

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK  
ÇEYREK AYNA SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI**

**Hazırlayan  
Türker KOZA**

**Danışman  
Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA**

**Doktora Tezi**

**Şubat 2019  
KAYSERİ**

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK  
ÇEYREK AYNA SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI  
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan  
Türker KOZA**

**Danışman  
Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FDK-2014-4859 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Şubat 2019  
KAYSERİ**

## BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Türker KOZA

imza

“Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak eyrek Ayna Süzgeç Bankası Tasarımı” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez nerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



**Hazırlayan**

Türker KOZA

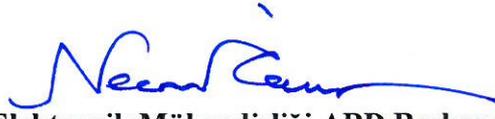
İmza



**Danışman**

Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA

İmza



**Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı**

Prof. Dr. Necmi TAŐPINAR

İmza

**Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA** danışmanlığında **Türker KOZA** tarafından hazırlanan “**Yapay Arı Koloni Algoritması Kullanılarak Çeyrek Ayna Süzgeç Bankası Tasarımı**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

20 / 02 / 2019

**JÜRİ:**

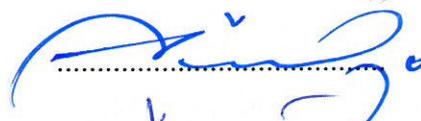
Danışman : Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA



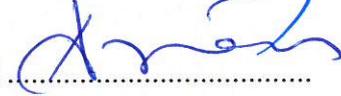
Üye : Prof. Dr. Mustafa ALÇI



Üye : Prof. Dr. İbrahim DEVELİ



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Asuman SAVAŞÇIHABEŞ



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Serdar KOÇKANAT



## ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 12/03/2019 tarih ve 2019/21-03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



12.03.2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Bana doktora eğitimim boyunca bana her konuda destek olan, anlayış ve sabırla bana yol gösteren, akademik hayatın bir süreç olduğunu öğreten değerli danışmanım Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA'ya en içten kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Tez çalışmamın takip edilmesi ve değerlendirilmesinde bana zaman ayırarak yorulmadan, sıkılmadan beni dinleyen ve değerli fikirleriyle beni yönlendiren değerli hocalarım Prof. Dr. Mustafa ALÇI'ya ve Prof. Dr. İbrahim DEVELİ'ye de teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmamda önemli bir yeri olan Yapay Arı Koloni Algoritması'nı anlatan ve bana emeklerini esirgemeyen hocam Prof. Dr. Derviş KARABOĞA'ya da teşekkür ederim. Değerli zamanlarımı ayırarak sınavıma katılma nezaketini gösteren Dr. Öğr. Üyesi Asuman SAVAŞCIHABEŞ'e ve Dr. Öğr. Üyesi Serdar KOÇKANAT'a da ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: FDK-2012-4156) teşekkür ederim.

Ayrıca; tüm eğitim hayatım süresince benim yanımda olan, hem maddi hem de manevi olarak beni daima destekleyen değerli aileme ve çalışmalarımı sürdürürken ki göstermiş olduğu sabır, destek ve sevgi için değerli eşime en içten kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Türker KOZA

Şubat 2019, KAYSERİ

# YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇEYREK AYNA SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI

**Türker KOZA**

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Doktora Tezi, Şubat 2019  
Danışman: Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA**

## ÖZET

Bu tez çalışmasında, etkin bir sezgisel algoritma olan yapay arı koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması, modifiye ABC (mABC) ve hızlı ABC (qABC) algoritmaları ile parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) ve diferansiyel gelişim (Differential Evolution, DE) algoritmaları kullanılarak çeyrek ayna süzgeç (Quadrature Mirror Filter, QMF) bankası tasarımı gerçekleştirilmiştir. İlk olarak prototip süzgeç genlik cevabının tasarımı kullanılarak QMF bankası tasarımı gerçekleştirilmiş ve değişen süzgeç uzunluğu ile farklı prototip süzgeç tasarımlarının QMF bankası üzerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca QMF bankasının çıkışındaki işaretin en az bozulmaya uğraması hedeflenen farklı bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Süzgeç bankasının giriş ve çıkış işaretlerinin zaman, frekans ve güç spektral yoğunluk (GSY) farkları kullanılarak tasarlanan QMF bankalarının süzgeç uzunluğu ile ilişkileri incelenmiştir. Mitral kapak işareti, benzeştirilmiş EEG ve klinik EEG işaretleri sırasıyla zaman, frekans ve GSY tabanlı tasarımlar için gerçekleştirilerek korelasyon açısından başarısı incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çeyrek ayna süzgeç bankası, Yapay arı koloni algoritması, Modifiye yapay arı koloni algoritması, Hızlı yapay arı koloni algoritması, Parçacık sürü optimizasyon algoritması, Diferansiyel gelişim algoritması, Optimizasyon

# QUADRATURE MIRROR FILTER DESIGN BY USING ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

**Türker KOZA**

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**PhD Thesis, February 2019**

**Supervisor: Title(Prof. Dr.) Nurhan KARABOĞA**

## ABSTRACT

In this thesis, Quadrature Mirror Filter (QMF) bank design was performed by artificial bee colony (ABC) algorithm which is an effective heuristic algorithm, modified ABC (mABC) and quick ABC (qABC) algorithms developed by ABC algorithm, particle swarm optimization (PSO) algorithm and differential evolution (DE) algorithm. In the first application, the design of the prototype filter amplitude response were performed using the design of the QMF bank and the effect of different prototype filter designs on the QMF bank with varying filter length were investigated. In addition, a design with the least deterioration of the sign at the exit of the QMF bank was realized. QMF bank input and output signals, time, frequency and power spectral density (PSD) designed by using the differences in the length of the relationship with the filter length of the QMF banks were investigated. Mitral valve signal, simulated EEG and clinical EEG signals were performed for time, frequency and PSD-based designs and their success in correlation was investigated.

**Keywords:** Quadrature mirror filter, Artificial bee colony algorithm, Modified artificial bee colony algorithm, Partical swarm optimization algorithm, Differential evaluation algorithm, Optimization

## İÇİNDEKİLER

### YAPAY ARI KOLONİ ALGORİTMASI KULLANILARAK ÇEYREK AYNA SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK .....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR .....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiv
GİRİŞ .....	1

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Çoklu Hıza Sahip Sayısal İşaret İşleme .....	4
1.2. Örnek Seyreltme .....	5
1.3. Ara Değerleme.....	8
1.4. FIR Süzgeç Bankası.....	10
1.5. İki Kanallı Süzgeç Bankası .....	11
1.6. Örtüşmesiz Süzgeç Bankası.....	14
1.7. Mükemmel ve Mükemmele Yakın Yeniden Oluşturan Süzgeç Bankaları.....	15
1.8. Çeyrek Ayna Süzgeç Bankası.....	16
1.9. Mükemmel Yeniden Oluşturma QMF Bankası.....	16
1.10. Çeyrek Ayna Süzgeç Bankası Tasarımı ve Sezgisel Algoritmaların Kullanımı .....	17

## 2. BÖLÜM

### QMF BANKASI TASARIMINDA KULLANILAN SEZGİSEL ALGORİTMALAR

2.1. Yapay Arı Koloni Algoritması.....	24
2.2. Modifiye Yapay Arı Koloni Algoritması.....	29
2.3. Hızlı Yapay Arı Koloni Algoritması.....	32
2.4. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması.....	34
2.5. Diferansiyel Gelişim Algoritması.....	36

## 3. BÖLÜM

### QMF BANKASI TASARIMI

3.1 Eş Dalgacıklı Süzgeç Yöntemiyle QMF Bankası Tasarımı.....	39
3.2. QMF Bankasının Pencere Fonksiyonu Yöntemiyle Tasarımı .....	42
3.3. Eşdalgacık ve Pencere Fonksiyonu Tasarımlarının Karşılaştırılması.....	47

## 4. BÖLÜM

### SEZGİSEL ALGORİTMALARLA GENLİK CEVABI TABANLI QMF BANKASI TASARIMI

4.1. QMF Bankasının Genlik Cevabı Kullanılarak Tasarımı.....	51
4.2. Genlik Cevabı Kullanılarak QMF Bankası Tasarımında Kullanılan .....	
Algoritmaların Başarımlarının İncelenmesi.....	55
4.2.1. Prototip-1 Süzgecin Performansının incelenmesi .....	55
4.2.2. Prototip-2 Süzgecin Performansının incelenmesi .....	60
4.2.3. Prototip-3 Süzgecin Performansının İncelenmesi.....	65
4.3. Genlik Cevabı ile QMF Bankası Tasarımında Kullanılan Prototip .....	
Süzgeçlerin Başarımlarının İncelenmesi.....	69

## 5. BÖLÜM

### SEZGİSEL ALGORİTMALARLA ZAMAN, FREKANS VE GÜÇ SPEKTRAL YOĞUNLUK TABANLI QMF BANKASI TASARIMI

5.1. Zaman Tabanlı QMF Bankası Tasarımının İncelenmesi.....	72
---	----

5.1.1 Zaman Tabanlı QMF Bankası Tasarımı .....	72
5.1.2 Zaman Tabanlı QMF Bankası Tasarım Sonuçlarının İncelenmesi .....	75
5.2. Frekans Tabanlı QMF Bankası Tasarımının İncelenmesi .....	81
5.2.1 Frekans Tabanlı QMF Bankası Tasarım Yöntemi .....	81
5.2.2 Frekans Tabanlı QMF Bankası Tasarım Sonuçlarının İncelenmesi .....	83
5.3. Güç Spektral Yoğunluk Tabanlı QMF Bankası Tasarımının İncelenmesi .....	88
5.3.1 Güç Spektral Yoğunluk Tabanlı QMF Bankası Tasarım Yöntemi .....	88
5.3.2 GSY Tabanlı QMF Bankası Tasarım Sonuçlarının İncelenmesi .....	90
5.4. Zaman, Frekans ve GSY Tabanlı QMF Bankası Tasarımlarının .....	
Karşılaştırılması .....	95
5.4.1 Önerilen Tasarımların Kendi Aralarında Karşılaştırılması .....	96
5.4.2 Zaman, Frekans ve Güç Spektral Yoğunluk Tabanlı QMF .....	
Banka Tasarımlarının Literatürle Karşılaştırılması	98

## 6. BÖLÜM

### TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

6.1. Tartışma .....	102
6.2. Sonuç ve Öneriler .....	106
KAYNAKÇA .....	107
ÖZGEÇMİŞ .....	117

## KISALTMALAR

$A_s$	Durdurma bandı zayıflaması (Stopband Attenuation)
ABC	Yapay arı kolonisi (Artificial bee colony)
mABC	Değiştirilmiş yapay arı kolonisi (Modified artificial bee colony)
qABC	Hızlı yapay arı kolonisi (Quick artificial bee colony)
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu (Particle swarm optimization)
DE	Diferansiyel gelişim (Differential evolution)
QMF	Çeyrek ayna süzgeç (Quadrature mirror filter)
FIR	Sonlu dürtü yanıtı (Finite impulse response)
MSE	Ortalama karesel hata (Mean square error)
PRE	Yeniden oluşturma tepe hatası (Peak reconstruction error)
NPR	Mükemmele yakın yeniden oluşturma (Nearly perfect reconstruction)
PR	Mükemmel yeniden oluşturma (Perfect reconstruction)

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Genlik cevabı kullanarak QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların kontrol parametreleri.....	22
Tablo 3.1. Eşdalgacık yöntemiyle gerçekleştirilen QMF bankası tasarımlarının süzgeç derecesine göre karşılaştırılması .....	42
Tablo 3.2.a Bartlett, Blackman ve Hamming pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan QMF bankası sonuçları .....	45
Tablo 3.2.b Hanning ve Kaiser pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan QMF bankası sonuçları.....	46
Tablo 4.1. Genlik cevabı kullanarak QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların 1000 çevrim için kontrol parametre değerleri.....	55
Tablo 4.2.a Prototip-1 süzgeç ile QMF bankası tasarımında ABC, mABC ve qABC algoritmalarına ait sonuçlar.....	56
Tablo 4.2.b Prototip-1 süzgeç ile QMF bankası tasarımında DE ve PSO algoritmalarına ait sonuçlar .....	57
Tablo 4.3.a Prototip-2 süzgeç ile QMF bankası tasarımında ABC, mABC ve qABC algoritmalarına ait sonuçlar.....	61
Tablo 4.3.b Prototip-2 süzgeç ile QMF bankası tasarımında DE ve PSO algoritmalarına ait sonuçlar .....	62
Tablo 4.4.a Prototip-3 süzgeç ile QMF bankası tasarımında ABC, mABC ve qABC algoritmalarına ait sonuçlar.....	66
Tablo 4.4.b Prototip-3 süzgeç ile QMF bankası tasarımında DE ve PSO algoritmalarına ait sonuçlar .....	67
Tablo 4.5. Farklı prototip süzgeçlerle tasarlanan QMF bankasının başarımları.....	69
Tablo 5.1. Zaman tabanlı QMF bankası kullanılan algoritmaların 1000 çevrim için kontrol parametre değerleri .....	74
Tablo 5.2.a Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında ABC ve mABC algoritmalarına ait sonuçlar .....	77
Tablo 5.2.b Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında qABC ve DE algoritmalarına ait sonuçlar .....	78
Tablo 5.2.c Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında PSO algoritması sonuçları .....	79

Tablo 5.3.a Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında ABC ve mABC algoritmalarına ait sonuçlar .....	84
Tablo 5.3.b Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında qABC ve DE algoritmalarına ait sonuçlar .....	85
Tablo 5.3.c Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında PSO algoritması sonuçları .....	86
Tablo 5.4.a GSY tabanlı QMF bankası tasarımında ABC ve mABC algoritmalarına ait sonuçlar .....	91
Tablo 5.4.b GSY tabanlı QMF bankası tasarımında qABC ve DE algoritmalarına ait sonuçlar .....	92
Tablo 5.4.c GSY tabanlı QMF bankası tasarımında PSO algoritması sonuçları .....	93
Tablo 5.5. Zaman tabanlı QMF bankası tasarımının literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması .....	98
Tablo 5.6. Frekans tabanlı QMF bankası tasarımının literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması .....	100
Tablo 5.7. GSY tabanlı QMF bankası tasarımının literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması .....	101

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Aşağı örnekleme .....	5
Şekil 1.2. Alt örneklemede frekans spektrumu değişimi .....	7
Şekil 1.3. Örnek seyreltme.....	7
Şekil 1.4. Yukarı örnekleme.....	8
Şekil 1.5. Yukarı örneklemede frekans spektrumu değişimi (M=2).....	9
Şekil 1.6. Ara değerlendirme yapısı .....	9
Şekil 1.7. İki kanallı süzgeç bankası .....	11
Şekil 1.8. Alçak ve yüksek geçiren süzgeçlerin genlik yanıtları.....	12
Şekil 1.9. QMF banka tasarımında kullanılan sezgisel algoritmalar .....	23
Şekil 2.1. ABC algoritması sözde kodu .....	25
Şekil 2.2. mABC algoritması sözde kodu .....	30
Şekil 2.3. qABC algoritması sözde kodu .....	32
Şekil 2.4. PSO algoritması sözde kodu .....	34
Şekil 2.5 DE algoritması sözde kodu.....	36
Şekil 3.1. Alçak geçiren süzgeç için genlik cevabı ve dalgacık salınımları .....	40
Şekil 3.2. Eşdalgacık yöntemi ile prototip süzgeç tasarım sonuçları: (a) prototip süzgeç genlik yanıtları, (b) dB cinsinden genlik yanıtları .....	41
Şekil 3.3. QMF bankası tasarımında kullanılan pencere fonksiyonları .....	44
Şekil 3.4. Süzgeç uzunluklarına göre QMF banka prototip süzgeç genlik yanıtları: (a) N=6, (b) N=24, (c) N=128.....	47
Şekil 3.5 Eşdalgacık ve Kaiser pencere fonksiyonu ile yapılan tasarımların genlik yanıtlarının karşılaştırılması: (a) N=6, (b) N=24, (c) N=128.....	48
Şekil 3.6. Eşdalgacık ve Kaiser pencere fonksiyonu ile yapılan tasarımların karşılaştırılması: (a) N=6, (b) N=24, (c) N=128 .....	49
Şekil 4.1. Genlik yanıtı kullanarak prototip süzgeç tasarımının blok yapısı .....	52
Şekil 4.2. Prototip süzgeç tasarımında kullanılan genlik cevapları .....	54
Şekil 4.3. Prototip-1 süzgeç tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları...58	

Şekil 4.4. Prototip-1 süzgeç tasarımında elde edilen sonuçlar: (a) genlik yanıtları, (b) analiz süzgeç genlik yanıtları, (c) dB ölçeğinde genlik yanıtları, (d) yeniden oluşturma hataları, (e) dB ölçeğinde zayıflama oranları .....	59
Şekil 4.5. Prototip-2 süzgeç tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları...	63
Şekil 4.6. Prototip-2 süzgeç tasarımında elde edilen sonuçlar: (a) genlik yanıtları, (b) analiz süzgeç genlik yanıtları,(c) dB ölçeğinde genlik cevapları, (d) yeniden oluşturma hataları, e) dB ölçeğinde zayıflama oranları .....	64
Şekil 4.7. Prototip-3 süzgeç tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları..	65
Şekil 4.8. Prototip-3 süzgeç tasarımında elde edilen tasarım sonuçları: (a) genlik yanıtları, (b) analiz süzgeç genlik yanıtları, (c) dB ölçeğinde genlik yanıtları, (d) yeniden oluşturma hataları, (e) zayıflama oranları.....	68
Şekil 5.1. Zaman tabanlı QMF bankası tasarım yöntemi blok yapısı. ....	73
Şekil 5.2. Mitral kapak Doppler çevrim işareti. ....	75
Şekil 5.3. Mitral kapak Doppler işaretinin tasarım için kullanılan kısmı .....	75
Şekil 5.4. Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları.....	79
Şekil 5.5. mABC algoritması ile zaman tabanlı QMF bankası tasarımında elde edilen sonuçlar: (a) tasarımda kullanılan işaret ve QMF bankası çıkış işareti, (b) işaretin tamamı ve QMF bankası çıkış işareti, (c) tasarımda kullanılan işaret ve QMF bankası çıkışındaki işaretlerin FFT karşılıkları .....	80
Şekil 5.6. Frekans tabanlı QMF bankası tasarım yöntemi blok yapısı.....	82
Şekil 5.7. Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan EEG işareti: (a) zaman tabanında gösterimi, (b) işaretin tasarım için kullanılan frekans tabanındaki karşılığı. .	83
Şekil 5.8. Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları .....	87
Şekil 5.9 Frekans tabanlı QMF bankası tasarımı sonuçları: (a) zaman tabanında karşılaştırma, (b) frekans tabanında karşılaştırma .....	87
Şekil 5.10. GSY tabanlı QMF bankası tasarım yöntemi blok yapısı. ....	89
Şekil 5.11. GSY tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan klinik EEG işareti: (a) zaman tabanında gösterimi, (b) frekans tabanında gösterimi, (c) GSY gösterimi.....	90
Şekil 5.12. GSY tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları.....	94

Şekil 5.13. GSY tabanlı QMF bankası tasarımı sonuçlarının orijinal işaret ile karşılaştırılması: (a) zaman tabanında, (b) frekans tabanında, (c) GSY karşılaştırması. 95



## GİRİŞ

Sayısal işaret işleme günümüzde yaygın olarak hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Belirli zaman aralıklarında örneklenen analog işaretler sayısallaştırılarak sayısal işaret işlemeye uygun hale getirilir. Sayısal işaret işleme kullanılarak işaretlerin saklanması, işlenmesi analiz ve sentezlenmesi gibi işlemler gerçekleştirilir. İşaretlerin sayısallaştırılmasında ya da sayısal işaretlerin işlenmesinde farklı örnekleme hızlarında çalışılması gerekebilir. İşaretlerin farklı alt bantlara ayrılması, alt bant kodlama ve öznitelik çıkarılması gibi ihtiyaçlar da çoklu hıza sahip sayısal işaret işlemeyi ortaya çıkarmıştır [1, 2].

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte sayısal işaret işleme kapasitesinin artması ve daha fazla veri ile çalışabilmesi sayesinde çoklu hızlı işaret işleme ve işaretlerin alt bant işlemleri kolaylaşmıştır. İşaretlerin alt bantlara ayrılması, örnekleme hızlarının değiştirilmesi ve alt bant kodlama gibi işlemlerde işaretlerin örnekleme oranları değiştirilmektedir. Örnekleme oranı değiştirilen işaretlerdeki genlik, faz ve örtüşme bozulmaları (distortion) oluşmaktadır. Bu bozulmaları giderilmesi için sayısal süzgeçler kullanılmaktadır [3].

Aşağı örnekleme oranının iki olduğu, aşağı örneklenen işaretlerdeki bozulmaların bir alçak bir de yüksek geçiren süzgeç ile giderilerek alt bantlara ayrıldığı yapılardan birisi çeyrek ayna süzgeç (Quadrature mirror filter, QMF) bankasıdır [4]. QMF bankasında aşağı örneklenen iki kanaldaki işaretlerin tekrar yukarı örneklenmesi ve ortaya çıkan bozulmaları gidermek için her kanal için birer sayısal süzgeç kullanılmaktadır. Sayısal süzgeçler sonlu dürtü yanıtı (Finite Impulse Response, FIR) ve sonsuz dürtü yanıtı (Infinite Impulse Response, IIR) sayısal süzgeçler olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. FIR sayısal süzgeçler daima kararlı bir yapıya ve doğrusal bir faz cevabına sahiptirler. QMF bankasında doğrusal fazlı FIR süzgeç kullanılarak faz ve örtüşme bozulmaları giderilmiş olur. Genlik bozulmasını gidermek için QMF bankasında tüm süzgeçler, prototip süzgeç olarak da adlandırılan, alçak geçiren bir

süzgecin dönüşümü ile elde edilir. Böylelikle QMF bankası tasarımı da en uygun prototip süzgecin tasarım problemi olarak kabul edilebilir [5].

QMF bankası prototip süzgeç tasarımı problemleri çok parametrelili ve çok boyutlu optimizasyon problemleridir [6]. Prototip süzgeç genlik cevabının en iyi olması veya süzgeç bankası çıkışı ile giriş işaretinin aynı olmasının istenmesi de tasarımı zorlaştırmaktadır [7]. Küresel araştırma yeteneği ve yakınsama hızı çok daha güçlü olan, problem boyutunun artmasından ve problem türünün değişmesinden kolayca etkilenmeyen sezgisel algoritmaların kullanılması QMF bankası tasarımı için türeve dayalı yöntemlere göre daha uygundur.

Bu tez çalışmasında, 2005 yılında Karaboğa [8] tarafından önerilmiş olan yapay arı koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması kullanılarak QMF bankası tasarımı literatürde ilk kez giriş işaretine bağlı olarak QMF bankası tasarımında kullanılmıştır. Yine bu tez çalışmasında hızlı yapay arı koloni (Quick Artificial Bee Colony, qABC) algoritması ve modifiye yapay arı koloni (Modified Artificial Bee Colony, mABC) algoritması da literatürde ilk defa QMF bankası tasarımında kullanılmıştır. Tasarımda kullanılan ABC ve diğer algoritmalar genlik cevabı kullanılarak ve işaret tabanlı QMF bankası tasarımlarında literatürde sıkça kullanılan sezgisel algoritmalarla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde, çoklu hızlı sayısal işaret işleme ve QMF bankası hakkında temel bilgiler verilmiştir. Literatürde sezgisel yöntemler kullanılarak tasarlanan süzgeç bankası tasarımları incelenerek bu çalışmalar değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde QMF tasarımında kullanılan ABC algoritması, mABC algoritması, qABC algoritması, parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) algoritması ve diferansiyel gelişim (Differential Evolution, DE) algoritmaları anlatılmıştır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde klasik yöntemlerle QMF bankası tasarımı incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Süzgeç bankası tasarımında kullanılan prototip süzgeç, eş dalgacık yöntemi ve pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanmıştır.

Dördüncü bölümde prototip süzgecin genlik cevabının belirlenmesine dayalı QMF bankası tasarımı yöntemi incelenmiştir. Alçak geçiren bir süzgeç olan prototip süzgeç için üç farklı genlik tepkisi oluşturulmuş ve sırasıyla ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmaları kullanılarak prototip süzgeç parametreleri belirlenmiştir. Tasarlanan

prototip süzgeç kullanılarak QMF bankası elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar prototip süzgeç genlik yanıtları ve algoritmalar açısından karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde süzgeç bankasının girişine uygulanan herhangi bir işaret için QMF bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımlarda, QMF bankasının girişindeki işaret ile çıkışındaki işaretin mümkün olduğunca birbirine benzemesi temel alınmıştır. Aynı zamanda örnekleme oranının değişimi ile ortaya çıkan faz, genlik ve örtüşme bozulmaların giderilmesi de sağlanmaktadır. İlk olarak zaman eksenindeki bir işaret için QMF bankası tasarımı gerçekleştirilmiştir. İşaret olarak kalpte bulunan mitral kapak Doppler işareti kullanılmıştır. Mitral kapak Doppler işareti için sırasıyla ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmalarıyla QMF bankası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İkinci tasarım yönteminde işaretlerin frekans eksenindeki dönüşümü olan Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) kullanılmıştır. EEG işareti kullanılarak QMF bankası tasarımları ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmalarıyla gerçekleştirilmiştir. İşaret tabanlı QMF bankası tasarımında son olarak işaretlerin güç spektral yoğunlukları (GSY) kullanılmıştır. Tasarım için klinik bir EEG işareti alınmış ve bu işaretin GSY yoğunluğu kullanılarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

Son olarak altıncı bölümde tartışma, sonuç ve öneriler verilmiştir.

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

#### 1.1. Çoklu Hıza Sahip Sayısal İşaret İşleme

Günlük hayatta kullanılan analog işaretler sayısallaştırılarak daha etkin ve verimli bir biçimde işlenmektedir. Sayısallaştırılmış işaretlerin örnekleme oranlarının değiştirilmesi ihtiyacı nedeniyle çoklu hıza sahip (multirate) sayısal işaret işleme ve süzgeç bankaları kullanılmaktadır [1, 3]. Çoklu hıza sahip sayısal süzgeçler 1970'lerden bu yana önemli bir çalışma konusu olmuştur. Çoklu hıza sahip sayısal işaret işlemede, alt band kodlama, alt bandlara ayırıştırma, işaret ayırıştırma gibi çeşitli işaret işleme operasyonlarının verimliliğini arttırmak için bir sinyalin örnekleme hızı değiştirilir [9]. Aşağı örnekleme (down sampling), örnekleme oranını düşürürken, genişletme veya yukarı örnekleme (up sampling) ile de örnekleme oranı artırılır. Çoklu hıza sahip sayısal süzgeçler en çok ses ve görüntü sıkıştırma, sayısal ses kodlama/kod çözme, rasyonel örnekleme hızı dönüştürmede kullanılmaktadır. Çoklu hıza sahip sayısal işaret işlemenin bazı kullanım alanları şunlardır [5]:

Yukarı örneklemede yani örnekleme frekansının artırılmasında ve sayısal-analog dönüşümden önce sayısal süzgeç gereksinimlerini karşılamak örnekleme frekansı artırılmaktadır. Örnek olarak MP3 formatındaki ses kayıtları için 44,1 kHz örnekleme frekansı kullanılmaktadır. Farklı örnekleme oranı kullanan sayısal ses işareti işleyen sistem ve cihazlarda ve bu sistemlerin veya cihazların birbirine bağlantısında örnekleme oranının değiştirilmesi ihtiyacı oluşmaktadır.

Bir işaretin  $M$  adet alt frekans bandındaki parçaya ayrılmasında: orjinal işaret  $f_s$  örnekleme frekansında örneklenmiş ise ( $f_s/2$  veya örnekleme frekansının yarısı bant genişliğinde) her bir eleman  $f_s/2M$  bant genişliğinde ve  $f_s/M$  örnekleme oranına sahip olur. Böylece işlemciler kullanılarak daha düşük örnekleme hızlarında verimli

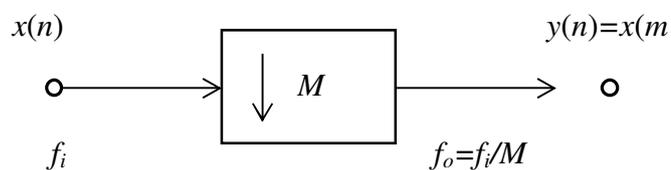
paralel işaret işleme imkânı sağlar. Kullanılan bu teknikle alt bant kodlamada veri sıkıştırma yapılabilir. Örnek olarak konuşma işleminde çeşitli frekans bandı bileşenleri farklı kelime uzunluklarıyla temsil edilir.

Çok dar bir iletim bandınının gerekli olduğu yüksek performanslı süzgeç işlemlerinin uygulanmasında süzgeç derecelerinin artışına çok fazla ihtiyaç duyulur. Böylece işaret geçiş bandı, durdurma bandı ve iletim bantlarını içeren bir dizi alt banda ayırıştırmak suretiyle, her bileşen daha düşük bir oranda işlenebilir ve iletim bandı daha az dar olur. Dolayısıyla gerekli süzgeç karmaşıklığı önemli ölçüde azaltılabilir.

Çoklu hıza sahip sayısal süzgeç aşağı ve yukarı örnekleme işlemleri sonucunda kullanılan iki zamanla değışmez süzgeç içeren bir sistemdir. Böylece sistem örnekleme hızını değıştirerek bir işaretin farklı örnekleme oranları ile elde edilmesine olanak verir. Örnekleme hızı dönüşümü örnekleme hızının düşürülmesi ve artırılması olmak üzere iki temel işleme dayanır. Herhangi bir tamsayı çarpanıyla örnekleme hızı düşürme işlemine örnek seyreltme, örnekleme hızının arttırmasına ise interpolasyon (ara değerleme) denir [10].

## 1.2. Örnek Seyreltme

Orjinal örnek kümesindeki verinin azalması için yapılan örnekleme oranının azaltılması işlemine örnek seyreltme denir. Bu işlem, Şekil.1’de görüleceği üzere süzgeçten geçirme (filtering) ve aşağı örnekleme (down sampling) olmak üzere iki aşamadan oluşur:



Şekil 1.1. Aşağı örnekleme

Aşağı örnekleme ile  $f_i$  giriş örnekleme oranı aşağı örnekleme oranı olarak da bilinen bir tam sayı çarpanı  $M$  ile azaltılır. Şekilde kutu içerisinde aşağı ok ile bu durum temsil edilmektedir.  $y_m$  çıkış işareti aşağı örneklenmiş işaret olarak adlandırılır ve sadece giriş işaretininin her  $M$ . örneği alınıp diğerlerinin tümü göz ardı edilerek belirlenir,

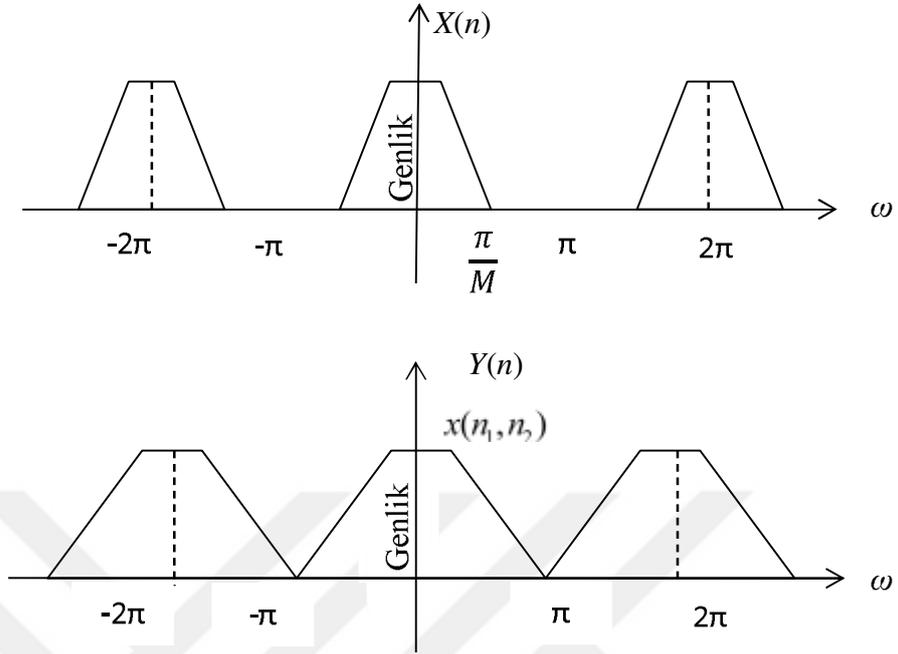
$$y_m = x(mM) \quad (1.1)$$

Burada ilk olarak giriş işareti,  $M$  den sıfıra kadar tamsayı katlarından oluşan işaretlerin tüm örneklerinden oluşmaktadır. İkinci olarak da tüm sıfırların göz ardı edilerek oluşturulduğu aşağı örnekleme işareti elde edilir. Böylece  $m$  zamanındaki çıkış girişin  $mM$  zamanındaki karşılığına eşittir. Sonuç olarak örnekleme sayılarının  $M$ 'nin katları olan giriş örnekleri elde tutulmaktadır.

Orijinal işaretin frekans spektrumu  $X(\omega)$  olmak üzere çıkış işaretinin spektrumu  $Y(\omega)$  aşağıdaki gibi elde edilebilir.

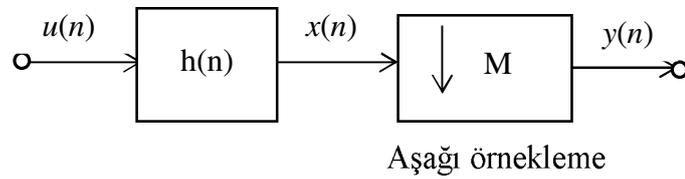
$$Y(\omega) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} X\left(\frac{\omega - 2\pi n}{M}\right) \quad (1.2)$$

Eşitlik kullanılarak aşağı örnekleme işlemi daha iyi açıklanabilir.  $X(\omega)$ ,  $M$  çarpanı ile genişletilebilir ve genişletilmiş spektrum  $2\pi$  ve katlarıyla ötelenerek  $M-1$  adet ötelenmiş spektrum elde edilir. Şekil 1.2 üzerinde gösterildiği üzere orijinal spektrum ve ötelenmiş spektrumların toplamları  $M$  çarpanına bölünerek yeni frekans spektrumu elde edilir. Alt örnekleme işlemi giriş işaretinin zaman ekseninde sıkıştırılmış hali iken frekans ekseninde ise genişlemeye neden olur. Örneklenen işaretin spektrumuna geçerken spektrum genişliği  $M$  kat azalırken frekans ekseninde spektrumun  $2\pi$  ve katlarında periyodikliği bozulmadan  $M$  kat yayılma meydana gelir. Eğer işaret örnekleme oranı  $M\omega \leq \pi$  şartını sağlamıyorsa yani işaret bant sınırları bu aralıkta değilse örneklenen işaretin frekans spektrumunda örtüşme (aliasing) meydana gelir dolayısıyla işarete bilgi kaybı ve bozulma oluşur.



Şekil 1.2. Alt örneklemede frekans spektrumu değişimi

Örtüşmeyi önlemek için aşağı örneklenen işaretin frekans spektrumunu düzenlemek için bir süzgeç kullanılır. Bu süzgecin kesim frekansının da  $M\omega \leq \pi$  şartını sağlaması gerekir. Örneklenen işaretin bant genişliği süzgeç ile daraltıldığında işaretle bir miktar bilgi kaybı olmaktadır ancak bu kayıp işaretin örnek sayısının azaltılması ile elde edilen kazanç için tercih edilmektedir

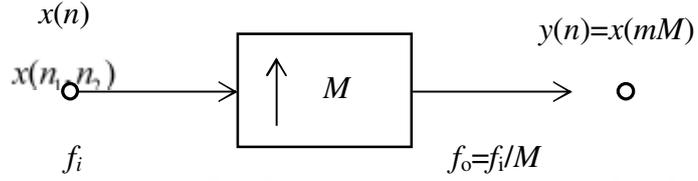


Şekil 1.3. Örnek seyreltme

Örtüşmeyi önleyen bu süzgecin alt örnekleme ile kullanımı da Şekil 1.3 üzerinde gösterilmektedir. Kullanılan bu işleme örnek seyreltme, süzgece ise örnek seyreltici (decimator) veya örtüşme önleyici süzgeç (anti aliasing filter) adı verilir.

### 1.3. Ara Değerleme

Örnek sayısının artırılması işlemine ara değerleme adı verilmekte olup örnek seyreltme işleminin tersidir. Yukarı örnekleme işlemi Şekil 1.4 üzerinde gösterilmekte olup,  $M-1$  adet sıfırın her bir örnek çifti arasına eklenmesiyle oluşur. Yukarı örnekleme işlemi bir ok ve örnekleme katsayısı ile ifade edilir.



Şekil 1.4. Yukarı örnekleme

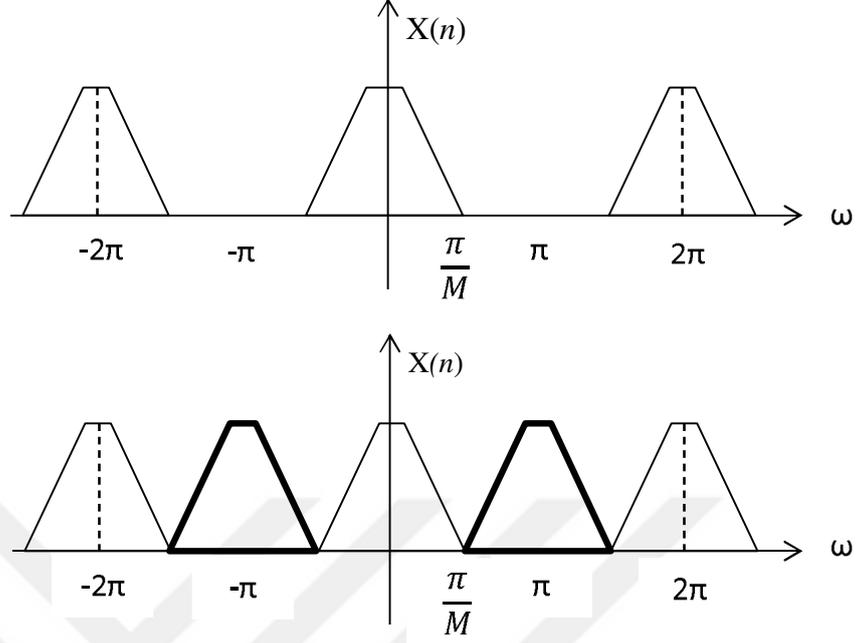
$M$  örnekleme oranının artırılması için kullanılan katsayı olup ara değerleme (interpolasyon) etkeni olarak adlandırılır.

$$Y(n) = \begin{cases} x\left(\frac{n}{M}\right) & n = mM \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (1.3)$$

Burada  $\frac{n}{M}$  bir tamsayıdır ve giriş işareti ile yukarı örneklenmiş çıkış işareti arasındaki bağıntı Eşitlik 1.4'deki gibi tanımlanabilir.

