısal filtre tasarımında kullanılmış ve literatürde diğer pencere fonksiyonları kullanılarak geliştirilen filtre genlik cevabına göre daha iyi spektral özelliklere sahip filtre genlik spektrumu elde edilmiştir. Böylece, kullanışlı spektral parametrelere sahip yeni pencere fonksiyonu ile daha geniş uygulama alanlarında kullanılacak tekrarsız sayısal FIR filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir.

2. PENCERE FONKSİYONLARININ SPEKTRAL ÖZELLİKLERİ (SPECTRAL PROPERTIES OF WINDOW FUNCTIONS)

Tekrarsız FIR sayısal filtre tasarım yöntemlerinden biri olan ve uygulama kolaylığı bakımından en çok tercih edilen yöntem Fourier serisi yöntemidir. Bu yöntemde, serinin sınırlı sayıda alınmasından dolayı kesim frekansı bölgesinde istenmeyen Gibbs salınımları meydana gelmektedir. Meydana gelen bu salınımları ortadan kaldırabilmek için kullanılan yapılara ise pencere fonksiyonu adı verilmektedir.

Pencere fonksiyonları, spektrum karakteristiklerine göre sınıflandırılırlar ve diğer pencerelerle karşılaştırmaları bu karakteristiklere göre yapılır. Bir pencerenin frekans spektrumu aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

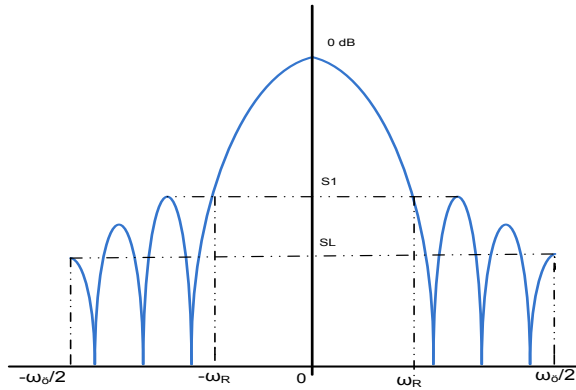
$$\begin{aligned} W(e^{j\omega T}) &= |A(\omega)| e^{j\theta(\omega)} \\ &= e^{-j\omega(N-1)T/2} W_0(e^{j\omega T}), \\ &= w(0) + 2 \sum_{n=1}^{(N-1)/2} w(nT) \cos \omega nT \end{aligned} \quad (1)$$

Burada $W_0(e^{j\omega T})$, pencerenin genlik fonksiyonu olarak isimlendirilirken N , pencere uzunluğunu T ise örnekleme periyodunu göstermektedir. Denkleme

$A(\omega) = |W_0 e^{j\omega T}|$ olup pencerenin genliğini, $\theta(\omega) = -w(N-1)T/2$ ise pencerenin açısını temsil etmektedir. Pencere fonksiyonunun frekans spektrumu dB cinsinden Şekil 1'deki gibi gösterilebilir. Pencere fonksiyonunun normalize edilmiş genlik spektrumu aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilebilir [14].

$$|W_N(e^{j\omega T})| = 20 \log_{10} (|A(\omega)| / |A(\omega)|_{\max}) \quad (2)$$

Pencerelerin performansını belirleyen spektral parametreler, analob genişliği (ω_M), dalgalanma oranı (R) ve yanlob azalma oranı (S)'dir.



Şekil 1. Pencere genlik spektrumu (Spectrum of window amplitude)

Şekilde,

Analob genişliği = $2\omega_R$

R = Maksimum yanlob genliği – analob genliği = S1

S = Maksimum yanlob genliği – minimum yanlob genliği = S1 - SL

olarak gösterilmiştir. Bir pencerenin genlik spektrumu cevabında ki spektral parametrelerden beklenenler,

- Dar analob genişliği
- Küçük dalgalanma oranı
- Geniş yanlob azalma oranıdır.

Bu parametrelerden analob genişliği; pencerenin geçirme ve durdurma bantları arasındaki geçiş bandı genişliğini, dalgalanma oranı; geçirme ve durdurma bantlarındaki dalgalanmayı, yanlob azalma oranı ise durdurma bandındaki enerjinin dağılımını belirlemektedir.

