

YÜKSEK PERFORMANSLI PROTOTİP FİLTRE TASARIMI VE MALİYET FONKSİYONUN BELİRLENMESİ

HIGH PERFORMANCE PROTOTYPE FILTER DESIGN AND COST FUNCTION DETERMINATION

Doç. Dr. Fatma LATİFOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri,
flatifoglu@erciyes.edu.tr

Biyomedikal Mühendisi Başak KANDÖKER

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri,
basakrende@gmail.com

ÖZET

Bir işaretin belirli özelliklerini ön plana çıkaran, belirli özelliklerini yeniden biçimlendiren veya işareti istenilen özelliğe göre değiştiren sistemlere süzgeç adı verilir. Sonlu dürtü yanıtına sahip süzgeçlere FIR (Finite Impulse Response) süzgeç denir. Dijital işaretlerin işlenmesinde çoklu örnekleme oranlarını kullanan sistemlere çok kanallı dijital işaret işleme sistemleri denir. İki kanallı süzgeç bankası, çok kanallı süzgeç bankasının temel parçasıdır ve Çeyrek Ayna Süzgeç (Quadrature Mirror Filter, QMF) Bankası olarak adlandırılır. Gerçekleştirilen çalışmada QMF yapılarında kullanılmak üzere, pencerelenmiş FIR süzgeç tasarım yöntemi ile tasarımı kolay ve yüksek performansa sahip bir alçak geçiren FIR süzgeç dizayn edilmiştir. Bu amaçla pencerelenmiş FIR süzgeç için, sahip olduğu iki bağımsız değişken yardımı ile literatürde yaygın olarak yer alan Kaiser penceresi kullanılmıştır ve bu pencere fonksiyonu için Beta parametresi en iyi durdurma bandı salınımı, geçirme bandı salınımı ve durdurma bandı kazancını elde etmek üzere optimize edilmiştir. Optimizasyon, en genel anlamı ile, bir sistemde, belirli kısıtlar altında, belirlenmiş bir amaç fonksiyonunun değerinin optimum olması için karar değişkenlerinin alacağı değerleri belirleme işlemidir. Burada amaç salınımların en düşük kazanımın ise en büyük olduğu parametre değerini bulmaktır. Bu aşamada sürü zekasına dayalı Yapay Arı Koloni (ABC) algoritması kullanılmıştır. Yapay arı kolonisi algoritması bal arılarının yiyecek arama davranışı üzerine kurulu bir optimizasyon algoritmasıdır. Maliyet (amaç) fonksiyonu, belirli bir üretim düzeyini gerçekleştirmenin en ucuz ya da en etkin yolunu tanımlayan maliyet- çıktı ilişkisidir. Bu ilişki bizim çalışmamız için hatanın en düşük olduğu yapının bulunmasıdır. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak sık kullanılan Ortalama Karesel hata (MSE), Ortalama Mutlak hata (MAE), Çapraz Entropi hatası (CEE) ve bu hataların toplamı yaklaşımı kullanılmıştır. En iyi performansın elde edildiği maliyet fonksiyonu araştırılmıştır. Elde edilen veriler tablolar halinde sunulmuştur. Çalışmanın sonucunda sadece bir parametreyi optimize ederek yüksek performanslı, düşük hata oranlı prototip alçak geçiren FIR süzgeç dizayn edilmiştir.

45

Anahtar Kelimeler: FIR süzgeç tasarımı, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Maliyet Fonksiyonu

ABSTRACT

Systems that highlight the specific features of a signal, reformat certain properties of a signal or change the signal to the desired property are called filters. Filters with finite impulse response are called FIR (Finite Impulse Response) filters. Systems that use multiple sampling rates in the processing of digital signals are called multirate digital signal processing systems. The two-channel filter bank is an essential part of the multirate filter bank and is referred to as the Quadrature Mirror

Filter (QMF) Bank. In this study, a low-pass FIR filter, easy to design and having a high-performance is designed using the window based FIR filter design technique for the prototype of two channel QMF bank structures. For this purpose, with the help of two independent variables, the Kaiser window, which is widely used in the literature, is used for the window based FIR filter and for this window function the Beta parameter is optimized to obtain the best stop band ripple, pass band ripple and stop band gain. Optimization, in its most general meaning, is the process of determining the values that the decision variables will take in order to optimize the value of a defined objective function under certain constraints in a system. The aim of the optimization is to find the value of the parameter where the ripples are the lowest and the gain is the largest. In this study, for the optimization of Beta parameter, Artificial Bee Colony (ABC) algorithm based on swarm intelligence approach was used. ABC algorithm is an optimization algorithm based on the food search behavior of honeybees. The cost (objective) function is the cost-output relationship, which defines the cheapest or most efficient way of achieving a specific production level. This relationship is, for our work, found the which structure has the lowest error. In this study, Mean Square Error (MSE), Mean Absolute Error (MAE), Cross Entropy Errors (CEE) and Total Sum of these errors were used as cost function. Which cost function has the best performance is investigated. The data obtained are presented in tables. At the end of the study, a low pass FIR filter with high performance and low error rate has been obtained by optimizing only one parameter.