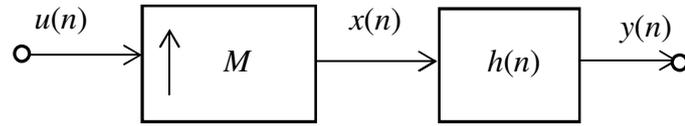
$$Y(\omega) = X(\omega M) \quad (1.4)$$

Yukarı örnekleme işlemi frekans spektrumunda sıkıştırma etkisi göstermektedir. Giriş işareti spektrumu  $X(\omega)$ ,  $M$  çarpanı ile sıkıştırılarak çıkış işareti spektrumu elde edilir. Şekil 1.5 üzerinden de görüleceği üzere  $2\pi$  ile periyodik olan giriş işareti için yukarı örneklenecek ara değerlenen işaretin spektrumu  $2\pi/M$  ile periyodiktir, yani her  $2\pi/M$  değeri için işaretin frekans spektrumunda kopyalar oluşur.



Şekil 1.5. Yukarı örneklemede frekans spektrumu değişimi ( $M=2$ )

Yukarı örnekleme işlemi sonucu oluşan kopya frekans spektrumlarına görüntü (mirroring) adı verilir. Şekil 1.5 üzerinde  $M=2$  için oluşan görüntüler koyu renkli olarak çizdirilmiştir.  $0 - 2\pi$  aralığı için toplamda  $M-1$  adet görüntü oluşacaktır. İstenmeyen görüntü frekans spektrumlarını ortadan kaldırmak için yukarı örnekleme işlemi ile birlikte kesim frekansı  $M\omega \leq \pi$  olan alçak geçiren bir süzgece ihtiyaç duyulmaktadır. Zaman ekseninde yukarı örnekleme ile sıfır değer atanan yeni örnekler ara değerlerle doldurulduğu için kullanılan bu süzgeçlere ara değerlendirme süzgeci (interpolation filter) adı verilir. Kullanılan ara değerlendirme yapısı Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Yukarı örnekleme

Şekil 1.6. Ara değerlendirme yapısı

Örnek seyreltme ve ara değerlendirme yapılarında yüksek dereceli süzgeç kullanılması gerekmektedir. Bu sistemlerde IIR süzgeç kullanılırsa, tüm geri besleme değerlerinin

her bir yeni giriş değeri için yeniden hesaplanması gerekecektir. Diğer taraftan FIR süzgeçlerin hiçbir geri beslemesi olmadığından çıkış işaretinde kullanılmayan pek çok terim gereksiz yere hesaplanacaktır. FIR süzgeçler düşük bir örnekleme oranında gerçekleştirilebilirse daha hassas bir yapı oluşturulabilir. Çoklu hıza sahip sayısal süzgeçler bu amacı yerine getirmektedir.

#### 1.4. FIR Süzgeç Bankası

Sayısal süzgeç bankaları IIR ve FIR süzgeç bankaları olmak üzere ikiye ayrılabilir. Daha düşük dereceli IIR süzgeçlerin yüksek dereceli FIR süzgeçlere göre daha başarılı olması nedeniyle IIR süzgeçler tercih edilmektedir. Ancak IIR süzgeçler adaptasyon süreci boyunca sürekli kararlı kalamamaları nedeniyle küresel minimum yerine yerel minimumu temsil eden sonuçları da temsil edebilmektedirler IIR süzgeçlerin geri beslemeli yapıya sahip olmaları ve hata yüzeyleri çok modlu olduğu için tasarımları FIR süzgeçlere göre daha zordur. FIR süzgeçler ise daima kararlı olmaları, tasarım kolaylığı ve tasarımda işlem maliyeti açısından daha fazla tercih edilmektedirler. Doğrusal fazlı FIR süzgeçlerin tasarımı sayesinde daha önceden bahsedilen aşağı ve yukarı örnekleme sonucu oluşan hataların giderilmesinde kullanılmaya daha uygundurlar.

$M$  süzgeç uzunluğu olmak üzere süzgeç çıkış ifadesi Eşitlik 1.5 ile gösterilebilir.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} h(k)x(n-k) \quad (1.5)$$

Burada  $y(n)$  çıkış işaretini,  $x(n)$  ise giriş işaretini ifade etmektedir.  $h(k)$  ise süzgecin darbe cevabını ifade etmekte ve süzgeç katsayıları vektöründen oluşmaktadır. Süzgecin frekans cevabı  $H(e^{j\omega})$  ise Eşitlik 1.6 ile ifade edilebilir.

$$H(e^{j\omega}) = \sum_{k=0}^{M-1} h(k)e^{-jk\omega} \quad (1.6)$$

Doğrusal faz koşulu süzgeç katsayıları üzerinde simetri koşullarının uygulanması ile elde edilebilir [11]. Simetrik süzgeç koşulları Eşitlik 1.7 ile ifade edilirken simetrik olmayan süzgeç koşulları Eşitlik 1.8 ile ifade edilebilir.

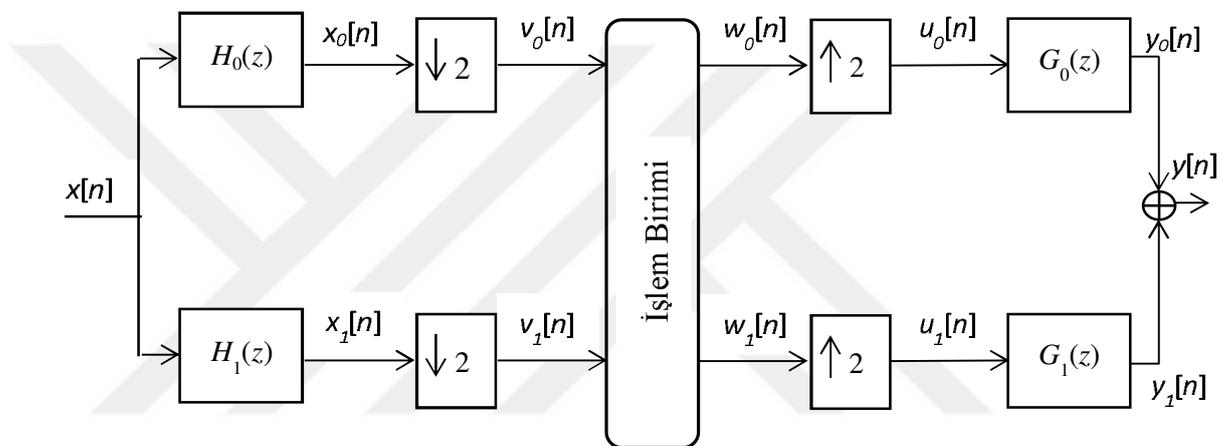
$$h(k) = h(M-1-k), \quad k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (1.7)$$

$$h(k) = -h(M-1-k), \quad k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (1.8)$$

Simetrik süzgeç şartlarını sağlayan süzgeçleri için sabit faz gecikmesi oluşurken simetrik olmayan süzgeçlerde ise grup gecikmesi oluşmaktadır.

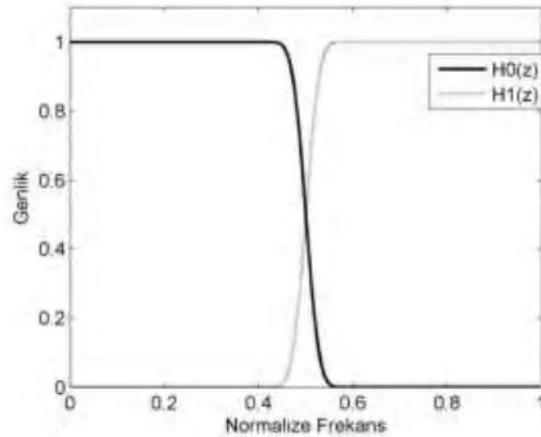
### 1.5. İki Kanallı Süzgeç Bankası

Çoklu hıza sahip sayısal süzgeçlerin en temel biçimi ve işaretleri iki kanala ayırarak işlem yapan süzgeçlere Çeyrek Ayna Süzgeç adı verilir[12]. Bu süzgeçlere analiz-sentez süzgeç bankası adı da verilmektedir. Şekil 1.7’de en temel analiz-sentez süzgeç bankası olan iki kanallı süzgeç bankası görülmektedir.



Şekil 1.7. İki kanallı süzgeç bankası

Giriş işareti  $x[n]$ , bir alçak geçiren süzgeç  $H_0(z)$  ve yüksek geçiren süzgeç  $H_1(z)$  ile iki kanala ayrılmaktadır. Süzgeçlerin görevi daha önceki bölümde anlatıldığı üzere giriş işaretinin spektrumunu sınırlamaktır. Daha sonra işaret her iki kanalda da 2 oranında örnek seyreltme işlemine tabi tutulmaktadır. İşlem birimi adındaki birimde kanal ayırma, kodlama benzeri işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Tekrar 2 oranında yukarı örneklenen işaretler birer yüksek geçiren süzgeç  $G_0(z)$  ve alçak geçiren süzgeç  $G_1(z)$  yardımıyla her iki kanal çıkışındaki işaretlerin toplamı ile çıkış işareti elde edilmektedir. İstenilen durum ise giriş işareti  $x[n]$  ile çıkış işaretinin  $y[n]$  birbiri ile aynı olmasıdır.



Şekil 1.8. Alçak ve yüksek geçiren süzgeçlerin genlik yanıtları

Şekil 1.8'de alçak geçiren süzgeç  $H_0(z)$  ve yüksek geçiren süzgeç  $H_1(z)$  genlik yanıtları gösterilmektedir. Görüleceği üzere yüksek geçiren süzgeç genlik cevabı alçak geçiren süzgecin tersi ya da ayna görüntüsüdür.

Analiz süzgeç bankası kısmında  $x[n]$  giriş işareti, alçak geçiren süzgeç  $H_0(z)$  ve yüksek geçiren süzgeç  $H_1(z)$  çiftine uygulandığında alçak geçiren kanal işareti  $x_0[n]$  ve yüksek geçiren kanal işareti  $x_1[n]$  elde edilmiş olur. Her iki kanal işareti z-dönüşümleri alınarak ifade edilirse Eşitlik 1.9 elde edilebilir.

$$x_0(z) = H_0(z)X(z) , \quad x_1(z) = H_1(z)X(z) \quad (1.9)$$

Süzgeçten geçen  $x_0[n]$  ve  $x_1[n]$  işaretleri iki oranında aşağı örneklenerek  $v_0[n]$  ve  $v_1[n]$  elde edilir.  $x(z)$  giriş işaretinin z-dönüşümü ile  $v_0(z)$  ve  $v_1(z)$  bulunabilir.

$$v_0(z) = \frac{1}{2} \left[ H_0 \left( z^{1/2} \right) X \left( z^{1/2} \right) + H_0 \left( -z^{1/2} \right) X \left( -z^{1/2} \right) \right] \quad (1.10)$$

$$v_1(z) = \frac{1}{2} \left[ H_1 \left( z^{1/2} \right) X \left( z^{1/2} \right) + H_1 \left( -z^{1/2} \right) X \left( -z^{1/2} \right) \right] \quad (1.11)$$

Eşitlik 1.10 ve 1.11 için ilk terimler aşağı örnekleme sonucu elde edilmek istenen işareti ifade etmektedir. İkinci terimler ise aşağı örneklenen işaretin frekanslarının örtüşmesi sonucu oluşur.  $w_0[n]$  ve  $w_1[n]$  işlem biriminde yapılan değişiklikler nedeniyle de  $v_0[n]$  ve  $v_1[n]$  ile farklı olabilir.

Sentez bankasında  $w_0[n]$  ve  $w_1[n]$  işaret çifti öncelikle 2 oranında yukarı örneklendir. Yukarı örneklenen işaretlerin spektrumunda oluşan kopyaları ortadan kaldırmak için

$G_0(z)$  ve  $G_1(z)$  süzgeçleri kullanılır. Süzgeçlerden elde edilen işaretlerin toplamı da çıkış işareti  $y[n]$ 'i oluşturur.  $w_0[n]=v_0[n]$  ve  $w_1[n]=v_1[n]$  için:

$$u_0(z) = v_0(z^2) \frac{1}{2} [x_0(z) + x_0(-z)] \quad (1.12)$$

$$u_1(z) = v_1(z^2) \frac{1}{2} [x_1(z) + x_1(-z)] \quad (1.13)$$

Yukarı örnekleme ile örnekleme frekansı analiz süzgeç kısmına gelmeden önceki haline ulaşmış olur. Eşitlik 1.12 ve 1.13 içindeki  $x_0(z)$  ve  $x_1(z)$  istenilen işaret bileşenlerini ifade ederken  $x_0(-z)$  ve  $x_1(-z)$  ise yine yukarı örneklemeden dolayı oluşan istenmeyen frekans bileşenlerini ifade etmektedir.  $G_0(z)$  ve  $G_1(z)$  süzgeçleri çıkışında elde edilen işaret çiftlerinin  $z$  dönüşümü aşağıda verilmektedir.

$$y_0(z) = G_0(z)v_0(z^2) = \frac{1}{2} [G_0(z)x_0(z) + G_0(z)x_0(-z)] \quad (1.14)$$

$$y_1(z) = G_1(z)v_1(z^2) = \frac{1}{2} [G_1(z)x_1(z) + G_1(z)x_1(-z)] \quad (1.15)$$

Son olarak da süzgeç çıkışlarındaki işaretler  $y_0[n]$  ve  $y_1[n]$  toplanarak çıkış işaretini  $y[n]$  oluşturur:  $z$ -dönüşümü ile çıkış işareti aşağıdaki gibi bulunur.

$$Y(z) = y_0(z) + y_1(z) \quad (1.16)$$

Daha önce açıklanan 1.10-1.15 eşitlikleri ve  $z$ -dönüşümünü kullanarak çıkış işaretini giriş işareti  $x(z)$  ve oluşan giriş örtüşme işareti  $x(-z)$  cinsinden yazılırsa eşitlik aşağıdaki gibi yeniden elde edilebilir.

$$Y(z) = \frac{1}{2} [H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z)]X(z) + \frac{1}{2} [H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z)]X(-z) \quad (1.17)$$

Eşitlik 1.17'teki ilk terim analiz-sentez süzgeç için giriş-çıkış ilişkisini gösterirken, ikinci terim ise oluşan örtüşme ve görüntüleme etkisini göstermektedir.

## 1.6. Örtüşmesiz Süzgeç Bankası

Örtüşmesiz süzgeç bankası (Aliasing free filter bank) elde etmek için Eşitlik 1.17'deki ikinci terimle tanımlanan bozulmayı gidermek gerekir. Böylece aşağı örneklemeden oluşan örtüşme ve yukarı örneklemeden oluşan görüntüleme giderilmeye çalışılır.

$$Y(z) = T(z)X(z) + A(z)X(-z) \quad (1.18)$$

Eşitlik 1.18 içinde bozulma transfer fonksiyonu

$$T(z) = \frac{1}{2}[H_0(z)G_0(z) + H_1(z)G_1(z)] \quad (1.19)$$

şeklinde tanımlanır, aynı eşitlikten örtüşme transfer fonksiyonu

$$A(z) = \frac{1}{2}[H_0(-z)G_0(z) + H_1(-z)G_1(z)] \quad (1.20)$$

Örtüşmesiz süzgeç bankasının oluşabilmesi için örtüşme-görüntüleme terimlerini içerisinde barındıran Eşitlik 1.20'nin de içeriğinin sıfıra denk,  $A(z) \cong 0$ , olması gerekmektedir. Bu durumu elde etmek için sentez süzgeçleri:

$$G_0(z) = 2H_0(-z) \quad (1.21)$$

$$G_1(z) = -2H_1(-z) \quad (1.22)$$

olarak yazılırsa örtüşme transfer fonksiyonu giderilmiş olur ve Eşitlik 1.19

$$Y(z) = T(z)X(z) \quad (1.23)$$

olarak elde edilir. Burada bozulma transfer fonksiyonu  $T(z)$  ise

$$T(z) = H_0(z)H_1(-z) - H_0(-z)H_1(z) \quad (1.24)$$

$T(z)$  bozulma transfer fonksiyonu tüm analiz-sentez süzgeç bankasının bozulmasını ifade eder. Frekans ekseninde ise

$$T(e^{jw}) = |T(e^{jw})|e^{jarg[T(e^{jw})]} \quad (1.25)$$

Burada analiz-sentez süzgeç bankası için  $|T(e^{jw})|$  genlik bozulmasını,  $arg[T(e^{jw})]$  ise faz bozulmasını ifade etmektedir.

### 1.7. Mükemmel ve Mükemmele Yakın Yeniden Oluşturan Süzgeç Bankaları

Analiz-sentez süzgeç bankası giriş ile çıkış arasındaki ilişkiye göre mükemmel yeniden oluşturan (perfect reconstruction-PR) ve mükemmele yakın yeniden oluşturan (nearly perfect reconstruction-NPR) süzgeç bankaları olarak ifade edilirler [13].

Mükemmel yeniden oluşturma durumunda analiz-sentez süzgeç bankasının çıkışı  $y[n]$  girişin  $x[n]$  zaman bakımından geciktirilmiş bir biçimi olmaktadır.

$$y[n] = x[n - K] \quad (1.26)$$

1.26'daki durum istenilmesine rağmen pek çok uygulamada mükemmel yeniden oluşturma gerçekleştirilememektedir. Bunun yerine ise daha ekonomik ve işlem maliyeti düşük olan mükemmele yakın yeniden oluşturma kullanılır:

$$y[n] \approx x[n - K] \quad (1.27)$$

İki kanallı analiz-sentez süzgeç bankasında bozulma transfer fonksiyonu, mükemmel yeniden oluşturmada, net bir gecikmeyi sağlar.

$$T(z) = z^{-K} \quad (1.28)$$

Mükemmele yakın yeniden oluşturma durumunda ise Eşitlik 1.27'de olduğu gibi bozulma transfer fonksiyonu ideal çözümün tahmini bir yaklaşımıdır.

Eğer  $T(z)$  bir tam geçiren transfer fonksiyonu ise

$$T(e^{j\omega}) = \text{sabit, tüm } \omega \text{ için} \quad (1.29)$$

Süzgeç bankası genlik koruma özelliğini karşılamış olmaktadır. Eğer  $T(z)$  doğrusal faza sahip transfer fonksiyonu ise

$$\arg[T(e^{j\omega})] = K\omega \quad (1.30)$$

Böylece analiz-sentez süzgeç bankasında hiçbir faz bozulması olmaz[14].

### 1.8. Çeyrek Ayna Süzgeç Bankası

Çeyrek ayna süzgeç bankası Şekil 1.7 üzerinde gösterilen iki kanallı süzgeç bankası yapısını kullanmaktadır. Kullanılan dört süzgeçten prototip süzgeç olarak adlandırılan alçak geçiren süzgeç  $H_0(z)$ , diğer süzgeçleri elde etmek için kullanılmaktadır. Çeyrek tanımı dört süzgeçten birisinin kullanımını, ayna ise her süzgecin prototip süzgecin ayna görüntülerinden birisi olmasını ifade eder. Diğer bir deyişle çeyrek ayna süzgeç bankası alçak ve yüksek geçiren süzgeç çiftlerindeki simetriyi ifade eder. Bu simetriye eşlenik çeyrek ayna süzgeç (Conjugate quadrature filter) yapısı da denilmektedir [15]. Eşlenik yapı Eşitlik 1.27 ve 1.28 ile ifade edilir.

$$H_1(z) = H_0(-z) \quad (1.31)$$

$$G_0(z) = 2H_0(z), G_1(z) = -2H_1(z) \quad (1.32)$$

Eşitliklerden görüleceği üzere tüm diğer süzgeçler prototip süzgecin eşleniğinden elde edilmektedir. Eşitlik 1.31 ve 1.32 kullanılarak analiz ve sentez süzgeç bankasındaki örtüşme giderilmiş olur.  $T(z)$  bozulma transfer fonksiyonu da  $H_0(z)$  cinsinden yazılır:

$$T(z) = H_0^2(z) - H_1^2(z) = H_0^2(z) - H_0^2(-z) \quad (1.33)$$

Eşitlik 1.33 ile analiz-sentez süzgeç bankasındaki tüm genlik ve faz bozulması sadece  $H_0(z)$  ile belirlenebilmektedir.  $H_0(z)$  doğrusal fazlı  $N$  uzunluğunda bir FIR süzgeç ise frekans cevabı aşağıdaki eşitlikteki gibi elde edilir.

$$T(e^{j\omega}) = e^{-j\omega(N-1)} \left[ |H_0(e^{j\omega})|^2 - (-1)^{N-1} |H_1(e^{j\omega})|^2 \right] \quad (1.34)$$

Eşitlik 1.34 ile elde edilen frekans cevabı kullanılarak QMF bankası tasarımı yapılabilmektedir. Ancak eşitlikteki analiz süzgeçlerin  $H_0(z)$  prototip süzgecin eşleniği olarak elde edilmesi tasarımı kolaylaştıracaktır. Böylece mükemmel yeniden oluşturma yapısı kullanılabilir.

### 1.9. Mükemmel Yeniden Oluşturma QMF Bankası

Şekil 1.8 üzerinde de görüldüğü üzere  $H_0(z)$  ve  $H_1(z)$  süzgeç çiftinin genlik cevabı geçiş frekansında ( $\omega_c = \pi/2$ ) eşittir.  $N$  süzgeç derecesi tek olması durumunda  $\omega = \pi/2$  frekansı

civarında fazlaca etkili genlik bozulması oluşacaktır [15, 16]. Eğer çeyrek ayna süzgecinde doğrusal fazlı çift  $N$  derecesine sahip bir FIR süzgeç kullanılırsa:

$$T(e^{jw}) = e^{-jw(N-1)} \left[ |H_0(e^{jw})|^2 + |H_1(e^{jw})|^2 \right] \quad (1.35)$$

Eşitlikteki gibi yazılabilir. Doğrusal fazlı FIR çeyrek ayna süzgeci için mükemmel yeniden oluşturma şartı aşağıdaki gibi yazılabilir

$$|H_0(e^{jw})|^2 + |H_1(e^{jw})|^2 = 1 \quad (1.36)$$

Eşitlik 1.36'ya göre doğrusal faz çeyrek ayna süzgecinde faz bozulması bulunmamaktadır ancak genlik bozulması birinci derecedeki durum hariç devamlı olacaktır. Eşitlik 1.36 şartını sağlayacak süzgeç parametrelerinin tasarımı önemli bir sorun olmakta ve bilgisayar destekli optimizasyon metodları ile  $H_0(z)$  parametrelerinin belirlenmesinde mükemmel yakın yeniden oluşturma (NPR) kullanılmaktadır.

$$|H_0(e^{jw})|^2 + |H_1(e^{jw})|^2 \cong 1 \quad (1.37)$$

Bu yöntem ilk olarak Johnston tarafından uygulanmıştır [17]. Daha sonra ise farklı yöntemler denenmiştir [4, 12]. Bunlar arasında FIR ve IIR süzgeç tasarımları olduğu gibi görüntü işleme üzerine de çalışmalar yapılmıştır [9, 18, 19].

### 1.10. Çeyrek Ayna Süzgeç Bankası Tasarımı ve Sezgisel Algoritmaların Kullanımı

QMF bankası çıkışında oluşturulan işaretlerde faz, örtüşme ve genlik olmak üzere üç tip bozulma bulunduğu daha önce ifade edilmişti. Bunlardan faz ve örtüşme bozulmalarının doğrusal fazlı FIR süzgeçler kullanılarak giderilmektedir. Ancak genlik bozulmasının giderilmesi diğerlerine göre daha zor olduğu için QMF bankası tasarımları genlik bozulmasını gidermek üzere yapılan birer tasarım haline gelmektedir [9]. Bu tasarımların tamamı  $H_0$  yani prototip süzgecin kendisi ve prototip süzgecin dönüşümü ile elde edilen kriterlere göre gerçekleştirilmiştir. Bunlardan genlik bozulmasını gidermek için  $H_0$  süzgeci katsayılarının optimize edilmesi için pek çok amaç fonksiyonu ya da hata kriteri önerilmiştir [20-23].

Tasarımın en iyi ve hızlı biçimde elde edilmesi de ancak optimizasyon algoritmaları sayesinde olmaktadır. Türeve dayalı geleneksel optimizasyon algoritmaları çeyrek ayna

süzgeç bankası tasarımında sıklıkla kullanılmıştır. İlk olarak Jain-Crochiere [12] tarafından önerilen yöntem kullanılarak QMF bankası tasarımı gerçekleştirildikten sonra çeşitli tasarım yöntemleri geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir [24-27].

Sezgisel algoritmalar; doğadan, canlıların davranış biçimlerinden esinlenerek geliştirilmiş optimizasyon algoritmalarıdır [28]. Bu algoritmalar popülasyon, iteratif, stokastik ve deterministik tabanlı algoritmalar olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar. Özellikle popülasyon tabanlı algoritmalar problemlerin çözümünde diğerlerine göre daha fazla kullanılmışlardır. Sezgisel optimizasyon algoritmaları özellikle çok boyutlu, çok değişkenli veya matematik olarak modellenmesi mümkün olmayan problemlerin çözümünde kullanılmakta ve yüksek performansları ile problemlerde işlem yükünü azaltmaktadırlar [29].

QMF bankası tasarımında çok sayıda sezgisel algoritma araştırmacılar tarafından kullanılmıştır. Literatürde, Genetik algoritma (Genetic Algorithm, GA) [30-37], PSO [20, 38-40], DE [41-43], ABC [7, 44], guguk kuşu algoritması (Cuckoo Search, CS) [45, 46] ile yapılan tasarımlar bulunmaktadır .

Sriranganathan ve arkadaşları 1997 yılında yaptıkları çalışmada GA kullanarak PR şartlarında QMF bankası tasarımı yapmışlardır. Çalışmalarında kafes yapılı bir sistemin katsayılarının hesaplanmasında GA kullanılmıştır [47].

Yu ve arkadaşları 2001 yılında GA kullanarak çarpım elemanı içermeyen kafes yapılı QMF bankası tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Yeni doğal seçim süresi ve kromozom kodlaması kullanılarak geliştirilen GA ile çarpım elemansız kafes yapılı QMF bankası mükemmel yeniden oluşturma şartlarında gerçekleştirilmiştir [48].

Yu ve arkadaşları 2002 yılında GA'yı, kanonik işaretli dijit (Canonical Signed Digit, CSD) kullanarak çarpım elemanı içermeyen tasarımda kullanmışlardır. Yine GA içerisinde kromozom yapısındaki değişimle elde edilen geliştirme kullanılarak mükemmel yeniden oluşturma şartlarında çarpım elemansız kafes yapılı QMF bankası tasarımını incelemişlerdir. Bu, yukarıda açıklanan çalışmaya benzer bir çalışmadır [37].

Uppalapati ve arkadaşlarının 2005 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada GA ile kanonik işaretli dijit kullanarak QMF bankası tasarımını incelemişlerdir. Çalışmada çaprazlama

ve mutasyon işlemlerinden sonra önerilen iyileştirme tekniği kullanılarak süzgeç bankası katsayılarında sıfır olmayan hane sayısını maksimum seviyede tutma önerilmiştir [32].

Park ve Cho tarafından geliştirilen çalışmada kafes yapılı QMF bankası her kafes yapısı kaskad bağlantısı koordinat dönüşümlü sayısal bilgisayar (COordinate Rotation DIgital Computer, CORDIC) yöntemi ile tasarlanmıştır. Süzgeç parametreleri, yerel araştırma hızı artırılmış GA kullanılarak optimize edilmiştir. Durdurma bandındaki maksimum dalgacık ölçülerek tasarım gerçekleştirilmiştir [49].

Samadi ve Ahmadi 2007 yılında kanonik işaretli dijit kullanarak iki farklı GA iyileştirme yöntemi ile QMF bankası tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Koromozomlar üzerinde yapılan GA iyileştirmesi ve kanonik işaretli dijit için geliştirilmiş kromozom kodlama yöntemi ile FIR ve IIR QMF bankası tasarlanmıştır. FIR QMF tasarımı ortalama karesel hataların (mean square error, mse) her bir kromozom için hesaplanmasıyla elde edilirken IIR süzgeç tasarımı için ise ayrıca kararlılık şartları kullanılmıştır [35].

Jing ve arkadaşları 2007 yılında karınca koloni algoritması (Ant Colony Algorithm, ACA) kullanarak PR şartında QMF bankası tasarımını incelemişlerdir. Çalışmada alt bantlar için yeniden oluşturma hatası araştırılarak incelenmiştir [50].

Manoj ve Elias 2009 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada GA kullanarak çarpım elemanı içermeyen düzenli olmayan (transmultiplexer nonuniform) QMF bankası tasarımını incelemişlerdir. Kanonik işaretli dijit kullanarak yeni bir kromozom kodlama şemasının sonuçlarını, Isıl işlem (simulated annealing, SA) algoritması ve sembolik GA kullanarak karşılaştırmışlardır [36].

Kumar ve arkadaşları 2010 yılında PSO algoritması kullanarak durdurma bandı hatası, geçiş bandı hatası ve genlik yanıtının  $\omega=0,5\pi$  frekansındaki değerini içeren bir hata fonksiyonu kullanarak QMF bankası tasarımını incelemiştir [20].

Upendar ve arkadaşları 2010 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, PSO algoritması ile QMF bankası tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Süzgeç bankası tasarımlarını, geçiş ve durdurma bandındaki mse hatalarını kullanarak üç örnek üzerinde göstermişlerdir [40].

Manoj ve Elias 2012 yılında çarpım elemanı içermeyen düzenli olmayan (transmultiplexer nonuniform) QMF bankası tasarımını incelemişlerdir. Kanonik işaretli dijital kullanarak yeni bir kromozom kodlama şeması yardımıyla elde edilen tasarım sonuçlarını ABC, PSO ve GA kullanarak karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi sonuç ABC algoritması ile elde edilmiştir [51].

Ghosh ve arkadaşları 2012 yılında adaptif DE algoritması kullanarak QMF bankası tasarımı gerçekleştirmiştir. Tasarımda geçiş bandı, iletim bandı, durdurma bandı ortalama karesel hataları, dalgacık ölçüsü (measure of ripple, mor) ve transfer fonksiyonunun ve  $\omega=0,5\pi$  noktasındaki sapması hata fonksiyonu olarak ele alınmıştır. DE algoritmasının adaptif olması algoritmanın mutasyon aşamasında kontrol parametrelerini değiştirmesiyle elde edilmiştir. DE algoritması ve farklı versiyonları, PSO ve klasik optimizasyon yöntemleri ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [42].

Aloui ve arkadaşları 2013 yılında gerçek kodlu GA ile Kaiser penceresi tabanlı QMF bankası tasarımını önermişlerdir. Tasarlanan QMF bankası ayrık dalgacık dönüşümü (discrete wavelet transform) için ana dalgacık olarak kullanılmış ve ses sıkıştırma üzerindeki etkisi farklı pencere fonksiyonları ile incelenmiştir [34].

Rafi ve arkadaşları 2013 yılında geliştirilmiş PSO tabanlı QMF tasarımı gerçekleştirmişlerdir. PSO algoritması ABC algoritmasında bulunan kâşif arılardan esinlenerek geliştirilmiştir. Geçiş ve durdurma bandı ortalama karesel hataları ile genlik cevabının frekans eksenindeki karşılığı tasarım için kullanılmıştır [34].

Koza ve Karaboğa 2015 yılında süzgeç frekans cevabından farklı olarak, QMF bankası girişine uygulanan herhangi bir işareti temel alarak bu işareti çıkış ile karşılaştıran bir tasarım önermişlerdir. Tasarımda DE algoritması yardımıyla prototip süzgeç katsayıları, QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin karşılaştırılması ile tasarlanmıştır. QMF bankasındaki diğer süzgeçler ise prototip süzgecin dönüşümü ile elde edilmişlerdir [43].

Agrawal ve Sahu 2015 yılında gerçekleştirdikleri tasarımda ABC algoritması kullanarak PR durumunda QMF bankası tasarımını göstermişlerdir. Tasarımda prototip alçak geçiren süzgecin geçiş bandı hatası, durdurma bandı artık enerjisi, transfer fonksiyonun karesel hatası ve genlik bozulması amaç fonksiyonunda kullanılmıştır. Tasarım

sonuçları ABC, PSO ve DE algoritmaları ile karşılaştırılmış ve en iyi sonucun ABC algoritması ile elde edildiği tespit edilmiştir [44].

B. Kuldeep ve arkadaşlarının 2015 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada, QMF bankası kısmi türev kısıtlamaları ile doğadan ilham alan optimizasyon yöntemleri kullanılarak tasarlanmıştır. Amaç fonksiyonunda geçiş bandı hatası, durdurma bandı hatası, iletim bandı hatası, yeniden oluşturma tepe hatası (peak reconstruction error, PRE) ve durdurma bandı zayıflatması (stopband attenuation,  $A_s$ ) kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu kullanılarak prototip süzgeç parametreleri ABC, PSO, WDO, CS algoritmaları ile tasarlanmıştır [46].

Koza ve Karaboğa 2016 yılında yaptıkları çalışmada elektrokardiyogram (EKG) işaretleri için özel bir QMF bankası tasarımını incelemişlerdir. Tasarımda prototip süzgeç katsayıları DE algoritması kullanılarak tasarlanmıştır. QMF bankası giriş ve çıkışındaki işaretlerin farkının hata fonksiyonu olarak kullanıldığı bir yöntemle QMF bankası tasarımı gerçekleştirilmiştir [52].

Koza ve Karaboğa 2017 yılında Mitral kapak işaretleri için özel bir QMF bankası tasarımı önermişlerdir. QMF bankası tasarımında mitral kapak Doppler işareti kullanılarak ABC ve PSO algoritmaları ile en uygun prototip süzgeç parametreleri tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [7].

Koza ve Karaboğa 2017 yılında yaptıkları gerçekleştirdikleri farklı bir çalışmada da ABC algoritması ile QMF bankası tasarımını gerçekleştirmişlerdir. İşaretlerinin hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) ile süzgeç bankası çıkışındaki işaretin FFT'sinin temel alınmasına dayalı bir çalışma sunmuşlardır. Tasarım için ise Elektroensefalografi (EEG) işareti kullanılmıştır [53].

Özdemir ve arkadaşları 2017 yılında kosinüs modüleli süzgeç bankası (Cosine modulated filter bank, CMFB) ve QMF bankalarını ABC algoritması kullanarak aynı tasarım parametreleri ile tasarlamış ve sonuçları karşılaştırmışlardır [54].

Koza ve Karaboğa 2018 yılında yaptıkları diğer bir çalışmada da ABC algoritması ile EEG işaretleri için QMF bankası tasarımını incelemişlerdir. Tasarımda benzeştirilmiş EEG işaretinin güç spektral yoğunluğundan yararlanılarak prototip süzgeç ABC

algoritması ile tasarlanmıştır. Tasarlanan QMF bankası performansı klinik EEG işareti üzerinde incelenmiştir [55].

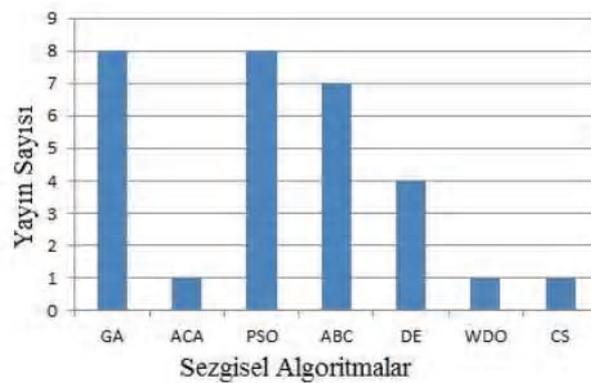
Tablo 1.1’de QMF banka tasarımında kullanılan sezgisel algoritmalar ve bu algoritmaları kullanan çalışmalar listelenmektedir.

Tablo 1.1. Genlik cevabı kullanarak QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların kontrol parametreleri

Algoritma	Araştırma Özelliği	Kontrol Parametresi	Referans – Araştırmacılar - Yıl
GA	Popülasyon tabanlı	Çaprazlama oranı Mutasyon oranı Jenerasyon aralığı	[48] - Y. J. Yu - 2001 [37] - Y. J. Yu - 2002 [32]- H. Uppalapati - 2005 [49] - S. Y. Park - 2006 [35] - P. Samadi , M. Ahmadi - 2007 [36] - V. J. Manoj ve E. Elias - 2009 [51] - V. J. Manoj ve E. Elias - 2012 [34] - N. Aloui - 2013
ACA	Sürü zekası tabanlı	Yerel ve küresel feromon miktarı	[50] - L. Jing – 2007
PSO	Sürü zekası tabanlı	Eylemsizlik faktörü Bilişsel faktör Sosyal faktör	[20] - A. Kumar ve ark. - 2010 [40] - J. Upendar ve ark. - 2010 [51]-V.J. Manoj ve E. Elias - 2012 [42] - P. Ghosh ve ark. - 2012 [39]-S.M. Rafi ve ark. - 2013 [44] - S.K. Agrawal ve O.P.Sahu - 2015 [46] - B. Kuldeep ve ark. - 2015 [7] – T.Koza ve N. Karaboğa – 2017
ABC	Sürü zekası tabanlı	Limit	[51] - V.J. Manoj ve E. Elias - 2012 [44] - S.K. Agrawal ve O.P.Sahu - 2015 [56] - B. Kuldeep ve ark. - 2015 [7] - T. Koza ve N. Karaboğa - 2016

			[53] - T. Koza ve N. Karaboğa - 2017 [54] - T. Koza ve ark. - 2017 [55] - T. Koza ve N. Karaboğa – 2018
DE	Popülasyon tabanlı	Çaprazlama oranı Ölçekleme oranı	[42] - P. Ghosh ve ark. - 2012 [44] - S.K. Agrawal ve O.P.Sahu – 2015 [57] – T. Koza ve N. Karaboğa - 2015 [58]-T.Koza ve N. Karaboğa – 2016
WDO	Popülasyon tabanlı	Yerçekimi sabiti Coriolis etkisi Maksimum hız Güncelleme sabiti	[46] - B. Kuldeep ve ark. – 2015
CS	Popülasyon tabanlı	Mutasyon olasılık değeri Ölçek faktörü	[46] - B. Kuldeep ve ark. – 2015

QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmalar ve kullanıldıkları çalışma sayıları Şekil 1.9 üzerinde gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere en çok kullanılan algoritmalar GA, PSO ve ABC algoritmalarıdır.



Şekil 1.9. QMF banka tasarımında kullanılan sezgisel algoritmalar

## 2. BÖLÜM

### QMF BANKASI TASARIMINDA KULLANILAN SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Sezgisel optimizasyon yöntemleri çok boyutlu, çok parametrelili, matematiksel olarak tanımlanması zor olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadırlar. Sezgisel yöntemler; küresel araştırma kabiliyetleri, problemlerin çözümüne uygulama kolaylığı, yakınsama hızları ve düşük parametre hassasiyeti gibi avantajları nedeniyle özellikle mühendislik problemlerin çözümünde genellikle tercih edilmektedirler [59]. Son yıllarda, süzgeç bankası tasarımlarında klasik optimizasyon yöntemlerine alternatif olarak sezgisel yöntemler de sıklıkla kullanılmaktadırlar. Özellikle sezgisel yöntemlerle gerçekleştirilen tasarımlarda hatayı düşürmek için çok parametrelili amaç fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında QMF bankası tasarımlarında işaret işleme alanında çok fazla kullanıma sahip olan ABC, DE, PSO ile ABC algoritmasının geliştirilmiş versiyonları olarak mABC ile qABC algoritmalarının kullanımı tercih edilmiştir. Aşağıdaki alt bölümlerde, bu algoritmalarla ilgili sözde kodlar (pseudo codes) ve açıklayıcı bilgiler verilmektedir.

