

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

**ABC ALGORİTMASI KULLANILARAK KOSİNÜS
MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKALARININ TASARIMI**

**Hazırlayan
Gökçen ÖZDEMİR**

**Danışman
Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA**

Doktora Tezi

**Ağustos (2019)
KAYSERİ**

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

**ABC ALGORİTMASI KULLANILARAK KOSİNÜS
MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKALARININ TASARIMI
(Doktora Tezi)**

**Hazırlayan
Gökçen ÖZDEMİR**

**Danışman
Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA**

**Ağustos (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.

Gökçen ÖZDEMİR



“ABC Algoritması Kullanılarak Modüleli Süzgeç Bankalarının Tasarımının İncelenmesi ve Geliştirilmesi” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Gökçen ÖZDEMİR



Danışman

Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA



Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Necmi TAŞPINAR

Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA danışmanlığında **Gökçen ÖZDEMİR** tarafından hazırlanan “**ABC Algoritması Kullanılarak Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankalarının Tasarımı**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği** Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

26 / 08 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA



Üye : Prof. Dr. Cebail ÇİFLİKLİ



Üye : Doç. Dr. Aytekin BAĞIŞ



Üye : Doç. Dr. Fatma LATİFOĞLU



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Asuman SAVAŞÇIHABEŞ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 27.08.2019 tarih ve 2019/49-44 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi ve tamamlanması sürecinde pozitif enerjisi ile bana her zaman yardım ve destek sağlayan, süreklilik isteyen akademik hayatın detaylarını öğreten değerli danışmanım Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA'ya,

Tez çalışmalarım boyunca her rapor dönemi yorum, öneri ve geri bildirimleri ile tezimin gelişmesine katkıda bulunan Tez İzleme Komitesinin değerli üyeleri Doç. Dr. Fatma LATİFOĞLU ve Doç. Dr. Aytekin BAĞIŞ'a,

Tez savunmama katılarak yorum ve önerileri ile değerli görüşlerini sunma nezaketi gösteren jüri üyelerine, çalışmalarımda emeği geçen tüm çalışma arkadaşlarıma,

Sevgisi, desteği ve sabrını her zaman hissettiren değerli eşim, hayat arkadaşım Umut ÖZDEMİR'e, yaşlarından beklenmeyen olgunluğu gösterip onlarla geçireceğim zamanlarda çalışmamı anlayışla karşılayan büyük yürekli küçük kızlarım Özge ve Beren'e, bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Gökçen ÖZDEMİR

Ağustos 2019, KAYSERİ

ABC ALGORİTMASI KULLANILARAK KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKALARININ TASARIMI

Gökçen ÖZDEMİR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Ağustos 2019

Danışman: Prof.Dr. Nurhan KARABOĞA

ÖZET

Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankaları tasarımlarının kolaylığı, uygulamalarının basit olması ve gerçel süzgeç katsayılarının olması sebebiyle süzgeç bankaları içinde sıklıkla tercih edilirler. Kosinüs modüleli süzgeç bankaları, ses, görüntü ve video işleme, biyomedikal işaret işleme, çapraz çoğullayıcılar vb. gibi birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Bu tez çalışmasında kosinüs modüleli süzgeç bankası tasarımı için üç farklı yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemlerden ilkinde iki farklı ayarlanabilir pencere fonksiyonunun kaskat kullanımına dayalı bir tasarım yer almaktadır. Ayarlanabilir pencere fonksiyonu olarak Kaiser ve Gaussian pencereleri seçilmiştir. Önerilen ikinci yöntemde tek bir pencere fonksiyonu ve ABC algoritması kullanılmıştır. Pencere fonksiyonunun ayarlanabilir parametresi ve tasarlanan prototip süzgecin kesim frekansı, ABC algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Önerilen üçüncü yöntemde ise ikinci yöntemde kullanılan amaç fonksiyonu değiştirilmiş ve yine sezgisel algoritmalar kullanılmıştır. Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası tasarımı için ABC, PSO ve DE olmak üzere üç farklı sezgisel algoritma kullanımı tercih edilmiştir. Bu algoritmalarla dört farklı kanal için tasarlanan süzgeç bankalarına ait sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre önerilen kaskat yapının literatürdeki benzerlerine göre daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Düzgün Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Farksal Gelişim Algoritması, Pencere Fonksiyonu, Optimizasyon.

COSINE MODULATED FILTER BANK DESIGN USING ABC ALGORITHM**Gökçen ÖZDEMİR****Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences****PhD Thesis, August 2019****Supervisor: Prof. Dr. Nurhan KARABOĞA****ABSTRACT**

Cosine Modulated Filter Banks are frequently preferred among filter banks because of their ease of design, simple application and real filter coefficients. Cosine modulated filter banks have a wide range of applications in many fields such as audio, video and image processing, biomedical signal processing, transmultiplexers etc. In this thesis, three different methods are proposed for the design of cosine modulated filter bank. In the first proposed method, a design based on the cascade use of two different adjustable window functions is provided. Kaiser and Gaussian windows are selected as the adjustable window function. In the second proposed method, only one window function and ABC Algorithm are used. The adjustable parameter of the window function and the cut-off frequency of the designed prototype filter are optimized using the ABC Algorithm. In the third proposed method, the objective function used in the second method was changed and heuristic algorithms were used. Three different heuristic algorithms, ABC, PSO and DE, are selected for the design of the Cosine Modulated Filter Bank. The results of the filter banks designed for four different channel numbers with the selected algorithms are presented comparatively. According to the results, it is seen that the proposed cascade structure has better performance parameters compared to the ones in the literature.

Keywords: Uniform Cosine Modulated Filter Bank, Artificial Bee Colony Algorithm, Particle Swarm Optimization, Differential Evolution Algorithm, Window Function, Optimization.

İÇİNDEKİLER

ABC ALGORİTMASI KULLANILARAK KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKALARININ TASARIMI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
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. AYRIK ZAMANLI SİSTEMLER.....	5
1.2. DOĞRUSAL ZAMANLA-DEĞİŞMEYEN SİSTEMLER	6
1.3. ÇOKLU HIZLI SİSTEMLER	7
1.3.1. Aşağı Örneklemeye İşlemi	7
1.3.2. Yukarı-Örneklemeye İşlemi	9
1.4. SEYRELTME VE ARADEĞERLEME	11
1.5. PENCERE FONKSİYONLARI	12
1.6. SÜZGEÇ BANKALARI.....	14
1.6.1. Prototip Süzgeç	14
1.7. MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKALARI.....	15
1.7.1. Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankaları	16
1.8. SEZGİSEL ALGORİTMA TEMELLİ CMFB ÇALIŞMALARI	20

2. BÖLÜM

LİTERATÜRDE KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKASI

ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

2.1. GENETİK ALGORİTMA	25
2.2. EVRİMSEL PROGRAMLAMA	26
2.3. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI	26
2.3.1. Quantum Davranışlı PSO	27
2.4. DEĞİŞKEN KOMŞULUK ARAMASI.....	28
2.5. MOEA/DFD	28
2.6. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI.....	30
2.7. YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI	31
2.8. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI.....	31
2.9. HYBRİT META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR.....	32
2.10. GUGUK KUŞU ALGORİTMASI.....	33

3. BÖLÜM

PENCERE FONKSİYONLARI İLE KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI

3.1.KULLANILAN PENCERE FONKSİYONLARI	36
3.1.1. Kaiser Penceresi.....	37
3.1.2. Gaussian Penceresi	38
3.2. ÖNERİLEN YÖNTEM-1	39
3.3. BENZETİM SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR-1	41
3.3.1. Kaiser Penceresi ile Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası Tasarımı.....	42
3.3.2. Gaussian Penceresi ile Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası Tasarımı	46
3.3.3. Önerilen Yöntem 1 ile Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası Tasarımı	50
3.3.4. Önerilen Yöntem 1'in EKG İşaretine Uygulanması.....	57

4. BÖLÜM

SEZGİSEL ALGORİTMALARLA KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI

4.1. KULLANILAN SEZGİSEL ALGORİTMALAR.....	59
4.1.1. ABC Algoritması.....	59

4.1.2. PSO Algoritması	61
4.1.3. DE Algoritması.....	62
4.2. ÖNERİLEN YÖNTEM-2.....	63
4.3. BENZETİM SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR-2	65
4.1.2.1. Tasarım Örneği 1	65
4.1.2.2. Tasarım Örneği 2	67
4.1.2.3. Tasarım Örneği 3	69
4.1.2.4. Tasarım Örneği 4	71
4.2. ÖNERİLEN YÖNTEM-3.....	73
4.2.1. ABC ile Önerilen Yöntem 3	74
4.2.2. PSO ile Önerilen Yöntem 3.....	79
4.2.3. DE ile Önerilen Yöntem 3	82
4.3. TASARIMLARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN ANALİZLERİ	86

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1.Tartışma	97
5.2.Sonuç ve Öneriler	99
KAYNAKÇA	101
EKLER.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	114
YAYINLAR	115

KISALTMALAR

FIR	: Sonlu Dürtü Yanıtlı
IIR	: Sonsuz Dürtü Yanıtlı
LTI	: Doğrusal Zamanla Değişmeyen
MFB	: Modüleli Süzgeç Bankası
CMFB	: Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası
DCT	: Ayrık Kosinüs Dönüşümü
PR	: Mükemmel Yeniden Yapılandırılmalı
NPR	: Mükemmele Yakın Yeniden Yapılandırılmalı
EKG	: Elektrokardiyogram
GA	: Genetik Algoritma
EP	: Evrimsel Programlama
FEP	: Hızlı Evrimsel Programlama
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
VNS	: Değişken Komşuluk Araması
MOEA	: Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma
DFD	: Ayrıştırma ve Bulanık Üstünlük
ABC	: Yapay Arı Kolonisi Algoritması
GSA	: Yerçekimi Arama Algoritması
HSA	: Harmoni Arama Algoritması
CSA	: Guguk Kuşu Arama Algoritması
SOPOT	: İkinci Kuvvetleri Toplamı
LMSE	: En Küçük Ortalama Kareler Hatası
CSD	: Kanonik İmzalı Rakam
PRE	: Tepe Yeniden Yapılandırma Hatası
A_s	: Durdurma Bandı Zayıflatması
N	: Süzgeç Derecesi