Pencere fonksiyonları, sahip oldukları parametrelere göre sabit ve değişken parametrelili pencereler şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Değişken parametrelili pencere fonksiyonlarından olan ve en çok kullanılanlar, iki parametrelili Kaiser penceresi ve üç parametrelili ultraspherical penceresidir.

2.1. Kaiser Penceresi (Kaiser window)

Ayrık zamanda Kaiser penceresi denklemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir [10,11].

$$w[n] = \begin{cases} I_0(\alpha_k \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}) \\ I_0(\alpha_k) \end{cases} \quad |n| \leq \frac{N-1}{2} \quad (3)$$

diğer yerlerde 0

Burada α_k ayarlanabilir parametre, $I_0(x)$ sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonu olup, güç serisi açılımı aşağıdaki gibidir.

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{1}{k!} \left(\frac{x}{2}\right)^k \right]^2 \quad (4)$$

Kaiser penceresinde α_k değerindeki artış, daha geniş analob genişliğine ve daha küçük dalgalanma oranına neden olmaktadır.

2.2. Ultraspherical Penceresi (Ultraspherical window)

Üç değişkenli olarak geliştirilen N uzunluklu ultraspherical penceresi katsayıları denklem 5 kullanılarak bulunabilir [15-17].

$$w_u(nT) = \frac{A}{p-n} \binom{\mu+p-n-1}{p-n-1} * \sum_{m=0}^n \binom{\mu+n-1}{n-m} \binom{p-n}{m} B^m \quad (5)$$

$n=0,1,\dots,N-1$

Burada

$$A = \begin{cases} \mu x_{\mu}^p & \mu \neq 0 \\ x_{\mu}^p & \mu = 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$B = 1 - x_{\mu}^{-2},$$

$$p = N - 1$$

Ultraspherical penceresi μ , x_{μ} ve N şeklinde üç bağımsız değişkene sahiptir. Bu değişkenlerin uygun seçilmesiyle ultraspherical penceresi, pencere spektral parametreleri olan yanlob azalma oranı, dalgalanma oranı ve analob genişliğini kontrol etmektedir. Bu parametrelerden μ ; yanlob azalma oranını, x_{μ} ; dalgalanma oranı ile band genişliği arasındaki ilişkiyi, son parametre olan N ise sabit band genişliği elde edebilmek için farklı dalgalanma oranı karakteristiğini veya tersini sağlamaktadır.

Normalize edilmiş ultraspherical pencere fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\hat{w}(nT) = w_u(nT) / w(CT) \quad (7)$$

$$C = \begin{cases} \frac{(N-1)}{2} & N \text{ tek için} \\ (N/2)-1 & N \text{ çift için} \end{cases} \quad (8)$$

Denklem 5’de binom katsayıları aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanır.

$$\binom{\alpha}{0} = 1, \binom{\alpha}{p} = \frac{\alpha(\alpha-1)\dots(\alpha-p+1)}{p!} \quad p \geq 1 \text{ için} \quad (9)$$

Pencerenin genlik fonksiyonu ise denklem 10 ile verilir.

$$W_0(e^{j\omega T}) = C_{N-1}^{\mu} \left[x_{\mu} \cos\left(\frac{\omega T}{2}\right) \right] \quad (10)$$

Burada $C_n^{\mu}(x)$ ultraspherical fonksiyonudur ve

$$C_r^{\mu}(x) = \frac{1}{r} [2x(r+\lambda-1)C_{r-1}^{\lambda}(x) - (r+2\lambda-2)C_{r-2}^{\lambda}(x)] \quad r = 2, 3, \dots, n \quad (11)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanabilir. Burada,