#### 2.1. Yapay Arı Koloni Algoritması

Sürü halinde yaşayan bal arılarının yiyecek arama davranışlarını modelleyen yani doğadaki canlıların bir arada yaşama davranışlarından ilham alan Yapay Arı Koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması Karaboğa D. tarafından geliştirilmiştir [8]. Çok sayıda farklı optimizasyon problemine uygulanan algoritmanın GA, DE ve PSO gibi diğer algoritmalara göre başarısı Karaboğa ve Akay tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ortaya konulmuştur [60-62]. Literatürde algoritma, QMF bankası tasarımının da içerisinde olduğu çok sayıda farklı optimizasyon problemine uygulanmış ve başarısı etkin olarak gösterilmiştir [58, 63-68].

ABC algoritmasının bileşenlerinden olan yiyecek kaynakları, algoritma için mümkün olabilecek çözümleri temsil etmektedir. Algoritmada işçi, gözcü ve kâşif arı olmak üzere üç farklı görev yapan arı bulunmaktadır. Başlangıçta eşit sayıda işçi ve gözcü arı bulunurken algoritmanın ilerleyen adımlarında kâşif arılar da araştırmaya dahil olmaktadır. Her bir yiyecek kaynağı görevli arı tarafından araştırılmakta, gözcü arılar ise bu kaynaklardan en iyilerini kaynağın kalitesine yani uygunluk (fitness) derecesine göre seçerek o kaynağın geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. Kaynaktaki yiyecek bitmişse yani algoritmada limit parametresi ile tanımlanan belirli bir çevrim sayısına ulaşılmışsa o kaynak terk edilmekte ve kaynağı araştıran arılar bu durumda kâşif arı olmaktadır. Kâşif arılar, rastgele araştırma yaparak yeni kaynakların bulunması için yani algoritmada yeni çözümlerin bulunması için kullanılmaktadırlar.

ABC algoritmasının temel adımlarını içeren sözde kodu Şekil 2.1 üzerinde verilmiştir.

### **Başlangıç popülasyonunun oluşturulması**

#### **REPEAT**

İşçi arılar vasıtasıyla her kaynağın uygunluk değerinin (fitness) hesaplanması

Olasılık değerlerinin hesaplanarak gözcü arıların kaynak seçimi

Kaynağın terkedilmesi için kriterlerin hesaplanması (limit ve kâşif arı üretimi)

**UNTIL** (maksimum çevrim sayısına kadar )

*Şekil 2.1. ABC algoritması sözde kodu*

ABC algoritmasında, kovan çevresi olarak kabul edebileceğimiz arama uzayı ve yiyecek kaynakları ile ifade edilen olası çözümlerin üretilmesi ile çalışmaya başlanır. Başlangıç yiyecek kaynakları alt ve üst sınırlar ile belirlenen değerler arasında rastgele üretilen değerlerle Eşitlik 2.1 ile elde edilir:

$$x_{ij} = x_j^{\min} + rand[0,1](x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (2.1)$$

Eşitlikte  $i = 1, \dots, SN, j = 1, \dots, D$  ve  $SN$  araştırılacak yiyecek kaynağı sayısını dolayısıyla da popülasyon büyüklüğünü,  $D$  optimize edilecek parametre sayısını ifade etmektedir. Optimize edilecek parametrelerin alt sınırı  $x_j^{\min}$ , parametre üst sınırı ise

$x_j^{max}$  ile gösterilmektedir. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken her kaynaktaki başarısız denemelerin sayısını ifade eden çözüm geliştirememeye sayacı ( $failure_i$ ,  $i$ . kaynağın geliştirememeye sayısı) sıfırlanmaktadır.

Başlangıç aşamasından sonra ABC algoritması en uygun çözümleri ifade eden yiyecek kaynaklarının araştırılması işlemi görevli arı, gözcü arı ve kâşif arı işlemleri ile sağlanır. ABC algoritmasının durdurma kistası olarak maksimum çevrim sayısı (MCN), kabul edilebilecek bir hata değeri veya diğer algoritmalarda da kullanılabilen standart bir hata değeri kullanılabilir.

Algoritmada başlangıçta her bir kaynak için bir görevli arı bulunmaktadır ve yiyecek kaynaklarının sayısı görevli arıların sayıları ile eşit olmaktadır. İşçi arılar çalışırken etrafındaki yiyecek kaynaklarından birini seçer ve yeni yiyecek kaynağının kalitesini değerlendirir. Yeni kaynağın kalite değeri ile eski kaynağın kalite değerini karşılaştırarak en iyisini seçer ve kaynağın araştırma işlemine devam eder. Yeni kaynağın eski kaynağın komşuluğunda belirlenmesi işlemi Eşitlik 2.2. ile tanımlanmaktadır.

$$u_{ij} = x_{ij} + \phi(x_{ij} - x_{kj}) \quad (2.2)$$

Eşitlikte  $x_i$  olarak ifade edilen her bir kaynağın tek bir parametresi (rastgele seçilen  $j$ . parametresi) değiştirilerek mevcut kaynağın komşuluğunda  $u_i$  kaynağı bulunur. Eşitlik 2.2'de verilen  $j$  parametresi  $[1, D]$  aralığında rastgele üretilmiş bir tamsayıdır. Mevcut  $x_i$  kaynağın  $j$  parametresi değiştirilirken rastgele seçilen  $x_k$  komşu çözümünün ( $k \in 1, \dots, SN$ )  $j$  parametresi ile mevcut  $j$  parametresinin farkı alınarak  $[-1, 1]$  arasında değerler alan  $\phi_{ij}$  sayısı ile ağırlandırdıktan sonra mevcut kaynağın  $j$ . parametresine eklenmektedir. Eşitlik 2.2'den anlaşılacağı gibi  $x_{ij}$  ve  $x_{kj}$  arasındaki fark azaldıkça  $x_{ij}$  konumundaki değişim de azalacak, dolayısıyla optimum çözüme yaklaştıkça değişim miktarı da adaptif olarak azalacaktır. Üretilen yeni çözüm  $u_i$ 'nin belirlenmiş olan parametre kısıtlarını aşması durumunda  $j$ . parametreye ait alt ve üst sınır değerlerine ötelenmesi işlemi Eşitlik 2.3'te verilmiştir.

$$u_{ij} = \begin{cases} x_j^{min}, & u_{ij} < x_j^{min} \\ u_{ij}, & x_j^{min} \leq u_{ij} \leq x_j^{max} \\ x_j^{max}, & x_j^{max} < u_{ij} \end{cases} \quad (2.3)$$

Sınırlar içerisinde eski çözümlerin komşuluğunda üretilen yeni çözümlerin kalitesi bir uygunluk değeri ile hesaplanmaktadır. Kullanılan uygunluk değeri hesaplama biçimi Eşitlik 2.4’de yazıldığı gibidir.

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & , f_i \geq 0 \\ 1 + abs(f_i) & , f_i < 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Eşitlikteki  $f_i$  değeri,  $u_i$  ile gösterilen çözümün maliyet değeridir. Mevcut çözüm  $x_i$  ve üretilen olası yeni çözüm arasında uygunluk değerlerine göre bir aç gözlü (greedy) seçme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda yeni çözümün uygunluk değeri daha iyi ise görevli arı eski çözümü hafızasından siler ve yeni çözümü hafızasına alır. Eğer yeni çözüm mevcut çözümden daha iyi değilse, görevli arı mevcut çözümü araştırmaya devam eder ve  $x_i$  mevcut çözümü geliştiremediği için o kaynakla ilgili geliştiremeye sayacını bir artırır.

Her çevrim sonunda görevli arılar kovana döndüklerinde buldukları kaynakların nektar bilgilerini gözcü arılarla paylaşırlar. Gözcü arılar yiyecek kaynaklarının nektar miktarları ile orantılı olan bir olasılıkla bir kaynak seçer. Olasılık tabanlı bu seçme işlemi Eşitlik 2.5 aracılığı ile elde edilir.

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad (2.5)$$

Burada  $fit_i$ , i. kaynağın kalitesini, SN ise görevli arı sayısını ifade etmektedir. Gözcü arıların mevcut seçeneklerden birisini seçme yöntemi olarak “rulet tekerleği” yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre her kaynak teker üzerinde kalite derecesine göre bir alan kaplamaktadır. Her bir kaynağın tüm kaynakların toplamına oranı o kaynağın seçilme olasılığını ifade etmektedir. Kullanılan olasılık hesaplama yöntemine göre bir kaynağın uygunluk değeri arttıkça, bu kaynağı seçecek gözcü arı sayısı da artacaktır. Böylece algoritması pozitif geri besleme özelliği de kazanmaktadır. Olasılık değerleri hesaplandıktan sonra rulet tekerleği yöntemi ile her kaynak için  $[0, 1]$  aralığında rastgele bir sayı üretilir ve Eşitlik 2.4 ile elde edilen  $p_i$  değeri ile karşılaştırılır.  $p_i$  değeri daha büyük ise gözcü arılar da Eşitlik 2.2 ile ifade edilen yöntem kullanılarak mevcut çözümün komşuluğunda yeni çözümler üretir.

Mevcut ve yeni çözümlerin uygunluk derecesi karşılaştırılarak yeni çözüm daha iyi olması durumunda yeni çözüm seçilir ve çözüm üretmemeye sayacı sıfırlanır. Eğer mevcut çözüm daha iyi ise yeni çözüm dikkate alınmadan mevcut çözüm üzerinde çalışılmaya devam edilir ve çözüm geliştirmeye sayacı bir artırılır. Bu işlemler tüm gözcü arıların yiyecek arama bölgelerine gönderilene kadar devam ettirilir.

Her çevrim sonucunda tüm görevli ve gözcü arıların arama işlemleri bittikten sonra çözüm geliştirmeye sayaçları kontrol edilir. Her bir kaynak için tutulan çözüm geliştirmeye sayacı vasıtasıyla o kaynağın görevli arı tarafından yeterince geliştirilip geliştirilemediği kontrol edilir. Eğer çözüm geliştirmeye sayacı belirli bir değerin üzerine çıkmış ise artık o kaynağın tükenmiş olduğu kabul edilir ve o kaynağı araştıran arının başka bir kaynak araması gerekir. Kaynağın tükendiğini belirlemek için kullanılan kontrol parametresi ABC algoritmasında “limit” değeri olarak adlandırılır. Limit değerini aşmış bir kaynağı bırakan arı artık kâşif arı olmuştur ve yeni kaynaklar aramak için Eşitlik 2.1 ile ifade edilen rastgele yeni kaynak arama sürecine başlar. Algoritmanın her çevriminde bir kâşif arının çıkmasına izin verilir. ABC algoritması koloni sayısı, limit ve maksimum çevrim sayısı olmak üzere üç kontrol parametresine sahip basit ve esnek bir algoritmadır. ABC algoritması küresel ve bölgesel araştırma kabiliyeti gelişmiş bir algoritma olup pek çok optimizasyon problemine uygulanmıştır. ABC algoritmasının temel adımları aşağıda verilmektedir:

1. Adım: Bütün  $x_{ij}$ ,  $i=1,2,\dots,SN$ ,  $j=1\dots D$  çözümlerine Eşitlik 2.1 kullanılarak başlangıç değerlerini ata ve çözüm geliştirmeye sayaçlarının sıfırla
2. Adım: Her bir  $x_i$  çözümünün fonksiyon ve uygunluk değerlerini ( $fitness_i$ ) hesapla

### **Repeat**

3. Adım: Eşitlik 2.2 kullanarak mevcut çözüm  $x_i$  için yeni bir kaynak üret
4. Adım: Eşitlik 2.4 kullanarak kaynağın uygunluk derecesini hesapla.
5. Adım: Yeni üretilen çözüm ve mevcut çözümü uygunluk değerine göre karşılaştırarak en iyi olanı tut. Mevcut çözüm ve yeni çözüm için sayacı ayarla

6. Adım: Gözcü arıların yeni kaynak araştırmaları için Eşitlik 2.5 kullanarak  $p_i$  olasılık değerlerini hesapla.
7. Adım: Rulet tekerleği tekniğini kullanarak  $[0,1]$  aralığında rastgele bir sayı üret.
8. Adım: Rastgele üretilen sayı,  $p_i$  olasılık değerinden küçük ise Eşitlik 2.2'yi kullanarak yeni bir kaynak üret. Üretilen kaynağın mevcut çözümlerin komşuluğunda olması gereklidir.
9. Adım: Yeni üretilen ve mevcut çözümleri karşılaştırarak en iyi olanı hafızada tut. Mevcut çözüm ve yeni çözüm için sayacı ayarla
10. Adım: Her kaynak için tutulan çözüm geliştirmeme sayacını kontrol et
11. Adım: Eğer sayaç limit değerini aşmış ise o kaynakla ilgilenen arı kaşif arı olarak belirleyerek, mevcut  $x_i$  çözümünü Eşitlik 2.1 kullanarak yenile.

**Until:** maksimum çevrim sayısı

## 2.2. Modifiye Yapay Arı Koloni Algoritması

ABC algoritması, araştırma uzayının araştırılmasını etkili ve hızlı bir biçimde tamamlayarak en uygun değerin hesaplayabilmektedir. Bununla birlikte algoritma özellikle sınırlı optimizasyon problemlerinde, birleşik veya bileşenlerine ayrılamayan fonksiyonların optimizasyonunda zayıf kalmaktadır. Karaboğa ve Akay tarafından önerilen yerel araştırma özelliğinde ya da gözcü arılar için yeni kaynak seçim işleminde değişiklik yapılması prensibine dayalı olan ABC algoritması, modifiye ABC (modified artificial bee colony, mABC) algoritması olarak adlandırılmaktadır [60, 69]. Bu algoritma için sözde kod Şekil 2.2'de verilmiştir.

**Başlangıç popülasyonunun oluşturulması** (yiycek kaynaklarının üretilmesi)

**do**

İşçi arılar kaynaklara gönderilmesi

Gözcü arılar vasıtasıyla olasılık değerleri kullanılarak kaynak seçimi

Gözcü arıların kaynağa gönderilmesi

Geliştirilemeyen kaynakların terk edilmesi

Kâşif arıların rastgele kaynak aramaya gönderilmesi

**while** (durdurma kriterleri sağlanana kadar)

*Şekil 2.2.* mABC algoritması sözde kodu

mABC algoritmasında, ABC algoritmasında olduğu gibi işçi, gözcü ve kaşif arı olmak üzere üç tip arı bulunmaktadır. Her bir çözüm bir yiycek kaynağını ifade etmektedir. Başlangıç için yiycek kaynaklarının üretilmesi ve her kaynak için bir arı seçimi işlemi aynı olup Eşitlik 2.2 kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Mevcut kaynağın komşuluğunda yeni bir kaynak oluşturma işlemi ise mABC algoritmasında farklı gerçekleştirilmektedir. Eşitlik 2.6'da ifade edildiği gibi modifikasyon oranı ( $MR$ ) olarak kabul edilen yeni bir parametre değerlendirme için kullanılmıştır. Eğer rastgele üretilen bir sayı ( $rand_{ij}$ ), önceden belirlenmiş olan  $MR$  parametresinden küçük ise yeni komşuluk seçilmekte üretilen sayı daha büyük ise yeni komşuluk seçilmemektedir.

$$u_{ij} = \begin{cases} x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}), & rand_{ij} < MR \\ x_{ij} & , \quad diğ er \end{cases} \quad (2.6)$$

Eşitlikte rastgele sayı ve  $MR$  parametreleri 0 ve 1 aralığındaki sayılardır.  $k \in \{1, 2, \dots, SN\}$  ise rastgele seçilen bir değerdir.

Üretilen komşuluklar yine Eşitlik 2.4 kullanılarak kalite değerleri hesaplanmakta, mevcut ve yeni çözümlerin kaliteleri belirlenerek kalitesi daha iyi olan çözümler seçilmektedir.

Her bir çevrim sonunda kovana gelen arıların kaynak bilgilerinden kaynağın kalite değerine göre gözcü arıların kaynak seçme olasılıkları Eşitlik 2.5 kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Gözcü arılar seçilen kaynağı araştırırken seçilen kaynağın komşuluğunda yeni bir kaynak bulma işlemini yine Eşitlik 2.6 kullanarak

gerçekleştirirler. Bulunan kaynak kalite değerine göre değerlendirilerek tutulur ya da göz önüne alınmaz.

Her çevrim sonucunda ABC algoritmasında olduğu gibi mABC algoritmasında da mevcut kaynakların geliştirilmesi ile ilgili bir sayaç tutulur. Kaynak geliştirilememiş ise bu sayaç bir artırılır. Limit olarak da adlandırılan bu parametre ile mevcut kaynak belirli bir çevrim boyunca geliştirilemediği durumda o kaynak tükenmiş olarak kabul edilir ve görevli arı kâşif arı olarak kabul edilir. Kâşif arı da rastgele araştırma işlemine yeniden başlar.

mABC algoritmasının temel adımları aşağıda verilmiştir.

1. Adım: Bütün  $x_{ij}$ ,  $i=1,2,\dots,SN$ ,  $j=1\dots D$  çözümlerine Eşitlik 2.1 kullanılarak başlangıç değerlerini ata ve çözüm geliştirememeye sayaçlarının sıfırla

2. Adım: Her bir  $x_i$  çözümünün fonksiyon ve uygunluk değerlerini ( $fitness_i$ ) hesapla

### **Repeat**

3. Adım: Mevcut çözüm  $x_i$  için Eşitlik 2.6 kullanarak yeni bir kaynak üret ve Eşitlik 2.4 kullanarak kaynağın uygunluk derecesini hesapla.

4. Adım: Aç gözlü seçme işlemini kullanarak mevcut ve yeni çözümden en iyi olanı hafızada tut. Mevcut çözüm için sayacı bir artır, yeni çözüm için sayacı sıfırla.

5. Adım: Eşitlik 2.5 kullanarak  $p_i$  olasılık değerlerini gözcü arılar için hesapla.

6. Adım: Eğer rastgele üretilen sayı  $p_i$  den küçük ise mevcut çözümün komşuluğunda Eşitlik 2.2'yi kullanarak yeni bir kaynak üret

7. Adım: Aç gözlü seçme işlemini kullanarak mevcut ve yeni çözümden en iyi olanı hafızada tut. Mevcut çözüm için sayacı bir artır, yeni çözüm için sayacı sıfırla.

8. Adım: Eğer sayaç limit değerini aşmış ise mevcut  $x_i$  çözümünü Eşitlik 2.1 kullanarak yenile.

**Until:** maksimum çevrim sayısı

### 2.3. Hızlı Yapay Arı Koloni Algoritması

Karaboğa ve Görkemli tarafından önerilen hızlı ABC (quick artificial bee colony, qABC) algoritmasının, ABC algoritmasına göre yakınsama hızı daha yüksektir böylece daha az adımda sonuca yakınsamaktadır [70, 71]. Yeni çözüm geliştirilmesi işleminde mevcut komşuların en iyisinin seçilmesi prensibi göz önüne alınarak algoritmaya hızlı yakınsama özelliği kazandırılmıştır. qABC algoritmasının sözde kodu Şekil 2.3'te verilmiştir.

#### Başlangıç popülasyonunun oluşturulması

##### Repeat

- İşçi arıları yiyecek kaynaklarına gönderilmesi
- Gözcü arıların en yakın ve iyi kaynağı seçimi
- Terk edilecek kaynakların hesaplanması
- Terk edilen kaynaklardaki arıların kâşif arı olarak yeni kaynak araması

**Until** (maksimum çevrim sayısı veya hata kriteri sağlanana kadar)

Şekil 2.3. qABC algoritması sözde kodu

qABC algoritmasında ABC algoritmasında olduğu gibi işçi, gözcü ve kâşif arılar bulunmaktadır. Başlangıçta yiyecek kaynağı kadar işçi arı bulunmaktadır. Her bir yiyecek kaynağı olası birer çözümü ifade etmektedir. Yiyecek kaynaklarının oluşturulması işlemi Eşitlik 2.1'de verildiği gibi gerçekleştirilir. Yiyecek kaynaklarının araştırılmasından sonra Eşitlik 2.2'den farklı olarak mevcut çözümün komşuluğundaki en iyi çözüm seçilir. Kullanılan yöntem Eşitlik 2.7'de verilmiştir.

$$u_{N,i}^{best} = x_{N,i}^{best} + \phi_i(x_{N,i}^{best} - x_{ki}) \quad (2.7)$$

Eşitlikte  $x_{N,i}^{best}$ ,  $x$  komşuluğundaki en iyi çözümü ifade etmektedir. Komşuluk ilişkilerini tanımlamak için çözümlerin yapısı bakımından benzerlik ölçüsü kullanılabilir. Eşitlik 2.7 ikili (binary) optimizasyon yöntemleri için uygun olmaktadır, sayısal optimizasyon yöntemleri için ise ortalama “Öklid uzaklık” fonksiyonu kullanılabilir. Mevcut çözüm  $x$  için komşuluğunda üretilecek yeni çözümler  $md_m$  Öklid uzaklığında olmalıdır. Öklid uzaklığı Eşitlik 2.8 belirlenerek bulunur.

$$md_m = \frac{\sum_{i=1}^S d(m,i)}{SN-1} \quad (2.8)$$

Eşitlikte  $x_{ij}$  ve  $u_{ij}$  arasındaki mesafe  $d(m,i)$  Öklid mesafesidir. Eğer yeni üretilen bir çözümün uzaklığı  $md_m$  mesafesinden küçük ise mevcut çözümün bir komşuluğu olarak kabul edilir ve kalite değeri incelenebilir. Bu işlem Eşitlik 2.9 ile açıklanabilir.

$$x_j = \begin{cases} d(m,j) < r * md_m, & x_i \text{ komşusu} \\ d(m,j) \geq r * md_m, & \text{değil} \end{cases} \quad (2.9)$$

Eşitlikte  $r$  komşuluk yarıçapı olup  $r \geq 0$  şartını sağlaması gerekir. Yarıçap sıfır olarak alınırsa algoritma, ABC algoritması gibi çalışmaktadır. Komşulukta seçilen yeni olası kaynaklar Eşitlik 2.4 ile verildiği gibi bir kalite değerlendirme kriteri ile değerlendirilir. Mevcut kaynak ve komşuluğundan seçilen yeni kaynaktan hangisinin kalite değeri yüksek ise o kaynak saklanır, diğeri silinir. Her çevrim sonucu kovandaki gözcü arıların yiyecek kaynaklarını seçme olasılığı Eşitlik 2.5 ile ifade edildiği gibi kaynakların kalite değerleri ile orantılı bir şekilde rulet tekerleği yöntemi ile seçilir. Her kaynağın geliştirilmeme sayacı olarak da ifade edilen Limit değerine bağlı olarak kaynak araştırılmaya devam edilir, limit değeri aşılnca kaynak bırakılır. Bu durumda bırakılan kaynağın görevli arısı, kaşif arı haline gelir ve Eşitlik 2.1'i kullanarak rastgele araştırma yapılmaya başlanır.

qABC algoritmasının temel adımları aşağıda açıklanmaktadır:

1. Adım: Bütün  $x_{ij}$ ,  $i=1,2,\dots,SN$ ,  $j=1\dots D$  çözümlerine Eşitlik 2.1 kullanılarak başlangıç değerlerinin ata ve çözüm geliştirememe sayaçlarının sıfırla
2. Adım: Her bir  $x_i$  çözümünün fonksiyon ve uygunluk değerlerini ( $fitness_i$ ) hesapla

### **Repeat**

3. Adım: İkili optimizasyon yöntemleri için Eşitlik 2.7 kullanarak komşu bir kaynak üret. Eğer sayısal optimizasyon yöntemi ise, Öklid mesafe uzunluğunu Eşitlik 2.8 kullanarak hesapla. Öklid mesafe uzunluğu içerisinde yeni komşuluğu üret.
4. Adım: Yeni üretilen çözüm komşuluk mesafesi ve komşuluk yarıçapı ( $r$ ) yardımıyla kabul edilip edilmeyeceğini Eşitlik 2.9 yardımıyla hesapla.

5. Adım: Yeni çözümün kalite değerini hesapla
6. Adım: Mevcut çözüm ve yeni çözümden kalite değerleri en iyi olanı seç, diğerini dikkate alma. Mevcut çözüm için çözüm araştırma sayacını artır.
7. Adım: Gözcü arılar için Eşitlik 2.5 yardımıyla yeni olası çözümleri belirle
8. Adım: Eşitlik 2.2'yi kullanarak yeni bir kaynak üret
9. Adım: Mevcut çözüm ve yeni çözümden kalite değerleri en iyi olanı seç, diğerini dikkate alma. Mevcut çözüm için çözüm araştırma sayacını artır.
10. Adım: Eğer sayaç mevcut çözüm araştırması limit değerini aşmış ise o kaynağı terk ederek kâşif arı haline gelen işçi arı ile rastgele kaynak araştırmasına başla.

**Until:** maksimum çevrim sayısı

#### 2.4. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması

Parçacık sürü optimizasyon (Particle Swarm Optimization, PSO) algoritması balık, kuş gibi bireylerden oluşan sürü halinde yaşayan canlıların sosyal davranışlarından etkilenecek geliştirilmiş bir algoritmadır. Sürü zekasına dayanan popülasyon tabanlı bir algoritma olup 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiştir [72]. PSO algoritmasının sözde kodu Şekil 2.4'te verilmiştir.

##### **Başlangıç**

**do**

Her parçacık için uygunluk değerini hesapla

Hesaplanan ve sürüdeki en iyi uygunluk değerini sakla

En iyi uygunluk değerine sahip parçacığı seç

Her parçacık için konum ve hızını hesapla

**while** (maksimum çevrim sayısı yada hata kriterine ulaşına kadar)

*Şekil 2.4. PSO algoritması sözde kodu*

PSO algoritmasında her bir birey olası bir çözümü ifade ederken bireylerin oluşturduğu popülasyon ise sürü olarak kabul edilir. Bireyler araştırma uzayı içerisinde akış

halindedirler ve her bir bireyin konumu komşularının tecrübelerine göre değişmektedir. Sürü içerisindeki her birey konum ve hız vektörleri ile ifade edilmektedir. PSO algoritmasında başlangıçta tüm bireyler rastgele konumda harekete başlarlar. Her bireyin yeni konumu belirlenirken Eşitlik 2.10 kullanılarak, mevcut konuma hız vektörünün eklenmesi ile elde edilir.

$$x_i(k + 1) = x_i(k) + v_i(k + 1) \quad (2.10)$$

Eşitlikte  $x_i(k)$  konum vektörünü,  $v_i$  ise aynı bireye ait hız vektörünü ifade etmektedir. Sürü içerisindeki her birey konumunu hız vektörü ile güncellerken, kendi sahip olduğu en iyi değer (personal best,  $P$ ) ve tüm sürü içerisindeki en iyi değeri (global best,  $G$ ) kullanır. Böylece Eşitlik 2.11 kullanılarak sürü içerisindeki her bireyin hız vektörü belirlenir.

$$v_i(k + 1) = wv_i(k) + c_1 \text{rand}(P_i(k) - x_i(k)) + c_2 \text{rand}(0,1)(G_i(k) - x_i(k)) \quad (2.11)$$

Eşitlikte  $v_i(k)$  mevcut hız vektörünün  $v_i(k + 1)$  yeni hız vektörüne etkisi  $w$  eylemsizlik ağırlığı (inertia weight) sayesinde olur.  $c_1$  ve  $c_2$  bilişsel ve sosyal parametreler olup  $P_i(k)$  ve  $G_i(k)$  vektörlerinin ağırlıkları olarak kullanılırlar.

PSO algoritmasının temel adımları aşağıda verilmiştir:

Adım 1: Başlangıç popülasyonunun üretilmesi

### **Repeat**

Adım 2: Sürüdeki her bireyin uygunluk değerinin hesaplanması

Adım 3: Sürü içerisindeki en iyi bireyin konumunun değiştirilmesi

Adım 4: Eşitlik 2.10 kullanılarak sürüdeki her bireyin hızlarının güncellenmesi

Adım 5: Eşitlik 2.11 kullanılarak sürüdeki her bireyin konumlarının güncellenmesi

Adım 6: Elde edilen en iyi sonuçların kaydedilmesi

**Until** (çevrim=maksimum çevrim sayısı)

## 2.5. Diferansiyel Gelişim Algoritması

İlk olarak 1996 ve 1997 yılları arasında Storn ve Price tarafından geliştirilmiş olan diferansiyel gelişim (Differential Evolution, DE) algoritması evrimsel tabanlı sezgisel bir algoritmadır [73]. DE algoritmasında genetik algortmada bulunan mekanizmalara benzeyen çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri kullanılmaktadır. DE algoritmasının sözde kodu Şekil 2.5'te verilmiştir.

```

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması (jenerasyonun oluşturulması)
do
    Mutasyon
    Çaprazlama
    Jenerasyonun değerlendirilmesi
while (maksimum çevrim sayısına kadar )
  
```

Şekil 2.5 DE algoritması sözde kodu

DE algoritmasında ilk olarak başlangıç popülasyonu oluşturulur.  $SN$  adet  $D$  boyutlu  $x_{ij}$  değişken vektörleri oluşturulur. Algoritmanın optimize edeceği parametre sayısı  $D$  ile gösterilirken, popülasyondaki  $D$  boyutlu amaç vektör sayısı da  $SN$  ile ifade edilir. Üretilen çözümler amaç vektörü veya ebeveynler olarak adlandırılırken, mutasyon ve çaprazlama işlemi sonucu ise deneme vektörü veya çocuk (child-trial) olarak adlandırılır. Algoritmada mutasyon işlemi, mevcut üç vektörün özel bir kombinasyonu şeklinde gerçekleştirilir. Yeni üretilecek çözüm Eşitlik 2.12'yi kullanarak rastgele seçilen üç çözümden birisine diğer ikisinin farkının eklenmesi ile üretilir.

$$u_{ij} = x_{r_1j} + F(x_{r_2j} - x_{r_3j}) \quad (2.12)$$

Eşitlikte  $F$ ,  $[0,1]$  aralığında değer alan ölçekleme oranı veya mutasyon katsayısı olarak kullanılmaktadır.  $u_{ij}$  ise  $j$  jenerasyonundaki  $i$  amaç vektöründen elde edilen mutasyon vektörünü ifade etmektedir. Mutasyonda çözümün  $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$  şartını sağlaması gerekir. Seçilen üç çözümün birbirinden farklı ve rastgele seçilmiş olması gerekir. Ayrıca üç çözümün  $i$  amaç vektörü ya da ebeveyninden farklı olması gerekir.

Çaprazlama işleminde amaç vektörü ile mutasyona uğramış deneme vektörü çaprazlanmakta ve yeni bir deneme vektörü elde edilmektedir. Çaprazlama işlemi

Eşitlik 2.13 ile gerçekleştirilerek  $j$  jenerasyonundaki  $i$  amaç vektöründen elde edilen  $v_{ij}$  deneme vektörü elde edilir.

$$v_{ij} = \begin{cases} u_{ij}, & rand[0,1] < Cr \\ x_{ij}, & rand[0,1] \geq Cr \end{cases} \quad (2.13)$$

Eşitlik 2.16'da  $Cr$  çaprazlama oranını ifade etmektedir.  $u_{ij}$  mutasyondan elde edilen vektörü,  $x_{ij}$  ise amaç vektörünü ifade etmektedir. Çaprazlama oranının  $[0,1]$  aralığında rastgele üretilen sayıdan küçük olması durumunda mutasyon sonucu elde edilen vektör, diğer durumlarda ise mevcut amaç vektörü kullanılır.

Çaprazlama sonucu elde edilen vektör ile mevcut amaç vektörü seleksiyon işlemine tabi tutulur. Seleksiyon işleminde kalite değeri daha yüksek olan çözüm bir sonraki nesle aktarılırken diğeri silinir. En iyi çözümün seçilerek bir sonraki jenerasyona aktarılması algoritmanın yakınsama hızını artırmaktadır.

Algoritmanın temel kontrol parametreleri popülasyon büyüklüğü,  $F$  ölçekleme faktörü,  $CR$  çaprazlama oranı ve maksimum çevrim sayısı veya belirlenen bir durdurma kriteri olarak ifade edilebilmektedir.

DE algoritmasının temel adımları aşağıda açıklanmaktadır:

1. Adım: Başlangıç popülasyonunu  $N$  adet  $D$  boyutlu  $x_{ij}$  değişken vektörü ile oluşturulması.
2. Adım: Amaç fonksiyonu kullanılarak değerlendirilme yapılır.
3. Adım: **repeat**
4. Adım: Eşitlik 2.12 kullanılarak üç farklı ebeveyn vektörünün mutasyon katsayısı kullanılarak değiştirilmesi ile mutasyon yapılması.
5. Adım: Çaprazlama oranının belirlenmesi ve Eşitlik 2.13 kullanılarak mutasyon ya da mevcut vektörlerden hangisinin seçileceğinin belirlenmesi, çaprazlama (Rekombinasyon) yapılması.
6. Adım: Elde edilen vektör ile mevcut vektör arasında değerlendirme yapılması.

7. Adım: En iyi vektörün seçilerek bir sonraki jenerasyona aktarılması .

8. Adım: **until** (çevrim=maksimum çevrim sayısı)



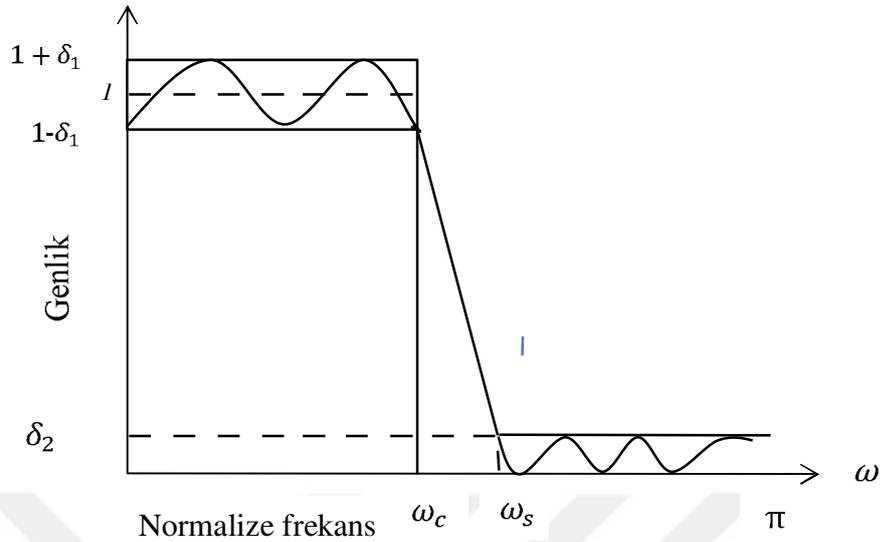
## 3. BÖLÜM

### QMF BANKASI TASARIMI

Bu bölümde klasik yöntemlerle QMF bankası tasarımı gerçekleştirilmiş ve tasarlanan süzgeç bankalarının performansları incelenerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasında iki farklı yöntem temel alınarak tasarımlar gerçekleştirildiğinden alt bölümlerde kullanılan tasarım yöntemleri ve elde edilen sonuçlar verilmektedir. QMF bankası tasarımı aslında bir alçak geçiren süzgecin yani prototip süzgecin tasarım problemidir. Süzgeç bankasındaki diğer analiz ve sentez süzgeçler ise prototip süzgecin dönüşümü ile elde edilmektedir. Tez çalışmasında QMF bankası için iki temel tasarım yöntemi tercih edilmiştir: Bunlardan ilki eş dalgacıklı süzgeç (equiripple filter) tasarımı, ikincisi ise pencere fonksiyonu ile süzgeç tasarımıdır. Her iki tasarımda da önce prototip süzgeç tasarlanmakta daha sonra QMF bankası elde edilmektedir.

#### 3.1 Eş Dalgacıklı Süzgeç Yöntemiyle QMF Bankası Tasarımı

Eş dalgacıklı süzgeç tasarımı, ardışık bir yöntem olarak bilinen, en küçük hata ile istenen optimum dürtü yanıtını sağlayan en iyi yöntemlerden biri olan Parks-McClellan tabanlı bir yöntemdir [5]. Şekil 3.1'deki gibi bir alçak geçiren süzgecin genlik cevabı için eşdeğer dalgacık dönüşümü yapılarak tasarım gerçekleştirilir. Bu yöntemde süzgeç; geçirme, geçiş ve durdurma bantlarının belli tolerans sınırları arasında değişmesi temel alınarak tasarlanmaktadır. Yani süzgecin genlik cevabında geçirme, geçiş ve durdurma bantlarındaki toleransın belli sınırlar dahilinde olması arzu edilir.



Şekil 3.1. Alçak geçiren süzgeç için genlik cevabı ve dalgacık salınımları

Bu yöntemde geçiş ve durdurma bantlarında eşit dalgacık olacak şekilde bir tasarım amaçlanır. Ancak her bir banttaki dalgalanmanın bağımsız olarak ağırlıklandırılmasına izin verilir. Yöntemde, alçak geçiren bir süzgeç, Eşitlik 3.1 kullanılarak ifade edilir.

$$H(e^{j\omega}) = \begin{cases} 1 - \delta_1 < H(e^{j\omega}) < 1 + \delta_1 & , 0 < \omega < \omega_p \\ \delta_2 < H(e^{j\omega}) < \delta_2 & , \omega_s < \omega < \pi \end{cases} \quad (3.1)$$

Eşitlikte  $\delta_1$  iletim bandı dalgacık değerini (passband ripple),  $\delta_2$  durdurma bandı dalgacık değerini ifade etmektedir.  $\omega_s$  kesim bandı frekansını,  $\omega_p$  ise geçiş bandı frekansını ifade etmektedir.  $H_d(e^{j\omega})$  tasarlanması istenen süzgeç genlik cevabı ise hata aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

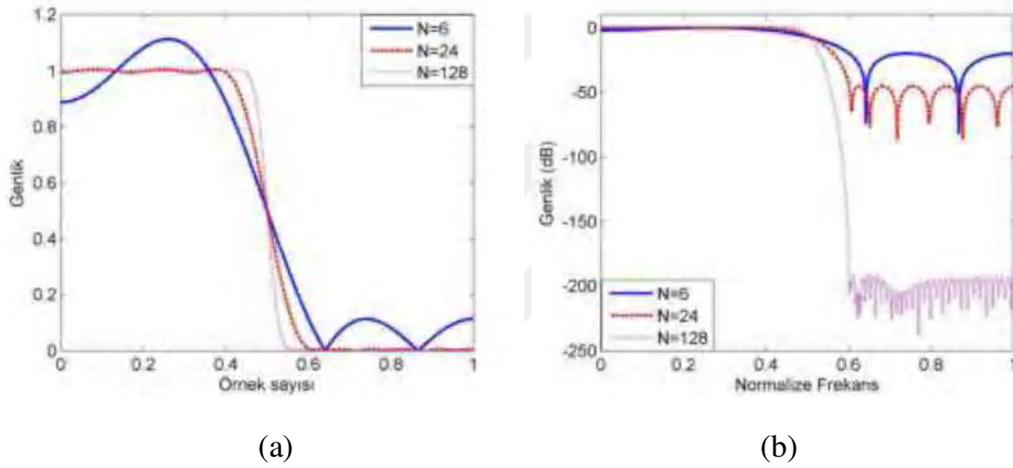
$$E(e^{j\omega}) = W(e^{j\omega})(H_d(e^{j\omega}) - H(e^{j\omega})) \quad (3.2)$$

Eşitlikte  $W(e^{j\omega})$  frekansa bağlı bir ağırlıklandırma fonksiyonu olup iletim ve durdurma bandının sabit olmasını sağlamak için kullanılmaktadır. Böylece belirlenen frekans aralıklarında dalgacık değeri düşük süzgeç tasarımı gerçekleştirilmektedir.