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. CMFB Çalışmalarında Kullanılan Meta-Sezgisel Algoritmalar.....	25
Tablo 3. 1. Kaiser penceresiyle 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri ..	42
Tablo 3. 2. Kaiser penceresiyle 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri ..	43
Tablo 3. 3. Kaiser penceresiyle 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	44
Tablo 3. 4. Kaiser penceresiyle 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	44
Tablo 3. 5. Gaussian penceresiyle 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	46
Tablo 3. 6. Gaussian penceresiyle 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	47
Tablo 3. 7. Gaussian penceresiyle 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	48
Tablo 3. 8. Gaussian penceresiyle 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	48
Tablo 3. 9. Önerilen Yöntem 1 ile 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	50
Tablo 3. 10. Önerilen Yöntem 1 ile 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	51
Tablo 3. 11. Önerilen Yöntem 1 ile 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	52
Tablo 3. 12. Önerilen Yöntem 1 ile 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri	53
Tablo 3. 13. Kaiser, Gaussian ve Önerilen Yöntem 1 için karşılaştırma tablosu.	55
Tablo 3. 14. Önerilen prototip süzgecin performans karşılaştırması.	56
Tablo 4. 1. ABC Algoritması Kontrol Parametreleri	65
Tablo 4. 2. ABC ile tasarlanan 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri ..	66
Tablo 4. 3. ABC ile tasarlanan 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri ..	68
Tablo 4. 4. ABC ile tasarlanan 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri.	69
Tablo 4. 5. ABC ile tasarlanan 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri.	71

Tablo 4. 6. Kullanılan algoritmaların kontrol parametreleri.....	74
Tablo 4. 7. ABC ile tasarlanan 4 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.	75
Tablo 4. 8. ABC ile tasarlanan 8 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.	76
Tablo 4. 9. ABC ile tasarlanan 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.	77
Tablo 4. 10. ABC ile tasarlanan 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.	78
Tablo 4. 11. PSO ile tasarlanan 4 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.	79
Tablo 4. 12. PSO ile tasarlanan 8 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.	80
Tablo 4. 13. PSO ile tasarlanan 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri	81
Tablo 4. 14. PSO ile tasarlanan 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri	82
Tablo 4. 15. DE ile tasarlanan 4 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri	83
Tablo 4. 16. DE ile tasarlanan 8 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri	84
Tablo 4. 17. DE ile tasarlanan 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri	85
Tablo 4. 18. DE ile tasarlanan 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri	86
Tablo 4. 19. Önerilen Yöntem 3 için elde edilen değerlerin performans karşılaştırması.	91

ŞEKİLLER LİSTESİ

<i>Şekil 1. 1.</i> Temel dizi işlemleri, (a) toplama, (b) çarpma, (c) skaler çarpım, (d) zamanda kaydırma, (e) aşağı örnekleme, (f) yukarı örnekleme.....	6
<i>Şekil 1. 2.</i> Aşağı örnekleme blok diyagramı	8
<i>Şekil 1. 3.</i> $M=2$ için giriş dizisi $x[n]$ ve aşağı örneklenmiş dizi $y[m]$	8
<i>Şekil 1. 4.</i> $M=6$ için giriş dizisi $x[n]$ ve aşağı örneklenmiş dizi $y[m]$	9
<i>Şekil 1. 5.</i> Yukarı-örnekleme blok diyagramı	9
<i>Şekil 1. 6.</i> $L=2$ için giriş dizisi $x[n]$ ve yukarı örneklenmiş dizi $y[m]$	10
<i>Şekil 1. 7.</i> $L=3$ için giriş dizisi $x[n]$ ve yukarı örneklenmiş dizi $y[m]$	10
<i>Şekil 1. 8.</i> Seyreltici blok diyagramı	11
<i>Şekil 1. 9.</i> Aradeğerleyici blok diyagramı.....	12
<i>Şekil 1. 10.</i> M kanallı süzgeç bankası blok diyagramı.	14
<i>Şekil 1. 11.</i> FIR sistem yapısı.....	16
<i>Şekil 1. 12.</i> Düzgün olmayan CMFB.	18
<i>Şekil 1. 13.</i> (a) M kanal düzgün süzgeç bankasının analiz bankası. (b) M kanal düzgün-olmayan süzgeç bankasının analiz bankası.....	19
<i>Şekil 1. 14.</i> Farklı CMFB Sınıflandırmaları.....	20
<i>Şekil 2. 1.</i> Algoritmanın doğasına göre optimizasyon algoritmalarının genel sınıflandırması.....	25
<i>Şekil 2. 2.</i> Basit GA prosedürü [66].	26
<i>Şekil 2. 3.</i> Evrimsel Programlama Algoritmasının Sözde Kodu [69].	27
<i>Şekil 2. 4.</i> PSO nun orijinal versiyonunun adımları [70].	28
<i>Şekil 2. 5.</i> Temel VNS Algoritmasının adımları [85].....	29
<i>Şekil 2. 6.</i> MOEA/DFD'nin temel adımları [88].....	30
<i>Şekil 2. 7.</i> ABC algoritmasının temel adımları [89].....	31
<i>Şekil 2. 8.</i> GSA'nın farklı adımları [93].	32
<i>Şekil 2. 9.</i> Harmoni Araştırma Algoritmasının sözde kodu [95].....	33
<i>Şekil 2. 10.</i> Guduk Kuşu Algoritmasının sözde kodu [97].....	34

<i>Şekil 3. 1.</i>	Kaiser penceresinde β değerindeki artışa bağlı olarak ana lob ve yan loblardaki değişim.	38
<i>Şekil 3. 2.</i>	Gaussian pencere fonksiyonunda α parametresindeki değişimin ana lob ve yan loblardaki değişime etkisi.	39
<i>Şekil 3. 3.</i>	FIR prototip süzgeç için önerilen kaskat yapının blok diyagramı.	39
<i>Şekil 3. 4.</i>	Önerilen yöntemin akış diyagramı	41
<i>Şekil 3. 5.</i>	Kaiser penceresiyle tasarlanan CMFB'nin frekans eksenı gösterimleri: (a) $M=4, N=48$; (b) $M=8, N=56$; (c) $M=16, N=120$; (d) $M=32, N=512$	45
<i>Şekil 3. 6.</i>	Gaussian penceresiyle tasarlanmış CMFB'lerin frekans eksenı gösterimleri: (a) $M=4, N=80$; (b) $M=8, N=64$; (c) $M=16, N=128$; (d) $M=32, N=256$	49
<i>Şekil 3. 7.</i>	Önerilen Yöntem 1 ile tasarlanan CMFB'lerin frekans eksenı gösterimleri: (a) $M=4, N=88$; (b) $M=8, N=64$; (c) $M=16, N=128$; (d) $M=32, N=256$. ..	54
<i>Şekil 3. 8.</i>	4 kanallı ve 8 kanallı süzgeç bankalarının EKG işaretine uygulanması sonucu elde edilen grafikler: (a) 4 Kanallı süzgeç bankasının kullanıldığı durum, (b) 8 Kanallı süzgeç bankasının kullanıldığı durum.	58
<i>Şekil 4. 1.</i>	ABC Algoritmasının Akış Diyagramı.	61
<i>Şekil 4. 2.</i>	Önerilen yöntemin akış diyagramı	64
<i>Şekil 4. 3.</i>	(a) Kaiser penceresiyle 4 Kanallı 80. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (b) Gaussian penceresiyle 4 Kanallı 80. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (c) Tasarım örneği 1 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.	67
<i>Şekil 4. 4.</i>	(a) Kaiser penceresiyle 8 Kanallı 160. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (b) Gaussian penceresiyle 8 Kanallı 160. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (c) Tasarım Örneği 2 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Tasarım Örneği 2 için prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.	69
<i>Şekil 4. 5.</i>	(a) Kaiser penceresiyle 16 Kanallı 320. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (b) Gaussian penceresiyle 16 Kanallı 320. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (c) Tasarım Örneği 3 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Tasarım Örneği 3 için prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.	70
<i>Şekil 4. 6.</i>	(a) Kaiser penceresiyle 32 Kanallı 640. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (b) Gaussian penceresiyle 32 Kanallı 640. dereceden	

CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (c) Tasarım Örneği 3 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Tasarım Örneği 3 için prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.	72
Şekil 4. 7. Yakınsama grafikleri: (a) Kaiser Penceresi örnekleri için, (b) Gaussian Penceresi örnekleri için.	73
Şekil 4. 8. 4 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen A_s değerleri	92
Şekil 4. 9. 4 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen PRE değerleri.....	92
Şekil 4. 10. 8 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen A_s değerleri	93
Şekil 4. 11. 8 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen PRE değerleri.....	93
Şekil 4. 12. 16 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen A_s değerleri.	94
Şekil 4. 13. 16 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen PRE değerleri.....	94
Şekil 4. 14. 32 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen A_s değerleri.	95
Şekil 4. 15. 32 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen PRE değerleri.....	95
Şekil 4. 16. ABC, PSO ve DE için karşılaştırmalı MSE yakınsama grafiği.	96

GİRİŞ

Süzgeç bankaları (filter banks) sayısal işaret işleme alanlarında ses, görüntü, video gibi verileri sıkıştırma işlemlerinden uyarlanabilir işaret işlemeye kadar pek çok alanda oldukça geniş uygulama alanına sahiptir [1]. Süzgeç bankalarının tasarımı ve gerçekleştirilmesinin tasarım kolaylığı açısından verimli yollarından birisi, modüleli süzgeç bankalarıdır [2]. Kosinüs modüleli süzgeç bankaları (Cosine Modulated Filter Banks, CMFB) gerçek değerli doğası, çok fazlı yapısıyla etkin bir şekilde uygulanabilmesi, ayrık kosinüs dönüşümü (Discrete Cosine Transform, DCT) ve az sayıda optimizasyon parametresi gibi bazı önemli özelliklere sahip olmasından dolayı literatürde oldukça popülerdir [1, 3]. Bu tez çalışması kapsamında farklı yöntemlerle geliştirilmiş olan üç yeni CMFB tasarımı önerilmiştir.