Keywords: FIR filter design, Artificial Bee Colony Algorithm, Cost Function

GİRİŞ

Bir işaretin belirli özelliklerini ön plana çıkaran, belirli özelliklerini yeniden biçimlendiren veya işareti istenilen özelliğe göre değiştiren sistemlere süzgeç denir. Süzgeçler işaretlerin belirli frekanslarını güçlendirmek veya zayıflatmak, belirli frekanslarını tamamen yalıtımak veya bastırmak gibi değişik amaçlarla kullanılabilir. Süzgeçler oldukça yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Örneğin; gürültü gibi işaretlerdeki kirlenme etkenlerinin ayrıştırılması ve haberleşme kanalı gibi iletim yollarının bozucu etkilerinin giderilmesi için kullanılmaktadır. Aynı ortamda bulunan birden fazla işaretin ayrıştırılması için de kullanılabilir. Süzgeçler işaretin frekans bileşenlerine çözülmesi, işaretlerin demodüle edilmesi veya işaretin bant genişliğinin sınırlandırılması, sıkıştırılması gibi alanlarda da kullanılmaktadır [1].

Süzgeçler frekans seçme işlevine göre dört gruba ayrılır. Bunlar; Alçak geçiren süzgeçler (AGF), düşük frekansları geçirerek yüksek frekansları bastırırlar; Yüksek geçiren süzgeçler (YGF), düşük frekansları bastırarak yüksek frekansları geçirirler; Bant geçiren süzgeçler (BGF), belirli bir frekans aralığını geçirerek geri kalan frekansları bastırırlar; Bant durduran süzgeçler (BDF), belirli bir frekans aralığını bastırarak geri kalan frekansları geçirirler.

Süzgeçler dürtü yanıtına göre de FIR (Finite Impulse Response) ve IIR (Infinite Impulse Response) olmak üzere ikiye ayrılır. FIR süzgeçler sonlu dürtü yanıtına sahipken, IIR süzgeçler sonsuz dürtü yanıtına sahiptir. FIR süzgeçler her zaman kararlıdır, doğrusal faz yanıtına sahiptir ve tasarlanması kolaydır. Bu nedenle gerçekleştirilen çalışmada çok kanallı süzgeç yapılarından Çeyrek Ayna Süzgeç Bankası (Quadrature Mirror Filter-QMF), pencerelemiş FIR süzgeç kullanılarak tasarlanmıştır.

FIR süzgeç tasarımında frekans örnekleme ve Fourier Serisi yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en çok tercih edilen ve sınırlı sayıda değer alınarak gerçekleştirilen Fourier Serisi yönteminde arzu edilmeyen Gibbs salınımları meydana gelmektedir. Meydana gelen bu salınımları ortadan kaldırabilmek için kullanılan yapılar pencere fonksiyonu adı verilmektedir. Sayısal süzgeç tasarımında kullanılan pencere fonksiyonları, sahip oldukları parametrelere göre sabit ve değişken pencere fonksiyonları şeklinde iki gruba ayrılırlar [2, 3]. Sabit pencere fonksiyonları, sahip oldukları tek parametre olan pencere uzunluğu (N) ile spektral parametreleri kontrol edildiğinden uygulamalarda iki veya üç değişkenli pencere fonksiyonları tercih edilmektedir. Değişken parametrelili pencere fonksiyonlarından olan Kaiser penceresi sahip olduğu iki bağımsız değişken (N,

β) yardımıyla literatürde fazlaca kullanılmaktadır [2]. Kaiser penceresinin kullanım kolaylığı ve yüksek performansa sahip olması sebebiyle gerçekleştirilen çalışmada bu pencere kullanılmıştır.

Optimizasyon, en genel anlamıyla, bir sistemde, belirli kısıtlar altında, belirlenmiş bir amaç fonksiyonunun değerinin optimum olması için karar değişkenlerinin alacağı değerleri belirleme işlemidir. FIR süzgeç tasarımı için, Genetik Algoritma (Genetic Algorithm, GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization PSO) ve varyantları, Diferansiyel Gelişim (Diferential Evolution, DE), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) optimizasyonu, gibi çeşitli yöntemler uygulanmıştır [4-7]. QMF süzgeç bankalarında hatayı minimize etmek, süzgeç grafiğinde bulunan salınımları, bozunumları azaltıp ideale yaklaştırmak, bant kazançlarını arttırmak vb amaçlarla pencere fonksiyonunun katsayılarının, süzgeç katsayılarının optimizasyonu gerçekleştirilir. Bu çalışmada QMF süzgeç bankası için FIR süzgeç tasarımında, sadece kullandığımız Kaiser penceresinin β parametresini ABC algoritmasıyla optimize ederek basit yüksek performanslı bir süzgeç tasarımı amaçlanmıştır.

METODOLOJİ

Fır Filtreler

Sonlu uzunluklu dürtü yanıtına sahip süzgeçlere FIR (Finite Impulse Response) süzgeç denir ve transfer fonksiyonu ($H(z)$) aşağıdaki eşitlikteki gibi yazılmaktadır.