$$C_0^{\mu}(x) = 1 \text{ ve } C_1^{\mu}(x) = 2\mu x \text{ dir.}$$

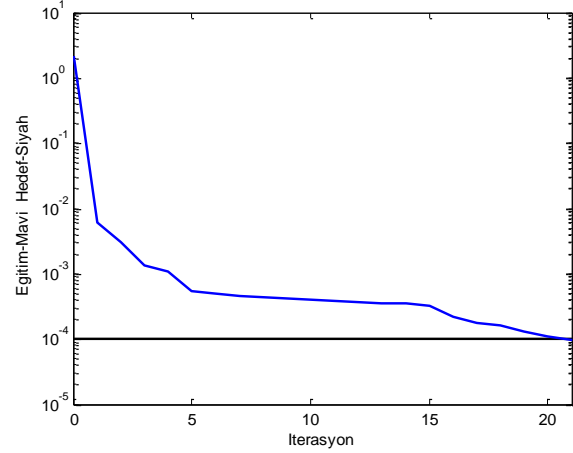
Literatürde yaygın olarak kullanılan bu iki pencere fonksiyonunun genlik spektrumunu bir arada bulunduracak yeni bir pencere fonksiyonunun matematiksel olarak birleştirilmesi oldukça zordur. Akıllı hesaplama yöntemlerinden biri olan YSA, sistem modellemede sağladığı fayda ve başarıdan dolayı bu çalışmada kullanışlı spektral parametrelere sahip pencere fonksiyonunun katsayı değerlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

2.3. Pencere Spektrumlarının Karşılaştırılmaları (Comparisons of Window Spectrum)

Yeni pencere fonksiyonunun elde edilmesi için kullanılan YSA yapısında, ağa giriş olarak Kaiser penceresi bağımsız parametresi olan α_k , pencere uzunluğunu gösteren N değeri ile ultraspherical penceresi parametreleri olan μ ve x_{μ} olmak üzere dört değişken uygulanmıştır. Kullanılan YSA modelinde, iki ara katman ve bir de çıkış katmanı mevcut olup YSA çıkışı, Kaiser ve ultraspherical pencerelerinin genlik spektrumlarını bir arada bulunduracak yeni pencere katsayı değerleri olacaktır.

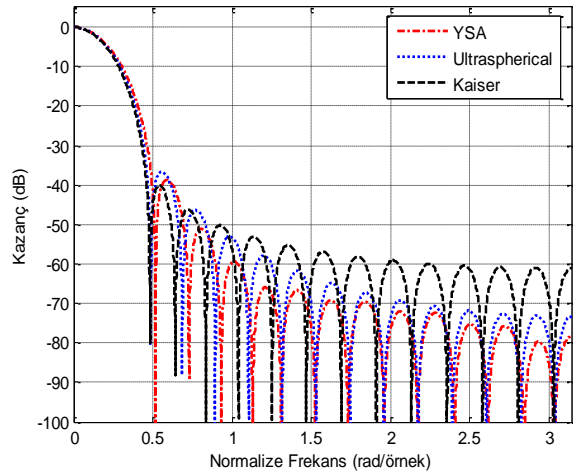
Çok katmanlı YSA modelinde ağın öğrenme oranı 0,5 ve ortalama karesel hata değeri ise 0,00001 olarak alınmıştır. YSA eğitimi için toplam 2500 veri oluşturulmuş, bunların %65’i eğitim, geri kalan %35’i ise test için kullanılmıştır. Test işlemi için kullanılan veriler eğitim verileri dışından seçilmiştir.

Kullanışlı spektral parametrelere sahip pencere fonksiyonunun modellenmesi için çalışmada kullanılan YSA’nın eğitimi sırasında elde edilen grafik Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. YSA'nın eğitim hata grafiği (Training-error graph of ANN)

$N=27$ için Kaiser, ultraspherical ve YSA kullanılarak geliştirilen yöntemden elde edilen pencere fonksiyonunun spektral parametreler bakımından karşılaştırma sonuçları Şekil 3’de, grafiğe ait sayısal bilgiler ise Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 3. $N=27$ için YSA, ultraspherical ve Kaiser pencerelerinin genlik karşılaştırmaları (The amplitude comparison of ANN, ultraspherical and Kaiser windows for $N=27$)

Tablo 1. Kaiser, ultraspherical penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar (The obtained numerical data for Kaiser, ultraspherical windows and an improved method)

Parametre	Pencere Türü		
	YSA	Ultraspherical	Kaiser
N	27	27	27
α_k	-	-	5,35
w_R	0,4909	0,4602	0,4602
S (dB)	39,66	36,63	21,05
R (dB)	-38,65	-36,64	-40,05