İlk bölümde tez çalışmasının temelini oluşturan genel bilgiler verilerek süzgeç bankalarının temel yapıları açıklanmıştır. Bu kısımda ayrıca tez çalışmasında da kullanıldığı için pencere fonksiyonlardan bahsedilerek bu fonksiyonların süzgeç bankası tasarımındaki önemine değinilmiştir. Bölüm sonunda literatürde sezgisel algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar listelenmiştir.

CMFB tasarımlarında kullanılan sezgisel algoritmalar hakkında birinci bölümde literatür bilgisi verilen çalışmalar, ikinci bölümde kullanılan algoritmaya göre sınıflandırılarak bu algoritmalar kısaca açıklanmıştır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde ayarlanabilir pencere fonksiyonlarının kaskat kullanılmasıyla tasarlanan özgün bir CMFB tasarımı sunulmuştur. Önerilen Yöntem-1 olarak sunulan süzgeç bankasının prototip süzgeci Kaiser ve Gaussian olmak üzere iki farklı ayarlanabilir pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanmıştır. Bu kısımda ilk olarak kullanılan pencere fonksiyonları, daha sonra önerilen yöntemin teorisi anlatılmıştır. Önerilen yöntemin tek pencereli yapılarla olan farkını ortaya koymak adına Gaussian, Kaiser ve önerilen kaskat yöntemin benzetim sonuçları üç ana başlık altında toplanarak,

her biri için kanal sayısının 4, 8, 16 ve 32 olduğu durumlarda dört farklı tasarım örneği sonuçları incelenerek gösterilmiştir. Bu sonuçlar önce kendi aralarında karşılaştırılarak önerilen yöntemin üstünlüğü gösterilmiş, daha sonra da literatürde yer alan benzerlerinden daha iyi olduğunu belirten karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiştir. Bu kısımda son olarak, tasarlanan CMFB'nin bir uygulaması olarak süzgeç bankası girişine uygulanan Elektrokardiyogram (EKG) işareti için süzgeç bankası çıkışının performansının nasıl olduğu incelenmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde sezgisel algoritmalarla gerçekleştirilen süzgeç bankası tasarımları yer almaktadır. Bu kısımda birbirinden bağımsız iki farklı yöntem önerilmiştir. Önerilen Yöntem 2 olarak ifade edilen kısımda Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC) Algoritması ile CMFB tasarımı yapılmıştır. CMFB'nin prototip süzgecinin kesim frekansı ve tasarımda kullanılan pencere fonksiyonunun ayarlanabilir parametresi ABC ile optimize edilmiştir. Üçüncü bölümle konu bütünlüğü olması açısından ayarlanabilir pencere fonksiyonu olarak seçilen iki örnek yine Kaiser ve Gaussian olmuştur. Kaiser penceresinin ayarlanabilir parametresi beta ve Gaussian penceresinin ayarlanabilir parametresi alfa değerleri ile prototip süzgecin kesim frekansının optimize edilen değerleri yine dört farklı kanal sayısı için dört farklı tasarım örneği üzerinde detaylandırılmıştır.

Dördüncü bölümde önerilen bir başka yöntem de Önerilen Yöntem-3 olarak adlandırılmıştır. Önerilen üçüncü yöntemde ise ikinci yöntemde kullanılan amaç fonksiyonu değiştirilmiş ve ilk olarak ABC algoritması kullanılmıştır. Tez çalışması boyunca bütünlük oluşturmak adına yine bu kısımda da 4, 8, 16 ve 32 kanal için dört farklı tasarım örneğine yer verilmiştir. Tüm tasarım örnekleri için benzetim çalışmalarından elde edilen performans parametre değerleri detaylı bir biçimde sunulmuştur.

ABC ile Önerilen Yöntem 3 tasarımının performansını karşılaştırmak adına farklı sezgisel algoritmalar olarak Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) ve Farksal Gelişim (Differential Evolution, DE) Algoritmaları seçilmiş, bu algoritmalarla da CMFB tasarımları yapılmıştır. 4. Bölümün son kısmında Önerilen Yöntem-1 ile Önerilen Yöntem-3'ün her birinden elde edilen performans parametreleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Tez çalışmasının son bölümü olan 5. Bölümde Tartışma-Sonuç ve Öneriler yer almaktadır.



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Çoklu hızlı (multirate) işaret işleme teknikleri haberleşme, görüntü işleme, sayısal ses ve çoklu ortam gibi birçok modern mühendislik alanında yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Çoklu hızlı sistemin temel avantajı hesaplama karmaşıklığını önemli ölçüde azaltması ve bunun sonucu olarak maliyeti düşürmesidir. Çoklu hızlı algoritmaların hesaplama verimliliği, sistemin farklı kısımlarında farklı örnekleme hızlarını eş zamanlı olarak kullanabilme yeteneğine dayanır [4].

Süzgeç bankaları ses, görüntü, video gibi verileri sıkıştırma işleminden çapraz çoklayıcılara (transmultiplexers), çok taşıyıcı modülatörlerden uyarlanabilir işaret ve biyo-işaret işlemeye kadar pek çok alanda oldukça geniş uygulama alanına sahiptir [1]. Süzgeç bankalarının tasarımı ve gerçekleştirilmesinin hesaplama maliyeti açısından verimli bir yolu, modüleli süzgeç bankalarıdır [2, 5-7].

Çoklu hızlı süzgeç, giriş işaretinin örnekleme hızının bir veya daha fazla orta nokta içinde değiştiği bir sayısal süzgeçtir. Çoklu hızlı teknikler süzgeçlerde giriş ve çıkış hızlarının farklı olması durumunda örnekleme hızı dönüşümünde, ayrıca giriş ve çıkış hızları eşit olan süzgeç yapımında kullanılırlar. Çoklu hızlı süzgeçlemenin modern işaret işleme sistemlerindeki temel görevi üç kısma ayrılır.

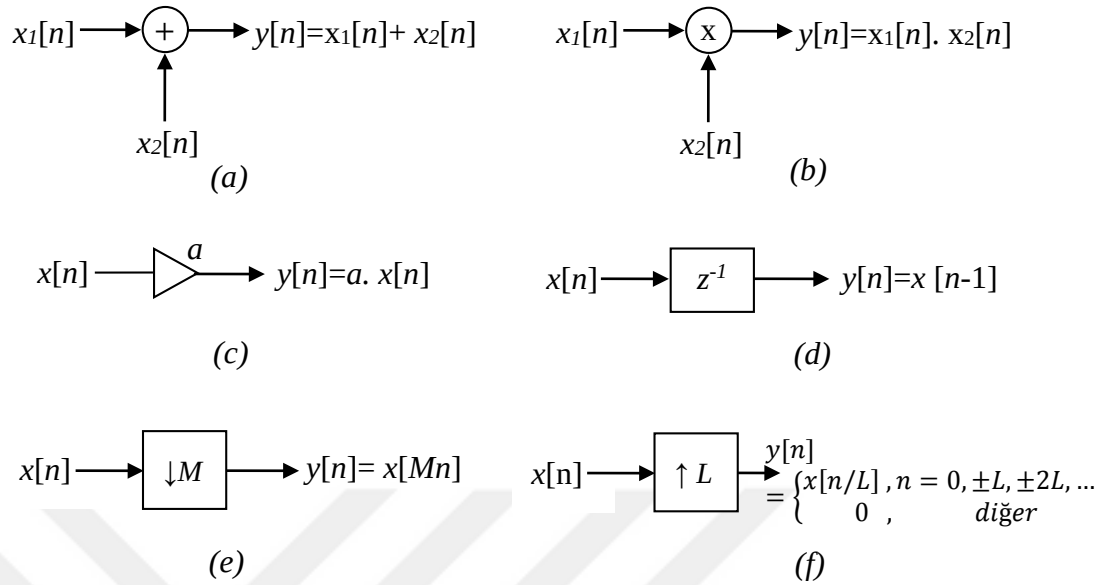
- Farklı örnekleme hızlarına sahip iki sayısal sistem bağlanmak zorunda olduğunda bu tür süzgeçleme tercih edilebilir. Süzgeçleme, seyreltmedeki örtüşmeyi bastırmak ve ara değerlemedeki görüntü oluşturmaya kaldırmak için kullanılır. Uygun bir süzgeç kullanımı, ilgili işaret bileşenlerini bozmadan, belirlenen bir örnekleme oranındaki sayısal işareti istenilen örnekleme oranına sahip başka bir işarete dönüştürür.