Literatürde QMF banka tasarımı problemi olarak  $0,4\pi$  durdurma bandı,  $0,6\pi$  geçirme bandına sahip bir alçak geçiren prototip süzgeç tasarımı kullanılmaktadır. Bu nedenle bu tez çalışmasında da QMF bankası tasarımı için aynı özelliklere sahip bir alçak geçiren

prototip süzgeç tasarımı temel alınmıştır. Tasarlanan prototip süzgecin dönüşümlerinden QMF bankası tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.2’de eşdalgacık yöntemi kullanılarak elde edilen prototip süzgeç genlik yanıtları verilmiştir. Sırasıyla 6, 24 ve 128 süzgeç uzunluklarındaki prototip süzgeç genlik yanıtları Şekil 3.2.a’da verilmiştir. Şekil 3.2.b’de ise desibel cinsinden genlik yanıtları çizdirilmiştir. Düşük dereceli süzgeç tasarımlarından yüksek dereceli süzgeç tasarımına doğru ilerledikçe, elde edilen prototip süzgeçlerinde, arzu edilen geçiş ve durdurma bandına daha da yaklaşmakta olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Eşdalgacık yöntemi ile prototip süzgeç tasarım sonuçları: (a) prototip süzgeç genlik yanıtları, (b) dB cinsinden genlik yanıtları

Prototip süzgeç derecesini 6 ile 256 arasında değişen durumları için gerçekleştirilen tasarımlarda elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de verilmektedir. Süzgeç bankasının performansları PRE ve  $A_s$  cinsinden incelenmiştir. Her süzgecin tasarlanması için kullanılan işlem zamanı mili saniye olarak verilmiştir. Tabloda verilen değerler incelendiğinde, kullanılan yöntemle bağlı olarak PRE değerinde yani tepe yeniden elde etme oranında önemli bir değişim olmazken, süzgeç derecesinin artmasına bağlı olarak tasarlanan QMF bankasının  $A_s$  değerinin arttığı yani durdurma bandı zayıflatmasının daha iyi olduğu görülmektedir. Süzgecin tasarlanması için geçen süre mili saniye olarak tabloda sunulmuştur. Süzgeç tasarım süresi süzgeç uzunluğu ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Tablo 3.1. Eşdalgalık yöntemiyle gerçekleştirilen QMF bankası tasarımlarının süzgeç derecesine göre karşılaştırılması

Süzgeç derecesi	PRE	$A_s$	$t$ (ms)
6	24.0769	19.7784	226.2930
12	3.1530	25,4620	233.1503
18	<b>2.8993</b>	34.8356	239.0104
24	3.1041	43.9451	<b>228.5935</b>
30	3.0111	56.3507	241.1908
36	3.0800	61.5516	236.4753
42	3.0092	73.4711	246.6556
48	3.0746	78.5323	241.9494
54	3.0057	90.1627	256.3211
66	3.0187	106.5655	275.9051
72	3.0704	111.4648	259.3895
100	2.9956	149.0385	282.5639
128	3.0103	<b>184.0230</b>	302.1120
256	36.1295	34.3898	420.4744

### 3.2. QMF Bankasının Pencere Fonksiyonu Yöntemiyle Tasarımı

Sayısal süzgeç tasarımında çok tercih edilen yöntemlerden biri de pencere fonksiyonu kullanarak süzgeç tasarımıdır. Pencere fonksiyonunun kullanılmasının esas amacı, sonsuz bir seri olan Fourier serisinin doğrudan kesilmesi ile süzgecin özellikle kesim ve geçiş frekanslarında oluşan istenmeyen salınımların azaltılmasıdır [2, 5]. Eşitlik 3.3 ile ifade edildiği gibi pencere fonksiyonunun süzgecin genlik cevabı ile çarpılması ile bu salınımlar azaltılmaya çalışılmaktadır.

$$h_{\omega}[n] = h[n]\omega[n] \quad (3.3)$$

Eşitlikte  $h[n]$  süzgeç genlik cevabı,  $\omega[n]$  süzgeç dürtü cevabı ile eşit uzunluktaki pencere fonksiyonunu ifade etmektedir.  $h_{\omega}[n]$  ise süzgecin pencere fonksiyonu ile çarpılmış yani pencerelenmiş durumunu temsil etmektedir.

Etkili ve kolay olmasına karşın bu yöntemin en önemli dezavantajı en uygun pencere fonksiyonunun elde edilememesidir. Bu nedenle Dikdörtgen, Hamming, Hann, Blackman, Bartlett gibi farklı pencere fonksiyonları kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında QMF bankası tasarımında, literatürde sıkça kullanılan Bartlett (üçgen), Blackman, Hamming, Hanning ve Kaiser (Kaiser-Bessel) pencere fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan pencere fonksiyonları eşitlikleri aşağıda verilmektedir. Bartlett Eşitlik 3.4, Blackman Eşitlik 3.5, Hamming Eşitlik 3.6, Hanning Eşitlik 3.7 ve Kaiser pencere fonksiyonu Eşitlik 3.8 ile tanımlanmıştır.

$$\omega_{Bartlett}[n] = \begin{cases} \frac{2n}{N-1}, & 0 \leq n \leq \frac{N-1}{2} \\ 2 - \frac{2n}{N-1}, & \frac{N-1}{2} \leq n \leq N \end{cases} \quad (3.4)$$

$$\omega_{Blackman}[n] = 0,42 + 0,5\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0,08\cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n < N \quad (3.5)$$

$$\omega_{Hamming}[n] = 0,54 + 0,46\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n < N \quad (3.6)$$

$$\omega_{Hanning}[n] = 0,5 + 0,5\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), \quad 0 < n < N \quad (3.7)$$

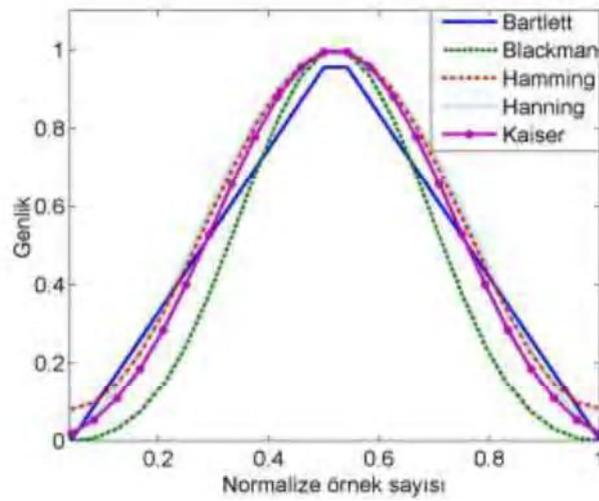
$$\omega_{Kaiser}[n] = \frac{I_0\left(\beta\sqrt{1-(N-1/2)^2}\right)}{I_0\beta}, \quad -\frac{N-1}{2} \leq |n| \leq \frac{N-1}{2} \quad (3.8)$$

Eşitliklerde  $N$ , pencere uzunluğunu ifade etmekte olup kullanılan pencere fonksiyonu da sadece pencere uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Kaiser pencere fonksiyonunda  $\beta$ , ayarlanabilir bağımsız parametreyi ifade etmektedir.  $I_0$  parametresi ise sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonunu göstermekte olup güç serisi açılımı Eşitlik 3.9 ile verilmiştir.

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{k!} \left(\frac{x}{2}\right)^k \right]^2 \quad (3.9)$$

QMF bankası tasarımı için kullanılan pencere fonksiyonları Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Kaiser penceresi kullanılırken  $\beta$  parametresi literatürdeki uygulamalarla benzer olarak 5,8 olarak alınmıştır.

Pencere fonksiyonları ile tasarlanan QMF bankası, prototip süzgeç performanslarının karşılaştırılması amacıyla, farklı süzgeç uzunluklarında tasarlanmıştır. Eşdalgacıklı süzgeç tasarımında olduğu gibi 6-256 arasında değişen süzgeç uzunluklarında prototip süzgeç tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan süzgeçlerin  $PRE$  ve  $A_s$  değerleri ve her bir süzgecin tasarımı için harcanan zaman Tablo 3.2’de verilmiştir. Süzgeç dereceleri arttıkça genel olarak  $A_s$  değerlerinin düştüğü ancak  $PRE$  değerlerinin ise süzgeç derecesi ciddi biçimde değişmediği görülmektedir.



Şekil 3.3.QMF bankası tasarımında kullanılan pencere fonksiyonları

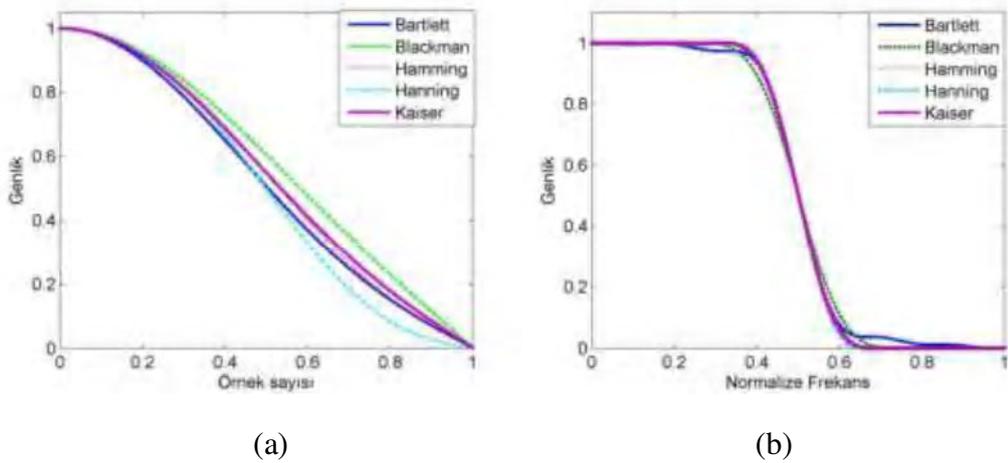
Tablo 3.2.a Bartlett, Blackman ve Hamming pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan QMF bankası sonuçları

Süzgeç Derecesi	Bartlett			Blackman			Hamming		
	<i>PRE</i>	<i>A<sub>s</sub></i> (dB)	<i>t</i> (ms)	<i>PRE</i>	<i>A<sub>s</sub></i> (dB)	<i>t</i> (ms)	<i>PRE</i>	<i>A<sub>s</sub></i> (dB)	<i>t</i> (ms)
6	2.9226	8.67230	<b>100.0841</b>	<b>1.3718</b>	6.4501	153.2818	<b>2.2332</b>	7.97800	115.2621
12	<b>2.6607</b>	12.4475	101.9853	3.0074	11.0234	137.1943	3.0830	13.0063	116.6541
18	2.8642	17.1406	106.2439	3.0122	14.7399	150.3833	2.99251	18.7245	113.3666
24	2.9130	22.3391	103.1751	3.0111	19.3101	143.217	3.0052	26.0139	118.4388
30	2.9447	26.1950	106.4282	3.0097	24.9353	121.7627	2.9946	37.1699	<b>110.9080</b>
36	2.9319	27.6117	104.0846	3.0100	31.9111	121.3167	3.0392	<b>93.4681</b>	111.5373
42	2.9522	27.6087	109.6074	3.0105	40.744	122.0902	2.9999	56.7864	118.4377
48	2.9620	27.6243	108.1281	3.0104	52.3405	<b>117.1689</b>	3.0068	55.3003	116.1188
54	2.9712	28.5241	120.1690	3.0102	67.7265	133.3848	3.0021	57.0473	113.2983
66	2.9741	31.9468	107.5327	3.0104	79.6400	119.9909	3.0036	63.6661	118.4003
72	2.9782	33.1551	107.4876	3.0103	94.6452	121.986	3.0079	66.4295	114.9901
100	2.9856	34.9189	178.1155	3.0103	79.3215	116.7599	3.0209	60.0681	113.0227
128	2.9923	36.8933	180.2892	3.0103	88.1387	116.7871	3.0089	69.1939	114.2253
256	3.00132	<b>43.1771</b>	195.3481	3.0103	<b>106.8583</b>	126.1497	3.0095	68.9758	120.5837

Tablo 3.2.b Hanning ve Kaiser pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan QMF bankası sonuçları

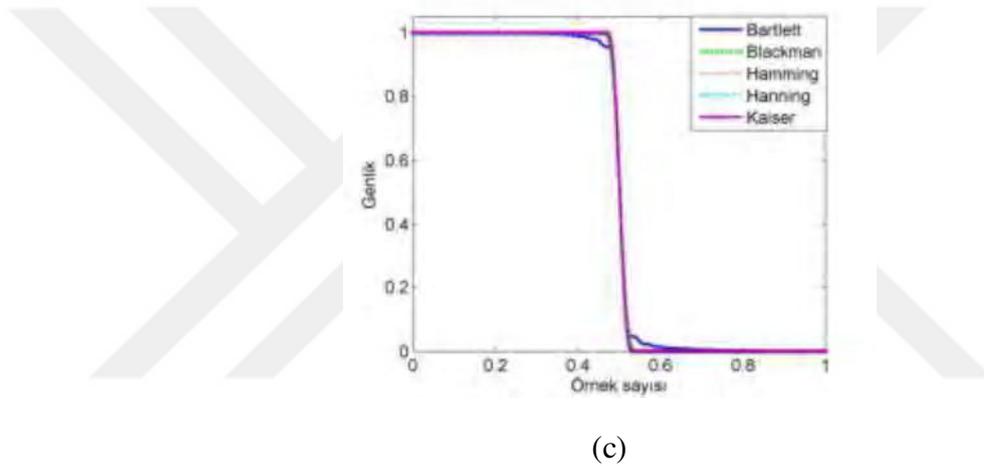
Süzgeç derecesi	Hanning			Kaiser		
	<i>PRE</i>	$A_s$ (dB)	$t$ (ms)	<i>PRE</i>	$A_s$ (dB)	$t$ (ms)
6	3.0673	9.6977	<b>93.1195</b>	<b>2.2164</b>	7.7091	101.7851
12	<b>2.9866</b>	13.8764	97.6979	2.9967	12.4085	95.2881
18	3.0061	19.5178	101.9263	3.0076	17.48785	96.7735
24	3.0131	27.5658	99.1936	3.0112	24.2085	94.0429
30	3.0115	42.3782	96.0056	3.0108	33.5368	95.5165
36	3.0094	45.8756	95.1284	3.0133	49.0877	97.1384
42	3.0098	45.0045	94.4673	3.0078	62.5950	<b>92.1319</b>
48	3.0106	54.1040	92.0555	3.0099	69.6933	96.6179
54	3.0105	59.6941	96.2155	3.0098	66.2542	96.2248
66	3.0102	60.0626	98.5745	3.0087	73.7180	92.9794
72	3.0104	74.7872	96.3156	3.0099	66.8609	96.4593
100	3.0103	67.9971	96.3521	3.0123	<b>93.2603</b>	94.22614
128	3.0103	82.9308	96.1406	3.0100	72.7106	96.7971
256	3.0103	<b>94.7301</b>	95.8870	3.0101	91.2421	96.4327

Tasarlanan QMF bankası prototip süzgeç genlik yanıtları süzgeç uzunluklarına göre Şekil 3.4'de verilmiştir. Örnek olması açısından 6, 24 ve 128. dereceden uzunluklara sahip, pencere fonksiyonlarıyla tasarlanan prototip süzgeç genlik yanıtları sırasıyla Şekil 3.4-a, 3.4-b ve 3.4-c'de görülmektedir. Altıncı dereceden yani nispeten daha düşük dereceli süzgeç tasarımlarında, genlik yanıtının  $0,4\pi$  geçiş bandı ve  $0,6\pi$  durdurma bandı şartlarını sağlayamadığı görülmektedir. Süzgeç derecesinin 24 olduğu durumda genlik yanıtının alçak geçiren süzgeç genlik yanıtına benzediği, 128 olduğu durumda da genlik yanıtının ideal alçak geçiren süzgecin genlik yanıtına daha da benzediği görülmektedir.



(a)

(b)



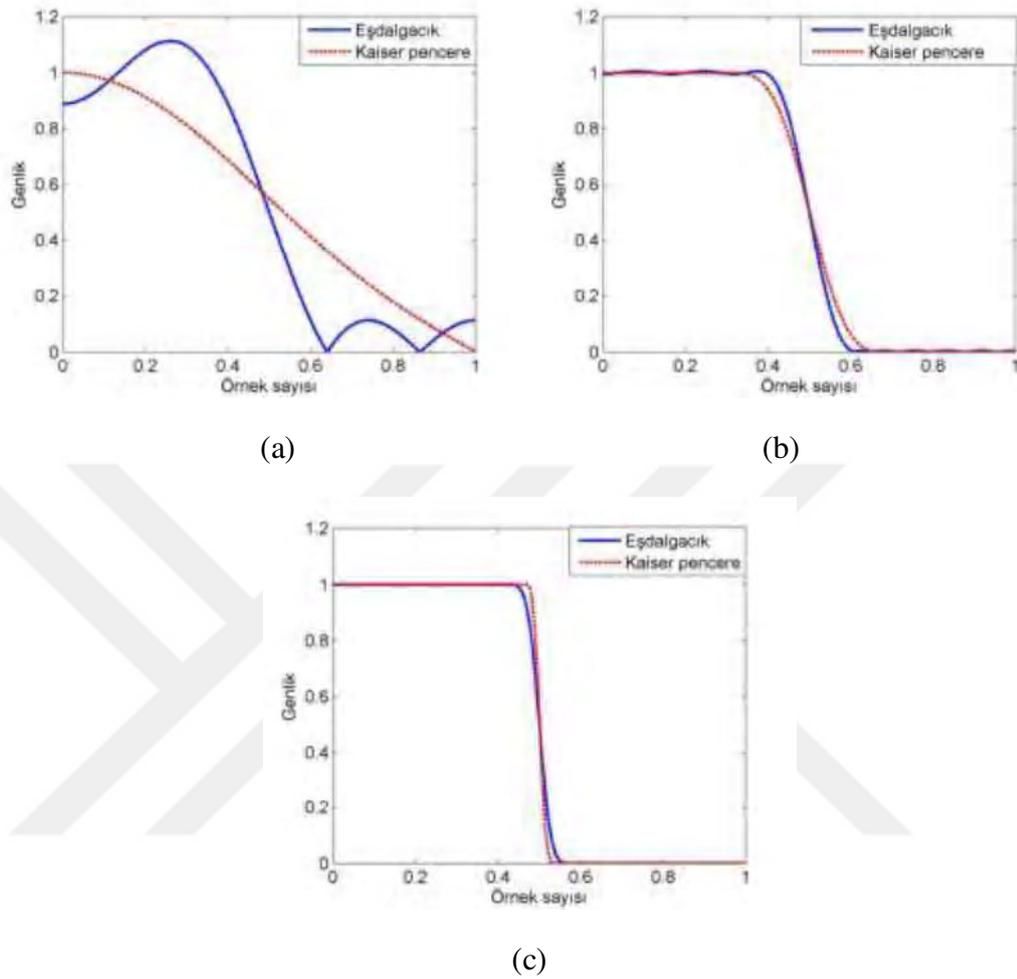
(c)

Şekil 3.4. Süzgeç uzunluklarına göre QMF banka prototip süzgeç genlik yanıtları:

(a)  $N=6$ , (b)  $N=24$ , (c)  $N=128$

### 3.3. Eşdalgacık ve Pencere Fonksiyonu Tasarımlarının Karşılaştırılması

Eşdalgacık ve pencere fonksiyonları ile QMF bankası tasarımları sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2-a ve b'de sunulmuştu. Tasarımların karşılaştırılması sonucunda pencere fonksiyonlarının eşdalgacık yöntemine göre bariz üstünlükleri olduğu görülmektedir: PRE değeri açısından pencere fonksiyonu ile gerçekleştirilen tasarımlar genel olarak daha iyi sonuç vermiştir. Sadece süzgeç uzunluğunun 100 olarak alındığı durumda eşdalgacık yöntemi daha iyi sonuç vermiştir. Eşdalgacık yöntemi çok düşük ve yüksek süzgeç uzunluklarında pencere yöntemine göre daha kötü sonuçlar vermektedir.  $A_s$  açısından ise eşdalgacık yöntemi genel olarak daha iyi sonuç vermektedir. İşlem zamanı açısından da pencere fonksiyonu eşdalgacık yöntemine göre daha hızlı bir tasarım gerçekleştirmektedir.

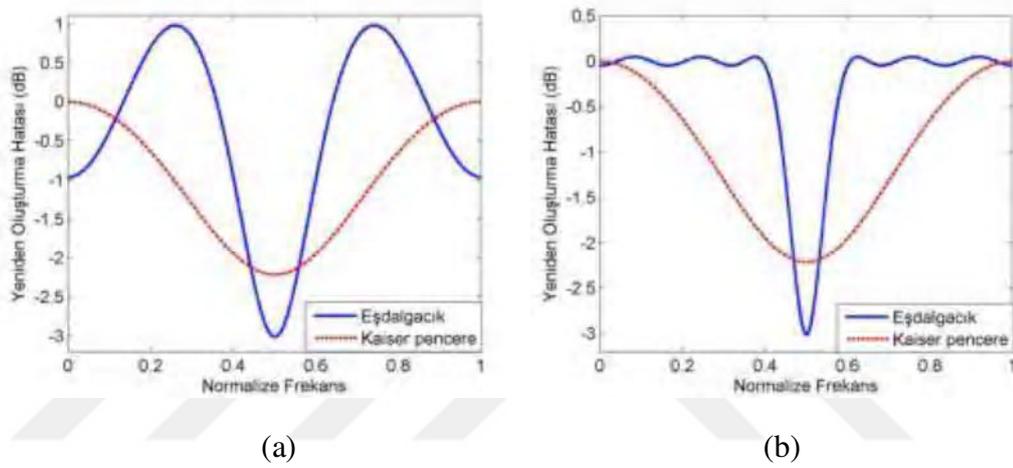


Şekil 3.5 Eşdalgaçık ve Kaiser pencere fonksiyonu ile yapılan tasarımların genlik yanıtlarının karşılaştırılması: (a)  $N=6$ , (b)  $N=24$ , (c)  $N=128$

Eşdalgaçık ve Kaiser penceresi tasarım sonuçlarının karşılaştırılması açısından örnek olması açısından süzgeç uzunluklarının sırasıyla 6, 24 ve 128 olduğu durumlarda, tasarlanan süzgeçlerin genlik yanıtları Şekil 3.5'te çizdirilmiştir. Tepe yeniden oluşturma hataları da aynı süzgeç uzunlukları için sunulmuştur. Süzgeç derecesinin 6 olduğu durumda gerçekleştirilen tasarımlarda genlik yanıtlarının istenen geçiş bandı ve durdurma bandı şartlarına sahip olmadığı Şekil 3.5.a'nın incelenmesinden anlaşılmaktadır. Eşdalgaçık yöntemi ile gerçekleştirilen tasarımda genlik yanıtında ayrıca salınımlar olduğu gözlenmektedir. Süzgeç derecesinin 24 olduğu durumdaki tasarımlar Şekil 3.5.b'de verilmiştir. Bu durumda tasarımların alçak geçiren süzgeç genlik yanıtına benzediği görülmektedir. Süzgeç uzunluğunun 128 olması durumunda da elde edilen tasarımlar Şekil 3.5.c'de verilmektedir. Buna göre Kaiser penceresi

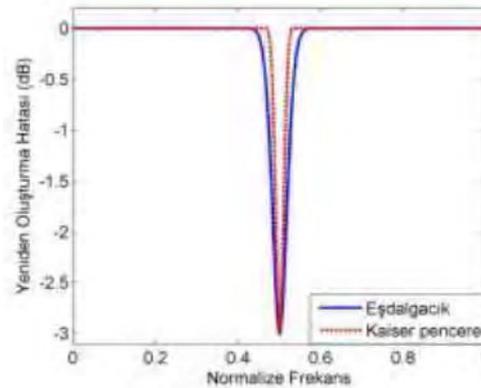
kullanıldığı durumda elde edilen tasarımın daha kesin geçiş ve kesim frekansına sahip olduğu görülmektedir.

Eşdalgalık ve pencere fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilen tasarımların tepe yeniden oluşturma hataları Şekil 3.6'da üstüste çizdirilmiştir. Önceki incelemelere benzer şekilde 6, 24 ve 128. dereceden süzgeçlerin Kaiser penceresiyle tasarımları temel alınarak *PRE* değerleri incelenmiştir. Şekil 3.6.a'da süzgeç uzunluğunun 6 olduğu durumda elde edilen tasarımlar verilmektedir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3.6. Eşdalgalık ve Kaiser pencere fonksiyonu ile yapılan tasarımların karşılaştırılması: (a)  $N=6$ , (b)  $N=24$ , (c)  $N=128$

Şekilden, Kaiser penceresi ile gerçekleştirilen tasarımın daha düşük *PRE*'ye ve salınımına sahip olduğu görülebilmektedir. Süzgeç uzunluğunun 24 olması durumunda *PRE*'nin değişimi Şekil 3.6.b'de verilmiştir. Şekil 3.6.b'de Eşdalgalık yöntemi ile gerçekleştirilen tasarımın yeniden oluşturma hatası frekans spektrumu boyunca Kaiser

penceresine göre daha dar bir alan kapladığı görülmektedir. Durdurma ve kesim frekansı değerleri arasında ise yeniden oluşturma hatası artmaktadır. Kaiser pencere fonksiyonu ile tasarlanan süzgecin yeniden oluşturma hatasının diğer yonteme göre daha düşük sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 3.6.c’de süzgeç uzunluğunun 128 olduğu durumda elde edilen tepe yeniden elde etme hatası çizdirilmiştir. Bu durumda da Eşdalgacık ve Kaiser pencere fonksiyonu ile yapılan tasarımların birbirine çok yakın olduğu görülmekle birlikte Kaiser penceresi ile gerçekleştirilen tasarımda biraz daha küçük bir hatanın ortaya çıktığı görülmektedir. Genel olarak da Kaiser pencere fonksiyonu kullanılarak elde edilen tasarımın Eşdalgacık yöntemi ile tasarıma göre daha iyi olduğu görülmektedir.



## 4. BÖLÜM

### SEZGİSEL ALGORİTMALARLA GENLİK CEVABI TABANLI QMF BANKASI TASARIMI

Süzgeç bankalarının prototip süzgeç tasarımına dayalı olarak tasarlanması dolayısıyla QMF bankası tasarımı da bir prototip süzgeç tasarımı problemi olarak düşünülebilir. Tez çalışmasının bu bölümünde sezgisel algoritmalarla QMF bankası tasarımına yönelik olarak önerilen yöntem anlatılmakta ve ayrıntılı olarak incelenmektedir. Önerilen yöntemde; ilk olarak sezgisel yöntemlerle tasarlanan alçak geçiren bir prototip süzgecin genlik cevabı temel alınmış ve buna bağlı olarak QMF bankası tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her algoritmanın başarımı ayrı ayrı incelenerek sonunda QMF bankası tasarımında bu sezgisel algoritmalarından hangisinin tercih edilebileceği değerlendirilmiştir. Alt bölümlerde ilk olarak genlik cevabı temelli QMF bankası tasarımı anlatılmaktadır. Daha sonra tasarımda kullanılan sezgisel algoritmaların kontrol parametre değerleri verilmiştir. Alt bölümlerde ayrıca tasarımda kullanılan prototip süzgeçler için de kullanılan algoritmaların başarımları karşılaştırılarak verilmiş ve QMF bankası tasarımında, tasarlanan prototip süzgeçlerin geçiş bantlarının etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilir olması için tüm algoritmaların birbirinden bağımsız başlangıç değerleriyle otuz (30) kez koşturulması sağlanmıştır.

#### 4.1. QMF Bankasının Genlik Cevabı Kullanılarak Tasarımı

QMF bankası tasarımında önceliğin alçak geçiren bir prototip süzgeç tasarımı olduğu daha önce ifade edilmişti. Prototip süzgecin en uygun biçimde tasarlanması işleminde alçak geçiren sayısal süzgecin temel parametrelerinden olan geçirme, geçiş ve durdurma bandı temel alınarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir [20, 37, 42, 44, 46]. Sezgisel

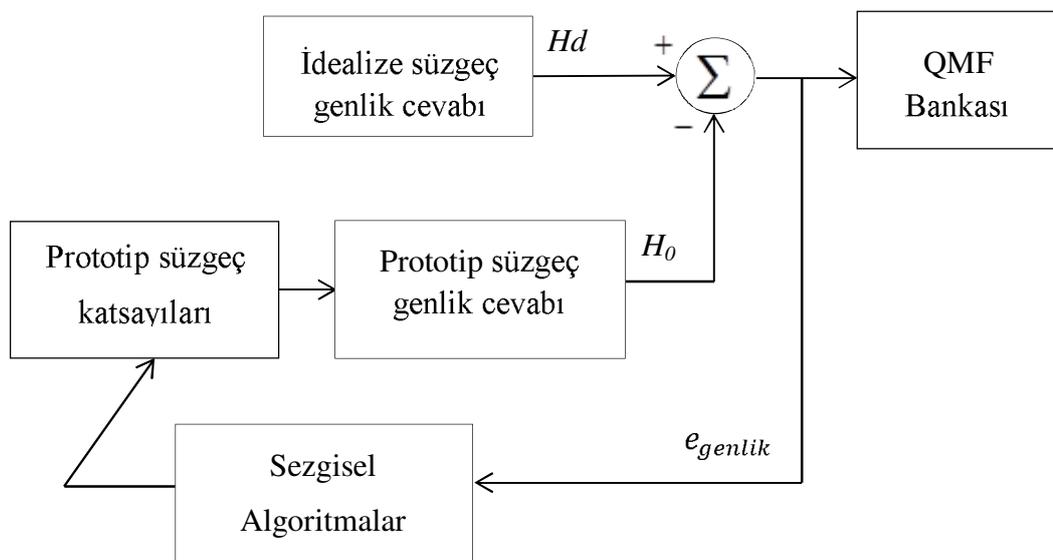
yöntemlerle yapılan tasarımlarda durdurma bandı hatası, durdurma bandı zayıflatma oranı (stopband attenuation,  $A_s$ ), iletim bandı hatası (transition band error), geçiş bandı hatası (passband error) ve yeniden oluşturma tepe hatası (peak reconstruction error, PRE) tasarım değerlendirme kriterleri olarak kullanılması tercih edilmiştir [31, 39, 44, 45]. Tasarlanan QMF bankasının değerlendirilme kriterlerinden ilki durdurma bandı zayıflatma oranı olan  $A_s$  parametresidir. Bu parametre Eşitlik 4.1 kullanılarak elde edilmektedir.

$$A_s = -20 \log_{10} \left( H_0(e^{j\omega}) \right), \omega = \omega_s \quad (4.1)$$

Eşitlikte  $H_0$  prototip süzgeci ifade etmekte olup durdurma bandı zayıflatma oranı  $\omega_s$  durdurma frekansı için hesaplanmaktadır. PRE değerinin hesaplanma yöntemi ise Eşitlik 4.2 ile gerçekleştirilmektedir.

$$PRE = \max \left\{ 20 \log \left( |H_0(e^{j\omega})|^2 + |H_0(e^{j\omega-\pi})|^2 \right) \right\} \quad (4.2)$$

Önerilen yöntemde ilk olarak, alçak geçiren sayısal süzgecin genlik cevabına bağlı olarak bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'de verilen blok yapıda bu durum gösterilmektedir. Bu aşamada gerçekleştirilen işlemlerde, alçak geçiren FIR prototip süzgeç tasarımı, önceden belirlenmiş ideal sayısal bir süzgecin genlik cevabı ile tasarlanan süzgecin genlik cevabının karşılaştırılması prensibine dayanmaktadır.



Şekil 4.1. Genlik yanıtı kullanarak prototip süzgeç tasarımının blok yapısı

Şekil 4.1’de tasarlanmış genlik cevabı  $H_d$  ile temsil edilmektedir. Kabul edilebilir çok küçük bir hata ile ideale yakın bir tasarım yapılarak genlik cevabının elde edilmesi amaçlanmaktadır. Sezgisel algoritmalar prototip süzgeç katsayılarının tasarlanmasında kullanılmaktadır. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi tasarlanan prototip süzgeç katsayılarının  $H_0$  genlik cevabı hesaplanmakta ve amaçlanan genlik cevabı  $H_d$  ile karşılaştırılarak  $e$  ile temsil edilen bir hata değeri hesaplanmaktadır. QMF bankası da, 1. bölümde anlatıldığı gibi, prototip süzgeç katsayılarının dönüşümü ile elde edilmektedir. Sezgisel algoritmalar kullanılarak en düşük hata ile en uygun prototip FIR süzgeç parametrelerinin elde edilmesi sağlanmaktadır. FIR prototip süzgecin maliyet açısından uygun olması için daha az katsayı ile tasarlanması önemli olduğundan simetrik olarak tasarlanması tercih edilmiştir. Eşitlik 4.3 ile süzgeç katsayıları kullanılarak simetrik süzgeç tasarımı ifade edilmiştir

$$b = [b_0, b_1, \dots, b_{L-1}, b_L, b_L, b_{L-1}, \dots, b_1, b_0, ] \quad (4.3)$$

$L$  elemanlı katsayıların sırası simetrik olacak şekilde tekrarlanarak  $b$  ile temsil edilen prototip süzgecin katsayıları elde edilir. Şekil 4.1 ile gösterilen yöntemde algoritmaların ortalama karesel hata ile kullanacağı amaç fonksiyonu ise Eşitlik 4.4 ile hesaplanır.

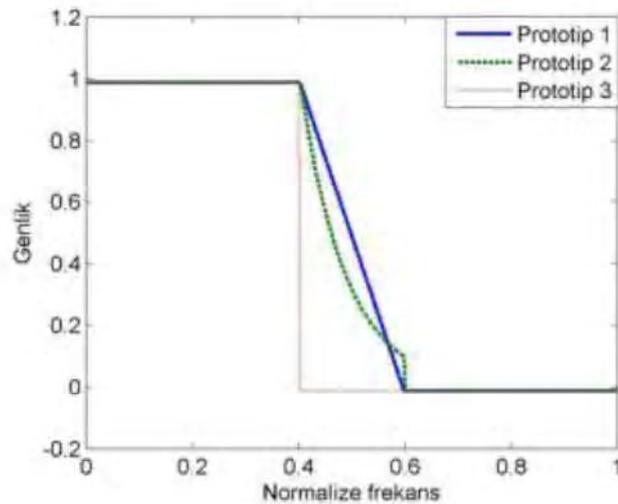
$$J(\omega) = \min \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (|H_d(\omega)| - |H_0(\omega)|)^2 = mse(|H_d(\omega)| - |H_0(\omega)|) \quad (4.4)$$

Kullanılan amaç fonksiyonunda  $H_d$  önceden tasarlanmış olan genlik cevabını,  $H_0$  ise tasarlanan prototip süzgeç genlik cevabını temsil etmektedir.

İdeal bir süzgecin genlik cevabı, geçirme ve durdurma bantlarına bağlı olarak kare veya bir dikdörtgen şeklinde olmakla birlikte uygulamada bu durumun elde edilmesi zordur. İdeal genlik cevabı yerine belli bir geçiş bandına sahip bir süzgecin uygulaması daha tercih edilebilir olmaktadır. Genlik cevabı ile QMF bankası tasarımında üç farklı geçiş cevabına sahip tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu üç farklı durumda prototip süzgeçlerin genlik cevapları Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Şekil 4.2’den anlaşılacağı gibi “Prototip 1” olarak adlandırılan ilk durum, bir ideal süzgeç tasarımıdır. Yine şekilden anlaşılacağı üzere “Prototip 2” ve “Prototip 3” farklı geçiş bantları ile temsil edilen sayısal süzgeçleri tanımlamaktadır. Tasarımda kullanılacak prototip süzgeç için Eşitlik 4.5 temel alınmıştır.

$$H_d = \begin{cases} 1, & \omega \leq \omega_p \\ fp, & \omega_p < \omega < \omega_s \\ 0, & \omega \geq \omega_s \end{cases} \quad (4.5)$$

Eşitlikte  $\omega_p$  iletim bandını,  $\omega_s$  ise durdurma bandını ifade etmektedir.  $fp$  kullanılacak prototip için seçme fonksiyonudur. Tasarım aşamasında geçirme bandı için bir (1), durdurma bandı için de sıfır (0) değerini alacak şekilde genlik cevapları kullanılmıştır. İlk prototip süzgeçte yani ideal sayısal süzgeç durumunda geçiş bandı bulunmamaktadır. İkinci prototip süzgeçte geçiş bandı logaritmik olarak çizdirilmiştir. Üçüncü prototip süzgeçte ise  $fp$  fonksiyonu olarak doğrusal azalan bir geçiş bandı tasarlanmıştır. İlk olarak gerçekleştirilen tasarımlarda, literatürde çok fazla tercih edildiği için geçirme ve durdurma bandı frekansları sırasıyla  $0,4\pi$  ve  $0,6\pi$  olarak alınmıştır. Daha sonra gerçekleştirilen çalışmalarda farklı geçirme ve durdurma bantlarına ait durumlarda incelenmiştir.



Şekil 4.2. Prototip süzgeç tasarımında kullanılan genlik cevapları

Tasarım için kullanılan genlik cevapları çizdirilirken daha sade ve net anlaşılır bir görüntü için frekans eksenini 0-1 aralığında alınmıştır. Genlik yanıtlarının frekans eksenindeki uzunlukları, tasarlanan süzgecin karmaşık frekans tepkisinin hesaplanacağı nokta sayısını ifade etmektedir. Tasarlanacak prototip süzgecin genlik cevabının hesaplanmasında kullanılan ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmaları için parametre değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Kontrol parametrelerinden olan koloni/popülasyon büyüklüğü tüm algoritmalarda 50 ve maksimum çevrim sayısı da

1000 olarak alınmıştır. Kontrol parametreleri literatürdeki karşılaştırmalı çalışmalar incelenerek belirlenmiştir [20, 44].

Tablo 4.1. Genlik cevabı kullanarak QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların 1000 çevrim için kontrol parametre değerleri

Algoritma	Koloni / popülasyon büyüklüğü:	Kontrol Parametreleri	
ABC	50	Limit:300	
mABC	50	Limit:300	MR:0.4
qABC	50	Limit:300	r:0.6
PSO	50	c1,c2: 2	
DE	50	F:0.8	CR:0.7

#### 4.2. Genlik Cevabı Kullanılarak QMF Bankası Tasarımında Kullanılan Algoritmaların Başarımlarının İncelenmesi

QMF bankası tasarımı için prototip süzgecin sahip olması istenen genlik cevabı temel alınarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Tasarımlarda özellikle son yıllardaki gerçekleştirilen çalışmalarda en fazla kullanılan ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmalarının kullanımı tercih edilmiştir. Kullanılan algoritmaların hata ve yakınsama performanslarının daha güvenilir şekilde değerlendirilebilmesi için başlangıç değerleri birbirinden bağımsız şekilde 30 kez koşturulmuştur. Her tasarımda algoritmaların değerlendirilmesi için *PRE*, *A<sub>s</sub>*, *MSE* ve tek bir maksimum çevrim sayısı boyunca çalışma süresi kullanılmıştır. Önerilen üç farklı prototip süzgeç geçirme bandı frekansı  $0.4\pi$  ve durdurma bandı frekansı  $0.6\pi$  olacak şekilde tasarlanarak algoritmaların parametrelerini tasarladığı prototip süzgeç genlik yanıtları ile karşılaştırılmıştır. Prototip süzgeç uzunlukları sırasıyla 6, 12, 24, 48, 60, 72, 100, 128 ve 256 olacak şekilde alınmıştır.