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] z^{-k} = h(0) + h(1)z^{-1} + h(2)z^{-2} + \dots + h(N-1)z^{-(N-1)} \quad (1)$$

Eşitlik 1 den de görüldüğü gibi transfer fonksiyonu tamamı orijinde bulunan $N-1$ kutup içerir. Bu nedenle kutupları birim dairenin içerisinde olduğu için FIR süzgeçler kararlı yapılarıdır.

İdeal süzgecin dürtü yanıtı sonlu süreli bir $w(n)$ ile çarpılarak pencerelenirse sonlu uzunluklu hale getirilmiş olur. Pratik süzgeç için sonlu bir dürtü yanıtının elde edilmesi, bir $w[n]$ penceresinin kullanımı ile $y[n] = x[n] w[n]$ eşitliği kullanılarak tanımlanabilmektedir [1,6].

Gerçekleştirilen çalışmada Kaiser penceresi kullanarak QMF yapılar için prototip FIR süzgeç tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sahip olduğu ayarlanabilir parametre özelliği sayesinde ve ana lobda yan loblarınkine göre maksimum enerji konsantrasyonuna sahip yaklaşımlar sağlaması dolayısıyla pek çok alanda tercih edilen Kaiser penceresi aşağıdaki gibi tanımlanabilir [10].

$$w(n) = \begin{cases} \frac{l_0 \{\beta \sqrt{1-(n/N)^2}\}}{l_0(\beta)}; & 0 \leq n \leq N \\ 0; & \text{diğer} \end{cases} \quad (2)$$

Burada $l_0(.)$ sıfırıncı dereceden modifiye edilmiş Bessel fonksiyonudur. β parametresi istenen değer A_s ve süzgeç derecesi N 'e göre optimize edilebilir [10].

Yapay Arı Koloni Algoritması

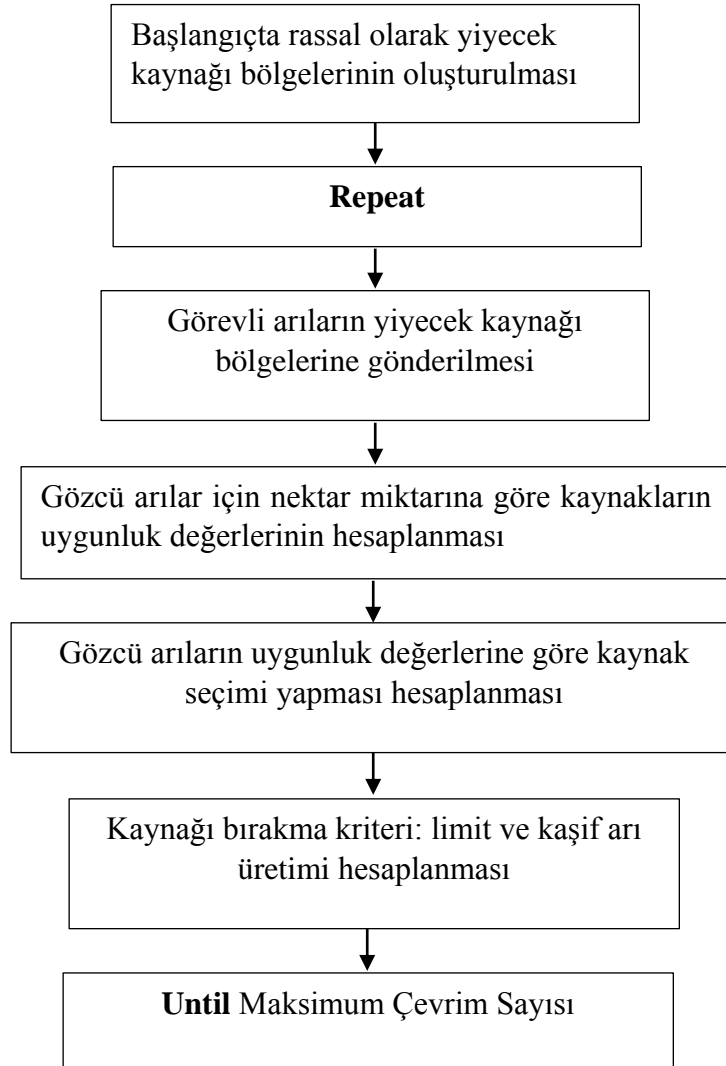
Yapay arı kolonisi bal arılarının yiyecek arama davranışı üzerine kurulu bir optimizasyon algoritmasıdır. Her ne kadar literatürde bal arılarının yiyecek arama davranışından esinlenilerek geliştirildiği bildirilmekte ise de görevli arıların yiyecek kaynaklarının pozisyon bilgisinin paylaşmaları için yaptığı sallanım dansı da yöntem içerisinde modellenmiştir. Görevli (employed) arılar gözcü arılarla bilgilerini paylaşmakta ve gözcü arılar da paylaşılan bilgiyi dikkate alarak araştırmalarını yapmaktadırlar. Yapay arı kolonisinde iki tip arı mevcuttur. Birinci tip arılar görevli arılardır. Kendilerine atanmış olan yiyecek kaynağı etrafında araştırma yaparlar ve kaynakların pozisyon bilgilerini koloniye taşırlar. Diğer tip arılarsa görevli olmayan (unemployed) arılardır.