- Çoklu hızlı süzgeçleme, sabit hızlı tek bir süzgecin yüksek çıkış gürültüsü ve süzgeç katsayılarının değişimine olan hassasiyeti göz önüne alındığında, karmaşık süzgeçleme problemlerini çözmek için en iyi yaklaşımlardan biridir. Çeşitli çoklu hızlı tasarım teknikleri, genel süzgeçleme özelliği ‘mümkün olan en düşük örnekleme hızlarında çalışan basitleştirilmiş alt-süzgeçler’ arasında paylaşıldığı zaman tasarım kısıtlarının azaldığını ortaya koymuştur. Tasarım kısıtlarının azalmasının sonucu olarak alt-süzgeçlerdeki ve tüm çoklu hızlı süzgeçteki nicemleme (kuantalama) etkileri azalmaktadır. Çoklu hızlı süzgeçler katı spektral karakteristikli sayısal süzgeçler için pratik bir çözüm sağlar.
- Çoklu hızlı süzgeçleme, çoklu hızlı süzgeç bankalarının inşasında kullanılır.

Çoklu hızlı süzgeçlerin tasarımında Sonlu Dürtü Yanıtlı (Finite Impulse Response, FIR) veya Sonsuz Dürtü Yanıtlı (Infinite Impulse Response, IIR) süzgeçler kullanılabilir. Bir FIR süzgeç, doğrusal faz yanıtına sahiptir ancak eşit büyüklükte yanıtı olan bir IIR süzgeçle karşılaştırıldığında çıkış örneği başına çok daha fazla sayıda işlem gerektirir. İşaretin dalga şeklinin korunmasının gerektiği durumlarda doğrusal fazlı FIR süzgeç uygun bir seçimdir. Çoklu hızlı tasarım yaklaşımının bir avantajı da, FIR süzgeçlerin verimliliğini önemli bir şekilde artırma yeteneği olup bu sayede pratikte kullanımlarını oldukça çekici hale getirmesidir.

1.1. AYRIK ZAMANLI SİSTEMLER

Bir *ayrık zamanlı sistem* veya kısaca *ayrık sistem*, giriş diye adlandırılan bir diziyi çıkış diye adlandırılan bir diziyeye dönüştüren bir algoritma veya fiziksel bir cihazdır. Bir diziyi işlemek, dizi üzerinde belirli işlemler gerçekleştirmek anlamına gelir. Genellikle işleme algoritmaları toplama, çarpma, skaler çarpım, zamanda kaydırma, aşağı örnekleme ve yukarı örnekleme gibi temel işlemlerden oluşur. Bir ayrık sistemde herhangi bir sınırlandırılmış giriş dizisine karşılık sınırlandırılmış bir çıkış dizisi üretiliyorsa sistem ‘durağan (kararlı)’ dır. Sadece durağan sistemler pratik olarak ilgi çekmektedir. Bir ayrık sistemde çıkış değerleri girişin sadece şimdiki ve geçmişteki değerlerine bağlıysa sistem ‘nedensel’ dir. Sayısal işaret işlemedeki temel işlemler Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1. Temel dizi işlemleri, (a) toplama, (b) çarpma, (c) skaler çarpım, (d) zamanda kaydırma, (e) aşağı örnekleme, (f) yukarı örnekleme.

1.2. DOĞRUSAL ZAMANLA-DEĞİŞMEYEN SİSTEMLER

Bir sistem aynı anda hem doğrusallık, hem de zamanla değişmezlik özelliklerine sahip ise ‘doğrusal zamanla değişmeyen (Linear Time Invariant, LTI) sistem’ olarak adlandırılır.

İşaret ve sistemler teorisinin büyük kısmı doğrusal zamanla değişmeyen sistemlere dayanmaktadır [8]. LTI sistemler iki ana kategoriye ayrılır:

1. Sonlu Dürtü Yanıtlı Sistemler
2. Sonsuz Dürtü Yanıtlı Sistemler

Bir FIR sistem için, $h[n]$ sonlu uzunlukta olduğundan dolayı giriş çıkış bağıntısı bir sonlu konvolüsyon toplamı olarak ifade edilir. Genellikle nedensel sistemlerle çalışıldığından dolayı:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] \cdot x[n-k] \quad (1.1)$$

olur. Burada $h[n]$ dürtü tepkisi, $x[n]$ giriş işareti, $x[n-k]$ giriş işaretinin $n-k$ ’inci değeri, N değeri $h[n]$ dizisinin uzunluğudur.

Bir IIR sistem için, $h[n]$ sonsuz uzunlukta olduğundan dolayı giriş çıkış bağıntısı bir sonsuz konvolüsyon toplamıdır. Nedensel bir IIR sistem için giriş çıkış bağıntısı Eşitlik 1.2 ile verilmiştir.

$$y[n] = \sum_{k=0}^{\infty} h[k] \cdot x[n - k] \quad (1.2)$$

1.3. ÇOKLU HIZLI SİSTEMLER

LTI sistemler tek bir örnekleme hızında işlem yapar; yani örnekleme hızı sistemin girişinde, çıkışında ve sistem içerisindeki tüm düğümlerde aynıdır. Bu nedenle bir LTI sistemde örnekleme hızı sistemin farklı aşamalarında aynı kalır. Sistemin farklı kısımlarında farklı örnekleme hızları kullanan sistemlere '*çoklu hızlı sistemler*' adı verilir. Çoklu hızlı teknikler, verilen örnekleme hızını istenilen örnekleme hızına dönüştürmede ve ilgilenilen işaret bileşenlerini bozmadan sistem boyunca farklı örnekleme hızları tedarik etmede kullanılırlar. Örnekleme hızı değiştirme sürecinde temel işlemler, örnekleme hızı arttırma ve örnekleme hızı azaltmadır. Örnekleme hızını azaltmak için bir aşağı örnekleme (down-sampler), arttırmak için de bir yukarı örnekleme (up-sampler) kullanılır.

1.3.1. Aşağı Örnekleme İşlemi

M faktörlü bir aşağı örnekleme (down-sampling) işlemi, M faktörü bir pozitif tam sayı olmak üzere, dizideki her ardışık $M-1$ adet örneği boşaltıp her M . örneği alıkoyarak gerçekleştirilir. Ayrık $x[n]$ işaretine aşağı örnekleme işlemi uygulandığında elde edilen aşağı örneklenmiş işaret $\{y[m]\}$,

$$y[m] = x[mM] \quad (1.3)$$

olur.

Aşağı örnekleme işlemi *iki adımlı* bir işlem olarak düşünülebilir. *İlk adımda* orijinal $x[n]$ işareti aşağıdaki gibi tanımlanan $\{s_M[n]\}$ örnekleme fonksiyonu ile çarpılır:

$$s_M[n] = \begin{cases} 1, & n = 0, \pm M, \pm 2M, \dots \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (1.4)$$

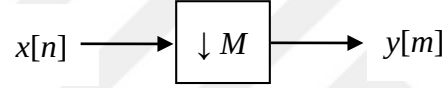
$x[n]$ dizisini örnekleme fonksiyonu $s_M[n]$ ile çarpılarak orta işaret $y_s[m]$ elde edilir:

$$y_s[m] = x[m] \cdot sM[m] = \begin{cases} x[n], n = 0, \pm M, \pm 2M, \dots \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (1.5)$$

Bu işlem *ayrık örnekleme* olarak adlandırılır. İkinci adımda $y_s[m]$ deki sıfır değerli örnekler aşağı örneklenmiş $y[m]$ dizisinden çıkarılır:

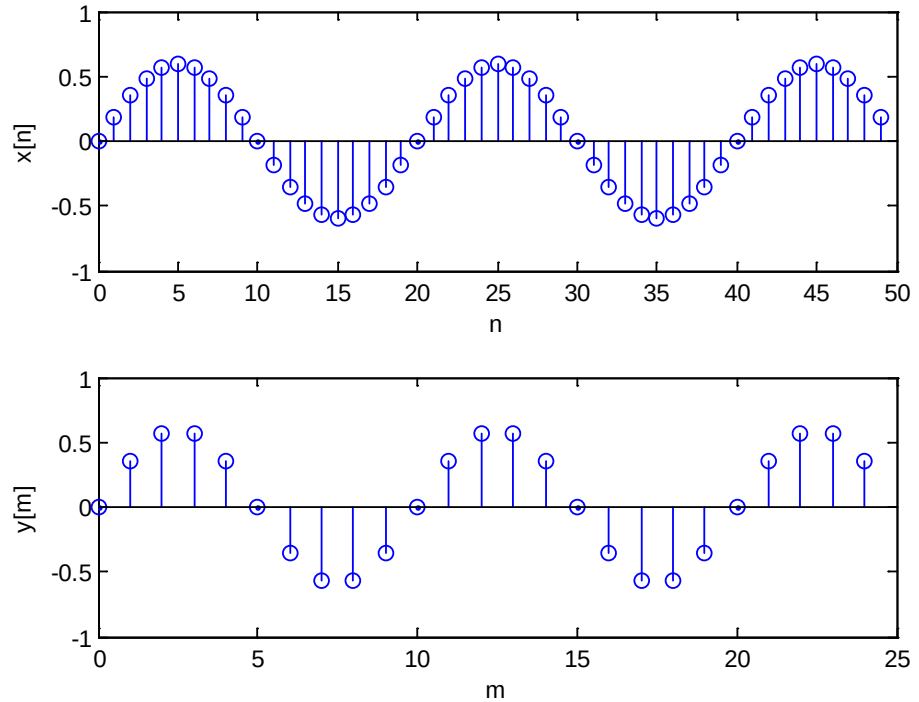
$$y[m] = y_s[mM] = x[mM] \quad (1.6)$$

Aşağı örnekleme işlemi bazen *işaret sıkıştırma* ve aşağı örnekleme de *sıkıştırıcı* (*compressor*) olarak isimlendirilir. Aşağı örnekleme işlemini gösteren bir blok diyagram Şekil 1.2’de gösterilmiştir:



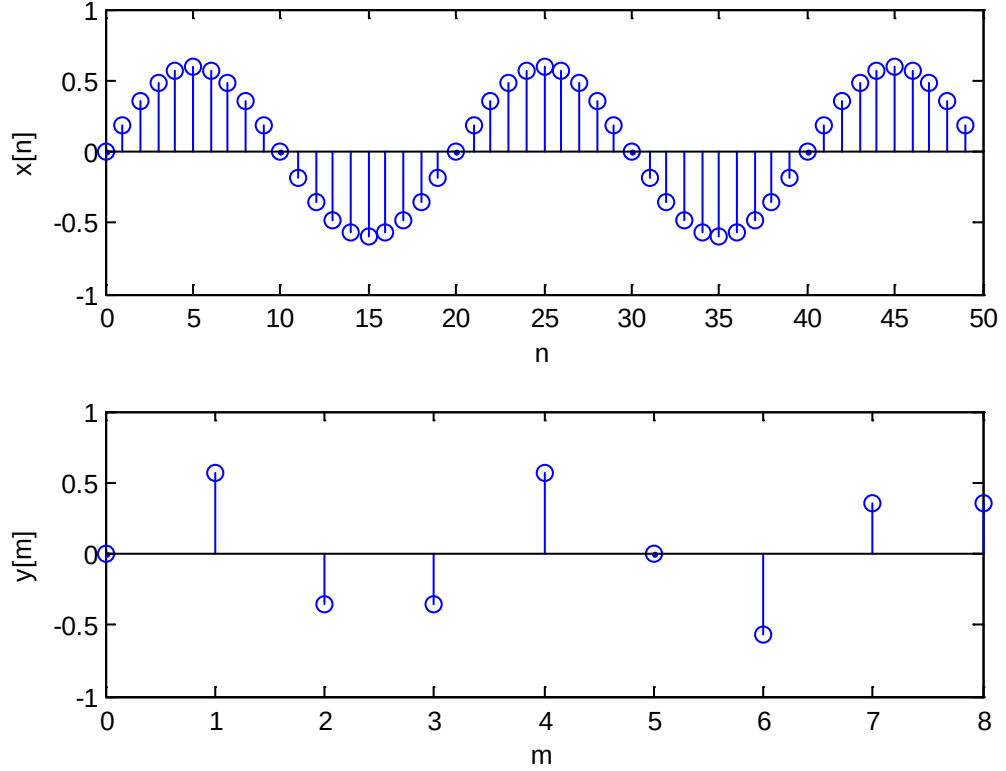
Şekil 1. 2. Aşağı örnekleme blok diyagramı

Şekil 1.3 ve 1.4’de aşağı örnekleme faktörü $M=2$ ve $M=3$ için dizi uzunluğu $N=50$ olan örnek dizide örnekleme oranı gösterilmektedir. Burada m ve n zaman indisleridir.



Şekil 1. 3. $M=2$ için giriş dizisi $x[n]$ ve aşağı örneklenmiş dizi $y[m]$.

‘Aşağı ok’ ve ‘örnekleme faktörü M ’nin bulunduğu blok aşağı örnekleme işlemini sembolize eder. Orijinal işaret $x(nT)$ nin örnekleme frekansı $F_T=1/T$ ise $y(mT)$ işaretinin örnekleme frekansı orijinal işaretinkinden M kez daha küçüktür yani $F_T'=F_T/M=1/T'$ şeklindedir [4].



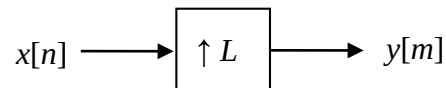
Şekil 1. 4. $M=6$ için giriş dizisi $x[n]$ ve aşağı örneklenmiş dizi $y[m]$.

1.3.2. Yukarı-Örnekleme İşlemi

Bir tamsayı olan L faktör kadar yukarı örnekleme, ardışık iki örnek arasına $L-1$ adet sıfır ekleyerek gerçekleştirilir. Ayrık $x[n]$ işaretine yukarı örnekleme işareti uygulandığında yukarı örneklenmiş $y[m]$ işareti üretilir:

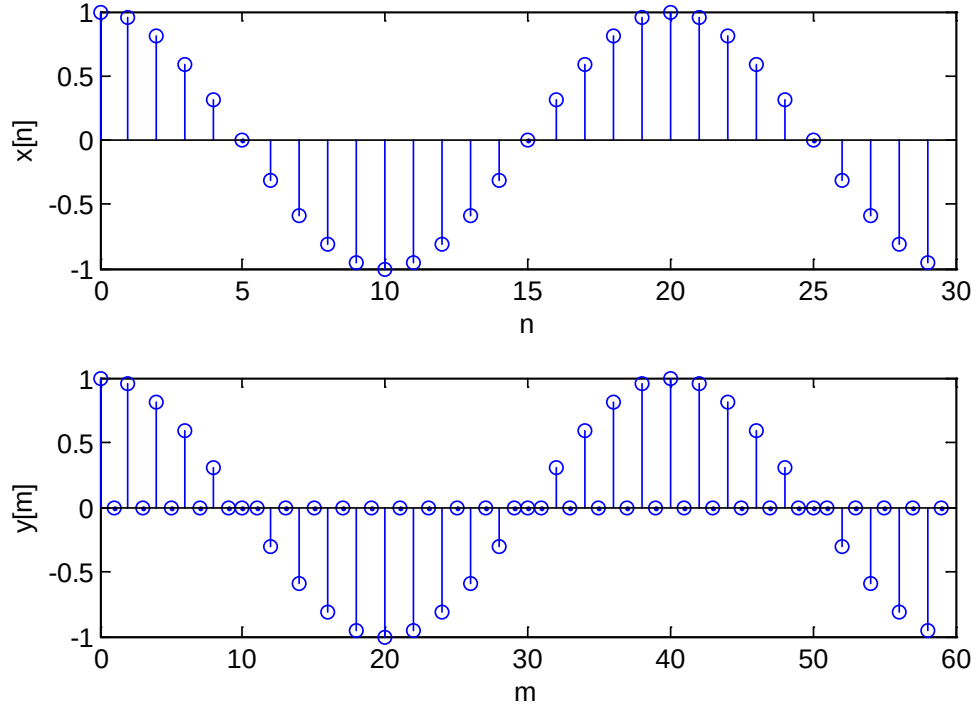
$$y[m] = \begin{cases} x[m/L] & , m = 0, \pm L, \pm 2L, \dots \\ 0 & , \text{diğer} \end{cases} \quad (1.7)$$

Şekil 1.5’te bir yukarı örnekleme işlemine ait blok diyagram görülmektedir.

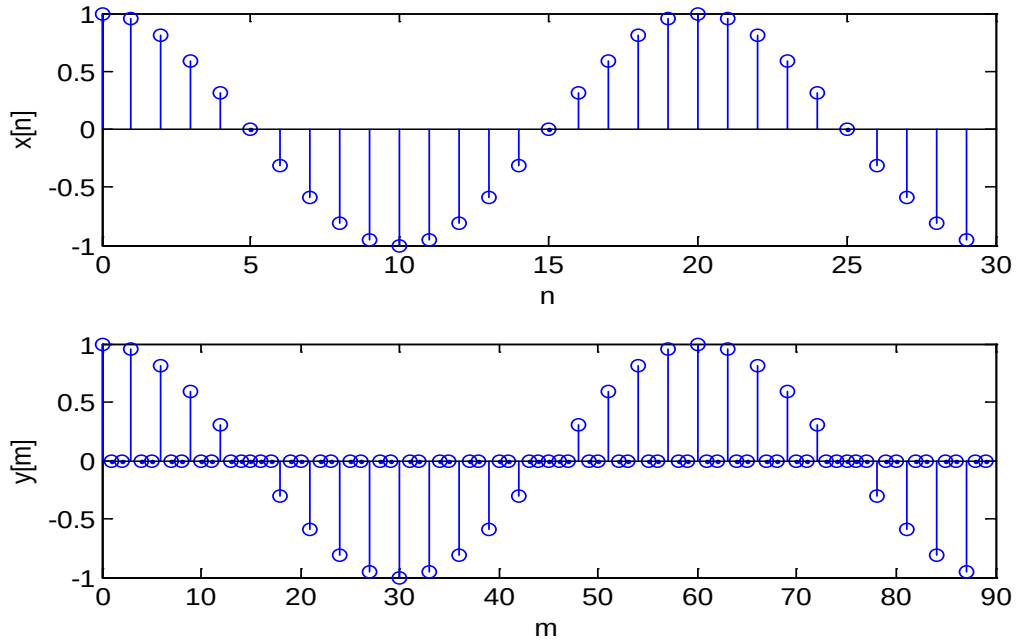


Şekil 1. 5. Yukarı-örnekleme blok diyagramı

Şekil 1.6 ve 1.7’de sırasıyla yukarı örnekleme faktörü $L=2$ ve $L=3$ için dizi uzunluğu $N=30$ olan örnek dizide örnekleme hızı artırımı gösterilmiştir.



Şekil 1. 6. $L=2$ için giriş dizisi $x[n]$ ve yukarı örneklenmiş dizi $y[m]$.



Şekil 1. 7. $L=3$ için giriş dizisi $x[n]$ ve yukarı örneklenmiş dizi $y[m]$.

Yukarı örnekleme işlemi orijinal $x(nT)$ işaretinin örnekleme hızı F_T yi artırır. Yukarı örneklenmiş işaret $y(mT')$ nin örnekleme hızı orijinal işaretinkinden L kez daha büyüktür, yani $F_T' = L.F_T$ dir.