Şekil 3 ve Tablo 1'den görüldüğü gibi Kaiser penceresi en iyi dalgalanma oranı karakteristiğine sahiptir. Diğer pencere spektral parametresi olan yanlob azalma oranı bakımından ise en iyi karakteristiği YSA kullanılarak geliştirilen yöntem göstermektedir. Ancak geliştirilen yöntem analog genişliğinde Kaiser ve ultraspherical pencerelerine göre daha kötü bir davranış göstermektedir. YSA yardımıyla tasarlanan pencere, ultraspherical penceresinden hem daha iyi dalgalanma oranı hem de çok daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiği göstermektedir. Bu örnek için ultraspherical pencere parametreleri $\mu=2,99$ ve $x_\mu=1,00999$ dur.

3. FIR FİLTRE TASARIM UYGULAMASI (FIR FILTER DESIGN APPLICATION)

Sonsuz impuls cevabı dizisinin kesilmesiyle sınırlı uzunluğa sahip impuls cevabının elde edilmesi işlemi FIR filtre tasarımı için en çok tercih edilen yöntemdir. Kesim frekansının ω_k , örnekleme frekansının ise ω_δ olduğu alçak geçiren ideal filtre denklem 12'deki gibi tanımlanır.

$$H_{id}(e^{j\omega T}) = \begin{cases} 1 & |\omega| \leq \omega_\delta \text{ için} \\ 0 & \omega_k < |\omega| \leq \frac{\omega_\delta}{2} \text{ için} \end{cases} \quad (12)$$

Filtreye ait sonsuz impuls cevabı ise,

$$h_{id}(nT) = \begin{cases} \frac{\omega_k}{\pi} & n = 0, \\ \frac{1}{n\pi} \sin \omega_k nT & n \neq 0, \end{cases} \quad (13)$$

şeklinde bulunur. Sonlu uzunluğa sahip gerçekleştirilebilir filtrenin impuls cevabı ise sonsuz impuls cevabı ile pencere fonksiyonunun çarpımıyla

$$h_{nc}(nT) = w(nT)h_{id}(nT) \quad (14)$$

şeklinde bulunabilir [14]. Elde edilen sonlu impuls cevabı nedensel değildir. Dolayısıyla impuls cevabını nedensel yapabilmek için $(N-1)/2$ kadar kaydırarak,

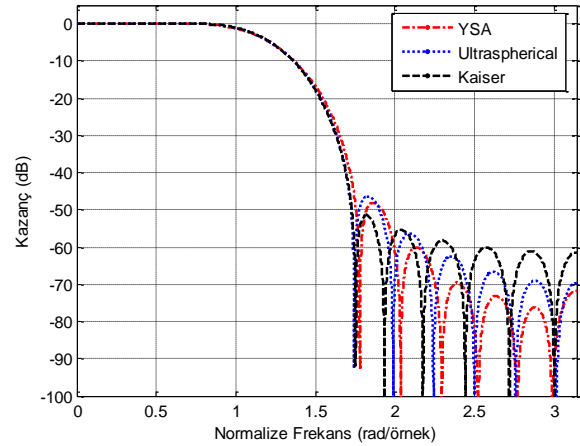
$$h(nT) = h_{no}[(n - (N-1)/2)T] \quad (15)$$

denklemini elde edilir.

3.1. FIR Filtre Spektrum Karşılaştırmaları (FIR Filter Spectrum Comparisons)

YSA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonu denklem 14'de yerine yazılmış ve hesaplanan değerler ile FIR sayısal filtre tasarımı gerçekleştirilerek yaygın olarak kullanılan diğer pencere fonksiyonlarına ait spektral parametreler ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Karşılaştırma örneğinde, YSA kullanılarak elde edilen pencere ile ultraspherical ve Kaiser pencereleri aynı analog genişliğine sahip olup bu pencere fonksiyonlarının filtre tasarımına etkisi incelenmiştir. Pencere uzunluğunun (dolayısıyla filtre derecesinin) sabit ve 21 olduğu Kaiser, ultraspherical pencereleri ile YSA yardımıyla modellenen pencere fonksiyonları kullanılarak tasarlanan FIR sayısal filtrelere ait genlik cevapları Şekil 4'te, genlik cevaplarına ait sayısal bilgiler ise Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 4. $N=21$ için YSA, ultraspherical ve Kaiser pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları (The low-pass filter amplitude responses designed by ANN, ultraspherical and Kaiser windows for $N=21$)