Görevli olmayışlarının sebebi kendilerinin sürekli bir çalışma döngüsü içinde olmamalarıdır ve yapacakları işte bir seçim keyfiyetine sahip olmalarındandır. Gözcü arılar birinci tip görevli olmayan arılardır ve görevli arılar tarafından paylaşılan bilgiyi kullanarak araştırmalarını yaparlar. Kaşif arılar da bir diğer görevli olmayan arı çeşididir. Kaşif arıların oluşumu kaynağın durumuna bağlıdır. Herhangi bir kaynak belirli bir (limit) zamanda görevli veya gözcü arılar tarafından iyileştirilemezse bu kaynağın görevli arısı kâşif arı olur. Kendisine rastgele bir çözüm atandıktan sonra bu kâşif arı tekrar görevli arı durumuna devam eder.

ABC algoritmasının adımları aşağıdaki gibidir [11-13]:

1. İlk olarak kâşif arılar arama uzayında rastgele dağılarak besin arama sürecini başlatırlar.
2. Yiyecek kaynakları bulunduktan sonra kâşif arılar görevli arı haline gelirler ve kendi kaynaklarından kovana besin taşırlar. Görevli arılar kovana besinlerini boşalttıktan sonra çalıştıkları kaynakla ilgili bilgiyi kovanda bekleyen gözcü arılara iletmek için dans alanında dans ederler. Çalışılan kaynakta nektar tükenirse görevli arılar kâşif arıya dönüşür ve arama uzayında rastgele yeni kaynak arayışına girerler.
3. Gözcü arılar görevli arıların danslarını izlerler ve dansların frekansına bağlı olarak bir kaynağı seçerler. Yani dans frekansı ne kadar yüksekse bir kaynağın seçilme olasılığı da o oranda güçlüdür.

ABC algoritmasının sözde kodu aşağıdaki gibidir [11-13];

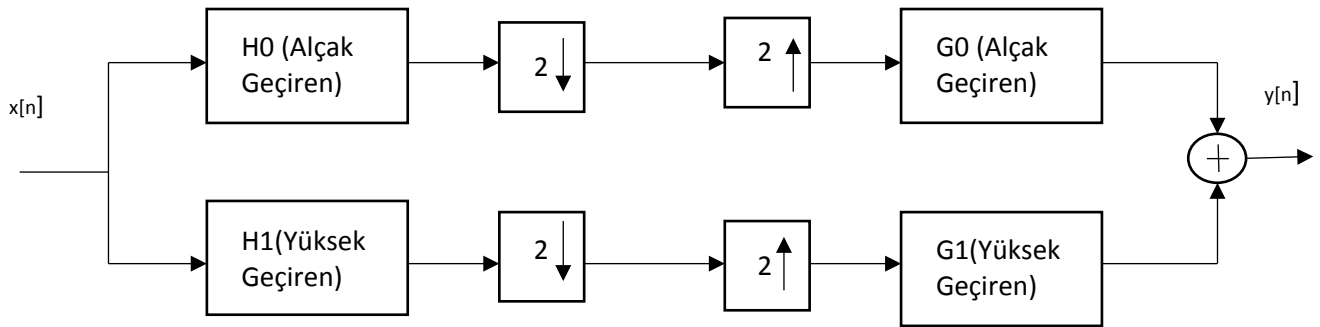


Şekil 1: ABC Algoritmasının Sözde Kodu

Gerçekleştirilen çalışmada ABC algoritması için popülasyon sayısı 20, limit çevrim sayısı 100 ve iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiş olup algoritma 3 kez çalıştırılmış ve elde edilen en iyi değerler kaydedilmiştir.

Çeyrek Ayna Süzgeç (Qmf) Bankası

Dijital işaretlerin işlenmesinde çoklu örnekleme oranlarını kullanan sistemlere çok kanallı dijital işaret işleme sistemleri denir. İki kanallı süzgeç bankası, çok kanallı süzgeç bankasının temel parçasıdır ve Çeyrek Ayna Süzgeç (Quadrature Mirror Filter, QMF) Bankası olarak adlandırılır. İki kanallı süzgeç bankası yapısını kullanan QMF bankası Şekil 2.'de görülmektedir. QMF bankalarında dört süzgeç kullanılmaktadır ve bu süzgeçlerden prototip süzgeç olarak adlandırılan alçak geçiren süzgeç $H_0(z)$, diğer süzgeçleri elde etmek için kullanılmaktadır. Şekilde görülen $H_1(z)$ yüksek geçiren süzgeci temsil etmektedir ve Süzgeçler arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde ifade edilmektedir.