##### 4.2.1. Prototip-1 Süzgecin Performansının incelenmesi

Bu kısımda, geçirme bandı frekansı  $0,4\pi$  ve durdurma bandı frekansı  $0,6\pi$  olan ideal sayısal bir süzgecin genlik cevabı ile tasarlanan QMF bankası sonuçları incelenmiştir. Artan süzgeç uzunluğunun sonuca etkisi ve kullanılan algoritmaların başarıları Tablo 4.2'de listelenmiştir.

Tablo 4.2.a Prototip-1 süzgeç ile QMF bankası tasarımında ABC, mABC ve qABC algoritmalarına ait sonuçlar

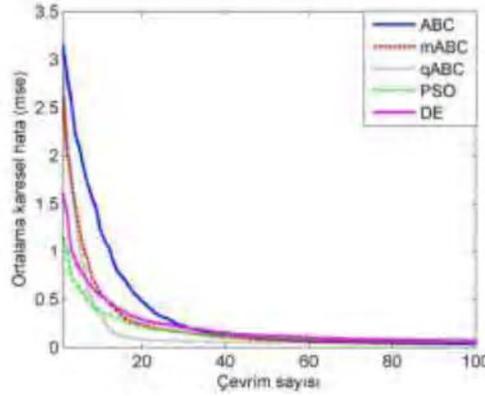
M	ABC					mABC					qABC					
	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)
6	<b>2.4825</b>	12.4985	<b>2.5E-16</b>	6.2691	<b>2.4825</b>	12.4985	<b>2.5E-16</b>	6.2679	<b>2.4825</b>	12.4985	<b>4.7E-07</b>	6.2252	<b>2.4825</b>	12.4985	<b>4.7E-07</b>	6.2252
12	3.5545	23.6553	6.84E-05	6.2103	3.5545	23.6553	0.1954	6.2136	3.5545	23.6553	2.26E-05	<b>6.2086</b>	3.5545	23.6553	2.26E-05	<b>6.2086</b>
18	3.3638	30.3859	0.1542	6.1892	3.3638	30.3807	0.2420	6.3130	3.3588	30.5045	0.14731	6.2194	3.3588	30.5045	0.14731	6.2194
24	3.4025	30.1724	0.1642	6.2034	3.4084	30.2319	0.2553	6.2035	3.4161	29.99786	0.162123	6.2227	3.4161	29.99786	0.162123	6.2227
30	3.5217	37.5720	0.1309	6.2399	31.4885	<b>49.9272</b>	0.1776	<b>6.1919</b>	3.4351	38.1547	0.1638	6.2273	3.4351	38.1547	0.1638	6.2273
36	3.4549	32.0615	0.1441	6.1447	3.4413	30.3737	0.1986	6.2134	3.4462	31.5649	0.1336	6.2789	3.4462	31.5649	0.1336	6.2789
42	3.4886	45.3973	0.1394	6.3352	30.3983	32.3268	0.1407	6.2113	3.3624	39.2342	0.1522	6.2704	3.3624	39.2342	0.1522	6.2704
48	12.7846	26.0053	0.1306	6.1571	50.0169	29.0785	0.1376	6.2282	3.3061	44.5284	0.1226	6.2590	3.3061	44.5284	0.1226	6.2590
54	3.4603	33.7370	0.1395	6.1412	30.8565	30.3581	0.1920	6.2393	3.3033	34.5344	0.1279	6.2870	3.3033	34.5344	0.1279	6.2870
60	22.7989	33.6258	0.1143	6.1277	45.8284	30.2853	0.6796	6.2166	3.3745	44.5224	0.1218	6.2983	3.3745	44.5224	0.1218	6.2983
66	32.9581	26.0193	0.1020	<b>6.1168</b>	37.0766	21.0424	0.3175	6.2466	3.4267	57.2859	0.1304	6.3051	3.4267	57.2859	0.1304	6.3051
72	32.1255	27.0278	0.0998	6.1422	40.0455	28.0101	0.4004	6.2111	3.3718	<b>63.6424</b>	0.1320	6.3132	3.3718	<b>63.6424</b>	0.1320	6.3132
100	24.1996	<b>68.8752</b>	0.1109	6.1196	20.4978	15.2869	1.5892	6.2535	11.2037	16.5386	0.12766	6.3385	11.2037	16.5386	0.12766	6.3385
128	24.6327	29.6429	0.0889	6.1431	15.6727	6.6527	3.1849	6.3103	39.0672	40.6695	0.1581	6.3632	39.0672	40.6695	0.1581	6.3632
256	29.7788	36.0194	0.2384	6.1856	16.6811	7.8917	10.0512	6.4042	34.9553	35.9417	0.1001	6.5387	34.9553	35.9417	0.1001	6.5387

Tablo 4.2.b Prototip-1 süzgeç ile QMF bankası tasarımında DE ve PSO algoritmalarına ait sonuçlar

M	DE					PSO				
	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)		
6	<b>2.5294</b>	12.3970	5E-17	13.4949	<b>2.4825</b>	12.4985	<b>5.26E-15</b>	12.9608		
12	3.6775	23.1543	<b>1E-17</b>	13.4280	3.5545	23.6553	19.1879	12.7943		
18	3.4173	28.7585	1.36E-07	<b>13.3894</b>	3.3638	30.3807	25.5243	13.2651		
24	3.4479	<b>29.2013</b>	0.1128	13.3935	3.4036	30.1475	25.1207	<b>12.6659</b>		
30	7.9114	13.5258	0.1452	13.4727	3.4338	38.0270	22.1058	12.7644		
36	3.4357	29.1770	0.1376	13.4074	3.4520	31.9653	21.0414	12.7587		
42	6.4319	16.5873	0.1030	13.4640	34.6636	24.5897	17.4297	12.7933		
48	29.7123	19.9514	0.1245	13.4910	37.7568	<b>53.9436</b>	14.1427	12.7625		
54	17.459	19.8105	0.1607	13.5233	24.7470	34.3818	10.6826	12.8024		
60	17.1220	15.9103	0.6387	13.4963	27.0576	32.9733	14.1154	13.5474		
66	15.8746	22.1159	1.2955	13.5591	27.3505	27.6787	12.2807	13.6928		
72	26.7452	5.7869	2.6477	13.49752	38.5145	40.8700	11.4725	13.3926		
100	18.6250	10.0907	9.6570	13.5851	30.7605	42.9441	10.1625	12.7924		
128	19.3355	20.9054	12.9349	13.5902	23.0120	47.6028	8.4535	13.1796		
256	26.6357	7.3095	53.7367	13.7932	25.9120	18.9602	46.5502	13.0547		

Tablo 4.2 incelendiğinde  $PRE$  ve  $A_s$  açısından en iyi sonucun ABC algoritması tarafından belirlendiği görülmektedir. En düşük  $PRE$  değeri tasarlanan en düşük süzgeç derecesi ile DE algoritması hariç tüm algoritmalarda elde edildiği görülmektedir.  $A_s$  değerinin 66-72 süzgeç derecesi ile tasarımlara kadar arttığı görülmektedir. Süzgeç derecesinin 128 ve daha üzerinde olduğu durumlarda ise tasarım sonuçlarının başarısının düştüğü görülmektedir. Bir çevrim için harcanan zamana bakıldığında en başarılı sonucun ABC algoritması tarafından elde edildiği görülmektedir.

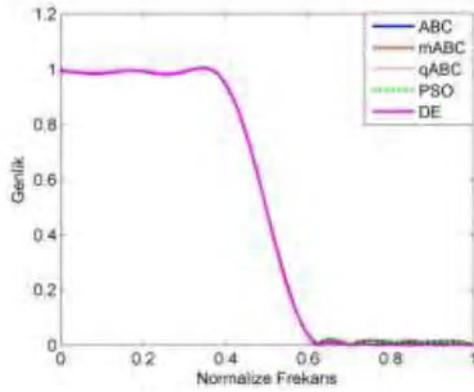
Gerçekleştirilen süzgeç tasarımlarının daha iyi incelenebilmesi için literatürde sıkça kullanılan bir süzgeç uzunluğu olarak  $N=24$  seçilmiştir. Prototip-1 süzgeç kullanılması durumunda 24. dereceden bir süzgeç için algoritmaların yakınsama hızları Şekil 4.3 üzerinde çizdirilmiştir.



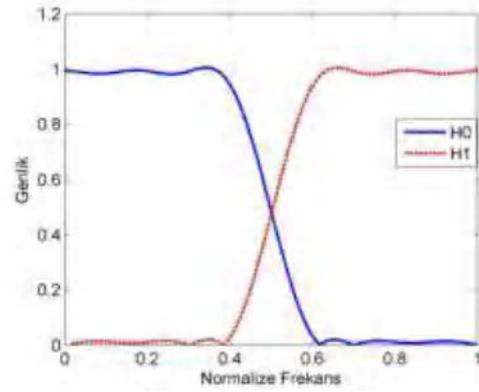
Şekil 4.3. Prototip-1 süzgeç tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları

Şekil 4.3 üzerinde görüldüğü gibi en hızlı yakınsama qABC tarafından elde edilmektedir. qABC algoritmasından sonra yakınsama hızı açısından DE ve PSO algoritmalarının başarılı olduğu görülmektedir.

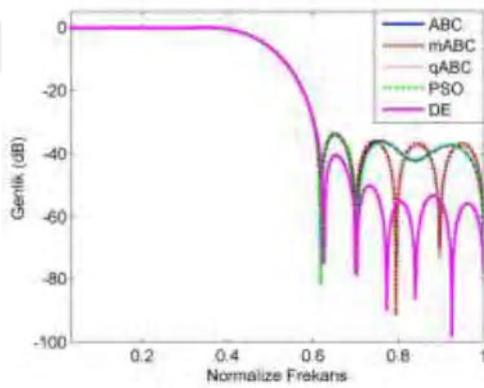
Prototip-1 süzgeç kullanılması durumunda elde edilen genlik cevapları Şekil 4.4.a'da ve ABC algoritması tarafından tasarlanan analiz süzgeçlerin genlik cevapları Şekil 4.4.b'de sunulmuştur. Desibel cinsinden genlik cevabı Şekil 4.4.c'de ve yeniden oluşturma hatası ise Şekil 4.4.d'de verilmiştir.



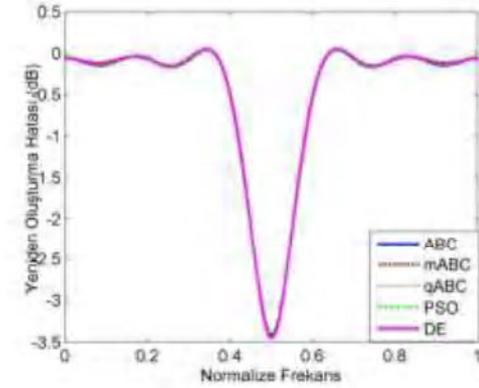
(a)



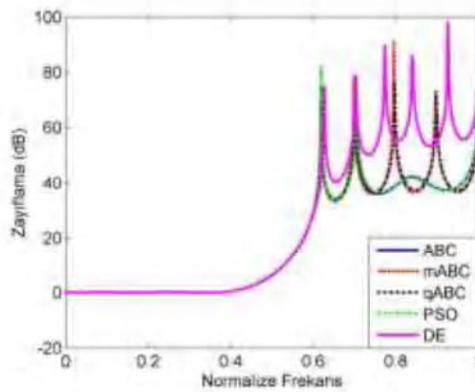
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.4. Prototip-1 süzgeç tasarımında elde edilen sonuçlar: (a) genlik yanıtları, (b) analiz süzgeç genlik yanıtları, (c) dB ölçeğinde genlik yanıtları, (d) yeniden oluşturma hataları, (e) dB ölçeğinde zayıflama oranları

Şekil 4.4-a üzerinde tasarlanan genlik cevapları çizdirilmiştir. Çizimler birbirine yakın görülmesine rağmen Şekil 4.4-b'de genlik cevaplarını dB olarak çizdirildiğinde elde

edilen genlik cevaplarının gerçek performansları daha rahat görülebilmektedir. ABC ve mABC algoritmaları ile yapılan tasarımların en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Şekil 4.4-c'de dB cinsinden verilen zayıflama oranları açısından yine en iyi sonucun ABC ve mABC algoritmaları tarafından elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.2 üzerinden de incelenebileceği üzere 24 süzgeç derecesi için tüm tasarımların *PRE* sonuçları birbirine yakındır. Bu nedenle Şekil 4.4-d'de yeniden oluşturma hata grafikleri de birbirine yakın görünmektedir.

#### 4.2.2. Prototip-2 Süzgecin Performansının incelenmesi

Şekil 4.2'de gösterilen ve geçirme bandı frekansı 0 ila  $0.4\pi$  arasında genliği bir (1), durdurma bandı frekansı  $0.6\pi$ 'dan  $\pi$ 'ye kadar genliği sıfır (0) olan ve geçiş bandı logaritmik olarak azalan süzgeç tasarımı Prototip-2 olarak adlandırılmıştır. Prototip -2 süzgeç tasarımı temel alındığında, elde edilen QMF bankası sonuçları bu kısımda incelenmiştir. İlk örnekte olduğu gibi bu örnekte de 6-256 arasında artan süzgeç uzunluğunun performansa etkisi incelenmesi için *PRE*,  $A_s$ , *MSE* ve bir çevrim için geçen süre verilmiştir. ABC, mABC, qABC, DE ve PSO algoritmaları kullanılarak tasarlanan sonuçlardan elde edilen bulgular Tablo 4.3 üzerinde sunulmuştur.

Tablo 4.3.a Prototip-2 süzgeç ile QMF bankası tasarımında ABC, mABC ve qABC algoritmalarına ait sonuçlar

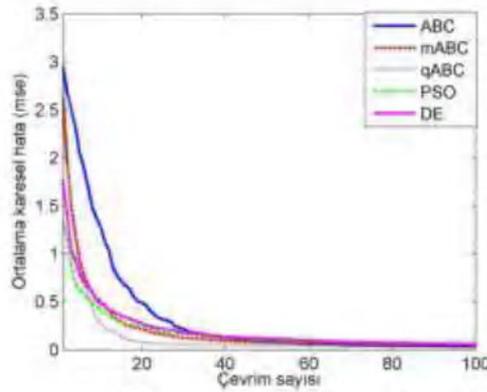
M	ABC					mABC					qABC					
	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)
6	<b>3.5091</b>	14.2014	<b>2.6457E-12</b>	6.0328	<b>3.5091</b>	14.2014	<b>2.2E-17</b>	6.1893	<b>3.5091</b>	14.2014	<b>8.2919E-09</b>	6.0954	<b>3.5091</b>	14.2014	<b>8.2919E-09</b>	6.0954
12	5.8564	30.8436	0.0165	6.0146	5.8564	30.8436	0.0137	6.1593	5.8564	30.8436	0.0099	<b>6.0477</b>	5.8564	30.8436	0.0099	<b>6.0477</b>
18	6.6584	25.2951	0.0163	<b>6.0143</b>	6.6616	25.2704	0.0236	6.1568	6.6604	25.2848	0.0133	6.0628	6.6604	25.2848	0.0133	6.0628
24	7.2533	22.9957	0.0162	6.0181	7.2800	23.0853	0.0228	6.1578	7.3027	22.9986	0.0162	6.0498	7.3027	22.9986	0.0162	6.0498
30	7.5466	25.6373	0.0142	6.0238	40.2094	21.6786	0.0165	6.1652	7.6467	26.4676	0.0134	6.0837	7.6467	26.4676	0.0134	6.0837
36	7.5496	24.3363	0.0150	6.0782	7.5489	24.0314	0.0212	<b>6.1186</b>	7.5391	24.3290	0.0150	6.0906	7.5391	24.3290	0.0150	6.0906
42	7.0760	24.7878	0.0161	6.0620	6.9302	22.2238	0.0187	6.1652	6.7221	21.5822	0.0094	6.1165	6.7221	21.5822	0.0094	6.1165
48	7.8235	51.2515	0.0129	6.0523	26.1726	34.2341	0.0136	6.1660	7.0684	25.4325	0.0136	6.1131	7.0684	25.4325	0.0136	6.1131
54	7.1591	28.7700	0.0135	6.0502	39.7183	27.2548	0.0128	6.1625	15.9335	21.8529	0.0110	6.1147	15.9335	21.8529	0.0110	6.1147
60	7.2357	26.5517	0.0123	6.2202	34.9631	51.6804	0.0452	6.1532	7.4492	28.0978	0.0124	6.1432	7.4492	28.0978	0.0124	6.1432
66	27.3581	20.7882	0.0079	6.0710	20.8576	14.3678	0.0414	6.1810	6.9963	25.1968	0.0125	6.2847	6.9963	25.1968	0.0125	6.2847
72	29.4415	<b>54.6548</b>	0.00749	6.0698	28.1550	38.6190	0.0329	6.1519	28.5496	<b>34.2451</b>	0.0108	6.1794	28.5496	<b>34.2451</b>	0.0108	6.1794
100	21.1243	22.2392	0.0108	6.0697	26.5873	<b>54.8202</b>	0.2045	6.1848	30.8242	24.0721	0.0106	6.1723	30.8242	24.0721	0.0106	6.1723
128	22.3553	34.5542	0.0085	6.0950	25.1874	27.4437	0.2647	6.2177	29.2137	24.5827	0.0113	6.2087	29.2137	24.5827	0.0113	6.2087
256	23.6684	19.7485	0.0173	6.0993	17.0902	12.7588	1.3068	6.2460	36.9525	26.3506	0.0087	6.3575	36.9525	26.3506	0.0087	6.3575

Tablo 4.3.b Prototip-2 süzgeç ile QMF bankası tasarımında DE ve PSO algoritmalarına ait sonuçlar

M	DE					PSO				
	<i>PRE</i>	$A_s$	<i>MSE</i>	<i>t</i> (s)	<i>PRE</i>	$A_s$	<i>MSE</i>	<i>t</i> (s)		
6	<b>3.5538</b>	14.0647	<b>6E-18</b>	13.3323	<b>2.4825</b>	12.4985	<b>5.26E-15</b>	12.9608		
12	5.7351	30.3738	0	13.3682	3.5545	23.6553	19.1879	12.7943		
18	6.6050	27.9892	6.0697E-11	<b>13.3288</b>	3.3638	30.3807	25.5243	13.2651		
24	6.9243	25.6395	0.0041	13.3976	3.4036	30.1475	25.1207	<b>12.6659</b>		
30	9.1255	<b>32.2753</b>	0.0157	13.3350	3.4338	38.0270	22.1058	12.7644		
36	7.5184	23.1373	0.01266	13.3935	3.4520	31.9653	21.0414	12.7587		
42	20.1632	19.8792	0.0162	13.3800	34.6636	24.5897	17.4297	12.7933		
48	16.5676	12.7197	0.0160	13.3959	<b>37.7568</b>	<b>53.9436</b>	14.1427	12.7625		
54	24.2143	19.5655	0.0220	13.4837	24.7470	34.3818	10.6826	12.8024		
60	24.4449	7.6958	0.0516	13.4629	27.0576	32.9733	14.1154	13.5474		
66	24.8819	7.9746	0.1595	13.4900	27.3505	27.6787	12.2807	13.6928		
72	13.3198	25.9102	0.1729	13.5444	38.5145	40.8701	11.4725	13.3926		
100	16.7882	7.7663	0.7475	13.5948	30.7605	42.9441	10.1625	12.7924		
128	19.8245	9.6581	1.5423	13.6780	23.0120	47.6028	8.4535	13.1796		
256	24.8504	26.9311	4.2981	13.8338	25.9120	18.9602	46.5502	13.0547		

Tablo 4.3 incelendiğinde en düşük *PRE* değerinin PSO algoritması tarafından elde edildiği görülmektedir.  $A_s$  değerinde ise en yüksek sonucun mABC algoritması tarafından elde edildiği görülmektedir. Bir çevrimi en kısa sürede işleyen algoritma ise ABC algoritması olarak belirlenmiştir.

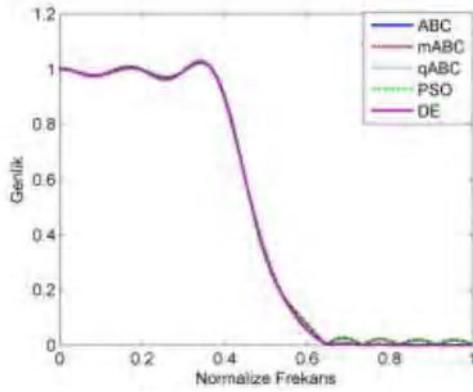
Uygulama aşamasında prototip süzgeç tasarımlarının daha iyi değerlendirilmesi için Prototip-1 de olduğu gibi süzgecin uzunluğu olarak 24 olarak alınmıştır. Bu durumda algoritmalarından elde edilen yakınsama hızları Şekil 4.5’de verilmiştir.



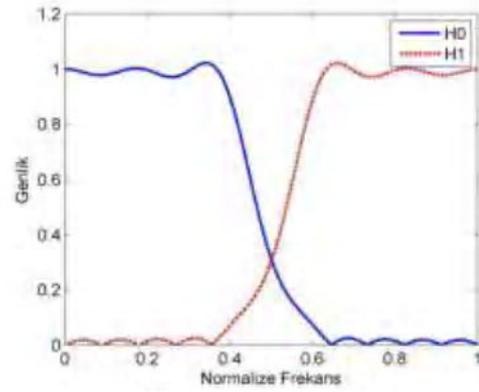
Şekil 4.5. Prototip-2 süzgeç tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları

Toplamda 1000 çevrimde çalışan algoritmaların yakınsama değerleri sona doğru yaklaşmakta olduğu için ilk 100 çevrimlik kısmı dikkate alınmıştır. Yakınsama hızı açısından qABC algoritmasının diğerlerine nazaran daha hızlı olduğu görülmektedir. Tasarımlarda elde edilen genlik yanıtları Şekil 4.6.a’da, analiz süzgeç genlik cevapları Şekil 4.6.b’de, dB cinsinden genlik cevapları Şekil 4.6.c’de, yeniden oluşturma hatası Şekil 4.6.d’de ve son olarak zayıflama oranları Şekil 4.6.e’de verilmiştir.

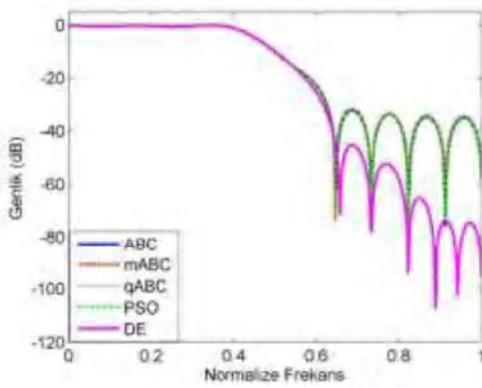
Sonuçlar yakın olduğu için dB cinsinden genlik yanıtlarının verildiği Şekil 4.6.c incelendiğinde, özellikle PSO algoritması ile tasarlanan prototip süzgecin diğer algoritmalar ile tasarlanan genlik yanıtlarına göre daha başarısız bir tasarım olduğu görülmektedir. Şekil 4.6.e’de zayıflama oranı incelendiğinde de aynı başarı oranlarının elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.6.b’de ABC algoritması ile tasarlanan analiz süzgeçler çizdirilmiştir. Şekil 4.6.d’de ise yeniden oluşturma hataları çizdirilmiştir. Tablo 4.3 üzerinden de görüldüğü üzere *PRE* değerlerinin birbirine yakın olmaları nedeniyle yeniden oluşturma hatalarının çizimleri de birbirine yaklaşmaktadır.



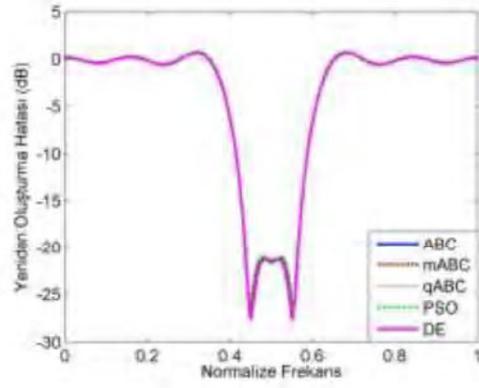
(a)



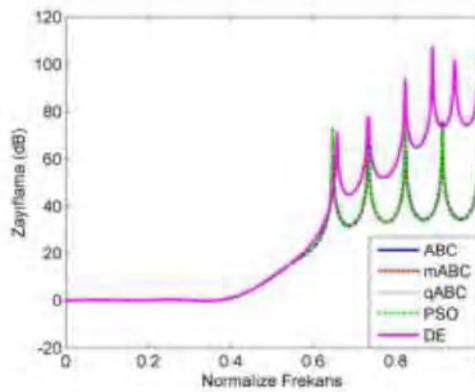
(b)



(c)



(d)



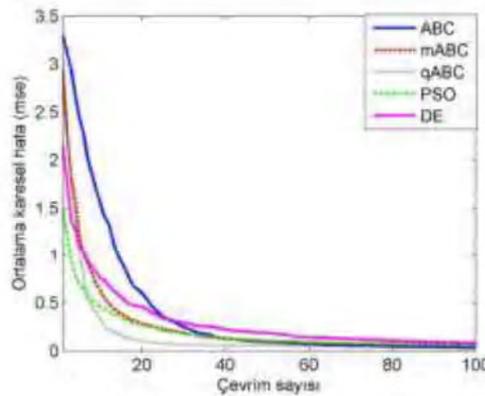
(e)

Şekil 4.6. Prototip-2 süzgeç tasarımında elde edilen sonuçlar: (a) genlik yanıtları, (b) analiz süzgeç genlik yanıtları, (c) dB ölçeğinde genlik cevapları, (d) yeniden oluşturma hataları, (e) dB ölçeğinde zayıflama oranları

### 4.2.3. Prototip-3 Süzgecin Performansının İncelenmesi

Prototip-3 süzgeç, geçiş bandı frekansı 0 ila  $0.4\pi$  arasında genliği 1, durdurma bandı frekansı  $0.6\pi$ 'dan  $\pi$ 'ye kadar genliği 0 ve geçiş bandı ( $0.4\pi$ - $0.6\pi$  arası) kullanılmayıp  $0.4\pi$ 'den sonra hemen 0 olarak belirlenmiştir. Şekil 4.2 üzerinde görüldüğü gibi prototip-3 süzgeç ideal genlik yanıtına sahip süzgeç olup pratikte tasarlanması ve uygulanması en zor olan süzgeçtir. Bu örnekte de 6-256 arasında artan süzgeç uzunluğunun performansa etkisi incelenmesi için  $PRE$ ,  $A_s$ ,  $mse$  ve bir çevrim için geçen süre verilmiştir. ABC, mABC, qABC, DE ve PSO algoritmaları kullanılarak tasarlanan sonuçlardan elde edilen bulgular Tablo 4.4 üzerinde sunulmuştur.

Tablo 4.4 incelendiğinde  $PRE$  açısından tasarlanan en küçük dereceden olan süzgeçlerin tüm algoritmalar açısından en iyi sonuç verdiği görülmektedir.  $A_s$  açısından ise en yüksek değerin qABC algoritması tarafından tasarlanan süzgece ait olduğu görülmüştür. En hızlı çevrim süresi ise ABC algoritması ile elde edilmiştir. Bu kısımda da sonuçların karşılaştırılabilmesi için Prototip-1 ve Prototip-2'de kullanıldığı gibi süzgeç uzunluğu literatürde en çok tercih edilen değer olan 24 olarak seçilmiştir. Seçilen süzgeç uzunluğuna bağlı olarak algoritmaların yakınsama hızlarına ait sonuçlar Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Prototip-3 süzgeç tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları

Üçüncü prototip süzgeç tasarımında sonuca en hızlı yakınsayan algoritma yine qABC algoritması olmuştur. Daha sonra ise mABC ve PSO algoritmaları yakınsama hızı açısından başarılı sonuçlar vermiştir.

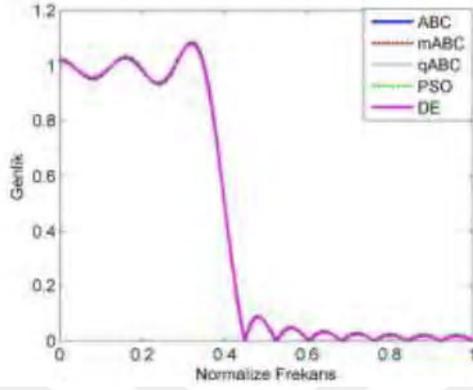
Tablo 4.4.a Prototip-3 süzgeç ile QMF bankası tasarımı ABC, mABC ve qABC algoritmalarına ait sonuçlar

M	ABC					mABC					qABC					
	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	PRE	$A_s$	MSE	t (s)
6	9.2413	26.4545	1.7E-17	6.0169	9.2413	26.4545	2.8E-17	6.1081	9.2413	26.4545	1.9E-17	6.0789	9.2413	26.4545	1.9E-17	6.0789
12	41.2710	20.2362	6.46E-6	5.9835	41.2710	20.2362	0.0193	6.1362	41.2710	20.2362	4.66E-6	6.0746	41.2710	20.2362	4.66E-6	6.0746
18	23.9793	24.6514	0.0135	5.9975	23.9792	24.6515	0.0212	6.1501	23.9792	24.6516	0.0109	6.0610	23.9792	24.6516	0.0109	6.0610
24	26.3603	59.4436	0.0138	6.0278	26.3629	59.6127	0.0235	6.1630	26.3630	59.6148	0.0149	6.0919	26.3630	59.6148	0.0149	6.0919
30	41.9466	30.3860	0.0142	6.0257	39.4646	30.5433	0.0236	6.1321	38.9597	30.7566	0.0134	6.0900	38.9597	30.7566	0.0134	6.0900
36	25.1668	54.9861	0.0131	6.0074	25.2396	58.7490	0.0186	6.1197	25.2593	58.1808	0.0122	6.0894	25.2593	58.1808	0.0122	6.0894
42	36.3661	28.4310	0.0106	6.0180	41.5962	39.4957	0.0117	6.1389	37.0255	30.3952	0.0118	6.1062	37.0255	30.3952	0.0118	6.1062
48	48.1182	29.6816	0.0102	5.9934	38.2812	22.1609	0.0141	6.1276	41.8234	31.6130	0.0117	6.1258	41.8234	31.6130	0.0117	6.1258
54	31.3987	44.8600	0.0104	6.0351	30.2848	58.8773	0.0164	6.1167	31.1241	66.7158	0.0087	6.1196	31.1241	66.7158	0.0087	6.1196
60	49.6939	63.7670	0.0106	6.0420	31.8752	35.1261	0.0184	6.1290	47.1845	37.6722	0.0100	6.1245	47.1845	37.6722	0.0100	6.1245
66	44.8096	46.1660	0.0106	6.0453	24.0364	21.4167	0.0523	6.1304	44.4609	36.6493	0.0090	6.1301	44.4609	36.6493	0.0090	6.1301
72	43.2886	32.8970	0.0117	6.0485	51.1928	27.4211	0.0568	6.1182	32.1487	31.6926	0.0097	6.1324	32.1487	31.6926	0.0097	6.1324
100	38.7398	22.1801	0.0090	6.0419	29.0968	28.3355	0.2447	6.1607	39.8769	40.13855	0.0128	6.1445	39.8769	40.13855	0.0128	6.1445
128	41.8189	45.8636	0.0095	6.0605	26.2814	23.5841	0.4702	6.1780	41.3601	54.33463	0.0135	6.2116	41.3601	54.33463	0.0135	6.2116
256	32.2169	37.6888	0.0218	6.0760	16.8145	10.8672	1.2933	6.2366	59.6628	34.4041	0.0082	6.3404	59.6628	34.4041	0.0082	6.3404

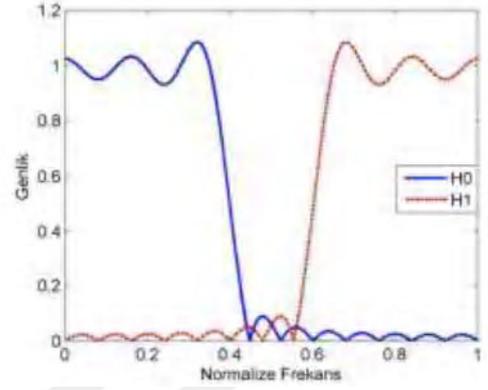
Tablo 4.4.b Prototip-3 süzgeç ile QMF bankası tasarımında DE ve PSO algoritmalarına ait sonuçlar

M	DE				PSO			
	PRE	As	MSE	t (s)	PRE	As	MSE	t (s)
6	<b>9.6631</b>	26.3883	<b>2E-17</b>	<b>13.1938</b>	<b>9.2413</b>	26.4545	<b>2.12E-14</b>	<b>12.2967</b>
12	32.3236	21.1212	5E-18	13.3740	41.2711	20.2362	11.4229	13.3257
18	23.2526	26.2763	5.66E-11	13.4017	23.9792	24.6515	20.9410	12.9621
24	27.5221	46.0022	0.0020	13.3230	26.3629	<b>59.6124</b>	19.7117	13.0817
30	35.2420	45.4232	0.0201	13.4383	39.1539	30.6115	15.3533	12.4769
36	29.9728	<b>47.5009</b>	0.0126	13.3795	25.2396	58.7492	17.4205	12.4210
42	15.7417	22.5745	0.0130	13.3746	37.0669	30.3707	18.2830	12.4262
48	31.1502	27.5072	0.0181	13.3343	44.8995	30.8584	11.8706	12.5472
54	19.9103	15.7771	0.0331	13.4742	28.9957	35.4011	11.2445	12.4841
60	30.5363	6.5263	0.0582	13.4439	43.5413	36.8168	15.8998	12.4708
66	25.2119	43.5556	0.1221	13.4849	35.3485	40.3218	12.0704	12.5231
72	17.2610	13.4852	0.2523	13.5665	43.4869	35.6275	11.1082	12.6778
100	16.0993	8.8083	0.9273	13.5877	45.7995	50.8003	8.0771	12.5241
128	19.6921	8.7371	1.6444	13.6639	41.2759	30.5808	9.3153	12.6428
256	25.0113	23.0277	4.0928	13.8364	27.4715	10.5685	78.9526	12.8510

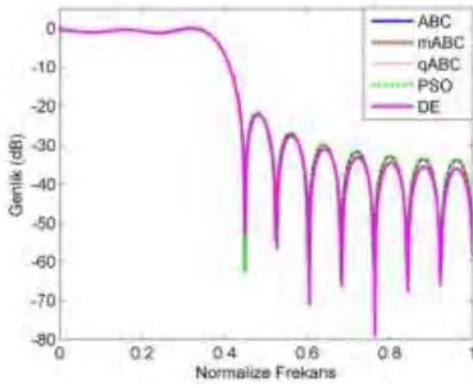
Tasarımlar sonucunda elde edilen genlik yanıtları Şekil 4.8.a'da, analiz süzgeç genlik yanıtları Şekil 4.8.b'de, dB cinsinden genlik cevapları Şekil 4.8.c'de ve yeniden oluşturma hatası Şekil 4.8.d'de çizdirilmiştir.



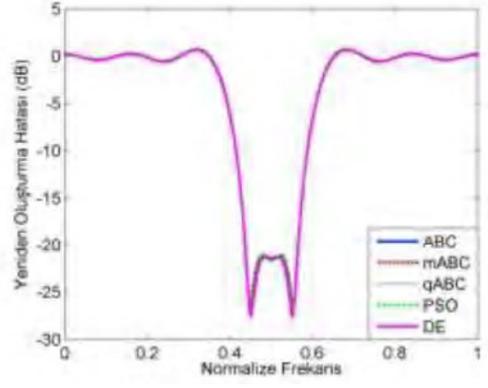
(a)



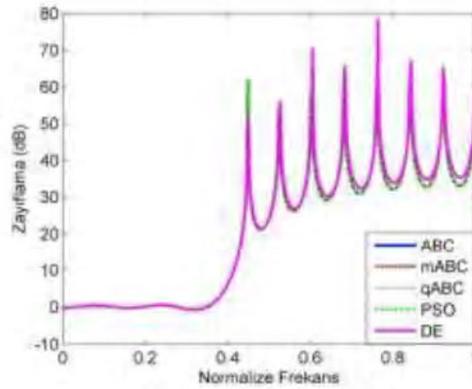
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.8. Prototip-3 süzgeç tasarımında elde edilen tasarım sonuçları: (a) genlik yanıtları, (b) analiz süzgeç genlik yanıtları, (c) dB ölçeğinde genlik yanıtları, (d) yeniden oluşturma hataları, (e) zayıflama oranları

Üç numaralı prototip süzgeç ideale çok yakın olduğu ve pratikte de elde edilmesi güç olduğu için sonuçlar da Şekil 4.8-a'da görüldüğü üzere diğer iki tasarıma göre başarılı olmamıştır. Tüm algoritmalarından elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Şekil 4.8-c ve 4.8-c e'de dB cinsinden genlik yanıtları ve zayıflama oranları incelendiğinde ise PSO algoritmasının diğer algoritma sonuçlarına nazaran biraz daha düşük performans sergilediği görülmektedir. Genlik yanıtının dB cinsinden çiziminde zayıflatma oranının daha düşük olduğu, zayıflatma oranı açısından ise PSO algoritmasının zayıflatma oranının daha yüksek olduğu görülmektedir.

### 4.3. Genlik Cevabı ile QMF Bankası Tasarımında Kullanılan Prototip Süzgeçlerin Başarımlarının İncelenmesi

$0,4\pi-0,6\pi$  aralığında üç farklı prototip süzgeç kullanılarak gerçekleştirilen tasarımlarda kullanılan sezgisel yöntemlerin başarımları bu alt bölümde incelenmiştir. Önerilen üç prototip süzgecin, süzgeç uzunluklarına bağlı olarak  $PRE$  ve  $A_s$  değerleri temel alınmıştır. Her bir süzgeç uzunluğu için tasarlanan üç prototip süzgeç ve kullanılan beş algoritma sonuçlarından en düşük  $PRE$  ve en yüksek  $A_s$  değerleri olan iki tasarım seçilerek tabloya alınmıştır. Bu durumda kullanılan algoritmalara göre performans sonuçları Tablo 4.5'de sunulmuştur.