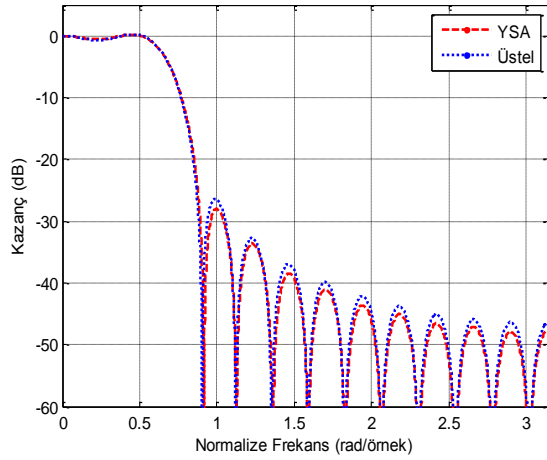
Tablo 2. $\omega_c=0,4\pi$ ve $N=21$ için Kaiser, ultraspherical ve YSA ile tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler (Numerical data for the low-pass filter designed by ANN, ultraspherical and Kaiser windows for $\omega_c=0,4\pi$ and $N=21$)

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
YSA	21	0,98	-	48,08	71,88
Ultraspherical	21	0,92	-	46,34	69,77
Kaiser	21	0,94	4,6	51,32	61,41

YSA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonunun FIR sayısal filtre tasarımı ile elde edilen Şekil 4 ve Tablo 2, maksimum durdurma bandı dalgalanması karakteristiği bakımından YSA yardımıyla modellenen pencere kullanılarak tasarlanan filtre en iyi davranışı göstermektedir.

Bir başka karşılaştırma örneği ise iki bağımsız parametreye sahip olan üstel pencere fonksiyonu [13] kullanılarak tasarlanan filtre ile YSA yardımıyla tasarlanan pencere fonksiyonunun filtre tasarımı kullanımı ve elde edilen bilgilere ait spektrum karşılaştırmasıdır. Karşılaştırma örneğinde pencere uzunluğunun $N=27$ ve geçiş bandı genişliğinin sabit ve $\Delta\omega=0,314$ olduğu durum için filtrelerin durdurma bandı dalgalanmaları ile maksimum durdurma bandı dalgalanma karakteristiklerinin spektrum

karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5’de, sayısal bilgiler ise Tablo 3’te verilmiştir.



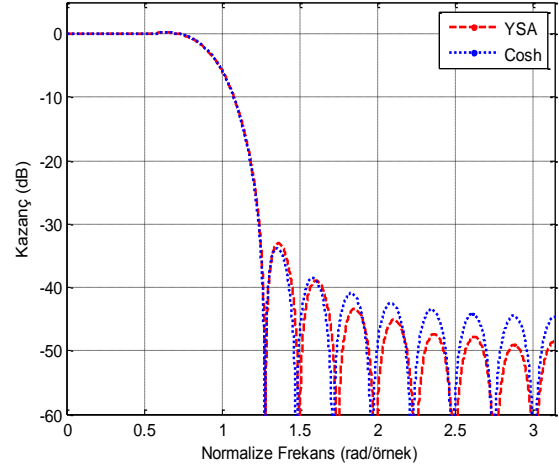
Şekil 5. $\Delta\omega=0,314$ ve $N=27$ için YSA ve üstel pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları (The low-pass filter amplitude responses designed by ANN and exponential window for $\Delta\omega=0,314$ and $N=27$)

Tablo 3. $\omega_c=0,23\pi$ ve $N=27$ için üstel ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler (Numerical data for the low-pass filter designed by ANN and exponential window for $\omega_c=0,23\pi$ and $N=27$)

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
YSA	27	0,314	-	28,02	47,73
Üstel	27	0,314	0,7	26,39	46,56

Üstel penceresi ile yapılan spektrum karşılaştırmasında, YSA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak geliştirilen filtrenin, aynı geçiş bandı genişliği için hem minimum hem de maksimum durdurma bandı dalgalanması karakteristiği bakımından üstel pencere kullanılarak oluşturulan FIR sayısal filtre genlik spektrumundan daha iyi bir davranış göstermektedir.