Şekil 2: QMF Yapısı

$$H_1(z) = H_0(-z) \quad (3)$$

$$G_0(z) = 2H_0(z), G_1(z) = -2H_1(z) \quad (4)$$

Denklem 3 ve 4 te belirtilen şekilde süzgeçler tasarlanırsa analiz ve sentez süzgeç bankasındaki örtüşme giderilmiş olur. $T(z)$ distorsiyon transfer fonksiyonu da $H_0(z)$ alçak geçiren prototip süzgeç cinsinden yazılırsa eşitlik 5 elde edilmektedir.

$$T(z) = H_0^2(z) - H_1^2(z) = H_0^2(z) - H_0^2(-z) \quad (5)$$

Bu eşitliğe göre QMF bankasındaki tüm genlik ve faz bozulması $H_0(z)$ alçak geçiren süzgeçten elde edilebilir. $H_0(z)$ lineer fazlı N uzunluğunda bir FIR süzgeç ise frekans cevabı eşitlik 6 da yer almaktadır.

$$T(e^{jw}) = e^{-jw(N-1)} \left[|H_0(e^{jw})|^2 - (-1)^{N-1} |H_1(e^{jw})|^2 \right] \quad (6)$$

Lineer fazlı FIR çeyrek ayna süzgeci için mükemmel yeniden oluşturma şartı ise eşitlik 7 de yer almaktadır.

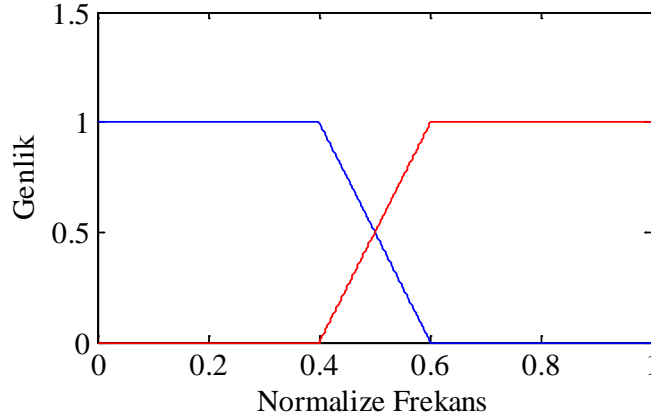
$$|H_0(e^{jw})|^2 + |H_1(e^{jw})|^2 \cong 1 \quad (7)$$

Eşitlik 7'ye göre lineer faz QMF bankasında faz bozulması bulunmamaktadır ancak genlik bozulması ortaya çıkabilecektir. Bu nedenle eşitlik 7 deki şartı sağlayacak süzgeç parametrelerinin tasarımı önemli bir sorun olmakta ve bilgisayar destekli optimizasyon metotları ile $H_0(z)$ parametrelerinin belirlenmesinde mükemmel yakın yeniden oluşturma (NPR) kullanılmaktadır [6].

Performans Parametreleri

QMF bankası çıkışında oluşturulan işaretlerde faz, örtüşme ve genlik olmak üzere üç tip bozulma ortaya çıkabilmektedir. Ancak faz ve örtüşme bozulmaları lineer fazlı FIR süzgeçler kullanımı ile giderilmektedir. QMF bankası tasarımlarında genlik bozulmasını gidermek amacıyla bazı performans parametreleri tanımlanmakta ve optimizasyon algoritmaları ile bu performans parametreleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu tasarımların tamamı prototip süzgecin kendisi (H_0) ve prototip süzgeçten hesaplanan değerlere göre gerçekleştirilmektedir. Bunlardan genlik bozulmasını gidermek için H_0 süzgeci katsayılarının optimize edilmesi için bu çalışmada amaç fonksiyonu ya da hata kriteri önerilmiştir. QMF bankası için; Geçirme Bandı Hatası (Q_p), Geçiş Bandı Hatası (Q_t), Durdurma bandı hatası (Q_s), Tepe yeniden elde etme hatası (Pre), Durdurma bandı zayıflatması (A_s) ve tasarlanmak istenen süzgeç yapısına göre elde edilen hata fonksiyonları kullanılarak maliyet hesabı yapılmıştır ve amaç fonksiyonu belirlenmiştir [7].

Aşağıdaki şekilde istenilen süzgeç yapısı verilmektedir.



50

Şekil 3: Dizayn edilmek istenen QMF Yapısı

QMF bankası için kullanılan optimizasyon parametrelerine ait formüller aşağıda yer almaktadır.

Geçirme Bandı Hatası (Q_p):
$$Q_p = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_p} [H_0(0) - H_0(\omega)]^2 \frac{d\omega}{\pi}$$

Geçiş Bandı Hatası (Q_t):
$$Q_t = (H_0(w) - 0.707H_0(0))^2 \quad w = \frac{\pi}{2} \text{ de}$$

Durdurma Bandı Hatası(Q_s):
$$Q_s = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_s}^{\pi} [H_0(\omega)]^2 \frac{d\omega}{\pi}$$

Durdurma Bandı Zayıflatması (A_s):
$$A_s = -20 \log_{10}(H_0(w)) \quad w = w_s$$

Tepe yeniden elde etme hatası (Pre):
$$Pre = \max \left\{ 20 \log_{10}(|H_0(e^{jw})|^2 + |H_0(e^{j(w-\pi)})|^2) \right\}$$

İstenilen Süzgeç Yapısına Göre Hata (E_y):
$$E_y = \max(H_{istenen} - H_{tasarlanan})$$