Tablo 4.5. Farklı prototip süzgeçlerle tasarlanan QMF bankasının başarımları

Süzgeç uzunluğu	Prototip-no	Algoritma	PRE	$A_s$
6	1	ABC, mABC, qABC	2.4825	12.4985
	3	mABC	9.2413	26.4545
12	1	ABC, mABC, qABC, PSO	3.5545	23.6553
	2	PSO	5.8564	30.8436
18	1	qABC	3.3588	30.5045
	1	qABC	3.3588	30.5045
24	1	ABC	3.4025	30.1724
	3	qABC	26.3630	59.6148

30	1	DE	3.4357	29.1770
	3	mABC	25.2396	58.7490
36	1	DE	3.4357	29.1770
	3	PSO	25.2396	58.7492
42	1	qABC	3.3624	39.2342
	1	ABC	3.4886	45.3973
48	1	qABC	3.3061	44.5284
	1	PSO	37.7568	53.9436
54	1	qABC	3.3033	34.5344
	3	qABC	31.1241	66.7158
60	1	qABC	3.3745	44.5224
	3	<b>ABC</b>	<b>49.6939</b>	63.7670
66	1	qABC	3.4267	57.2859
	1	qABC	3.4267	57.2859
72	1	qABC	3.3718	63.6424
	1	qABC	3.3718	63.6424
100	1	qABC	11.2037	16.5386
	1	<b>ABC</b>	24.1996	<b>68.8752</b>
128	1	mABC	15.6727	6.6527
	3	qABC	41.3600	54.3346
256	1	mABC	16.6811	7.8917
	3	ABC	32.2169	37.6888

Tablo 4.5’de sunulan sonuçlara göre önerilen QMF bankası tasarım yönteminde süzgecin uzunluğu arttıkça PRE ve  $A_s$  değerleri de artmaktadır. Özellikle süzgeç uzunluğunun 72-100 ü aşması durumunda QMF bankasının performansının azaldığı görülmektedir. Genel olarak Prototip-1 süzgeçle en iyi PRE ve  $A_s$ ’nin elde edildiği

görüldüğünden tasarımlarda bu durum temel alınması önerilebilir. Tasarımlarda Prototip-2, Prototip-3 süzgece nazaran genel olarak daha başarılıdır. Prototip-3 ise özellikle  $A_s$  değerleri açısından başarılı olduğu görülmesine rağmen PRE değerlerinin ortalamasının üzerinde olması elde edilen süzgeçlerin yüksek dalgacık oranına sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.5 üzerinde 15 farklı süzgeç uzunluğu için en iyi PRE ve  $A_s$  değerleri sunulmaktadır. Toplamda 30 farklı sonuç görülmektedir. PRE ve  $A_s$  başarılarının toplamı dikkate alındığında tasarımda kullanılan algoritmalarından qABC algoritması 16 sayı ile en iyi sonuç elde eden en başarılı algoritmadır. ABC ve mABC ise sırasıyla 7 ve 6 kez en iyi sonuç elde etmişlerdir. PSO ve DE algoritmaları ise 6 farklı durumda en iyi sonucu vermiştir.

## 5. BÖLÜM

### SEZGİSEL ALGORİTMALARLA ZAMAN, FREKANS VE GÜÇ SPEKTRAL YOĞUNLUK TABANLI QMF BANKASI TASARIMI

Bu bölümde giriş işaretine bağlı olarak QMF bankası tasarımı önerilmiştir. Özellikle QMF bankasının girişine uygulanan belirli işaretler için bu duruma göre zaman eksenini, frekans eksenini ve güç spektral yoğunluğu (GSY) temel alınarak süzgeç bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımlarda, sezgisel yöntemlerde ABC, qABC, mABC, PSO ve DE algoritmaları kullanılmıştır. Kullanılan sezgisel algoritmalar, hatalarının değerlendirilmesi ve birbirleri ile karşılaştırılabilirlikleri için bağımsız başlangıç değerleri ile 30 kez koşturulmuştur.

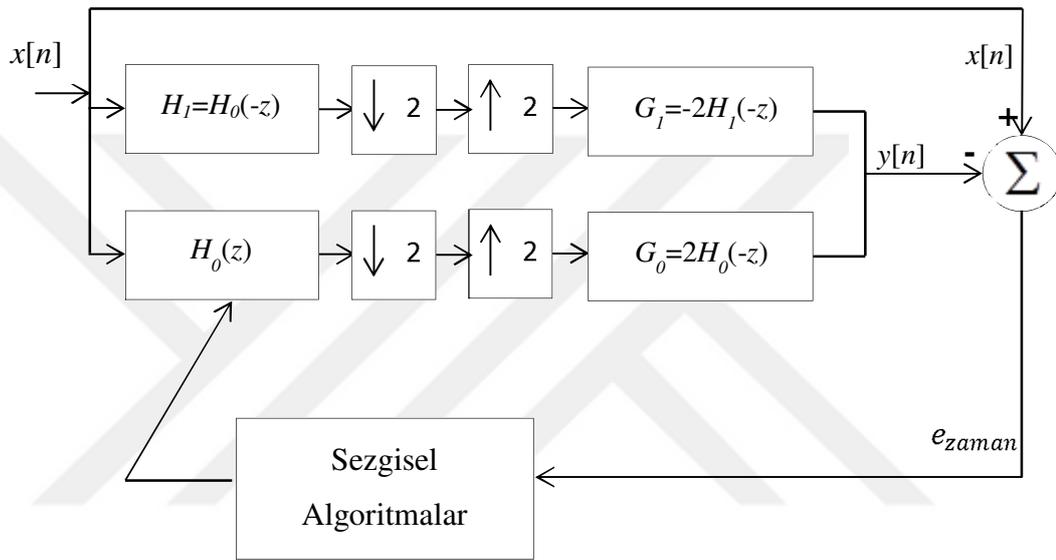
#### 5.1. Zaman Tabanlı QMF Bankası Tasarımının İncelenmesi

QMF bankaları özellikle ses başta olmak üzere işaretlerin alt bantlara ayrılması ve alt bant işaret işleme sistemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır [12, 74-76]. QMF bankasının çıkışında elde edilen işaretin girişine uygulanan işarete mümkün olduğu kadar yakın olması, benzemesi arzu edilmektedir. Böylece QMF bankasının orijinal işarete olan bozucu etkisinin en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Bu bölümde de Tez çalışmasında önerilen yöntemde, sezgisel algoritmalar doğrusal FIR prototip süzgeç parametrelerini tasarlamak için kullanılmıştır. Prototip süzgeç katsayılarının dönüşümü ile QMF bankasındaki diğer üç süzgeç elde edilerek süzgeç bankası oluşturulmuştur.

##### 5.1.1 Zaman Tabanlı QMF Bankası Tasarımı

Ses, EKG, EEG gibi biyomedikal işaretler zaman ekseninde kaydedilmekte ve işlenmektedir. Herhangi bir alt bant kodlama, sıkıştırma ya da süzgeç bankasının çıkışında işaretin yeniden oluşturulmasında orijinal işaretler üzerinde bozulmalar oluşmaktadır [9, 12, 77]. QMF bankasının çıkışındaki işaret ile orijinal işaretin aynı

olması, PR durumu ise ancak süzgeç katsayılarının çok iyi belirlenmesi ile mümkündür [7]. İşaret tabanlı QMF bankası tasarımında, QMF bankası girişine verilen işaret ile çıkışındaki işaretin mümkün olduğunca birbirine benzemesi için tasarım yapılmıştır. Tasarımda QMF bankası prototip süzgeç sezgisel algoritmalar yardımıyla tasarlanırken QMF bankasının çıkış ve girişi arasındaki fark hata fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Kullanılan sistemin blok yapısı Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Zaman tabanlı QMF bankası tasarım yöntemi blok yapısı.

Şekilde  $x[n]$  QMF bankasının girişindeki,  $y[n]$  ise QMF bankasının çıkışındaki işareti temsil etmektedir. QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin farkı  $e$  hata değerini vermektedir. Hata değerini en küçük yapmaya çalışan sezgisel algoritmalarla prototip süzgeç katsayıları belirlenmektedir. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi her süzgecin prototip süzgeçten dönüşümü gerçekleştirilerek QMF bankası elde edilmektedir.

Algoritmalar için kullanılan amaç fonksiyonu Eşitlik 5.1 ile verilmiştir.

$$J(\omega) = \min \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x[n] - y[n])^2 \quad (5.1)$$

Tasarlanan QMF bankasının performansı PRE,  $A_s$  ve korelasyon kullanılarak ölçülmüştür. Giriş ve çıkış işaretlerine bağlı olarak hesaplanan korelasyon ( $r$ ) Eşitlik 5.2 ile tanımlanmış olup [0-1] aralığında değişmektedir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.2)$$

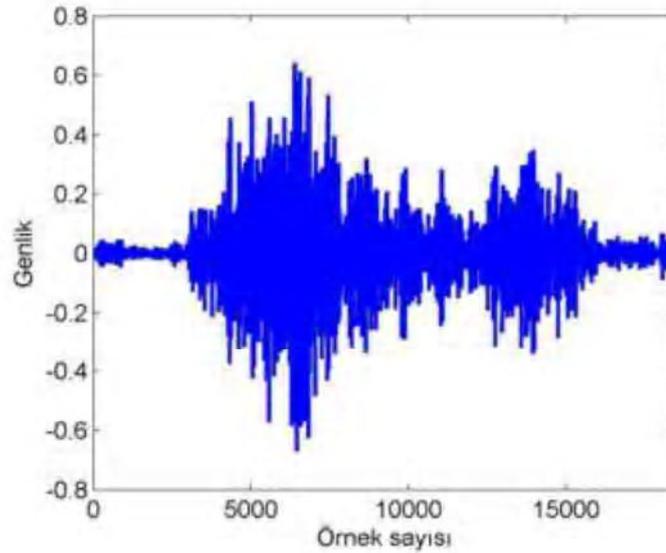
Eşitlikte  $x_i$  ve  $y_i$  ölçülen veri dizilerini ifade ederken  $\bar{x}$  ve  $\bar{y}$  ise ölçülen veri dizilerinin ortalamalarını göstermektedir.

Kullanılan algoritmaların kontrol parametrelerinin bazıları literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılabilirler açısından Tablo 5.1’de verilmiştir [7, 20, 44]. Diğer algoritma parametreleri ise algoritmaların aynı şartlar altında çalışması için seçilmiştir.

Tablo 5.1. Zaman tabanlı QMF bankası kullanılan algoritmaların 1000 çevrim için kontrol parametre değerleri

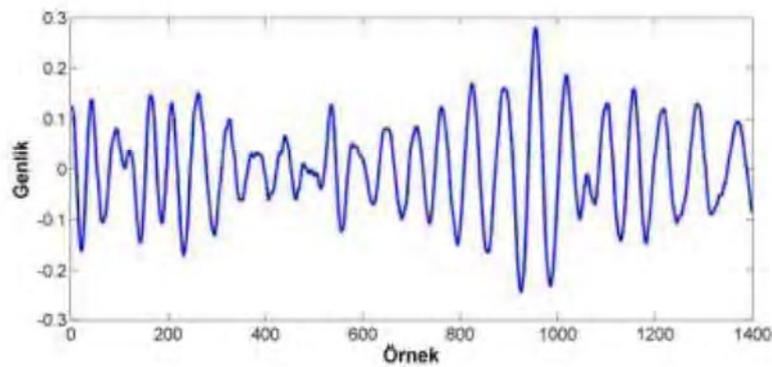
Algoritma	Koloni / popülasyon büyüklüğü:	Kontrol Parametreleri	
ABC	20	Limit:300	
mABC	20	Limit:300	MR:0.4
qABC	20	Limit:300	r:0.6
PSO	20	c1,c2: 2	
DE	20	F:0.9	CR:0.5

QMF bankası tasarımında giriş işareti olarak “*Mitral kapak Doppler işareti*” seçilmiştir. Kalpte bulunan 4 kapaktan birisi olan mitral kapak, kalbin sol kısmında bulunan, sol kulakçık ile sol karıncığı birbirinden ayıran oluşumdur. Görevi, sol kulakçıkta bulunan temiz kanın sol karıncığa geçişini kontrol etmek ve sistol sırasında aorta gitmesi gereken kanın sol kulakçığa geri kaçışını engellemektir. Mitral kapak Doppler işareti, kalbin mitral kapağında geçen kan akışının Doppler yöntemi ile elde edilmesini ifade etmektedir. Ekokardiyografi cihazlarından mitral kapak ölçümü esnasında alınabilen bu işaret Erciyes Üniversitesi Kalp Hastanesi Ekokardiyografi ünitesindeki cihazlardan alınmıştır. Şekil 5.2’de kapağın açılıp kapanması esnasında oluşan kan akışına ait Mitral kapak Doppler işareti ya da bir “kapak çevrimi” gösterilmiştir. Şekilde yatay eksen Doppler cihazının örnekleme oranını, dikey eksen ise genliği ifade etmektedir.



Şekil 5.2. Mitral kapak Doppler çevrim işareti.

Ekokardiyografi cihazları, Doppler işaretlerini 3500 Hz. örnekleme hızı ile örnekleyerek işlemektedir. En fazla bir saniye süren Mitral kapağın açılıp kapanması esnasında toplanan veri ortalama 180000 örnek uzunluğunda olmaktadır. QMF bankası tasarımında bu kadar uzun bir verinin kullanılması pratik değildir. Bu nedenle Mitral kapak Doppler işaretin 1500 örneklilik belirli bir kısmı seçilerek bu işaret üzerinden QMF bankası tasarımı yapılmıştır. İşaret üzerinden seçilen kısım Şekil 5.3 üzerine gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Mitral kapak Doppler işaretinin tasarım için kullanılan kısmı

### 5.1.2 Zaman Tabanlı QMF Bankası Tasarım Sonuçlarının İncelenmesi

Zaman eksenli tabanlı QMF tasarımında, giriş işareti olarak Şekil 5.3'de verilen Mitral kapak Doppler işareti kullanıldığı durumda sezgisel algoritmalar, süzgeç bankasının

giriş ve çıkışındaki işaretleri karşılaştırarak hatayı minimize etmeye çalışmaktadırlar. ABC, mABC, qABC, DE ve PSO algoritmaların kontrol parametreleri Tablo 5.1’de verildiği gibi kullanılmıştır. Algoritmalar QMF bankasının prototip süzgeç parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Prototip süzgeç parametreleri kullanılarak da süzgeç bankası elde edilmiştir.

QMF bankasının girişine uygulanan Mitral kapak Doppler işaretinin QMF bankası çıkışındaki işaret ile korelasyonu ise bu tasarım yönteminin başarısını ölçmek için kullanılmıştır. Kullanılan diğer değerlendirme kriterleri ise sırasıyla PRE,  $A_s$ , ortalama karesel hata (mse) ve bir çevrim için harcanan zamandır. Tasarımın başarısı önceki bölümde kullanıldığı gibi 6-256 süzgeç uzunluğu arasındaki tasarımların ABC, mABC, qABC, DE ve PSO algoritmaları ile gerçekleştirilmesi incelenmek istenmiştir. Tasarımlardan elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan en düşük PRE değeri DE algoritması tarafından 48. derece süzgeç tasarımında elde edilmiştir. En yüksek  $A_s$  değeri ise qABC algoritması tarafından 30. derece süzgeç tasarımında elde edilmiştir. Korelasyon açısından en iyi değerler mABC algoritması ile düşük dereceli süzgeçler ile yapılan tasarımlar olan 6. ve 12. dereceden süzgeç tasarımlarında elde edilmiştir. Genel olarak süzgeç uzunluğu arttıkça mse değerinin de arttığı görülmektedir. Önerilen tasarım yönteminin düşük dereceli süzgeçlerde daha yüksek korelasyon elde ettiği görülmektedir. Süzgeç derecesi arttıkça giriş ve çıkış işareti arasındaki farkın arttığı, korelasyonun azalması ile anlaşılmaktadır.

Bu bölümde de dördüncü bölümdekine benzer şekilde QMF bankalarının başarımını göstermek amacıyla literatürde en çok kullanılan süzgeç uzunluğu tercih edilmiş ve  $N=24$  olarak alınmıştır. Tasarımda kullanılan algoritmaların yakınsama hızları Şekil 5.4’de gösterilmektedir. Tasarımda 1000 çevrim sayısı kullanılmasına rağmen daha ayrıntılı bir gösterim için ilk 100 çevrim kullanılmıştır.

Tablo 5.2.a Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında ABC ve mABC algoritmalarına ait sonuçlar

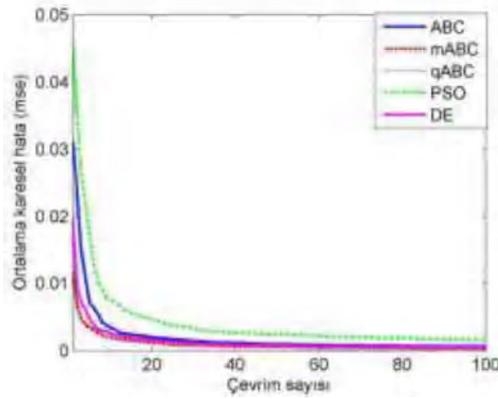
M	ABC					mABC				
	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	korelasyon	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	korelasyon
6	4.0399	0.0121	<b>3.8586</b>	5.5234	<b>0.9989</b>	4.1668	7.4733	<b>2.4201</b>	<b>4.8701</b>	<b>0.9990</b>
12	4.5668	6.2507	32.2923	<b>5.1519</b>	0.9988	5.2346	1.2159	7.2981	5.2155	<b>0.9990</b>
18	4.3195	3.5666	45.9107	12.4001	0.9974	4.5730	5.2611	25.2167	12.5041	0.9984
24	5.7143	<b>15.5989</b>	75.6477	12.6070	0.9953	<b>0.3331</b>	5.8765	38.3887	12.6877	0.9978
30	5.7797	1.0546	109.8982	12.8418	0.9943	1.1708	14.8548	45.8454	13.0078	0.9972
36	3.3844	6.1159	170.9887	12.9266	0.9890	1.0912	9.3909	55.7471	13.0232	0.9947
42	<b>0.6296</b>	10.6178	148.9780	13.0535	0.9834	2.0626	8.2952	77.4551	13.2710	0.9954
48	5.8502	3.1631	242.7719	13.3525	0.9848	6.0206	1.0212	67.1486	13.4733	0.9937
54	0.4221	0.9373	288.5048	13.7745	0.9749	3.6724	<b>18.2303</b>	63.0831	13.7430	0.9921
60	1.4186	8.6613	297.0279	13.7198	0.9695	3.0754	6.7609	77.1348	13.9156	0.9904
66	1.8336	15.1870	332.7148	13.9841	0.9790	1.1802	9.3568	159.6451	14.1122	0.9913
72	1.2644	10.6830	434.1862	14.2333	0.9646	4.5565	6.8430	155.2699	14.3185	0.9897
100	3.7235	7.9219	1096.2814	15.1277	0.9065	4.5308	4.2098	552.8480	15.4749	0.9752
128	5.6504	5.1011	1277.3559	15.9803	0.8419	1.8667	4.4269	822.4427	16.1162	0.9500
256	3.2884	5.0374	9812.3579	20.0049	0.4519	2.8118	5.8409	3965.6681	20.0639	0.6711

Tablo 5.2.b Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında qABC ve DE algoritmalarına ait sonuçlar

M	qABC						DE					
	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	korelasyon	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	korelasyon		
6	4.2834	8.5164	<b>4.3536</b>	<b>4.7933</b>	<b>0.9990</b>	5.9981	0.8191	<b>0.6840</b>	<b>11.2343</b>	<b>0.9990</b>		
12	2.6960	6.3553	25.1746	5.1347	0.9988	5.7616	0.5116	22.9537	11.8899	0.9975		
18	5.6335	12.9380	50.8261	12.4154	0.9987	1.3393	0.3058	94.0337	30.4485	0.9882		
24	5.7099	4.8729	69.4814	12.6547	0.9965	2.9790	3.2138	187.1430	31.0741	0.9757		
30	<b>2.2620</b>	6.2262	85.3961	13.1374	0.9925	5.2406	1.0504	314.9854	31.5316	0.9367		
36	5.3620	9.4856	102.8295	13.0981	0.9926	4.0045	5.2014	600.7988	32.0672	0.8880		
42	5.8339	4.5404	112.2095	13.2063	0.9936	4.1376	10.0232	847.0593	32.3666	0.8670		
48	4.5845	4.2609	149.3056	13.6358	0.9851	<b>0.1175</b>	<b>19.2122</b>	966.3698	32.9285	0.7628		
54	4.2515	1.8125	271.6924	13.6589	0.9867	0.5782	12.1103	1965.1803	33.6421	0.7657		
60	3.4326	3.9509	341.0867	13.9111	0.9935	2.6018	5.9286	2564.4879	34.3265	0.5578		
66	3.3014	2.0958	365.9614	14.2585	0.9756	3.7361	5.7472	2682.9415	34.8526	0.2596		
72	2.4676	2.4263	269.9743	14.4045	0.9720	2.5336	6.7692	4624.2710	35.3440	0.1017		
100	5.9600	16.4619	1017.9740	15.4034	0.9550	3.7442	2.0922	13294.1893	38.0716	0.2043		
128	3.8699	<b>31.1302</b>	1417.4627	16.2880	0.8678	1.4327	6.7851	25105.9356	39.9485	0.0181		
256	4.8559	6.4968	9667.8616	20.5547	0.7717	1.9437	17.4562	292998.7670	50.0216	0.0093		

Tablo 5.2.c Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında PSO algoritması sonuçları

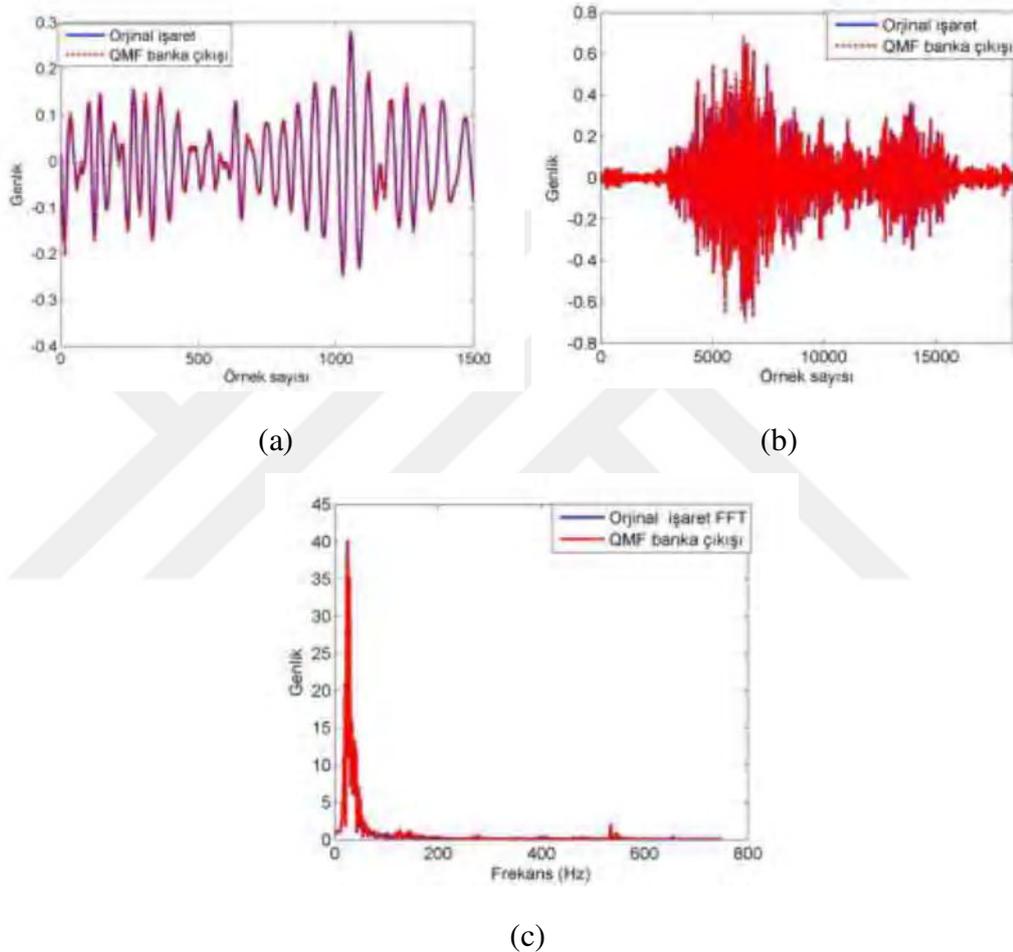
M	PSO				
	<i>PRE</i>	$A_s$	<i>MSE</i>	<i>t</i> (s)	korelasyon
6	2.8398	6.4670	<b>0.0001</b>	<b>10.2177</b>	<b>0.9990</b>
12	5.4533	8.8632	0.0031	11.1791	0.9987
18	0.8221	0.1780	0.0132	29.9090	0.9985
24	3.4972	0.0791	0.0286	30.5396	0.9938
30	0.5455	10.8035	0.0705	30.7971	0.9871
36	4.6692	7.2518	0.1033	31.0215	0.9746
42	5.5796	4.7967	0.1844	31.5716	0.9864
48	1.7376	3.3431	0.1891	32.1825	0.9647
54	6.0206	12.1424	0.2521	32.7176	0.9546
60	0.6827	4.7740	0.5438	33.1156	0.9446
66	<b>0.2769</b>	0.8431	0.5575	34.0429	0.8706
72	4.1640	2.8971	0.6687	34.0742	0.9351
100	1.5206	3.3829	1.3719	36.7668	0.7864
128	1.9814	<b>12.6091</b>	3.4073	39.0048	0.6250
256	2.1487	3.8910	26.0838	48.8430	0.1307



Şekil 5.4. Zaman tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları

Yakınsama hızlarının birbirine yakın olmasına rağmen sonuca en hızlı yakınsayan algoritma qABC algoritması olmuştur. Tablo 5.2 üzerinde verilen tasarım sonuçlarından

süzgeç uzunluğu 24 olan QMF bankası tasarımlarında korelasyon açısından en iyi performansın mABC algoritması tarafından tasarlanan QMF bankasına ait olduğu görülmüştür. Dolayısıyla daha sade bir gösterim için sadece mABC algoritmasının sonuçları Şekil 5.5 üzerinde verilmiştir. Sırasıyla tasarımda kullanılan kısım, tüm işaret ve QMF bankası giriş-çıkış işaretlerinin FFT sonuçları çizdirilmiştir.



Şekil 5.5. mABC algoritması ile zaman tabanlı QMF bankası tasarımında elde edilen sonuçlar: (a) tasarımda kullanılan işaret ve QMF bankası çıkış işareti, (b) işaretin tamamı ve QMF bankası çıkış işareti, (c) tasarımda kullanılan işaret ve QMF bankası çıkışındaki işaretlerin FFT karşılıkları

Şekil 5.5-a'da tasarımda kullanılan işaret ve QMF bankasının çıkışının birbiri ile aynı olduğu görülmektedir. Tüm işaret açısından ise orijinal işaret ve QMF bankası çıkış işaretleri arasında bir fark olmadığı görülmektedir. Orijinal işaret ve QMF bankası çıkışındaki işaretlerin FFT dönüşümlerinin de birbirlerinin aynısı olduğu görülmektedir.

Böylece Tablo 5.2’de dikkate alınarak gerçekleştirilen tasarımın başarılı olduğu söylenebilir.

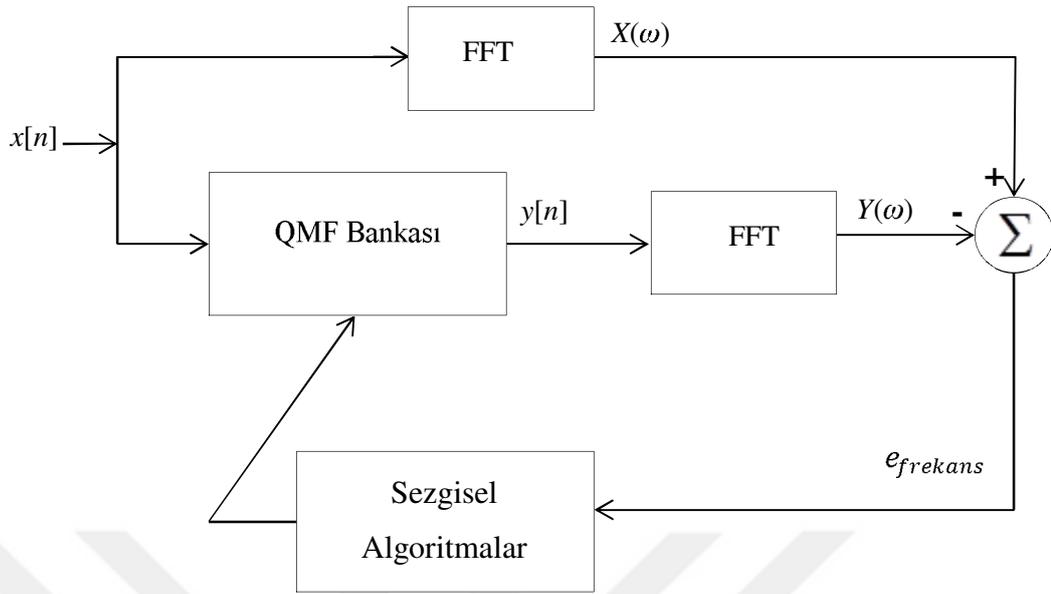
## 5.2. Frekans Tabanlı QMF Bankası Tasarımının İncelenmesi

Biyomedikal işaretler gibi bazı işaretlerin zaman eksenini dışındaki biçimlere dönüştürülmesi ve incelenmesi gerekmektedir [66, 68, 78, 79]. İşaretlerin zaman ekseninde karşılaştırılması dışında frekans eksenindeki özneliklerine göre incelenmesi için QMF bankası tasarımları hakkında çalışmalar yapılmaktadır [53]. Bu bölümde frekans eksenli tasarımda QMF bankasının girişindeki ve çıkışındaki işaretlerin Fourier dönüşümleri alınarak karşılaştırılması temel alınan bir yöntem uygulanmıştır. Frekans açısından alt bantlara ayrılan bir işaret olan EEG işareti vasıtasıyla QMF bankası tasarımı incelenmiştir. Tasarımda sezgisel algoritmalar QMF bankası içerisindeki prototip süzgeç katsayılarını belirlemek için kullanılmıştır.

### 5.2.1 Frekans Tabanlı QMF Bankası Tasarım Yöntemi

Frekans eksenli QMF bankası tasarımında; süzgeç bankası girişine uygulanan Fourier dönüşümü alınmış giriş işaretinin, süzgeç bankası çıkışında elde edilen Fourier’i alınmış işaretle aynı olması prensibi temel alınmıştır. Giriş ve çıkış işareti Fourier dönüşümleri arasındaki fark kullanılan sezgisel algoritmalar için hata fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Sezgisel algoritmalar QMF bankasının prototip süzgeç parametrelerini tasarlamak için kullanılmıştır. Süzgeç bankasının diğer süzgeçleri daha önceden belirtildiği gibi prototip süzgecin dönüşümü ile elde edilmiştir. Kullanılan sistemin blok yapısı Şekil 5.6 ile verilmiştir.

Şekildeki  $x[n]$  QMF bankasının girişindeki işareti,  $y[n]$  ise QMF bankasının çıkışındaki işareti ifade etmektedir.  $X(\omega)$  giriş işaretinin,  $Y(\omega)$  ise çıkış işaretinin Fourier dönüşümünü göstermektedir. QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin Fourier dönüşümlerinin farkı  $e$  hata değerini vermektedir. Hata değerini kullanan sezgisel algoritmalar yardımıyla prototip süzgeç katsayıları belirlenmektedir. QMF bankası da prototip süzgeç katsayılarının dönüşümüyle tasarlanmaktadır.



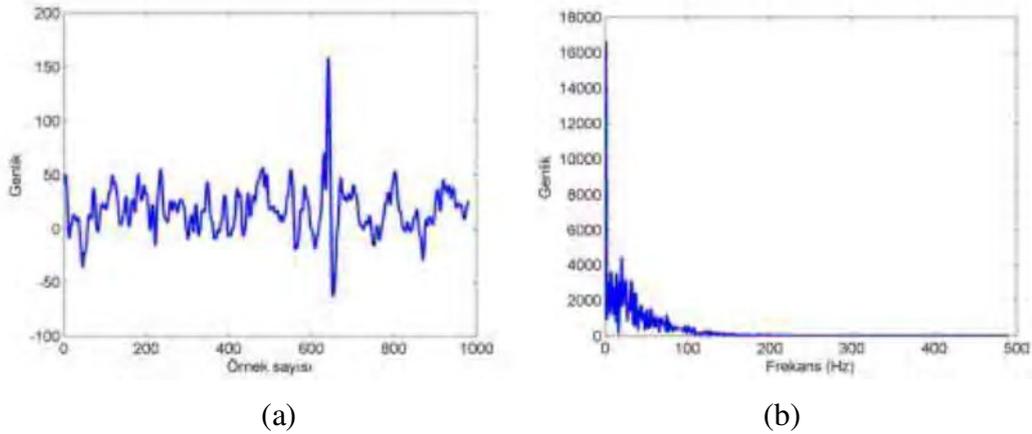
Şekil 5.6. Frekans tabanlı QMF bankası tasarım yöntemi blok yapısı.

Algoritmaların kullandığı amaç fonksiyonu Eşitlik 5.3 ile verilmiştir.

$$J(\omega) = \min \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (X(\omega) - Y(\omega))^2 \quad (5.3)$$

Kullanılan algoritmaların kontrol parametreleri Tablo 5.1'de verildiği gibi kullanılmıştır.

Elektroensefalografi (EEG) işaretleri, beyin yüzeyinden elektrotlarla algılanan düşük genlikli biyoelektrik işaretlerdir. EEG işaretleri, frekans alt bantlarına ayrıştırılmasıyla incelenmektedir. Bu nedenle bu kısımda frekans tabanlı QMF bankası tasarımında EEG işaretleri kullanılmıştır. EEG işareti, MATLAB veri tabanından seçilmiştir [53]. Kullanılan EEG işareti Şekil 5.7 a'da gösterilmektedir. QMF bankası tasarımında, işaretin frekans tabanındaki karşılığı FFT dönüşümü alınarak kullanılmıştır. Kullanılan frekans tabanındaki işaret Şekil 5.7 b'de görülmektedir. İşaretin FFT karşılığı çizdirilirken daha ayrıntılı bir görünüş için tek yan bant çizdirilmiştir.



Şekil 5.7. Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan EEG işareti: (a) zaman tabanında gösterimi, (b) işaretin tasarım için kullanılan frekans tabanındaki karşılığı.

### 5.2.2 Frekans Tabanlı QMF Bankası Tasarım Sonuçlarının İncelenmesi

Önerilen tasarımda süzgeç bankası girişine uygulanan EEG işaretinin FFT dönüşümününün alınıp QMF bankası çıkışındaki işaretin FFT dönüşümü ile karşılaştırılması ile elde edilen sonuca dayalı olarak sezgisel algoritmaların hata fonksiyonları oluşturulmuştur. ABC, mABC, qABC, DE ve PSO algoritmaların kontrol parametreleri Tablo 5.1 üzerinde verildiği gibi seçilmiştir. Sezgisel algoritmalar QMF bankasının prototip süzgeç parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Prototip süzgeç parametreleri daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi dönüştürülerek QMF bankasının süzgeçleri elde edilmiştir.

QMF banka tasarımları 6-256 arasında artan süzgeç uzunluğuna göre sezgisel algoritmalar kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan QMF bankaları sırasıyla PRE,  $A_s$ ,  $mse$ , bir çevrim için harcanan zaman ve QMF bankasının girişi ile çıkışı arasındaki işaretlerin korelasyonu açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3.a Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında ABC ve mABC algoritmalarına ait sonuçlar

M	ABC						mABC					
	PRE	$A_s$	MSE	$t$ (s)	korelasyon	PRE	$A_s$	MSE	$t$ (s)	korelasyon		
6	<b>5.9682</b>	2.8496	<b>186965189.5</b>	<b>5.8654</b>	<b>0.9931</b>	<b>5.5133</b>	3.9058	8773514.167	<b>5.7898</b>	<b>0.9932</b>		
12	10.3063	1.0934	955831224.9	5.9014	0.9930	6.8904	5.0536	<b>317696519.9</b>	6.0474	<b>0.9932</b>		
18	10.1814	6.6347	2127717502	10.5151	0.9918	7.1044	<b>15.4067</b>	617755351.1	10.6213	0.9927		
24	12.6620	7.0419	3597415612	10.6580	0.9882	8.018	5.9120	2311546570	10.8103	0.9915		
30	11.5454	1.2878	6349528943	10.8121	0.9815	9.7857	2.1505	1858245021	10.9483	0.9889		
36	16.2323	12.7316	6646451215	11.0059	0.9771	9.9566	14.2856	3201255187	11.1362	0.9863		
42	14.8881	9.3704	11486374277	11.0919	0.9529	11.3831	2.7230	7955650614	11.2484	0.9745		
48	15.8948	<b>24.2589</b>	14997544470	11.1926	0.9637	11.5663	1.3355	14874098495	11.3413	0.9695		
54	15.9232	3.5196	22891258535	11.4583	0.9720	11.2060	9.7807	22536135330	11.7924	0.9555		
60	15.9078	5.7059	34923731569	11.5501	0.9335	13.3577	3.5045	38215947008	11.6684	0.9301		
66	16.9104	6.6904	49641898271	11.7502	0.8528	14.1064	5.7733	55918209643	11.9143	0.9344		
72	19.5281	14.1340	58757794647	11.8835	0.8376	13.6988	2.7285	58350450256	12.0348	0.8824		
100	19.7044	6.9092	1.38319E+11	12.5401	0.4448	12.9204	11.1561	60336167858	12.6255	0.3524		
128	20.0725	2.7906	2.79484E+11	13.1861	0.0943	17.3018	2.2409	1.41344E+11	13.1885	0.3045		
256	25.9065	6.7860	2.16554E+12	15.9024	0.0308	19.5570	12.9822	5.95346E+11	16.0956	0.0223		

Tablo 5.3.b Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında qABC ve DE algoritmalarına ait sonuçlar

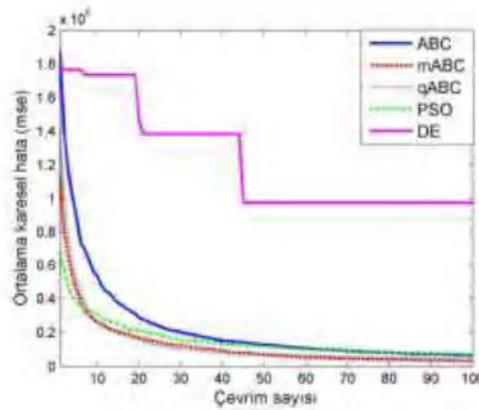
M	qABC						DE					
	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	korelasyon	PRE	$A_s$	MSE	t (s)	korelasyon		
6	<b>5.8463</b>	4.9282	106707083.2	<b>5.7324</b>	<b>0.9932</b>	<b>5.5061</b>	3.4855	<b>15314.05885</b>	<b>11.9660</b>	<b>0.9933</b>		
12	10.6705	5.6210	<b>1030355670</b>	5.9882	0.9931	11.4674	5.3387	6183477.817	12.3911	0.9900		
18	10.1949	4.7073	2991873333	10.5980	0.9911	16.9420	7.3221	35659789.26	25.3649	0.9665		
24	9.6586	2.7418	3377169766	10.8487	0.9874	19.6235	9.1179	79112832.95	25.6087	0.8514		
30	14.6981	1.1833	4777545789	11.0208	0.9818	21.9522	7.6967	205497215.1	25.9434	0.6931		
36	15.6094	<b>16.6687</b>	7126641203	11.1183	0.9810	24.4062	9.7662	383412641.1	26.4215	0.8521		
42	14.0767	2.4646	9851106356	11.1947	0.9864	25.5183	21.1714	416173502.2	26.4946	0.4411		
48	15.5649	7.7686	16227613528	11.3540	0.9738	24.1488	10.9517	587691468.2	26.9885	0.3346		
54	16.8476	6.7295	31491601333	11.5934	0.9479	23.4990	20.9553	986209664.2	27.4339	0.0462		
60	17.1973	1.9280	50952043801	11.7130	0.9300	24.2521	10.9285	1401170670	28.0750	0.0706		
66	19.9143	9.0212	71618738976	11.8754	0.8974	24.7446	10.9915	1539756291	28.4386	0.0945		
72	18.7936	16.3217	90836594427	12.0424	0.9569	24.3434	5.5812	1799412384	28.7418	0.0168		
100	20.2792	3.6053	1.63085E+11	12.7444	0.8121	23.5708	0.2548	7375205131	30.2771	0.0411		
128	20.0477	4.0384	2.40806E+11	13.3877	0.0860	27.2552	5.5026	12149010221	31.9039	0.0147		
256	24.3481	6.0588	1.73005E+12	16.2977	0.0883	29.3882	15.2312	80866197148	38.9575	0.1807		

Tablo 5.3.c Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında PSO algoritması sonuçları

M	PSO				
	PRE	$A_s$	MSE	$t$ (s)	korelasyon
6	<b>6.0978</b>	2.6522	<b>3271.0827</b>	<b>13.3326</b>	<b>0.9933</b>
12	7.6186	0.6416	55177.6818	13.9812	<b>0.9933</b>
18	12.1310	10.7013	794822.92	25.4421	0.9932
24	10.1394	4.4013	1931757.005	25.9718	0.9798
30	10.4029	4.9741	2754861.431	26.2992	0.9881
36	14.6256	10.0741	4869583.425	26.7490	0.9582
42	16.2141	0.4167	5608505.499	27.0700	0.9754
48	14.9857	5.0590	6128955.571	27.2735	0.9423
54	16.5697	<b>15.6430</b>	11611251.43	27.6796	0.7889
60	14.3122	6.3767	37445250.89	27.9947	0.9178
66	17.4397	14.3290	75373212.54	28.6626	0.3718
72	17.1017	9.9732	35145352.34	28.8572	0.8890
100	19.8953	4.5891	118722902.3	30.5487	0.1052
128	22.0772	1.5414	333917592.7	32.2078	0.2932
256	27.9307	13.3957	3600321277	39.0342	0.0287

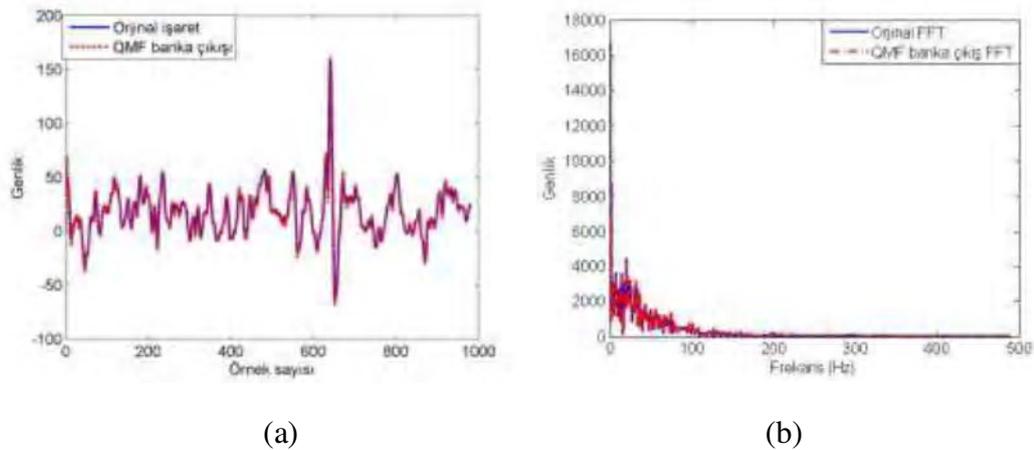
Tasarım sonuçları incelendiğinde en düşük PRE sonucunun DE algoritması, en yüksek  $A_s$  değerinin ABC algoritması ile, en hızlı çevrimin qABC algoritması ile ve en yüksek korelasyon değerinin mABC algoritması ile elde edildiği görülmektedir. Genel olarak süzgeç uzunluğu arttıkça mse değerinin de arttığı görülmektedir. Tasarımda düşük süzgeç dereceleri ile yüksek korelasyon değerlerinin elde edildiği, süzgeç derecesinin artırılması ile de korelasyon değerlerinin düştüğü görülmektedir.