İki bağımsız değişkene sahip diğer bir kullanışlı pencere fonksiyonu olan cosh pencere [14] ile yapılan spektrum karşılaştırmasında, sabit geçiş bandı genişliği ve farklı pencere uzunluğu ($N=23$) kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen genlik spektrum cevabı Şekil 6’da, sayısal bilgiler ise Tablo 4’de verilmiştir.



Şekil 6. $\Delta\omega=0,485$ ve $N=23$ için YSA ve cosh pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları (The low-pass filter amplitude responses designed by ANN and Cosh window for $\Delta\omega=0,485$ and $N=23$)

Tablo 4. $\omega_c=0,32\pi$ ve $N=23$ için cosh ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler (Numerical data for the low-pass filter designed by ANN and cosh window for $\omega_c=0,32\pi$ and $N=23$)

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
YSA	23	0,485	-	33,04	48,53
Cosh	23	0,485	1,9	33,81	44,61

Cosh penceresi ile yapılan karşılaştırma sonuçları, aynı geçiş bandı genişliği ve pencere uzunluğu için cosh penceresi kullanılarak elde edilen alçak geçiren FIR sayısal filtrenin YSA ile geliştirilen pencere kullanılarak tasarlanan filtre genlik spektrumunda minimum durdurma bandı dalgalanması karakteristiği bakımından daha iyi davranışa sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bazı uygulamalar [26] için önemli olan maksimum durdurma bandı dalgalanması bakımından ise YSA ile modellenen pencere kullanılarak elde edilen filtre daha iyi bir karakteristiğe sahiptir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada, iyi özelliklere sahip pencerelerin gösterdiği davranışları bir arada bulunduracak yeni bir pencere fonksiyonunun tasarımı için YSA kullanımı önerilmiştir. İyi özelliklere sahip Kaiser ve ultraspherical pencerelerin spektral özelliklerini sağlayacak pencerenin tasarım denklemini oluşturmak oldukça zordur. Dolayısıyla çalışmada, bu zorluğu ortadan kaldıracak alternatif bir yöntem olan YSA kullanımı önerilmiştir. Elde edilen pencere ile FIR filtre tasarımı gerçekleştirilmiş ve iyi spektral parametrelere sahip pencere ile daha iyi davranış gösteren ve pek çok alanda kullanılabilen filtre tasarlanmıştır.