QMF bankası prototip FIR süzgeci β parametresi, yukarıda verilen performans parametreleri kullanılarak elde edilen amaç fonksiyonuna ait hata değerini minimize etmek üzere optimize edilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada maliyet fonksiyonu (amaç fonksiyonu) olarak hesaplanan parametrelerin Ortalama Karesel Hata (MSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Çapraz Entropi Hatası (CEE) ve bu hataların toplamı yaklaşımı kullanılmıştır. Hata, tahmin edilen değer gerçek çıkış değerinden farkı olarak tanımlanabilir. MAE, her bir hata değerini pozitif yapmak için hatanın mutlak değerini almakta, bunları toplamakta ve ortalamasını almaktadır. Hataların birbirlerini yok etmemesi için benzer bir düşünce MSE de kullanılmaktadır. MSE, hataların karelerini alarak pozitif değer elde etmekte, bunları topladıktan sonra ortalamalarını almaktadır. MAE ile hatalar daha kolay ifade edilme yeteneğine sahiptir. MSE ise aynı yeteneğe sahiptir ve istatistiksel hesaplamalarda sıkça kullanılmaktadır. Bu istatistik ölçülerinin her biri zaman serilerinin uzunluğuna bağlı olarak, tahmin hatalarını farklı matematiksel değerlerle ifade etmektedir [14,15]. Çapraz entropi hatası da tahmin edilen değer gerçek değere ne kadar yakın olduğunu ifade eder. Gerçek değer logaritmasını alıp, tahmin edilen değerle çarpımını toplar ve bu toplamın negatifini alır çıkan sonuç bize kaybı verir. e_t t zamanındaki hata olmak üzere, Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Ortalama Karesel Hata (MSE) şu şekilde hesaplanır:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t| \quad (9)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (10)$$

Çapraz entropi hatası (CEE), H ile gösterilir. Tahmin edilen değer $q(x)$ ve gerçek değer $p(x)$ olmak üzere şu şekilde hesaplanır:

$$CEE = H(p, q) = - \sum_x p(x) \log q(x) \quad (11)$$

51

Gerçekleştirilen çalışmada süzgeç tasarımında en iyi performansı elde edebilmek için amaç fonksiyonunu farklı şekillerde belirleyerek analizler gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon algoritmasında amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi farklı durumlar için analiz edilmiştir.

1. **Geçirme Bandı Hatası (Qp), Durdurma Bandı Hatası (Qs) ve Tepe yeniden elde etme hatası (Pre) kullanarak;**
 - 1.1. E1.1 = Mse ([Qp Qs Pre])
 - 1.2. E1.2 = Mae ([Qp Qs Pre])
 - 1.3. E1.3 = Qp+Qs+ Pre
 - 1.4. E1.4 = Mse ([Qp)xlog(Qp) (Qs)xlog(Qs) (Pre)xlog(Pre)])
 - 1.5. E1.5 = Mae ([Qp)xlog(Qp) (Qs)xlog(Qs) (Pre)xlog(Pre)])
 - 1.6. E1.6 = (Qp)xlog(Qp) + (Qs)xlog(Qs) + (Pre)xlog(Pre)
2. **İstenilen Süzgeç Yapısına Göre Hata (Ey), Tepe yeniden elde etme hatası (Pre), Durdurma Bandı Zayıflatması (As)**
 - 2.1. E2.1 = Mse ([Ey Pre As])
 - 2.2. E2.2 = Mae ([Ey Pre As])
 - 2.3. E2.3 = Ey+ Pre+ As
 - 2.4. E2.4 = Mse ([Ey)xlog(Ey) (Pre)xlog(Pre) (As)xlog(As)])
 - 2.5. E2.5 = Mae ([Ey)xlog(Ey) (Pre)xlog(Pre) (As)xlog(As)])
 - 2.6. E2.6 = (Ey)xlog(Ey) + (Pre)xlog(Pre) + (As)xlog(As)