1.4. SEYRELTME VE ARADEĞERLEME

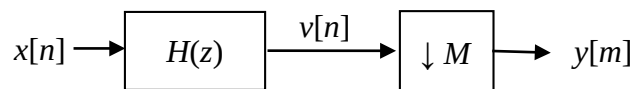
Örnekleme oranı dönüşümü sistemleri, işaretin örnekleme hızını değiştirmede kullanılırlar. Örnekleme hızını azaltma işlemi '*Seyreltme (decimation)*', örnekleme hızını artırma işlemi ise '*aradeğerleme (interpolation)*' olarak adlandırılır. Yukarıda açıklanan aşağı örnekleme ve yukarı örnekleme işleminin dezavantajı örtüşme etkisi (aliasing effect) iken, yukarı örnekleme işlemi ilgilenilen frekans bandında istenmeyen görüntü (unwanted spectra) üretir. Seyreltme işlemi, aşağı örneklenmiş bir işaretin spektrumundaki en yüksek frekansı ω_H değeri $\pi/2$ değerini geçtiğinde meydana gelen örtüşme etkilerini önleyecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Ara-değerlemede ise örnekler arasına yerleştirilen $L-1$ adet sıfırdan kaynaklanan $L-1$ adet görüntü kaldırılmalıdır.

1.4.1. Seyreltme

Seyreltme işleminde örtüşmenin önlenmesi gerekir. Bu yüzden M faktörlü aşağı örnekleme işleminden önce orijinal işaretin bandı π/M değerine sınırlandırılmalıdır. Bunun anlamı M faktörlü seyreltmenin iki adımda gerçekleşecek olmasıdır:

1. Orijinal işaretin bandını π/M değerine sınırlama.
2. M faktörlü aşağı örnekleme işlemi.

Şekil 1.8'de bir seyrelticiye ait blok diyagram görülmektedir. Burada $H(z)$ seyreltme süzgeci olup örtüşme engelleyici (anti-aliasing) süzgeç olarak da adlandırılır, M aşağı örnekleme faktörüdür.



Şekil 1. 8. Seyreltici blok diyagramı

Seyreltme süzgeci $H(z)$ 'nin görevi örtüşmeyi kabul edilebilir bir değere bastırmaktır. Bu nedenle bir seyrelticinin performansı esas olarak süzgecin karakteristikleri tarafından

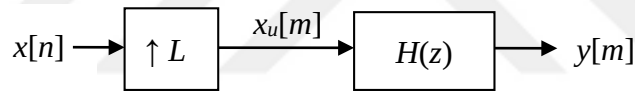
belirlenir. İdeal frekans yanıtına sahip bir süzgeç olamayacağından bir miktar örtüşmeye tolerans gösterilebilir.

1.4.2. Ara Değerleme

L faktörlü ara değerleme işlemi iki adımda gerçekleşir:

1. Orijinal işarete iki ardışık örnek arasına $L-1$ adet sıfır değerli örnek yerleştirilerek işaretin yukarı örneklenmesi,
2. Yukarı örneklenmiş işaretin spektrumunda oluşan $L-1$ adet görüntünün kaldırılması.

Şekil 1.9’da bir ara-değerleyiciye ait blok diyagram görülmektedir. Buradaki $H(z)$ süzgeci genellikle görüntü karşıtı (anti-imaging) süzgeç olarak adlandırılır. Süzgecin kesim frekansı π/L dir.



Şekil 1. 9. Aradeğerleyici blok diyagramı.

Aradeğerleme süzgeci $H(z)$, yukarı örneklenmiş işaretin spektrumundan istenmeyen görüntüleri kaldırmada kullanılır. Seyreltici durumunda olduğu gibi bir ara değerleyicide de performansı ağırlıklı olarak süzgeç karakteristikleri belirler.

1.5. PENCERE FONKSİYONLARI

Sürekli zamanlı işaretleri işaret işlemede kullanılabilmek amacıyla, bu işaretler parçalara ayrılarak işlem yapılır. İşaretin parçalara ayrıldığı noktalarda bozulmalar meydana gelmektedir. Bu etkileri azaltabilmek için bir işaret parçasının her iki sınırında pencere fonksiyonlarından faydalanılarak ağırlıklandırma yapılır. En genel anlamı ile bir pencere fonksiyonu, belirlenen bir aralığın dışında değeri sıfır olan bir matematik fonksiyonudur. Seçilen bir işaret bir pencere fonksiyonu ile çarpılırsa, pencere fonksiyonunun değer aralığı dışındaki çarpım da sıfır değerini alacaktır. Belirlenen fonksiyon aralığı dışındaki değerler her zaman sıfır olacağından bu fonksiyonlara ‘pencere fonksiyonu’ denilmiştir.

Pencere fonksiyonu $f(t)$ ile ifade edilecek olursa, bu fonksiyonun Fourier dönüşümü $F(jw)$ Eşitlik 1.8 ile ifade edilir [9]:

$$F(jw) = \int_{-\tau}^{\tau} f(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt \quad (1.8)$$

FIR süzgeç tasarlarken izlenebilecek en basit ve etkili yöntemlerden birisi, pencere fonksiyonları ile istenilen aralığın dışındaki değerleri kırmak suretiyle süzgeç tasarlamaktır [10]. Süzgeç tasarımında istenilen genlik spektrumuna düşük derece ve uygun spektral parametrelerle ulaşmak amacıyla pencere fonksiyonları kullanılır.

Pencere fonksiyonlarının bazı karakteristiklere sahip olmaları gerekir [9]:

- $f(t)$ gerçel ve $f(t) \neq 0$ olmalı.
- $f(t)$ çift fonksiyon ($f(t) = f(-t)$) ve dolayısıyla $F(jw)$ gerçel olmalı.
- $f(t)$, $t = 0$ 'da max, yani $\forall t$ için $|f| \leq f(0)$ ve $|t| > \tau$ için $f(t) = 0$ olmalı (τ pencere fonksiyonunun tek taraflı periyodu).
- $f(t)$ bir ana lob ve her iki tarafta yan loblara sahip olmalı.
- Ana lob dar ve enerji miktarının çoğuna sahip olmalı.
- Maksimum yan lob seviyesi ana lob maksimum değerine göre minimum olmalı.

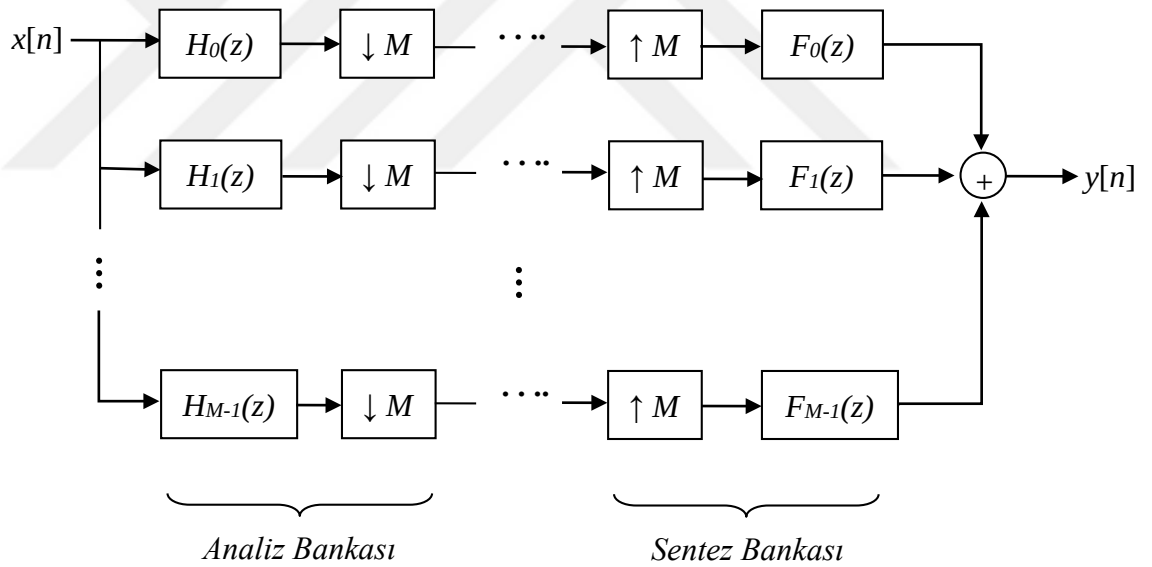
Literatürde farklı araştırmacıların sunduğu birçok pencere fonksiyonu yer almaktadır. Pencere fonksiyonlarının büyük bir kısmı fonksiyonu öneren kişinin adı ile adlandırılmışlardır [9]. Bu fonksiyonlar kendi içlerinde sabit pencere fonksiyonları ve ayarlanabilir pencere fonksiyonları olmak üzere iki çeşittir. Sabit miktarda zayıflatma sağlayan pencere fonksiyonlarına '*sabit pencere fonksiyonları*' adı verilir. Bu fonksiyonların zayıflatma miktarı sabit olduğundan uygulamaların çoğu için elverişli değildirler. Literatürdeki çalışmalarda ismi geçen sabit pencere fonksiyonlarından bazıları şunlardır: Hann, Hamming, Bartlett, Blackman, Rectangular, Triangular, Parzen, vb.

Bazı pencere fonksiyonları ise sahip olduğu biçimlendirici parametreler sayesinde dalgalanma ve zayıflatma değerlerinin ayarlanmasına olanak tanırırlar. Böyle pencere fonksiyonları '*ayarlanabilir pencere fonksiyonları*' olarak adlandırılırlar. Bu fonksiyonlara Kaiser, Gaussian, Taylor, Chebyshev, Samaraki, Ultraspherical vb. örnek verilebilir.

1.6. SÜZGEÇ BANKALARI

Süzgeç bankaları ses, görüntü, video gibi verileri sıkıştırma işleminden çapraz çoklayıcılara, çok taşıyıcı modülatörlerden uyarlanabilir ve biyo-işaret işlemeye kadar pek çok alanda oldukça geniş uygulama alanına sahiptir [1]. Şekil 1.10'da M kanallı bir süzgeç bankasına ait yapı gösterilmiştir.