Yapılan tasarımlarda yine süzgeç uzunluğu 24 olan QMF bankaları dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Aynı süzgeç uzunluğu için kullanılan algoritmaların yakınsama hızları Şekil 5.8 üzerinde verilmiştir. Algoritmalar 1000 çevrim çalışmasına rağmen yakınsama hızını daha açık gösterebilmek amacıyla ilk 100 çevrim kullanılmıştır.



Şekil 5.8. Frekans tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları

Tasarımda kullanılan algoritmaların yakınsama hızlarının birbirine yakın olduğu Şekil 5.8 üzerinde görülmektedir. Yakınsama hızı en yüksek algoritmalar ise qABC ve mABC olarak görülmektedir. DE algoritmasının yakınsama hızı ise diğer algoritmalara göre bariz biçimde geride kalmıştır.



Şekil 5.9 Frekans tabanlı QMF bankası tasarımı sonuçları: (a) zaman tabanında karşılaştırma, (b) frekans tabanında karşılaştırma

Süzgeç uzunluğu 24 olan QMF bankalarında korelasyon açısından en başarılı tasarım mABC algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle mABC ile süzgeç uzunluğu 24 olan QMF bankasının tasarım sonuçları Şekil 5.9 üzerinde verilmiştir. Öncelikle tasarımda kullanılan işaretin zaman eksenindeki karşılığı ve QMF bankası çıkışındaki işaret Şekil 5.9.a üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.9 b'de ise frekans ekseninde

karşılaştırma gösterilmektedir. Her iki durumda da işaretler arasında gözle görülebilen bir fark bulunmamaktadır.

### 5.3. Güç Spektral Yoğunluk Tabanlı QMF Bankası Tasarımının İncelenmesi

Biyomedikal işaretler gibi bazı işaretlerden öznitelik elde edilmesi ve değerlendirilmesi için işaretlerin zaman ve frekans ekseninde farklı biçimlerde de incelenmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır [55, 80]. Dolayısıyla bu bölümde de süzgeç bankası tasarımında güç spektral yoğunluğuna dayalı bir yöntem önerilmiştir. GSY tabanlı tasarımda QMF bankasının girişindeki ve çıkışındaki işaretlerin güç spektral yoğunlukları alınarak karşılaştırılması temel alınan bir yöntem uygulanmıştır. Tasarımda, diğer önerilen yöntemlerde olduğu gibi sezgisel algoritmalar QMF bankası içerisindeki prototip süzgeç katsayılarını belirlemek için kullanılmıştır. QMF bankası da tasarlanan prototip süzgeçten elde edilmiştir.

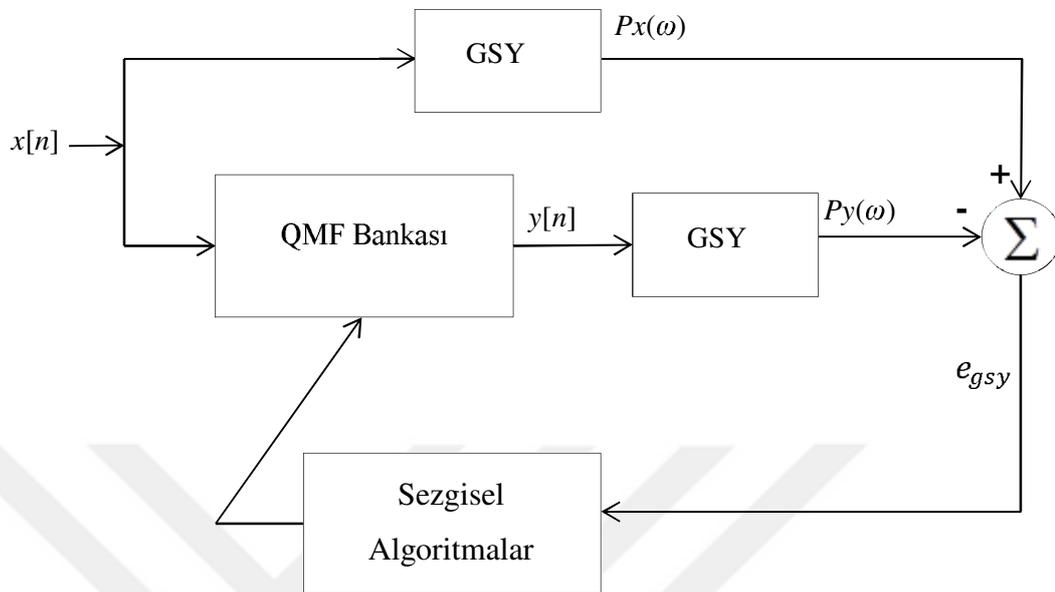
#### 5.3.1 Güç Spektral Yoğunluk Tabanlı QMF Bankası Tasarım Yöntemi

GSY tabanlı QMF bankası tasarımında, süzgeç bankası çıkış işareti GSY ile giriş işaretinin GSY dönüşümünün denk olması amaçlanmıştır. İşaretin gücünün karesi alınarak hesaplanan GSY, işaretin frekans bandı üzerindeki güç dağılımı olarak kabul edilebilir. GSY'ni doğrudan tahmin etmenin en çok kullanılan yollarından biri, uzun bir veri dizisini daha kısa örtüşen kesimler haline getirmek, her segment için AFD büyüklüğünü hesaplamak ve farklı kesimlerden gelen büyüklükleri birlikte toplamaktır. Böylece, her frekans için ortalama bir spektral büyüklük elde edilir. GSY'yi tahmin etmeye yönelik bu yaklaşım bazen zaman atlamalı pencere yöntemi veya Welch yöntemi olarak da adlandırılır. GSY için tahmin değeri 5.4 eşitliğiyle ifade edilebilir:

$$S(M) = \frac{1}{G} \sum_{g=0}^{G-1} |V_g(m)|^2 \quad (5.4)$$

Eşitlikte  $V_g$ ,  $g$  pencereli veri bölümünden elde edilen Ayrık Fourier Dönüşümünü ifade etmektedir.

Giriş ve çıkış işareti için GSY dönüşümleri arasındaki fark, sezgisel algoritmalar için hata fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Sezgisel algoritmalar QMF bankasının prototip süzgeç parametreleri için süzgeç bankası da bu prototip süzgecin dönüşümü ile elde edilmiştir. Kullanılan sistemin blok şeması Şekil 5.10'da verilmiştir.



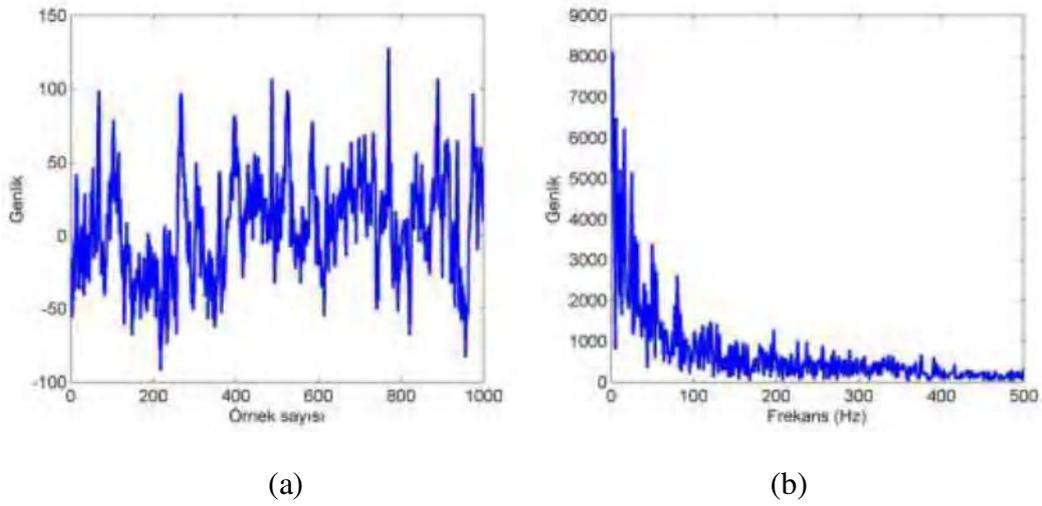
Şekil 5.10. GSY tabanlı QMF bankası tasarım yöntemi blok yapısı.

Şekil 5.10'da  $x[n]$  QMF bankasının girişindeki işareti,  $y[n]$  ise QMF bankasının çıkışındaki işareti temsil etmektedir.  $X(\omega)$  giriş işaretinin,  $Y(\omega)$  ise çıkış işaretinin GSY dönüşümünü göstermektedir. QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin GSY farkı  $e$  hata değerini vermektedir.

Algoritmaların kullandığı amaç fonksiyonu Eşitlik 5.5 ile verilmiştir.

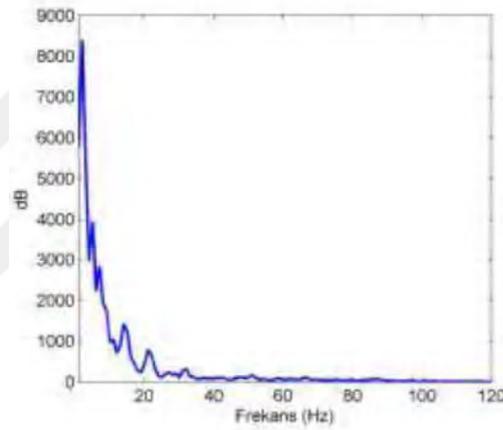
$$J(\omega) = \min \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (Px(\omega) - Py(\omega))^2 \quad (5.5)$$

Tasarımda kullanılan algoritmaların kontrol parametreleri Tablo 5.1'de verildiği gibi alınmıştır. GSY açısından önemli bir işaret olan EEG işareti tasarım için kullanılmıştır. Kullanılan klinik EEG işareti biyomedikal veri tabanı olan physionet veri bankasından alınmıştır [81]. Kullanılan EEG işareti Şekil 5.11'de gösterilmektedir. Şekil 5.11'de sırasıyla tasarımda kullanılan işaretin zaman ekseninde, FFT dönüşümü alınarak frekans ekseninde ve GSY dönüşümü çizdirilmiştir.



(a)

(b)



(c)

Şekil 5.11. GSY tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan klinik EEG işareti: (a) zaman tabanında gösterimi, (b) frekans tabanında gösterimi, (c) GSY gösterimi

### 5.3.2 GSY Tabanlı QMF Bankası Tasarım Sonuçlarının İncelenmesi

Frekans eksenli işaret tabanlı QMF bankası tasarımında QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin Fourier dönüşümleri alınarak sezgisel algoritmaların hata fonksiyonları oluşturulmuş ve prototip süzgeç katsayıları tasarlanmıştır. QMF bankaları artan süzgeç uzunluğuna göre sezgisel algoritmalar kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan QMF bankaları sırasıyla *PRE*, *A<sub>s</sub>*, *mse*, bir çevrim için harcanan zaman ve QMF bankasının girişi ile çıkışı arasındaki işaretlerin korelasyonu açısından değerlendirilmiştir. ABC, mABC, qABC, DE ve PSO algoritmalarına bağlı olarak elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4.a GSY tabanlı QMF bankası tasarımında ABC ve mABC algoritmalarına ait sonuçlar

M	ABC					mABC				
	PRE	$A_s$	MSE	$t$ (s)	korelasyon	PRE	$A_s$	MSE	$t$ (s)	korelasyon
6	<b>3.0801</b>	11.5848	<b>956191644</b>	83.6376	<b>0.8463</b>	<b>3.0071</b>	1.4415	<b>790742605</b>	72.6895	<b>0.8887</b>
12	9.4034	1.6617	4.883E+09	<b>73.1901</b>	0.7837	3.7360	<b>9.4846</b>	2.672E+09	<b>72.6343</b>	0.7529
18	5.5084	2.2516	8.643E+09	77.8210	0.7421	4.3172	3.8779	6.767E+09	77.1391	0.6162
24	10.4770	8.3742	9.289E+09	77.2765	0.5289	4.8458	5.3288	7.612E+09	77.5253	0.4194
30	9.5093	0.9135	1.249E+10	77.7982	0.0099	5.2811	4.4886	6.503E+09	77.6803	0.4972
36	10.4936	6.0707	1.062E+10	78.1498	0.2085	4.4724	3.5477	5.296E+09	78.0348	0.3830
42	11.3733	1.0078	1.414E+10	78.8425	0.1320	6.7630	7.9412	3.958E+09	77.8311	0.0162
48	12.0077	0.5875	1.145E+10	78.2771	0.0132	7.0625	3.4603	6.727E+09	77.9716	0.0517
54	16.8509	10.2628	2.036E+10	78.7503	0.2866	8.1483	9.0863	1.354E+10	78.1070	0.0346
60	12.0011	6.3112	2.222E+10	78.7929	0.1349	9.0783	2.4984	2.291E+10	79.2598	0.1304
66	14.4821	7.6199	2.855E+10	78.8843	0.1050	7.6933	6.8752	3.556E+10	79.0104	0.0588
72	15.6518	<b>13.8166</b>	4.691E+10	79.0417	0.0985	9.1827	2.9830	1.059E+11	78.9610	0.0057
100	14.9008	6.7818	2.366E+11	79.7566	0.0654	11.8649	8.3072	8.376E+11	79.4424	0.0130
128	18.9936	7.1619	6.069E+11	79.7879	0.1216	12.1384	3.8886	2.797E+12	80.2215	0.0448
256	21.1169	5.9514	2.288E+14	83.3239	0.0082	16.2287	3.2004	1.258E+14	83.0060	0.0245

Tablo 5.4.b GSY tabanlı QMF bankası tasarımında qABC ve DE algoritmalarına ait sonuçlar

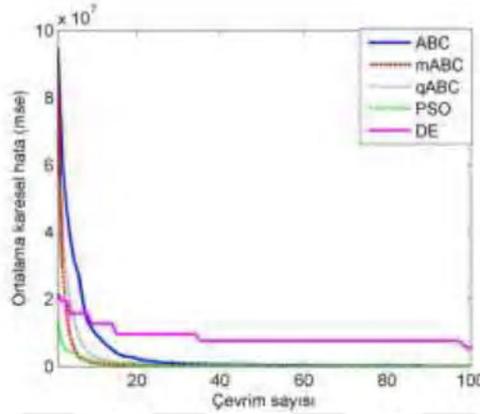
M	qABC						DE					
	PRE	$A_s$	MSE	zaman	korelasyon		PRE	$A_s$	MSE	$t$ (s)	korelasyon	
6	<b>3.0128</b>	4.3873	<b>1.257E+09</b>	<b>72.3613</b>	<b>0.8852</b>		<b>3.0277</b>	2.5837	<b>93462.606</b>	<b>13.0280</b>	<b>0.8891</b>	
12	8.9040	8.0151	4.962E+09	72.7973	0.7045		3.8897	5.7102	10075043	13.0903	0.8876	
18	9.9669	0.8280	9.531E+09	77.2382	0.6402		6.6204	2.1427	73202957	25.9628	0.8537	
24	11.9616	10.2705	1.095E+10	77.4848	0.5278		6.6186	<b>35.2810</b>	330051625	26.4127	0.6633	
30	11.9023	3.8567	1.014E+10	131.3429	0.0244		10.0101	9.8332	908449649	26.8183	0.0465	
36	13.7333	10.3585	1.068E+10	78.0620	0.0753		13.3382	7.8018	1.957E+09	27.0696	0.2923	
42	12.4653	2.4496	1.456E+10	83.5919	0.0771		13.3933	12.5777	3.626E+09	27.8045	0.2093	
48	16.2332	3.7005	2.308E+10	78.1348	0.1761		17.6526	4.3612	5.499E+09	27.8501	0.0098	
54	14.4264	6.5875	1.919E+10	79.0010	0.1857		16.4414	22.5281	6.86E+09	28.2385	0.0602	
60	16.7089	6.9835	1.927E+10	80.0378	0.0411		17.5616	4.2815	9.533E+09	28.6208	0.0042	
66	16.0310	4.0156	2.544E+10	79.8047	0.0326		18.4765	2.4377	1.272E+10	29.3410	0.1200	
72	15.8472	6.0337	5.106E+10	78.6087	0.1994		19.0230	7.6059	1.598E+10	29.6278	0.0273	
100	16.8109	8.2807	2.748E+11	79.4843	0.1102		21.2285	7.6010	3.482E+10	31.2154	0.0069	
128	19.2921	14.4904	6.488E+11	80.2926	0.0751		23.1820	7.5760	5.632E+10	32.7043	0.0070	
256	24.8254	<b>36.5509</b>	4.362E+13	83.5879	0.1053		26.4960	1.0686	2.169E+11	40.5553	0.0811	

Tablo 5.4.c GSY tabanlı QMF bankası tasarımında PSO algoritması sonuçları

M	PSO				
	<i>PRE</i>	$A_s$	<i>MSE</i>	$t$ (s)	korelasyon
6	<b>3.3395</b>	10.4092	<b>301919.39</b>	<b>178.9105</b>	<b>0.8111</b>
12	6.3551	3.5774	1353155.7	180.0339	0.4454
18	9.8712	9.6621	4395696	191.4988	0.5134
24	5.2906	8.6129	8312071	192.4047	0.7120
30	8.9817	13.5936	6064215	192.7661	0.4191
36	9.6690	7.1472	4549201.5	192.1877	0.2071
42	11.4963	4.3573	7617471.9	192.7925	0.0327
48	10.8845	5.9105	6723948.1	193.7503	0.0610
54	14.9308	<b>17.3061</b>	6990013.9	194.0958	0.0976
60	14.9606	2.4688	17922943	198.6253	0.0569
66	19.1328	4.0496	18896491	202.6240	0.0775
72	14.9994	7.1454	22049752	189.8241	0.1817
100	15.9787	10.1261	403235385	190.2273	0.0207
128	18.6044	5.0437	7.36E+09	192.6620	0.0891
256	23.3129	4.9076	3.44E+12	198.7837	0.0660

GSY tabanlı QMF bankası tasarımı sonuçlarında en düşük *PRE* değeri mABC algoritması ve en yüksek  $A_s$  değeri DE algoritması tarafından yapılan tasarımlarda elde edilmiştir. Tasarımda bir çevrimi en hızlı gerçekleştiren algoritma ise DE algoritması ile yapılan tasarım ile elde edilmiştir. Korelasyon değeri giriş ve çıkış işaretlerinin zaman eksenindeki karşılıklarına göre hesaplanmıştır. En yüksek korelasyon değeri DE algoritması ile elde edilmiştir. GSY tabanlı tasarımın zaman ve frekans tabanlı tasarımlara göre korelasyon açısından daha az başarılı olduğu görülmektedir. Diğer yöntemlere göre düşük korelasyonun en önemli sebebi, tasarımın doğrudan korelasyon üzerinden değil de işaretlerin GSY üzerinden yapılmış olmasıdır.

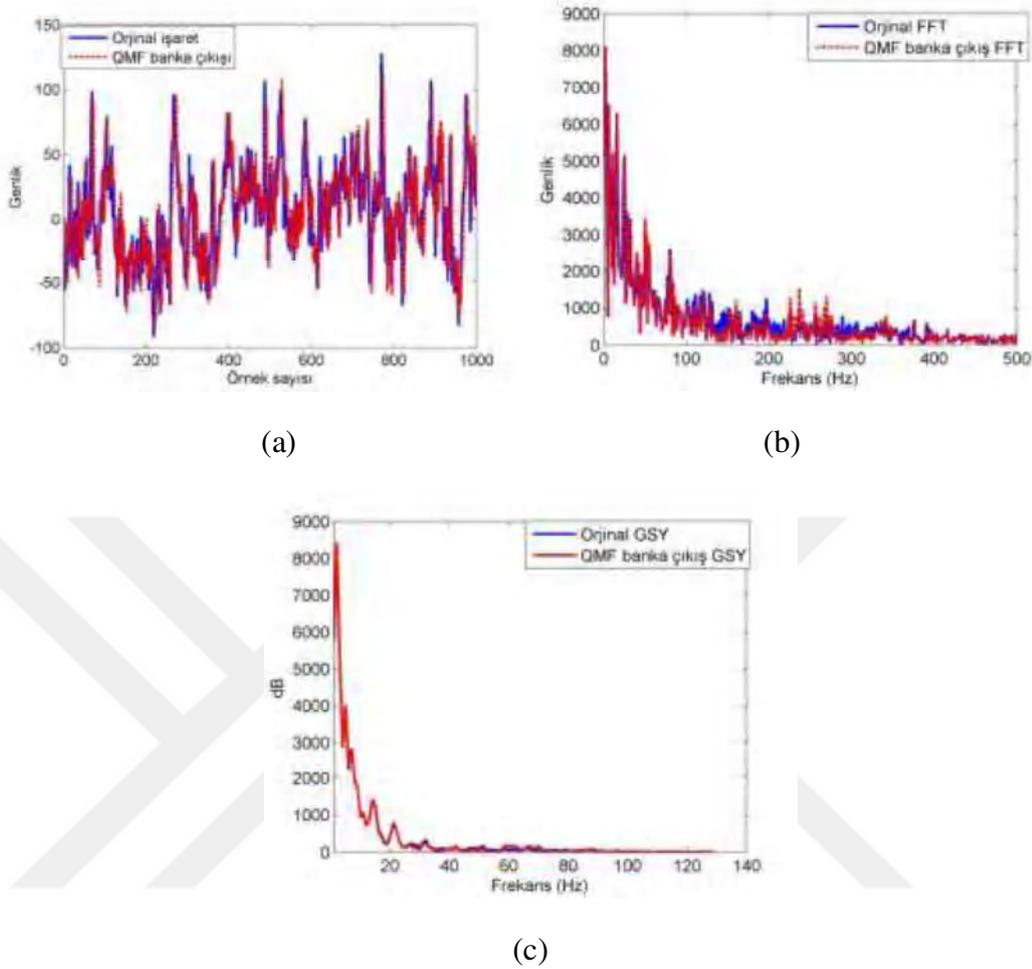
Tasarımda kullanılan algoritmaların yakınsama hızları Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Toplamda 1000 çevrim kullanılmasına rağmen yakınsamanın daha iyi görülebileceği ilk 100 çevrimlik kısmı yakınsama hızını gösterebilmek için seçilmiştir.



Şekil 5.12. GSY tabanlı QMF bankası tasarımında kullanılan algoritmaların yakınsama hızları

Yakınsama hızları açısından en hızlı algoritma yine qABC algoritması olmasına karşın DE algoritmasının yakınsama hızının diğerlerine nazaran daha yavaş olduğu görülmektedir.

Süzgeç uzunluklarına göre sonuçların karşılaştırıldığı Tablo 5.4’den görüleceği üzere süzgeç uzunluğunun 24 olması durumunda, korelasyon açısından en iyi sonuç PSO algoritması ile elde edilmiştir. Dolayısıyla Şekil 5. 13’te PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Genel olarak  $N=6$  için  $A_s$  hariç tüm algoritmalarla en iyi sonuçlar elde edilmiştir. İlk olarak tasarımda kullanılan işaretin zaman eksenini ve tasarlanan QMF bankasına göre elde edilen çıkış işareti Şekil 5.13-a’da üst üste çizdirilmiştir. Tasarlanan QMF bankası çıkışındaki ve orijinal işaretlerin frekans eksenindeki karşılıkları Şekil 5.13-b’de sunulmuştur. Şekil 5.13-c’de QMF bankası ve orijinal işaretin güç spektral yoğunlukları çizdirilmiştir.



Şekil 5.13. GSY tabanlı QMF bankası tasarımı sonuçlarının orijinal işaret ile karşılaştırılması: (a) zaman tabanında, (b) frekans tabanında, (c) GSY karşılaştırması

GSY tabanlı QMF banka tasarım sonuçlarında GSY karşılaştırması olan Şekil 5.13-c’de orijinal ve QMF banka çıkışlarının aynı olduğu görülmektedir. Şekil 5.13-b’de verilen frekans ekseninde orijinal ve QMF bankası çıkışındaki işaretlerin frekans spektrumlarının eşdeğer oldukları görülmektedir. Zaman ekseninde karşılaştırmak için çizilen Şekil 5.13-a’da ise QMF banka çıkışındaki işaretin orijinal işarete oldukça benzediği, ancak özellikle bazı tepe değerlerinde sapmalar olduğu görülmektedir.

#### 5.4. Zaman, Frekans ve GSY Tabanlı QMF Bankası Tasarımlarının Karşılaştırılması

Literatürde QMF bankaları; prototip süzgecin iletim, durdurma ve geçiş bandı hataları ve kazançları gibi süzgecin karakteristik değerlerine bağlı olarak tasarlanmaktadır. Tez çalışmasının bu bölümünde süzgeç bankası tasarımı için zaman, frekans ve güç spektral

yoğunluğu temel alınmıştır. Bu tasarımların temel aldığı üç farklı durum için ilk olarak kendi içlerindeki değerlendirmeler ve daha sonra da literatürdeki diğer QMF tasarımları ile karşılaştırılarak önerilen yöntemler ile karşılaştırmalar aşağıda verilen alt bölümlerde incelenmektedir.

#### 5.4.1 Önerilen Tasarımların Kendi Aralarında Karşılaştırılması

QMF bankası uygulamada, işaretlerin alt bant ayrıştırılması ve yeniden birleştirilmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin aynı olması, PR şartını sağlaması beklenmektedir. Literatürdeki mevcut tasarımlarda ise PR şartını prototip süzgecin iletim, durdurma ve kesim frekansı gibi parametrelerin değiştirilmesi ile elde etmeye çalışmaktadırlar.

Bu bölümde önerilen yöntemlerde, doğrudan QMF bankasının giriş ve çıkış işaretleri arasındaki farkı alan ve bu farkı azaltmaya çalışan bir yaklaşım sunulmuştur. İlk olarak zaman tabanındaki işaretlerin farkına dayalı bir tasarım önerilmiştir. Tasarımda QMF bankası giriş ve çıkışındaki işaretlerin farkı alınarak PR şartını sağlayan QMF bankası tasarımı farklı dereceden süzgeçler temel alınarak gerçekleştirilmiştir. ABC, qABC, mABC, PSO ve DE algoritmaları kullanılarak tasarlanan süzgeç bankası tasarımları karşılaştırılmıştır. Tasarım için kullanılacak işaret olarak, klinik uygulamada kullanılabilen bir işaret olan, Mitral kapak Doppler işareti tercih edilmiştir. Giriş ve çıkış işaretleri arasındaki farkı incelemek için de korelasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Süzgeç uzunluklarına göre, algoritmalar yardımıyla tasarlanan QMF bankaları, sırasıyla  $PRE$ ,  $A_s$ ,  $mse$ , bir çevrim için harcanan zaman ve korelasyon değerleri kullanılarak incelenmiştir. Zaman tabanlı tasarımın  $PRE$  ve  $A_s$  açısından başarılı sayılamayacağı, ancak korelasyon açısından çok başarılı olduğu görülmüştür. Süzgeç derecesinin 60-72 ve daha yukarısına çıktıkça korelasyon değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Diğer tasarımlarla karşılaştırmada kolaylık olması için zaman yerine işaretin FFT'sinin alındığı durumda tasarlanan QMF bankası çıkışındaki işaretle çıkış da elde edilen işaretin FFT'si karşılaştırılmıştır. Zaman tabanlı tasarıma göre korelasyon açısından başarının düşük olmasına rağmen kullanılan işaretler ve FFT karşılıkları çizdirildiğinde de görüldüğü gibi ciddi bir fark olmadığı görülmektedir.

QMF bankası işaretlerin alt bantlara ayrılmasında kullanılan bir sistem olduğu için işaretlerin frekans spektrumundaki karşılıklarına yönelik bir tasarım gerçekleştirilmek

için önerilen bir diğer tasarımda; QMF bankasının girişindeki ve çıkışındaki işaretlerin FFT'lerinin farkları kullanılmış ve buna bağlı olarak PR şartını sağlayan bir tasarım gerçekleştirilmiştir. ABC, qABC, mABC, PSO ve DE algoritmaları ile tasarlanan süzgeç bankası tasarımları karşılaştırılmıştır. Tasarımlarda alt frekans bantlarına ayrılarak kullanılan bir işaret olan benzetim EEG işareti tercih edilmiştir. EEG işaretinin ve QMF bankası çıkışındaki işaretin FFT'lerinin farkları alınarak kullanılan sezgisel algoritmalarla tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Tasarım sonuçları; işaretlerin korelasyonu, *PRE*,  $A_s$ , *mse*, bir çevrim için harcanan zaman açısından incelenmiştir. Tasarım sonucunda işaretlerin FFT değerleri ve sonuçlarının birbiri ile aynı olduğu, FFT dönüşümü üzerinden tasarım yapılmasına rağmen korelasyon açısından benzerliğin yüksek olduğu görülmüştür. Yine süzgeç derecesi arttıkça korelasyonun düştüğü gözlemlenmiştir. Bir çevrim için harcanan zaman açısından zaman ve frekans tabanlı tasarımların harcadıkları sürelerin benzer oldukları görülmüştür.

İşaretler zaman tabanında incelenmesine rağmen alt bantlara ayrılan işaretlerin frekans tabanındaki güç yoğunluklarının da incelenmesi gerekmektedir. Önerilen diğer tasarımda GSY tabanlı QMF bankası tasarımıyla da frekans tabanlı işaretlerin daha ayrıntılı incelenmesi amaçlanmıştır. QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin GSY karşılıklarının farkları alınarak kullanılan yapay zekâ temelli algoritmalar ile PR şartını sağlayan QMF bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. ABC, qABC, mABC, PSO ve DE algoritmaları ile tasarlanan QMF bankası tasarımları karşılaştırılmıştır. Tasarımda alt frekans bantlarına ve her alt banttaki güç yoğunluğu dikkate alınan bir işaret olan klinik EEG işareti tercih edilmiştir. Tasarım sonuçları işaretlerin korelasyonu, *PRE*,  $A_s$ , *mse* ve bir çevrim için harcanan zaman açısından incelenmiştir. GSY farkları açısından tasarımlar gerçekleştirildiği ve sonuçlar da zaman tabanındaki işaretin korelasyonu açısından incelendiği için zaman ve frekans tabanlı çalışmalara göre korelasyon açısından başarı daha düşük kalmıştır. Ancak QMF bankası giriş ve çıkışındaki işaretlerin GSY sonuçları çizdirildiğinde sonuçların birbiri ile aynı olduğu görülmektedir. FFT sonuçları da tasarımın frekans tabanında başarılı olduğunu göstermektedir.

Önerilen üç tasarım yöntemi *PRE* değerleri açısından incelendiğinde en başarılı sonucunda zaman tabanlı tasarım olduğu görülmektedir. Daha sonra frekans tabanlı ve en son da GSY tabanlı tasarımın başarılı olduğu görülmüştür.  $A_s$  açısından ise üç

yöntemin de aşağı yukarı aynı değerlerde elde edildiği görülmektedir. Bir çevrim için harcanan zaman açısından ise en kısa sürede yapılan işlemin zaman tabanlı işaret için elde edildiği sonra frekans tabanlı ve en çok zaman isteyen tasarımın ise GSY tabanlı tasarım olduğu görülmektedir. GSY tabanlı tasarımda işaretin GSY değerinin hesaplanması da çevrim zamanının hesaplanmasında ek bir yük getirmektedir. Bu nedenle GSY tabanlı tasarımda diğerlerine nazaran daha fazla zamana ihtiyaç duyulduğu anlaşılmaktadır. Korelasyon açısından en yüksek korelasyon değerinin zaman tabanlı tasarımlarda elde edildiği görülmüştür. Daha sonra frekans tabanlı QMF bankası tasarımın ve en düşük korelasyonun ise GSY tabanlı tasarımlarda elde edildiği görülmüştür. Frekans ve GSY tabanlı tasarımların QMF bankası giriş ve çıkışındaki işaretlerin FFT ve GSY dönüşümlerinin farkının alınması ile gerçekleştirilmesi nedeniyle korelasyonlarının nispeten düştüğü kabul edilmektedir.

#### 5.4.2 Zaman, Frekans ve Güç Spektral Yoğunluk Tabanlı QMF Banka Tasarımlarının Literatürle Karşılaştırılması

Zaman, frekans ve GSY tabanlı QMF bankası tasarımlarının kendi aralarında karşılaştırılmaları dışında literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılarak tasarımın performansı bu bölümde incelenmiştir. Zaman tabanlı tasarım ile elde edilen sonuçların literatürde gerçekleştirilen QMF bankası tasarımları ile karşılaştırılması için süzgecin derecesi diğer çalışmalarla aynı yani 24 olarak seçilmiştir. Konu içerisinde anlatılırken zaman tabanlı tasarımda Mitral kapak Doppler işareti kullanılması durumunda bu işaretin çok uzun olması sebebiyle doğrudan kullanımının pratik olmadığı ifade edilmişti. Karşılaştırma için sırasıyla  $PRE$ ,  $A_s$ , seçilen işaretin korelasyonu ve tüm mitral kapak işaretinin korelasyon parametreleri kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.5. Zaman tabanlı QMF bankası tasarımının literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması

Referans	Araştırmacılar	Algoritma	$PRE$	$A_s$	Seçilen işaret için korelasyon	Tüm işaret için korelasyon
[42]	P. Ghosh ve ark.	DE	0.0122	24.8155	0.6600	0.6348

[44]	S. Agrawal ve O. Sahu	ABC	2.2330	24.7806	0.6600	0.6349
[20]	A. Kumar ve ark.	PSO	0.0166	23.3792	0.6600	0.6348
[40]	J. Upendar ve ark.	PSO	2.7706	25.1663	0.6600	0.6349
[7]	T. Koza ve N. Karaboğa	mABC	0.3331	5.8765	<b>0.9978</b>	<b>0.9955</b>

Tablo 5.5’de gösterildiği gibi önerilen yöntem, zaman tabanlı işaretlerde diğer çalışmalara göre korelasyon açısından bariz olarak üstünlük sağladığından önerilen yöntemin PR şartını sağladığı kabul edilebilir. Önerilen yöntemin *PRE*’si 0.3331 olarak elde edilmiştir bu değer 42 ve 20 numaralı referanslardan biraz daha yüksek kalırken 40 ve 44 numaralı referans değerlerinden çok daha düşük bir değer olarak elde edilmiştir. Durdurma bandı zayıflatması  $A_s$  ise diğer çalışmalara göre daha düşük olarak elde edilmiştir. Bu durum, önerilen yöntemde durdurma bandı kazancından ziyade QMF bankası giriş ve çıkışındaki işaretlerin benzerliği veya PR şartı dikkate alındığı için bu şekilde diğer çalışmalara göre düşük olmuştur. Literatürdeki diğer çalışmaların korelasyon sonuçlarının benzer çıkmasının en önemli nedeni bu tasarımların  $0,4\pi$  geçiş bandı frekansı ve  $0,6\pi$  durdurma bandı frekansına göre tasarlanmış olmalarıdır. Önerilen yöntemde zaman tabanlı işarete göre tasarlanan süzgecin kesim ve geçiş bant değerleri de kullanılan işarete göre tasarlanmıştır. Bu sonuçlara göre önerilen yöntemin PR açısından başarılı sonuç verdiği kabul edilebilir.

Tablo 5.6’da frekans tabanlı QMF bankasının literatürdeki benzer diğer çalışmalar ile karşılaştırılması durumunda elde edilen değerler gösterilmektedir. Süzgeç derecesinin 24 olması durumunda, frekans tabanlı işaretlere yönelik olarak önerilen tasarımın literatürdeki mevcut tasarımlarla karşılaştırılması durumunda en iyi tasarımın mABC algoritması ile elde edildiği anlaşılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırmak amacıyla *PRE*,  $A_s$  ve korelasyon parametreleri de bu kısımda da temel alınmıştır.