3. Geçirme Bandı Hatası (Qp), Durdurma Bandı Hatası (Qs) ve Geçiş Bandı Hatası (Qt) kullanarak;

3.1. $E3.1 = \text{Mse} ([Qp \ Qs \ Qt])$

3.2. $E3.2 = \text{Mae} ([Qp \ Qs \ Qt])$

3.3. $E3.3 = Qp+Qs+Qt$

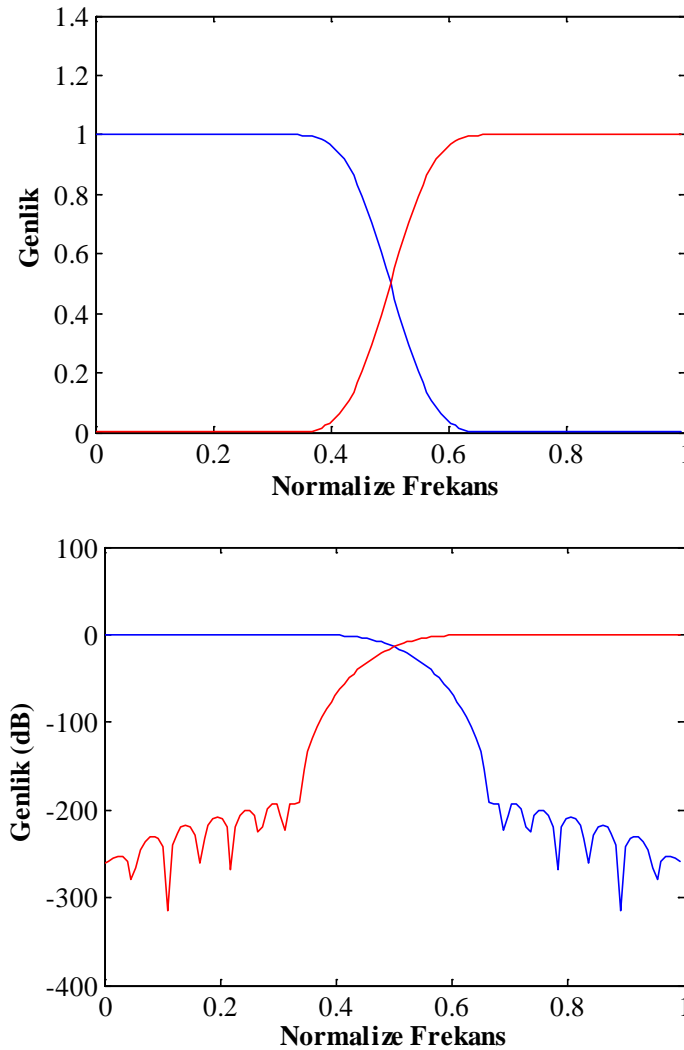
3.4. $E3.4 = \text{Mse}([(Qp) \times \log(Qp) \ (Qs) \times \log(Qs) \ (Qt) \times \log(Qt)])$

3.5. $E3.5 = \text{Mae}([(Qp) \times \log(Qp) \ (Qs) \times \log(Qs) \ (Qt) \times \log(Qt)])$

3.6. $E3.6 = Qp \times \log(Qp) + (Qs) \times \log(Qs) + (Qt) \times \log(Qt)$

SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çalışmada QMF süzgeç bankası tasarımı için farklı performans parametrelerine göre hata tanımlanmış olup bu hataların amaç fonksiyonunda MSE, MAE, Toplamı ve CEE değerleri hesaplanmıştır. Böylece süzgeç performansının en iyi elde edildiği durum analiz edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.1 de E1.1. de verilen amaç fonksiyonuna göre tanımlanmış 32. Dereceden pencerelenmiş FIR süzgeçten elde edilen QMF bankasının frekans eksenindeki genlik yanıtları görülmektedir.



Şekil 4.1. Kaiser penceresi kullanılarak ($\beta=8.2621$ ile) elde edilen 32. Dereceden FIR prototip süzgeçten elde edilen QMF bankası **a)** Frekans Yanıtı **b)** Logaritmik Düzlemde Frekans Yanıtı

Tablo 3.1.a,b,c de Metodoloji bölümünde tanımlanan amaç fonksiyonları ve hata kriterlerine göre elde edilen QMF bankasının performans parametreleri görülmektedir.

Tablo 3.1.a Geçirme Bandı Hatası (Qp), Durdurma Bandı Hatası (Qs) ve Tepe yeniden elde etme hatası (Pre) kullanarak tasarlanan QMF bankasının performans parametreleri

	Derece	As	Pre	Qp	Qs
E.1.1	32	29.7976	0.0011	0.0013	0.0006
E.1.2	32	29.7976	0.0011	0.0013	0.0006
E.1.3	32	29.7976	0.0011	0.0013	0.0006
E.1.4	32	29.7976	0.0011	0.0013	0.0006
E.1.5	32	28.7376	0.0005	0.0016	0.0008
E.1.6	32	42.0301	0.3827	0.0008	

Tablo 3.1.b. İstenilen Süzgeç Yapısına Göre Hata (Ey), Tepe yeniden elde etme hatası (Pre), Durdurma Bandı Zayıflatması (As) kullanarak tasarlanan QMF bankasının performans parametreleri

	Derece	As	Pre	Qp	Qs
E.2.1	32	29.7892	0.0011	0.0013	0.0006
E.2.2	32	29.7892	0.0011	0.0013	0.0006
E.2.3	32	29.7892	0.0011	0.0013	0.0006
E.2.4	32	29.7892	0.0011	0.0013	0.0006
E.2.5	32	29.7892	0.0011	0.0013	0.0006
E.2.6	32	42.1109	0.3961	0.0009	0.0004

53

Tablo 3.1.c. Geçirme Bandı Hatası (Qp), Durdurma Bandı Hatası (Qs) ve Geçiş Bandı Hatası (Qt) kullanarak tasarlanan QMF bankasının performans parametreleri

	Derece	As	Pre	Qp	Qs
E.3.1	32	20.6726	0.0000	0.0118	0.0078
E.3.2	32	28.3722	0.0005	0.0017	0.0009
E.3.3	32	28.3722	0.0005	0.0017	0.0009
E.3.4	32	23.6739	0.0000	0.0054	0.0033
E.3.5	32	36.1675	0.0085	0.0003	0.0001
E.3.6	32	37.2279	1.9062	0.0131	0.0080

TARTIŞMA

Tablo 3.1.a'dan elde ettiğimiz sonuçlara göre Geçirme Bandı Hatası (Qp), Durdurma Bandı Hatası (Qp) ve Tepe yeniden elde etme hatası (Pre) kullanarak tasarlanan amaç fonksiyonlarında; E.1.1'den E.1.4'e kadar farklı formüllerle hazırlanmış olan amaç fonksiyonları aynı performansı vermiştir. E.1.5 formülasyonunda Pre hatasını düşük olmasına rağmen As, Qp ve Qs'in değerleri yüksektir. E.1.6 formülasyonunda ise As artarken Pre ve Qs de artmıştır ancak Qp değeri de azalmıştır.