Geliştirilen bu yöntemde, Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı karakteristiği ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduran yeni pencere fonksiyonun tasarımı YSA kullanılmıştır. Çalışmada tasarlanan yeni pencere fonksiyonunun, Kaiser ve ultraspherical pencerelerin parametrelerinden daha iyi bir karakteristiğe sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, Kaiser ve ultraspherical pencerelerinin bazı spektral parametrelerinden daha iyi davranış gösteren üstel ve cosh pencereleri ile karşılaştırmalar yapılmıştır. YSA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonu yardımıyla FIR filtre tasarım örnekleri gerçekleştirilmiş ve geliştirilen yöntem yardımıyla tasarlanan filtrenin maksimum durdurma bandı dalgalanması açısından literatürdeki Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh pencereleri yardımıyla tasarlanan filtrelerden daha iyi karakteristiğe sahip olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ifeachor, E. C., **Digital Signal Processing A Practical Approach**, Prentice Hall, USA, 2002.
2. Antoniou, A., **Digital signal processing: signal, systems, and filters**, New York: McGraw-Hill, 2005.
3. Avci, K., Nacaroğlu, A., High Quality Low Order Nonrecursive Digital Filters Design Using Modified Kaiser Window, **Proc. of 6th Symposium on Communication Systems, Network and Digital Signal Processing (CSNDSP'08)**, July. Graz, Austria, 239-242, 2008.
4. Torbet, E., Devlin, M. J., Dorwart, W. B., et al., A measurement of the angular power spectrum of the microwave background made from the high Chilean Andes, **The Astrophysical Journal**, vol. 521, L79-L82, 1999.
5. Picard, B., Anterrieu, E., Caudal, G. and Waldteufel, P., Improved windowing functions for Y-shaped synthetic aperture imaging radiometers, in **Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '02)**, vol. 5, 2756-2758, Toronto, Ont, Canada, June 2002.
6. Lynch, P., The Dolph-Chebyshev window: a simple optimal filter, **Monthly Weather Review**, vol. 125, 655-660, 1997.
7. Seydnejad, S. R. and Kitney, R. I., Real-time heart rate variability extraction using the Kaiser window, **IEEE Trans. on Biomedical Engineering**, vol. 44, no. 10, 990-1005, 1997.
8. Saramaki, T., Finite impulse response filter design, in **Handbook for Digital Signal Processing**, S. K. Mitra and J. F. Kaiser, Eds., Wiley, New York, NY, USA, 1993.
9. Dolph, C. L., A current distribution for broadside arrays which optimizes the relationship between beamwidth and side-lobe level, **Proc. IRE**, vol. 34, 335-348, June 1946.
10. Kaiser, J. F., Nonrecursive digital filter design using I0-sinh window function, in **Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS '74)**, 20-23, San Francisco, Calif, USA, April 1974.
11. Kaiser, J. F. and Schafer, R. W., On the use of the I0-sinh window for spectrum analysis, **IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing**, vol. 28, no. 1, 105-107, 1980.
12. Saramaki, T., A class of window functions with nearly minimum sidelobe energy for designing FIR filters, in **Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS '89)**, vol. 1, 359-362, Portland, Ore, USA, May 1989.
13. Avci, K., Nacaroğlu, A., A new window based on exponential function, **IEEE Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME 2008)**, June Istanbul, Turkey, 69-72, 2008.
14. Avci, K., Nacaroğlu, A., Cosh window family and its application to FIR filter design, **International Journal of Electronics and Communications-AEU**, 63 906-917, 2009.
15. Bergen, S.W.A., Antoniou, A., Generation of Ultraspherical window functions, in **XI European Signal Processing Conference**, Toulouse, France, September, 2, 607-610, 2002.
16. Bergen, S.W.A., Antoniou, A., Design of Ultraspherical Window Functions with Prescribed Spectral Characteristics, **EURASIP Journal on Applied Signal Processing**, 13 2053-2065, 2004.
17. Bergen, S.W.A., Antoniou, A., Design of Nonrecursive Digital Filters Using the Ultraspherical Window Function", **EURASIP Journal on Applied Signal Processing**, 12 1910-1922, 2005.
18. Kaya T., and Ince M.C. The Calculation of Adjustable Window Parameters With Helping GA, **The 5th ETAI International Conference on Applied Automatic Systems**, September 26-29, Ohrid-Macedonia, 2009.
19. Kaya T. ve İnce M.C., Kullanışlı Spektral Parametrelili Pencere Fonksiyonunun Düzgün Dağılımlı Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilmesi, **ELECO2010 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu**, 2-5 Aralık 2010.
20. Kaya T., İnce M.C., Düzgün Dağılımlı Genetik Algoritmaların Pencere Fonksiyonu Performansına Etkisi, **IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı**, 475-478, 2010.
21. Kaya T. ve İnce M.C. Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilen Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Yinelemesiz Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı, **6th International Advanced Technologies Symposium- IATS 11**, 114-119, 2011.

22. Kaya T. and Ince M.C., The FIR Filter Design By Using Window Parameters Calculated With GA, **ICSCCW 2009-Fifth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control**, September 2-4 2009.
23. Haykin, S., **Neural networks – a comprehensive foundation**. 2nd ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice-Hall; 1998.
24. Cichocki A., and Unbehauen, R., **Neural Networks for Optimization and Signal Processing**, New York: Wiley, 1993.
25. Mladenov, V. M. and Mastarakis, N.E., Design of Two-Dimensional Recursive Filters by Using Neural Networks, **IEEE Transactions on Neural Networks**, vol. 12 No. 3, 2001.
26. Jain, A., Saxena, R. and Saxena, S.C., A simple alias-free QMF system with near-perfect reconstruction, **J. Indian Ins. Sci.**, Jan-Feb, 12, 1-10, 2005.