Süzgeç bankaları sayısal bir işareti farklı frekans bantlarındaki bileşenlerine ayırır. Burada Analiz süzgeç bankası, giriş işaretini M katlı aşağı örnekleyici ile seyreltilmiş M adet alt-banda ayırıştırır. Sentez süzgeçleri ile her alt-kanaldaki işareti M faktörlük aradeğerleme sonrasında birleştirir. Geleneksel süzgeç bankası tasarımında her bir süzgeç bağımsız olarak tasarlanır ve optimize edilir, bu durum çok sayıda amaç fonksiyonu ve parametre demektir.



Şekil 1. 10. M kanallı süzgeç bankası blok diyagramı.

M kanallı süzgeç bankalarının tasarımında ilk olarak $H_0(z)$ olarak bilinen prototip süzgeç tasarımı gerçekleştirilir. Bu tez çalışmasında prototip süzgeç olarak FIR süzgeçlerin kullanılması tercih edilmiştir.

1.6.1. Prototip Süzgeç

FIR süzgeçler çoklu hızlı sistemler için büyük önem taşımaktadırlar. FIR sistemlerin genel avantajları, doğasında olan sistem kararlılığı ve faz doğrusallığı, çoklu hızlı işaret

işleme için arzu edilen özelliklerdir. Çoklu hızlı teknikler kullanılarak, çoklu hızlı FIR süzgecin verimliliği tek hızlı uygulamalara kıyasla önemli oranda artar. Bu sebeplerden dolayı pratik çoklu hızlı sistemlerin birçoğunda FIR süzgeçleme tercih edilmektedir. Bir FIR süzgecin transfer fonksiyonu z domeninde,

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] \cdot z^{-k} \quad (1.9)$$

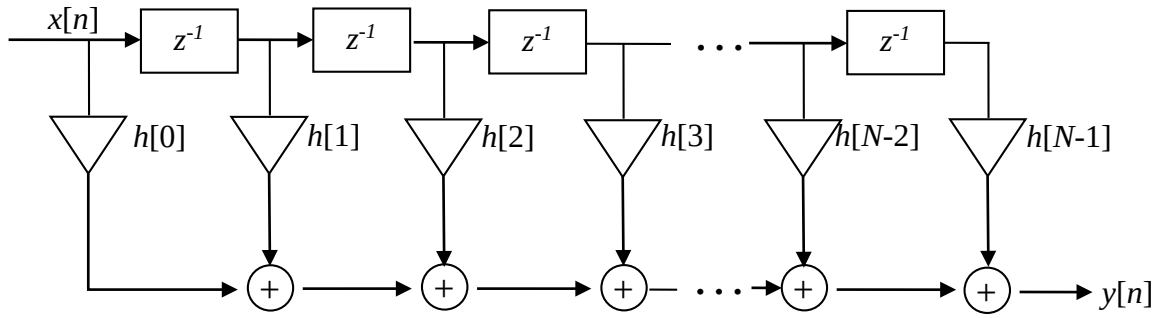
olarak tanımlanır. Burada $h[0], h[1], \dots, h[N-1]$ sistem dürtü yanıtının katsayıları ve $N-1$ süzgeç derecesidir. Katsayı sayısı N genellikle *süzgeç uzunluğu* olarak adlandırılır. Bir FIR sistem her zaman kararlı bir sistemdir. Transfer fonksiyonunun sıfırları kararlılık koşullarıyla sınırlı değildir, yani sıfırlar birim çemberin içine, dışına veya çevresine yerleştirilebilir. Sıfırları sadece birim çemberin içine yerleştirilmiş bir sistem *minimum-fazlı sistem* olarak adlandırılır. Aksine sıfırları birim çember dışına yerleştirilmiş sisteme *maksimum-fazlı sistem* adı verilir. Zaman domeninde bir FIR sistem, Eşitlik 1.10'daki gibi karakterize edilir.

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] \cdot x[n - k] \quad (1.10)$$

Burada $x[n]$ ve $y[n]$ sırasıyla giriş ve çıkış dizilerinin örneklerini ifade etmektedir. Şekil 1.11'de bir FIR süzgecin yapısı görülmektedir.

1.7. MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKALARI

Süzgeç bankalarının tasarımı ve gerçekleştirilmesinin hesaplama maliyeti açısından verimli bir yolu, modüleli süzgeç bankalarıdır [2, 7]. Modüleli süzgeç bankaları, ses ve görüntü işleme, biyomedikal sinyal işleme, çapraz çoklayıcılar vb. gibi birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Modüleli süzgeç bankalarında tüm süzgeçler, prototip süzgeçlerden modülasyon yoluyla türetilmiştir. Analiz ve sentez bankaları için sadece bir veya iki prototip süzgeç tasarımı gereklidir [3]. Kullanılan modülasyon türüne göre temel olarak iki tip modüleli süzgeç bankası vardır: CMFB'ler ve Ayrık Fourier Dönüşümlü çok fazlı süzgeç bankaları [11]. CMFB'ler gerçek değerli doğası, çok fazlı yapı ile etkin uygulanması, hızlı DCT ve az sayıda optimizasyon parametresi gibi bazı önemli özelliklerinden dolayı sıklıkla kullanılmaktadırlar [1, 3].



Şekil 1. 11. FIR sistem yapısı

Sınırlı ve değerli kaynakları çeşitli kısıtlamalar altında en uygun şekilde kullanmak için çözüm bulmak bir zorunluluktur. Sezgisel (heuristic) yöntem, karmaşık bir problem için makul bir zamanda kabul edilebilir çözümler üretebilmek adına 'deneme yanılma' yapan bir yöntemdir [12]. Günümüzde sezgisel algoritmalar sadece mühendislik dallarının çoğunda değil ekonomi, işletme ve finans alanlarında da optimizasyon problemlerini çözmek için gerekli bir araç haline gelmiştir [13].

1.7.1. Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankaları

CMFB'ler tasarımlarının kolaylığı, uygulamalarının basit olması ve tüm süzgeç katsayılarının gerçel olması sebebiyle süzgeç bankaları içinde sıkça tercih edilirler.

Bu teknikte tüm analiz ve sentez süzgeçleri bir alçak geçiren prototip süzgecin kosinüs modüleli versiyonları olup eş zamanlı olarak üretilirler. Bu sayede tüm bir süzgeç bankasının tasarımı tek bir prototip süzgecin tasarımına indirgenmiş olur [14, 15]. Dolayısıyla CMFB gerçekleşmesi bir prototip süzgeç tasarımı ve DCT işleminden ibarettir. Tüm katsayılar gerçel sayıdır, analiz ve sentez süzgeçlerin katsayıları sırasıyla Denklem 1.11 ile 1.12 deki gibidir [1]:

$$h_k(n) = 2 \cdot h(n) \cdot \cos \left[(2k + 1) \frac{\pi}{2M} \left(n - \frac{N}{2} \right) + (-1)^k \frac{\pi}{4} \right] \quad (1.11)$$

$$0 \leq k \leq M - 1$$

$$f_k(n) = 2 \cdot h(n) \cdot \cos \left[(2k + 1) \frac{\pi}{2M} \left(n - \frac{N}{2} \right) - (-1)^k \frac{\pi}{4} \right] \quad (1.12)$$

$$0 \leq n \leq N - 1$$

Tüm bu tasarımlar iki şekilde tasarlanabilmektedir. Bunlardan birisi Mükemmel Yeniden Yapılandırma (Perfect Reconstruction, PR) tasarımlardır [11, 16-18]. Sistem çıkışı sistem girişinin gecikmiş bir kopyası olan sistemler PR sistemler olarak adlandırılırlar. Diğeri ise Mükemmel Yakın Yeniden Yapılandırma (Nearly Perfect Reconstruction, NPR) kullanılarak yapılan tasarımlardır [19-21]. NPR yaklaşım kullanılan tasarımların üstünlüğü hesaplama verimliliklerinin yüksek oluşu ve PR ile karşılaştırıldıklarında daha gerçekleştirilebilir olmalarıdır.

Tek bir prototip süzgeç ve uygun bir kosinüs transformu kullanan M kanallı süzgeç bankası üretimi, ilk kez Rothweiller tarafından 1983 yılında sunulmuştur [22, 23]. Modüleli Süzgeç bankaları 1990'larda üç farklı araştırma grubu olan Malvar [24, 25], Ramstad ve Tanem [26], Vaidyanathan [27, 28] tarafından birbirinden bağımsız olarak tanıtılmıştır [1]. Malvar, Ramstad ve Vaidyanathan'a ait bu üç çalışma farklı şekillerde türetilmiştir ancak benzer sonuçlar vermektedir [24, 26, 27]. CMFB'lerde tüm analiz süzgeçleri $h_k(n)$ ve tüm sentez süzgeçleri $f_k(n)$, prototip süzgeç ve kosinüs modülasyonu kullanılarak türetilirler.