Tablo 3.1.b' den elde ettiğimiz sonuçlara göre ise İstenilen Süzgeç Yapısına Göre Hata (Ey), Tepe yeniden elde etme hatası (Pre), Durdurma Bandı Zayıflatması (As) kullanarak tasarlanan amaç fonksiyonlarında; E.2.1'den E.2.5'e kadar farklı formüllerle hazırlanmış olan amaç fonksiyonları aynı sonucu vermiştir. E.2.6 formülasyonunda ise As artarken Pre de artmış, Qp ve Qs ise azalmıştır.

Tablo 3.1.c' den elde ettiğimiz sonuçlara göre ise Geçirme Bandı Hatası (Qp), Durdurma Bandı Hatası (Qs) ve Geçiş Bandı Hatası (Qt) kullanarak tasarlanan amaç fonksiyonlarında; E.3.2 ile E.3.3 farklı formüllerle hazırlanmış olan amaç fonksiyonları iken aynı performanslar elde edilmiştir. E.3.1 formülasyonunda Pre hatası ideal değere ulaşmışken As tablodaki en düşük değerindedir ve Qp ile Qs nispeten yüksektir. E.3.4 formülasyonunda ise Pre yine ideal değerindeyken As E.3.1 formülasyonuna göre daha yüksek fakat diğer formülasyonlara göre nispeten düşüktür, Qp ile Qs ise E.3.1 ve E.3.6'ya göre daha düşük diğer formülasyonlara göre daha yüksek değerdedir. E.3.5 formülasyonunda Qs ideale en yakın değerindeyken Pre değerinin artmasına neden olmuş ve Qp'nin azalmasını ve As'nin de artmasını sağlamıştır. E.3.6 formülasyonunda As tablodaki en yüksek değerini alırken Pre'nin, Qp ve Qs'in artmasına neden olmuştur.

Bu sonuçlara göre, gerçekleştirilen çalışma ile filtre tasarımında hangi parametrenin iyileşmesi isteniyorsa buna göre hata ve amaç fonksiyonunun belirlenmesi gerektiği görülmektedir.

KAYNAKÇA

Ertürk, S. *Sayısal işaret işleme*. Birsen Yayınevi, 2009.

Kaya, T., and M. C. İnce. "Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilen Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Yinelemesiz Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı." 6th International Advanced Technologies Symposium-IATS. Vol. 11. 2011.

Saramaki T. Eds., *Finite impulse response filter design*, in Handbook for Digital Signal Processing, New York, NY, USA, Wiley, 1993.

Sharma, I., et al. "Performance of swarm based optimization techniques for designing digital FIR filter: A comparative study." , Engineering science and technology, an international journal 19.3 (2016): 1564-1572.

Kockanat, S. and Karaboga N. "The design approaches of two-dimensional digital filters based on metaheuristic optimization algorithms: a review of the literature." Artificial Intelligence Review, 44.2 (2015): 265-287.

Mitra, Sanjit Kumar, and Yonghong Kuo. *Digital signal processing: a computer-based approach*. Vol. 2. New York: McGraw-Hill, 2006.

Rafia S.M. , Kumar A., Singh G.K., "An improved particle swarm optimization method for multirate filter bank design, Journal of the Franklin Institute, 350 (2013): 757-769.

BÜLBÜL, Halil İbrahim, and Abdulkadir KARACI. "Bilgisayar Ortamında Sesli Komutlari Tanima: Örüntü Tanima Yöntemi." , Kastamonu Eğitim Dergisi, 15.1 (2007): 45-62.

Karaboga N., Kameşlioğlu B., "A New method for quarter mirror filter bank design", Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University, 30 (2015): 297-307,

Datar, Ashutosh, Alok Jain, and Pramod Chandra Sharma. "Design and performance analysis of adjustable window functions based cosine modulated filter banks." Digital signal processing 23.1 (2013): 412-417.

Karaboğa, D. ve Akay B., "Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks", Signal Processing and Communications Applications, 1-4, Eskişehir, Türkiye, 11-13 Haziran 2007.

Karaboga, Dervis, and Bahriye Akay. "A comparative study of artificial bee colony algorithm." Applied mathematics and computation, 214.1 (2009): 108-132.

Kıran, Mustafa Servet. *Optimizasyon problemlerinin çözümü için yapay arı kolonisi algoritması tabanlı yeni yaklaşımlar*. Diss. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.

Bulut, Şükrü. "Orta ölçekli bir işletmede talep tahmin yöntemlerinin uygulanması" *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi* (2006).

Morrison J., *Statistics for Engineers: An Introduction*, Wiley 2009