Tablo 5.6. Frekans tabanlı QMF bankası tasarımının literatürdeki çalışmaları ile karşılaştırılması

Referans	Araştırmacılar	Algoritma	$PRE$	$A_s$	korelasyon
[42]	P. Ghosh ve ark.	DE	0.0122	24.8155	0.1544
[44]	S. Agrawal ve O. Sahu	ABC	2.2330	24.7806	0.1609
[20]	A. Kumar ve ark.	PSO	0.0166	23.3792	0.1613
[40]	J. Upendar ve ark.	PSO	2.7706	25.1663	0.1607
[53]	T. Koza ve N. Karaboğa	mABC	8.0189	5.9120	<b>0.9915</b>

Frekans tabanlı QMF tasarım sonuçları incelendiğinde önerilen yöntemin  $PRE$  değerinin diğer yöntemlere göre yüksek,  $A_s$  değerinin ise düşük olduğu görülmektedir. Önerilen yöntemde bu iki parametreyi iyileştirmeye yönelik bir işlem yapılmadığı, frekans tabanlı QMF bankası tasarlandığı için bu parametrelerin diğer çalışmalardan geride olması normaldir. Korelasyon açısından bakıldığında ise önerilen yöntem ile diğer çalışmalar arasında ciddi farklar olduğu görülmektedir. Diğer çalışmaların aynı geçiş ve durdurma bandına sahip olmaları nedeniyle sonuçlar 0,16 civarında oluşmuştur. Tasarımda kullanılan EEG işaretinin karmaşık ve nispeten zor yeniden oluşturulma özellikleri nedeniyle böyle bir sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre önerilen yöntemin PR açısından başarılı sonuç verdiği kabul edilebilir.

Literatürdeki QMF banka tasarımlarının önerilen GSY tabanlı QMF banka tasarımları ile karşılaştırılması amacıyla elde edilen farklı parametrelere ait değerler Tablo 5.7’de sunulmuştur. Literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırmak amacıyla  $PRE$ ,  $A_s$  ve korelasyon parametre değerleri bu kısımda da temel olarak alınmıştır. Önerilen tasarım sonuçlarından süzgeç derecesinin 24 olduğu durumda en iyi tasarım PSO algoritması ile bulunmuştur.

GSY açısından literatürdeki çalışmalar ve önerilen yöntem incelendiğinde yine önerilen yöntemde  $PRE$  değerinin diğer yöntemlere göre yüksek,  $A_s$  değerinin ise düşük olduğu görülmektedir. Önerilen yöntemde de  $PRE$  ve  $A_s$  değerlerinin iyileştirilmesi için ek bir

kriter oluşturulmadığından dolayı  $PRE$  ve  $A_s$  parametrelerinin sonuçların geride olması makuldür.

Tablo 5.7. GSY tabanlı QMF bankası tasarımının literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılması

Referans	Araştırmacılar	Algoritma	$PRE$	$A_s$	korelasyon
[42]	P. Ghosh ve ark.	DE	0.01220	24.8155	0.1032
[44]	S. Agrawal ve O. Sahu	ABC	2.2330	24.7806	0.1033
[20]	A. Kumar ve ark.	PSO	0.0166	23.3792	0.1032
[40]	J. Upendar ve ark.	PSO	2.7706	25.1663	0.1033
[55]	T. Koza ve N. Karaboğa	PSO	5.2905	8.6129	<b>0.7120</b>

Korelasyon açısından ise önerilen yöntemle göre geçmiş çalışmalar arasında ciddi fark olduğu görülmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi diğer çalışmalarda belirli geçiş ve durdurma frekansı için süzgeç tasarımı gerçekleştirildiği için korelasyon 0,1 civarında hesaplanmıştır. Klinik EEG işaretinin nispeten hesaplanması ve yeniden oluşturulması zor bir işaret olması nedeniyle korelasyon değerlerinin düşük olduğu kabul edilebilir. Önerilen yöntemde zaman tabanlı tasarımda olduğu gibi doğrudan korelasyonun hesaplanmaması, tasarım işaretlerin GSY'larının farkı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle zaman ve frekans tabanlı QMF tasarımlarına göre nispeten daha düşük korelasyon değeri makul görülebilir.

## 6. BÖLÜM

### TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1. Tartışma

Çoklu hıza sahip sayısal işaret işleme alt bant kodlama, alt bantlara ayırıştırma, işaret ayırıştırma gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Çoklu hıza sahip sayısal işaret işlemenin en temel elemanlarından birisi olan QMF bankaları da yine aynı işlemler için kullanıldığı gibi sayısal işaret işlemede bulunan süzgeç bankalarında sıkça kullanılmaktadır. Aşağı veya yukarı örnekleme sonucu ortaya çıkan faz, genlik ve örtüşme bozulmalarının giderilmesi için QMF bankalarında doğrusal fazlı FIR süzgeçler kullanılmaktadır. Doğrusal ve FIR süzgeçler kullanılarak faz ve örtüşme bozulmaları büyük oranda ortadan kaldırılmaktadır. Genlik bozulmalarını tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmasa da uygun süzgeç tasarımı ile genlik bozulmaları giderilmeye çalışılmaktadır. QMF bankasındaki süzgeçler, prototip süzgeç adı verilen süzgecin dönüşümü ile elde edilmektedirler. Bu nedenle QMF bankasının tasarımı da prototip süzgecin en uygun şekilde tasarlanması problemi olarak görülebilir. Prototip süzgeç parametrelerinin tasarlanması, çok parametrelili çok boyutlu bir optimizasyon problemidir. Bu tür problemleri çözebilmek için küresel araştırma yeteneğine ve yüksek yakınsama hızına sahip sezgisel yöntemler kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında ABC, mABC ve qABC, DE ve PSO olarak literatürde oldukça fazla uygulama alanına sahip sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Sezgisel algoritmalar ile QMF bankası tasarımı için iki temel yöntem önerilmiştir. İlk yöntemde prototip süzgeç tasarımı için ek kriter getirmeden sadece genlik cevabının tasarlanması sağlanmıştır. Bu yöntem sezgisel algoritmalar için matematik yoğunluğu olmayan basit ve etkili bir yöntem olarak uygulanmıştır. Diğer uygulamada ise yine çok boyutlu ve çok parametrelili bir optimizasyon çözümü olarak QMF bankasının giriş ve çıkışındaki işaretlerin birbiri ile benzeşmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının ilk bölümünde çoklu hıza sahip sayısal işaret işleme ve QMF bankası yapısı hakkında temel bilgiler verilmiştir. Sezgisel yöntemlerle tasarlanan QMF bankası tasarımları incelenerek detaylı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. IEEE Xplore, Web of Science, Taylor ve Francis, Science Direct, Google Scholar ve Springer Link veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilen araştırma sonuçları birinci bölümde verilmiştir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, kullanılan ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmaları hakkında bilgi verilerek bu algoritmaların temel adımları ve çalışma fikirleri incelenmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, Eş dalgacık ve pencere fonksiyonu ile süzgeç tasarımı konuları anlatılmış ve bu yöntemlerle QMF bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. İlk olarak eş dalgacık yöntemi ile farklı süzgeç uzunluklarında QMF bankası tasarlanmıştır. İkinci olarak yine aynı süzgeç uzunlukları için pencere fonksiyonları ile QMF bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. Pencere fonksiyonu olarak Bartlett, Blackman, Hamming, Hanning ve Kaiser pencere fonksiyonları tercih edilmiştir. Eş dalgacık yöntemi ile pencere fonksiyonları karşılaştırıldığında pencere fonksiyonlarının daha keskin kesim frekansı, daha düşük *PRE* değeri ve daha hızlı tasarım zamanına sahip olduğu görülmüştür. Eş dalgacık fonksiyonunun ise daha yüksek  $A_s$  değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde önerilen üç farklı genlik cevabı temel alınarak sezgisel yöntemlerle prototip süzgeç ve bu süzgece bağlı olarak tasarlanan QMF bankası tasarımları incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalarda QMF bankası tasarımı için iletim, geçiş, durdurma bandı hata oranları ve yeniden oluşturma hatası benzeri parametreleri kullanan tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Çok parçalı, çok değişkenli maliyet fonksiyonları ile QMF bankası tasarımları üzerinde çalışılmıştır. Önerilen genlik yanıtı tabanlı QMF tasarım yönteminde ise, ideale yakın genlik yanıtları kullanılarak, bu süzgecin sezgisel algoritmalar vasıtasıyla tasarlanması amaçlanmıştır. Sezgisel algoritmaların kullanım mantığına uygun olarak matematik model olmadan da tasarım yapılabilmesine imkân sağlayan bir yöntem önerilmiştir. ABC, mABC, qABC, DE ve PSO algoritmaları yardımıyla tasarlanan prototip süzgecin genlik cevabının ideal genlik cevabına yakınsaması prensibine dayanan tasarım için üç farklı prototip süzgeç

kullanılmıştır. 6-256 süzgeç derecesi aralığında on beş (15) farklı süzgeç uzunluğunda, üç (3) farklı prototip süzgeç kullanılarak ve beş (5) farklı algoritma ile tasarımlar gerçekleştirilerek bu süzgeçlerin başarımı değerlendirilmiştir. Değerlendirme için *PRE*, *A<sub>s</sub>*, *mse* ve bir çevrim için harcanan zaman kullanılmıştır. En başarılı süzgeç bankaları Prototip-1 olarak adlandırılan prototip süzgeçle elde edilirken Prototip-3 ile yani ideal süzgeç cevabı ile en başarısız sonuçlar elde edilmiştir. Süzgeç uzunluğu 60-70 değerlerine ulaşıncaya kadar tasarlanan süzgeçlerin değerlendirme kriterlerine göre başarısını artırdığı ya da koruduğu gözlenmiştir. Özellikle 128 ve 256 süzgeç uzunluğunda ise tasarlanan süzgeçlerin başarılarının düştüğü gözlemlenmiştir. ABC ve mABC algoritmaları da farklı süzgeç uzunluklarında diğer algoritmalarla göre daha başarılı sonuçlar üretmiştir. Yakınsama ve bir çevrim için harcanan zaman açısından ise qABC algoritması diğer algoritmalarından daha iyi sonuçlar vermiştir. DE algoritması ise genel olarak diğer algoritmalarla göre daha başarısız sonuçlar vermiştir.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde süzgeç bankası girişine uygulanan işarete göre zaman, frekans ve GSY tabanlı QMF bankası tasarımıyla ilgili olarak üç farklı tasarım yöntemi incelenmiştir. İlk tasarım yöntemi olan zaman tabanlı QMF banka tasarımında, QMF bankası giriş ve çıkışındaki işaretlerin farkı alınarak tasarım yapılmıştır. QMF bankası giriş işareti olarak Mitral kapak Doppler işareti kullanılmıştır. ABC, qABC, mABC, PSO ve DE algoritmaları prototip süzgeç parametrelerini tasarlamak için kullanılmışlardır. QMF bankasındaki diğer süzgeçler de prototip süzgecin dönüşümü ile elde edilmişlerdir. Zaman tabanlı QMF banka tasarımında dördüncü bölümdeki gibi 6-256 süzgeç uzunlukları arasında 15 farklı uzunluktaki süzgeç için sezgisel algoritmalar kullanılarak tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçları değerlendirmek için dördüncü bölümde kullanılan değerlerle aynı şekilde *PRE*, *A<sub>s</sub>*, *mse*, bir çevrim için harcanan zaman ve giriş –çıkış işaretleri arasındaki korelasyon kullanılmıştır. Tasarım sonucunda genel olarak ABC ve mABC algoritmalarının daha başarılı sonuçlar verdiği, bir çevrim için en kısa zamanın ise qABC algoritması tarafından elde edildiği görülmüştür. Zaman tabanlı tasarım literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında için özellikle *A<sub>s</sub>* açısından daha başarısız olmasına rağmen korelasyon açısından başarılı olduğu görülmüştür. Tasarımda kullanılan işaret yaklaşık 180 000 veriden oluştuğu için kolaylık olması için 1500 örneklilik kısmı tercih edilmiştir. İşaretin tamamının QMF bankasına uygulanması durumunda dahi korelasyonun yine yüksek olduğu tespit

edilmiştir. Böylece zaman tabanlı işaretler için önerilen yöntemin literatürdeki çalışmalar göre daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Tez çalışmasının beşinci bölümündeki ikinci tasarım yöntemi olarak frekans tabanlı QMF bankası tasarım yöntemi incelenmiştir. Önerilen tasarım yönteminde, süzgeç bankası giriş ve çıkışında işaretlerin Fourier dönüşümleri alınarak frekans tabanlı bir tasarım yöntemi uygulanmıştır. Yine zaman tabanlı tasarımlar ile aynı uzunluktaki süzgeçler ABC, mABC, qABC, PSO ve DE algoritmaları ile tasarlanmışlardır. QMF bankasındaki diğer süzgeçler de tasarlanan prototip süzgeçlerin dönüşümü ile elde edilmişlerdir. Tasarım için “benzetim EEG” işareti kullanılmıştır. Sonuçları değerlendirmek için sırasıyla  $PRE$ ,  $A_s$ ,  $mse$ , bir çevrim için harcanan zaman ile giriş ve çıkış işaretleri arasındaki korelasyon kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en başarılı sonuçların ABC ve mABC algoritmaları tarafından elde edildiği tespit edilmiştir. Bir çevrim için en hızlı çözüm qABC algoritması tarafından geliştirildiği görülmüştür. Elde edilen sonuç literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında, önerilen yöntemle literatürdeki diğer yöntemlere göre çok yüksek korelasyon değerlerine ulaşıldığı görülmüştür.

Tez çalışmasının beşinci bölümündeki son tasarım yönteminde ise işaretlerin GSY karşılıklarına göre QMF bankası tasarımı sonuçları incelenmiştir. QMF bankasında giriş işareti olarak “klinik EEG” işareti kullanılmıştır. QMF bankası giriş ve çıkışındaki işaretlerin GSY dönüşümü alınarak aradaki farkın azaltılması ve sezgisel algoritmalar yardımıyla prototip süzgeç parametrelerinin tasarlanması sağlanmıştır. QMF bankasının diğer süzgeçleri de prototip süzgecin dönüşümü ile elde edilmiştir. Dördüncü bölümdeki ile aynı uzunluktaki süzgeçler tasarlanarak sonuçları incelenmiştir. Değerlendirme kriteri olarak beşinci bölümdeki diğer tasarımlardaki aynı parametreler tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en başarılı sonuçların PSO, ABC ve mABC algoritmaları tarafından elde edildiği görülmüştür. Sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında ise sonuçların  $PRE$  ve  $A_s$  açısından bazı çalışmalara göre başarılı olmadığı ancak korelasyon açısından önerilen yöntemin daha başarılı olduğu görülmüştür. Önerilen GSY tabanlı yöntemde de zaman ve frekans tabanlı yöntemlerde olduğu gibi  $PRE$  ve  $A_s$  sonuçlarını geliştirmek için ek bir değerlendirme kriteri kullanılmadığı için bu parametrelerde elde edilen değerlerin kabul edilebilir olacağı söylenebilir. GSY tabanlı QMF bankası tasarımında sadece QMF bankasının

giriş ve çıkışındaki işaretlerin GSY dönüşümlerinin farkı incelendiği durumda da çok yüksek korelasyon elde edilmiştir.

## 6.2. Sonuç ve Öneriler

Bu Doktora tez çalışmasında süzgeç bankası tasarımında, sezgisel algoritmaların da başarılı şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir. Farklı tasarım yöntemlerine göre önerilen QMF bankası için en düşük tepe yeniden elde etme ve en yüksek zayıflatma değerlerine, az sayıda kontrol parametresi içermesi, basit ve esnek yapıda olması sebebiyle ABC ve mABC algoritmaları ile ulaşılmıştır. Bu algoritmalar QMF bankası tasarımında kullanılan diğer sezgisel algoritmalara göre daha başarılı bir performans sergilemiştir. Tez çalışmasında, QMF bankası tasarımında FIR prototip süzgecin genlik cevabının sezgisel yöntemler kullanılarak optimize edilmesi karmaşık mühendislik problemlerinin çözümüne güzel bir örnek oluşturmuştur. İşarete yönelik olarak gerçekleştirilen tasarımlar da hem sayısal süzgeç tasarımı hem de QMF bankası tasarımı için farklı ve yol gösterici örnek oluşturmuştur.

QMF bankaları çok farklı alanlarda ve farklı şekillerde kullanılabilirler. Bu tez çalışmasında FIR süzgeç tasarımı temel alınarak süzgeç bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımda karşılaşılan sorunların giderilmesi amacıyla IIR süzgeçlerin kullanılması durumunda da QMF bankası tasarımları gerçekleştirilebilir. Çok boyutlu alt bant işaret işleme için iki ve daha çok boyutlu QMF bankası tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. İşaretler için gerçekleştirilebilecek çalışmalarda da uyarlanabilir QMF banka tasarımları kullanılabilir.

## KAYNAKÇA

1. Ertürk, S., 2005. Sayısal İşaret İşleme. Birsen Yayınevi, İstanbul, pp. 346.
2. A. V. Oppenheim, A.S.W., I. T. Young, 1983. Signals and Systems. Prentice Hall, Boston, pp. 796.
3. Vaidyanathan, P.P., 1993. Multirate Systems And Filter Banks. Prentice Hall, Englewood cliffs, pp. 891.
4. Galand, C.R., and Nussbaumer, H.J., 1984, New quadrature mirror filter structures. **IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing**, 32, (3): 522-531
5. Mitra, S.K., 2007. Digital Signal Processin: A Computer Based Approach. McGraw-Hill, New York, pp. 855.
6. S. K. Agrawal, O.P.S., 2013, Two-channel quadrature mirror filter bank: an overview. **ISRN Signal Processing (Hindawi)**, 2013: 11
7. Koza, T., and Karaboga, N., 2017, Quadrature mirror filter bank design for mitral valve doppler signal using artificial bee colony algorithm. **Elektronika Ir Elektrotechnika**, 23, (1): 57-62
8. Karaboğa, D., 2005, Technical Report: An Idea based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization. Computer Engineering Department, Engineering Faculty, Erciyes University, Turkey
9. Vaidyanathan, P.P., 1990, Multirate Digital Filters, Filter Banks, Polyphase Networks, And Applications: A Tutorial. **Proceedings of the IEEE**, 78, (1): 56-93
10. Fliege, N.J., 1994. Multirate Digital Signal Processing: Multirate Systems - Filter Banks - Wavelets. John Wiley & Sons Ltd., New York, pp. 336.

11. Strang, G., and Nguyen, T., 1997. Wavelets and Filter Banks. Cambridge Press, Wellesley, pp. 485.
12. Jain, V., and Crochiere, R., 1984, Quadrature mirror filter design in the time domain. **IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing**, 32, (2): 353-361
13. T. Samaraki, R.B., 2002. Multirate Systems and Filter Banks, 27-86. *In: Multirate Systems: Design and Application* Eds: Dolecek, G.J. (Ed.) Idea Group Publishing
14. V, B., K. R. Rao, 2018. Cosine-/Sine-Modulated Filter Banks. Springer, pp. 641.
15. Milic, L., 2008. Multirate Filtering For Digital Signal Processing: MATLAB Applications. Information Science Reference, pp. 393.
16. Crochiere, R.E., and Rabiner, L.R., 1983. Multirate Digital Signal Processing. Prentice Hall, pp. 405.
17. Johnston, J.D., 1980. A filter family designed for use in quadrature mirror filter banks, pp. 292–294. *Proceeding of the International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ASSP '80)*, April 1980.
18. Vaidyanathan, P., 1987, Perfect reconstruction QMF banks for two-dimensional applications. **IEEE Transactions on Circuits and Systems**, 34, (8): 976-978
19. Tsai, C., 2011. Design and realization of quadrature mirror hilbert transformers using even-order elliptic IIR filters, pp. 2271-2274. *2011 4th International Congress on Image and Signal Processing*, 15-17 Oct. 2011.
20. A. Kumar, G.K.S., R. S. Anand, 2010, Design of quadrature mirror filter bank using particle swarm optimization (PSO). **ACEEE International Journal on Electrical and Power Engineering**, 1, (1): 41-45

21. Kumar, A., Rafi, S.M., and Singh, G.K., 2012, A hybrid method for designing linear-phase quadrature mirror filter bank. **Digital Signal Processing**, 22, (3): 453-462
22. Kumar, A., and Sunkaria, R.K., 2016, Two-channel perfect reconstruction (PR) quadrature mirror filter (QMF) bank design using logarithmic window function and spline function. **Signal Image and Video Processing**, 10, (8): 1473-1480
23. Sharma, I., Kumar, A., Singh, G.K., and Lee, H.N., 2017, Design of multiplierless prototype filter for two-channel filter bank using hybrid method in FCSD space. **Iet Circuits Devices & Systems**, 11, (1): 29-40
24. Nguyen, T.Q., and Vaidyanathan, P.P., 1988, Maximally decimated perfect-reconstruction FIR filter banks with pairwise mirror-image analysis (and synthesis) frequency responses. **IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing**, 36, (5): 693-706
25. Chen, C.-K., 1995, Minimax design of quadrature mirror filters with prescribed stopband characteristics. **Signal Processing**, 47, (3): 269-278
26. Sahu, O.P., Soni, M.K., and Talwar, I.M., 2006, Marquardt optimization method to design two-channel quadrature mirror filter banks. **Digital Signal Processing**, 16, (6): 870-879
27. Kumar, A., Singh, G.K., and Anand, R.S., 2013, An improved method for the design of quadrature mirror filter banks using the Levenberg-Marquardt optimization. **Signal Image and Video Processing**, 7, (2): 209-220
28. Karaboğa, D., 2004. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Yayın Dağıtım, pp. 244.
29. Yang, X.S., 2010. Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications. Wiley, pp. 376.
30. Baicher, G.S., 2010. Towards optimal implementation of a class of quadrature mirror filter using genetic algorithms, pp. 1663-1668. *2010 IEEE Fifth*

*International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA)*, 23-26 Sept. 2010.

31. Baicher, G.S., 2012, Real-time implementation of a class of optimised multirate quadrature mirror filter bank using genetic algorithms. **Journal of Universal Computer Science**, 18, (13): 1871-1887
32. H. Uppalapati, H.R., M. Ahmadi, M. A. Sid-Ahined, 2005. Design of quadrature mirror filter banks with canonical signed digit coefficients using genetic algorithm, pp. *2005 International Conference on Communications, Circuits and Systems*, 27-30 May 2005, Hong Kong, China.
33. Misra, D., Dhabal, S., Chakrabarti, R., and Venkateswaran, P., 2012. Canonical signed digit representation of quadrature mirror filter using genetic algorithm, pp. 65-68. *2012 International Conference on Communications, Devices and Intelligent Systems (CODIS)*, 28-29 Dec. 2012.
34. N. Aloui, B.N.M., A. Cherif, 2013, Genetic algorithm for designing QMF banks and its application in speech compression using wavelets. **I.J. Image, Graphics and Signal Processing**, 6, (2013): 1-8
35. P. Samadi, M.A., 2007. Genetic algorithm and its application for the design of qmf banks with canonical signed digit coefficients: a comparative study and new results, pp. *2007 IEEE Northeast Workshop on Circuits and Systems*, 5-8 Aug. 2007, Montreal, Canada.
36. V.J. Manoj, E.E., 2009, Design of multiplier-less nonuniform filter bank transmultiplexer using genetic algorithm. **Signal Processing**, 89, (2009): 2274–2285
37. Yu, Y.J., and Lim, Y.C., 2002, A novel genetic algorithm for the design of a signed power-of-two coefficient quadrature mirror filter lattice filter bank. **Circuits Systems and Signal Processing**, 21, (3): 263-276
38. Misra, D., Deb, S., and Joardar, S., 2015. Efficient design of quadrature mirror filter bank for audio signal processing using craziness based particle swarm

- optimization technique, pp. 1-5. *2015 International Conference on Computer, Communication and Control (IC4)*, 10-12 Sept. 2015.
39. Rafi, S.M., Kumar, A., and Singh, G.K., 2013, An improved particle swarm optimization method for multirate filter bank design. **Journal of the Franklin Institute**, 350, (4): 757-769
  40. Upendar, J., Gupta, C.P., and Singh, G.K., 2010, Design of two-channel quadrature mirror filter bank using particle swarm optimization. **Digital Signal Processing**, 20, (2): 304-313
  41. Ghosh, A., Giri, R., Chowdhury, A., Das, S., and Abraham, A., 2010. Two-channel quadrature mirror bank filter design using a fitness- adaptive differential evolution algorithm, pp. 634-641. *2010 Second World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, 15-17 Dec. 2010.
  42. Ghosh, P., Das, S., and Zafar, H., 2012, Adaptive-differential-evolution-based design of two-channel quadrature mirror filter banks for sub-band coding and data transmission. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)**, 42, (6): 1613-1623
  43. Koza, T., and Karaboga, N., 2015. Diferansiyel gelişim algoritması ile çeyrek ayna süzgeç bankası tasarımı, pp. 1-4. *2015 19. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı (BIYOMUT)*, 5-6 Nov. 2015, İstanbul.
  44. Agrawal, S.K., and Sahu, O.P., 2015, Artificial bee colony algorithm to design two-channel quadrature mirror filter banks. **Swarm and Evolutionary Computation**, 21: 24-31
  45. Dhabal, S., and Venkateswaran, P., 2017, An efficient gbest-guided Cuckoo Search algorithm for higher order two channel filter bank design. **Swarm and Evolutionary Computation**, 33: 68-84
  46. Kuldeep, B., Singh, V.K., Kumar, A., and Singh, G.K., 2015, Design of two-channel filter bank using nature inspired optimization based fractional derivative constraints. **ISA Transactions**, 54: 101-116

47. S. Sriranganathan, D.R.B., D. W. Redmill, 1997. The design of low complexity two-channel lattice structure perfect-reconstruction filter banks using genetic algorithms, pp. 2393-2396. *1997 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 9-12 June 1997, Hong Kong.
48. Ya Jun Yu, Y.C.L., 2001. New natural selection process and chromosome encoding for the design of multiplierless lattice qmf using genetic algorithm, pp. *Electronics, Circuits and Systems, 2001. ICECS 2001. The 8th IEEE International Conference on*, 2-5 Sept. 2001, Malta.
49. Sang Yoon, P., and Nam Ik, C., 2006, Design of signed powers-of-two coefficient perfect reconstruction QMF Bank using CORDIC algorithms. **IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers**, 53, (6): 1254-1265
50. L. Jing , S.Z., L. Lingling, L. Juan, T. Xiaoyue, W. Juan, 2007. An algorithm of optimizing subband filter banks based on ACA, pp. 314-318. *Proceedings of the 26th Chinese Control Conference*, July 26-31, 2007, Zhangjiajie, Hunan, China.
51. V.J. Manoj, E.E., 2012, Artificial bee colony algorithm for the design of multiplierless nonuniform filter bank transmultiplexer. **Information Sciences**, 192, (2012): 193–203
52. T. Koza, N.K., 2016. EKG işareti için diferansiyel gelişim algoritması kullanarak çeyrek ayna süzgeç bankası tasarımı, pp. 97-100. *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU2016)*, 29 Eylül - 1 Ekim 2016, DÜZCE, TÜRKİYE.
53. Koza, T., and Karaboğa, N., 2017. Comparison of QMF bank designs in frequency and time domain using ABC algorithm, pp. 1-4. *2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 15-18 May 2017.
54. Özdemir, G., Karaboğa, N., and Koza, T., 2017. "Performance comparison of two channel CMFB and QMF bank designed via ABC algorithm, pp. 1-4. *017 25th Signal Processing and Communication Application Conference, SIU 2017 Antalya, Türkiye*.

55. Koza, T., and Karaboğa, N., 2018. ABC algoritması ile güç spektral yoğunluğa göre qmf bankası tasarımlarının incelenmesi, pp. 1-4. *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları (SIU 2018) Kurultayı*, 2-5 Mayıs 2018, İzmir, Türkiye.
56. Kuldeep, B., Kumar, A., and Singh, G.K., 2015, Design of quadrature mirror filter bank using Lagrange multiplier method based on fractional derivative constraints. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 18, (2): 235-243
57. Koza, T., and Karaboga, N., 2015. Quadrature mirror filter bank design using differential evolution algorithm, pp. 1-4. *2015 19th National Biomedical Engineering Meeting (BIYOMUT)*, 5-6 Nov. 2015.
58. Kockanat, S., Koza, T., Karaboga, N., and Erkoc, M.E., 2016. Noise cancellation application of ECG signal using artificial bee colony algorithm, pp. 1017-1020. *2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU)*, 16-19 May 2016.
59. Yang, X.S., 2011, Metaheuristic optimization. **Scholarpedia**, 6, (7): 11472
60. Karaboga, D., and Akay, B., 2011, A modified Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems. **Applied Soft Computing**, 11, (3): 3021-3031
61. Karaboga, D., and Akay, B., 2009, A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm. **Applied Mathematics and Computation**, 214, (1): 108-132
62. Karaboga, D., and Basturk, B., 2008, On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. **Applied Soft Computing**, 8, (1): 687-697
63. Koza, T., Koçkanat, S., Karaboğa, N., and Latifoğlu, F., 2015. SSA analysis of noise eliminated transcranial Doppler signals with IIR filters, pp. 2021-2024. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 16-19 May 2015.

64. Koçkanat, S., Koza, T., and Karaboğa, N., 2015. IIR filter parameter estimation with ABC algorithm for mitral valve Doppler signal denoising, pp. 1989-1992. *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 16-19 May 2015.
65. Koza, T., Karaboğa, N., and Koçkanat, S., 2012. Aort valve Doppler signal noise elimination using IIR filter designed with ABC algorithm, pp. 1-5. *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2-4 July 2012, Trabzon, Turkey.
66. Koçkanat, S., Karaboga, N., and Koza, T., 2012. Image denoising with 2-D FIR filter by using artificial bee colony algorithm, pp. 1-4. *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2-4 July 2012.
67. Koçkanat, S., Koza, T., and Karaboga, N., 2011, Cancellation of noise on mitral valve Doppler signal using IIR filters designed with artificial bee colony algorithm. **Current Opinion in Biotechnology**, 22: S57-S57
68. Karaboga, N., Latifoglu, F., and Koza, T., 2011, SSA analysis of transcranial Doppler signal using IIR filters designed with ABC algorithm. **Current Opinion in Biotechnology**, 22: S58-S58
69. Akay, B., and Karaboga, D., 2012, A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization. **Information Sciences**, 192: 120-142
70. Karaboga, D., and Gorkemli, B., 2014, A quick artificial bee colony (qABC) algorithm and its performance on optimization problems. **Applied Soft Computing**, 23: 227-238
71. Karaboga, D., and Gorkemli, B., 2012. A quick artificial bee colony -qABC- algorithm for optimization problems, pp. 1-5. *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, 2-4 July 2012.

72. Kennedy, J., Eberhart, R.E., 1995. Particle swarm optimization, pp. 1942-1948. *IEEE International Conference on Neural Networks*, 27 November-01 December, 1995, Perth, USA.
73. Storn, R., Price K., 1997, Differential Evolution – A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. **Journal of Global Optimization**, 11, (4): 341-359
74. Anil, K.S., Gangadharaiyah, S.L., and Shrinivasan, L., 2017. Design and simulation of quadrature mirror filters-based channelization architecture for subband coding applications using FPGA, pp. 623-627. *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 19-20 May 2017.
75. Chopra, A., Reid, W., and Evans, B.L., 2014. Low complexity subband analysis using quadrature mirror filters, pp. 5021-5025. *2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 4-9 May 2014.
76. Kumar, A., Singh, G.K., and Anurag, S., 2015, An optimized cosine-modulated nonuniform filter bank design for subband coding of ECG signal. **Journal of King Saud University - Engineering Sciences**, 27, (2): 158-169
77. Vetterli, M., 1986, Filter banks allowing perfect reconstruction. **Signal Processing**, 10, (3): 219-244
78. Uzunhisarcıklı, E., Koza, T., Kaya, M.G., and İ, A., 2010. "Mitril kapak sinyalleri için öznitelik belirleme, pp. 1-4. *2010 15. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı BİYOMUT*, 21-24 Nisan 2010.
79. Uzunhisarcıklı, E., Latifoglu, F., Koza, T., and Kaya, M.G., 2009. Grey relational analysis tekniği kullanarak doppler ultrasound görüntülerde gürültü eliminasyonu, pp. 1-4. *2009 14. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, 20-22 May 2009.

80. E. Silva , S.N., P. S. R. Diniz, 2002. Digital Signal Processing : System Analysis and Design. Cambridge University Press, London, pp. 632.

81. Physio Bank Databases. **[https : // physionet.org/physiobank/database/](https://physionet.org/physiobank/database/)**



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı:** Türker KOZA  
**Uyruğu:** Türkiye (T.C)  
**Doğum Tarihi ve Yeri:** 1981 - Kayseri  
**Medeni Durum:** Evli  
**e-mail:** turkerkoza@gmail.com  
**Yazışma Adresi:** Bozok Üniversitesi Teknik Bilimler MYO, Esentepe, Yozgat, Merkez

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniv., Elektrik-Elektronik Müh.	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi, Elektronik Öğretmenliği	2003
Lise	Merkez Anadolu Teknik Lisesi, Kayseri	1999

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2013-Halen	Bozok Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2003-2018	M.E.B.	Öğretmen

### YABANCI DİL

İngilizce

### YAYINLAR

1. Koza T., Karaboğa N., 2017, Quadrature mirror filter bank design for mitral valve doppler signal using artificial bee colony algorithm, **Elektronika IR Elektrotehnika**, vol.1, pp.57-62,.

2. Koçkanat S., Koza T., Karaboğa N., Loğoğlu A., 2018, Adaptive FIR filtering using abc algorithm: a noise reduction application on mitral valve doppler signal", **Elektronika IR Elektrotehnika**, vol.24, pp.62-68,
3. Koza T., Karaboğa N., ABC Algoritması ile Güç Spektral Yoğunluğa Göre QMF Bankası Tasarımlarının İncelenmesi, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları (SİU 2018) Kurultayı*, İZMİR, TÜRKİYE, 2-5 Mayıs 2018, ss.1-4
4. Loğoğlu A. , Koza T., Koçkanat S., Karaboğa N., Yarasa algoritmasının sonlu dürtü tepkili sayısal süzgeç tasarımındaki başarımının incelenmesi, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları (SİU 2018) Kurultayı*, İZMİR, TÜRKİYE, 2-5 Mayıs 2018, ss.1-4
5. Koza T., Karaboğa N., Comparison of QMF bank designs in frequency and time domain using ABC algorithm, *2017 25th Signal Processing and Communication Application Conference, SIU 2017 - Proceedings*, Antalya, Türkiye, 15-18 Mayıs 2017, ss.1-4
6. Özdemir G., Karaboğa N., Koza T., Performance comparison of two channel CMFB and QMF bank designed via ABC algorithm, *2017 25th Signal Processing and Communication Application Conference, SIU 2017 - Proceedings*, Antalya, Türkiye, 15 Mayıs - 18 Temmuz 2017, ss.1-4
7. Koza T., Karaboğa N., Quadrature mirror filter bank design for mitral valve doppler signal using artificial bee colony algorithm, *20th International Conference ELECTRONICS 2016*, Palanga, Litvanya, 13-15 Haziran 2016, pp.1-1
8. Koza T., Karaboğa N., EKG işareti için diferansiyel gelişim algoritması kullanarak çeyrek ayna süzgeç bankası tasarımı, *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU2016)*, DÜZCE, TÜRKİYE, 29 Eylül - 1 Ekim 2016, ss.97-100
9. Koçkanat S., Koza T., Karaboğa N., Erkoç M.E., Noise cancellation application of ECG signal using artificial bee colony algorithm, *2016 24th Signal Processing and*

*Communication Application Conference, SIU 2016 - Proceedings, Zonguldak, Türkiye, 16-19 Mayıs 2016, ss.1017-1020*

10. Koza T. , Koçkanat S., Karaboğa N., IIR filter paramater estimation with abc algorithm for mitral valve doppler signal denoising , *SIU-2015: 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, Malatya, Türkiye, 16-19 Mayıs 2015, cilt.3, ss.1886-1889

11. Koza T., Karaboğa N., Latifoğlu F., SSA Analysis Of Noise Eliminated Transcranial Doppler Signals With IIR Filters, *SIU-2015: 23. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı* , Malatya, Türkiye, 16-19 Mayıs 2015, cilt.3, ss.1918-1921

12. Koza T., Karaboğa N., Diferansiyel gelişim algoritması ile çeyrek ayna süzgeç bankası tasarımı, *BİYOMUT 19. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, İstanbul, Türkiye, 5-6 Kasım 2015, ss.1-1n

13. Kemişlioğlu B. , Koçkanat S., Koza T. , Karaboğa N., oise cancellation on mitral valve doppler signal with IIR digital filter using harmony search algorithm", *INISTA 2013 International Symposium on Innovations in Intelligent SysTems and Applications, BULGARISTAN, "19-21 June 2013"* , pp.1-5

14. Koza T. , Karaboğa N., Koçkanat S. , Aort valve doppler signal noise elimination using IIR filter designed with abc algorithm ", *INISTA 2012 International Symposium on Innovations in Intelligent SysTems and Applications, Trabzon , Türkiye, "2-4 July 2012"*, pp.1-5

15. Koçkanat S. , Karaboğa N., Koza T. , Image denoising with 2-d FIR filter by using artificial bee colony algorithm , *INISTA 2012 International Symposium on INnovations in Intelligent Systems and Applications, Trabzon, Türkiye, "2-4 July 2012"* , pp."1-4"

16. Koza T. , Kemişlioğlu B., Karaboğa N., Armoni arama ve yapay arı koloni algoritmalarının parametre değerlerinin kontrolü, *Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2012 Ulusal Toplantısı*, Niğde, Türkiye, "11-13 Ekim 2012", ss.1-5

17. Karaboğa N., Latifoğlu F., Koza T., SSA analysis of transcranial doppler signal using iir filters designed with ABC algorithm", **Current Opinion in Biotechnology**, 22, Supplement 1 (0): S57.
18. Koçkanat S., Koza T. , Karaboğa N., Cancellation on noise on mitral valve doppler signal using iir filters designed with artificial bee colony algorithm, **Current Opinion in Biotechnology**, 22, Supplement 1 (0): S57.
19. Koza T., Karaboğa N., İçer S., Uzunhisarcikli E., Renkli Doppler görüntülerinden mitral yetmezlik kaçak alanının değerlendirilmesi, *TIPTEKNO2011 Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi-16. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı*, Antalya, Türkiye, "13-16 Ekim 2011", ss.1-2
20. Karaboğa N., Uzunhisarcikli E., Latifoğlu F., Koza T., Koçkanat S., Mitral kapak ışıretisi üzerindeki anatomik ve elektronik gürültülerin ABC algoritması İle tasarlanan IIR süzgeçlerle süzülmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu , Elazığ, Türkiye, "5-7 Ekim 2011" , ss.288-292
21. Koçkanat S. , Karaboğa N., Koza T. , ABC algoritması ile tasarlanan fir süzgeçlerle mitral kapak Doppler ışıretindeki gürültü giderimi, *Elektrik Elektronik Mühendisliği Günleri* , Ankara, Türkiye, "29 Eylül-1 Ekim 2011", ss.45-48