Burada $h_k(n)$ analiz süzgeci, $h(n)$ prototip süzgecin dürtü yanıtının katsayıları, M kanal sayısı, $f_k(n)$ sentez süzgeci, $N-1$ süzgeç derecesi olup N genellikle *süzgeç uzunluğu* olarak adlandırılır [4]. z domeninde, giriş işareti $X(z)$ ile çıkış işareti $Y(z)$ arasındaki ilişki şu şekilde verilir:

$$Y(z) = T_0(z) X(z) + \sum_{l=1}^{M-1} T_l(z) X(z e^{-j2\pi l/M}) \quad (1.13)$$

$$T_0(z) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F_k(z) H_k(z) \quad (1.14)$$

$$T_l(z) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F_k(z) H_k(z e^{-j2\pi l/M}), \quad l = 1, 2, \dots, M-1 \quad (1.15)$$

burada,

$$H_k(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h_k(n) z^{-n} \quad \text{ve} \quad F_k(z) = \sum_{n=0}^{N-1} f_k(n) z^{-n} \quad (1.16)$$

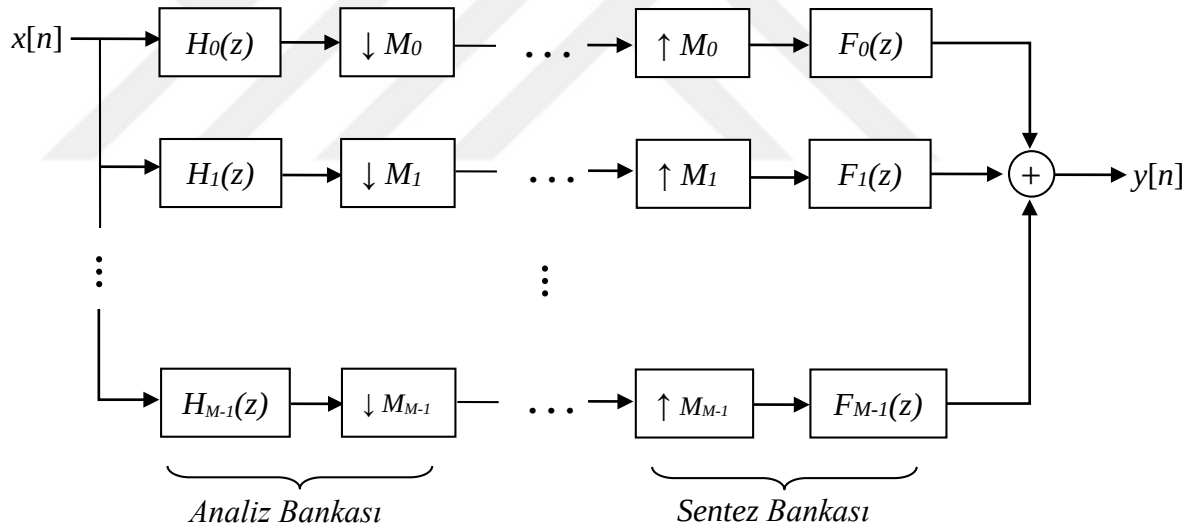
Eşitlik 1.14'teki $T_0(z)$ 'bozulma transfer fonksiyonu' ve Eşitlik 1.15'teki $T_l(z)$ 'örtüşme transfer fonksiyonu' dur. Dürtü yanıtları normalize edilmiş süzgeçler kullanılırsa [28]:

$$(1 - \delta_1) \leq M|T_0(e^{jw})| \leq (1 + \delta_2) \quad (1.17)$$

olur.

CMFB tasarımları işareti yeniden elde etme türüne göre PR [15, 29-31] ve NPR [32-36] olarak ikiye ayrılır. Çıkış sinyali, giriş sinyalinin zaman kaydırmalı ve genlik ölçekli bir versiyonu ise, buna PR denir [3]. PR özelliği arzulan fakat zorunlu olmayan bir özelliktir. NPR özelliği kullanılarak karmaşıklığı azaltılmış daha ekonomik çözümler üretilebilir [4].

Düzensiz olmayan (non-uniform) süzgeç bankalarında giriş işaretinin ayrıştırıldığı alt bantların bant genişlikleri birbirine eşit değildir. Böyle bir süzgeç bankasına ait blok diyagram Şekil 1.12’de verilmiştir.

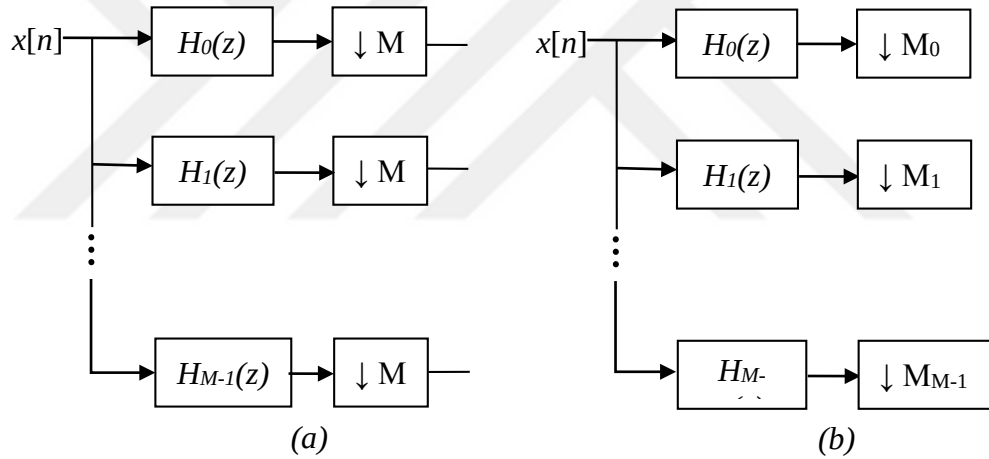


Şekil 1. 12. Düzensiz olmayan CMFB.

Zaman-frekans çözünürlüğü temeline göre süzgeç bankaları iki kategoriye ayrılır; ‘Düzensiz Süzgeç Bankaları’ ve ‘Düzensiz Olmayan Süzgeç Bankaları’ [37-42]. Düzensiz süzgeç bankalarında zaman-frekans ayrışması sabit ve düzenlidir [1]. Genellikle sinyal alt bant işlemleri düzensiz süzgeç bankaları tarafından yönetilmektedir. Ancak bazen düzensiz olarak ayrılmış bant aralıklarına sahip düzensiz süzgeçler belirli kullanımlar için tercih edilir [43]. Örneğin, insan ses sistemi veya EKG sinyalini işlerken düzensiz olmayan

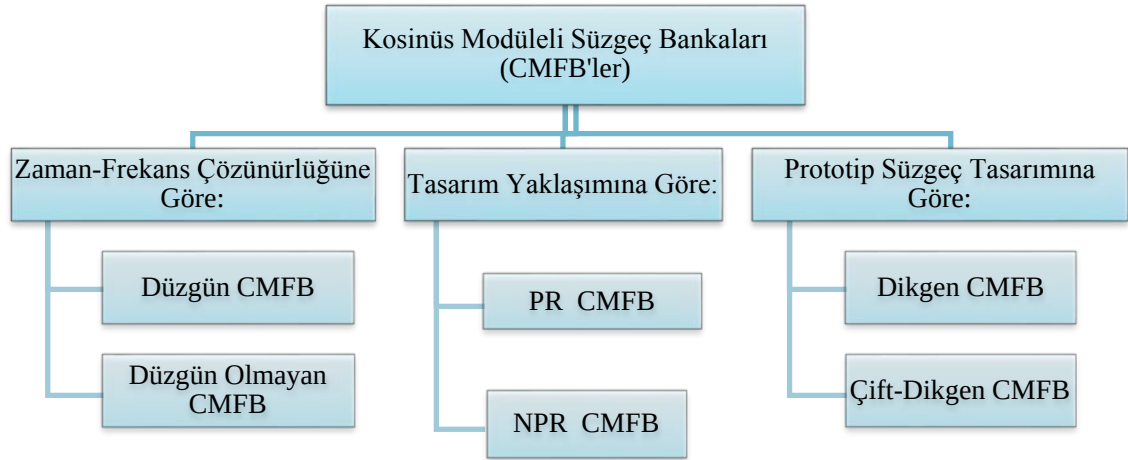
frekans bölüşümü kullanılması daha uygundur [44]. Şekil 1.13' te düzgün ve düzgün olmayan süzgeç bankalarının analiz bankaları gösterilmiştir.

Başka bir sınıflandırma Zhang tarafından yapılmıştır [45]. Bu sınıflandırmaya göre, CMFB'ler ikiye ayrılır: '*dikgen (orthogonal)*' ve '*çift dikgen (biorthogonal)*' CMFB'ler. Dikgen CMFB'lerde doğrusal faz sonlu dürtü yanıtı bir prototip kullanılır ve yeniden yapılandırma gecikmesi prototip süzgeç sırası olarak sabitlenir [46]. Aksi halde, prototip süzgeç, doğrusal olmayan fazlı bir FIR süzgeçtir ve yeniden yapılandırma gecikmesi çift dikgen CMFB'ler için süzgeç sırasından bağımsız olarak seçilebilir. Çift dikgen CMFB'ler düşük gecikme özelliği nedeniyle gerçek zamanlı uygulamalar için çok tercih edilmektedir [45, 47].



Şekil 1.13. (a) M kanal düzgün süzgeç bankasının analiz bankası. (b) M kanal düzgün olmayan süzgeç bankasının analiz bankası.

$M = N$ olması durumunda, kritik alt örneklemeden bahsedilir, çünkü bu, mükemmel yeniden yapılandırmanın elde edilebileceği maksimum aşağı örnekleme faktörüdür. Mükemmel yeniden yapılandırmaya izin veren süzgeç bankaları, biorthogonal süzgeç bankaları olarak da bilinir [3]. CMFB'ler için anlatılan farklı sınıflandırma türleri Şekil 1.14'te görülmektedir.



Şekil 1. 14.Farklı CMFB Sınıflandırmaları.

1.8. SEZGİSEL ALGORİTMA TEMELLİ CMFB ÇALIŞMALARI

Sezgisel algoritmalar, klasik algoritmalarla karşılaştırıldığında daha az sürelerde daha az işlemle sonuç elde edebilme yeteneklerinden dolayı mühendislik, finans, ekonomi gibi birbirinden farklı birçok alanda farklı problemlerin çözümlerinde sıklıkla tercih edilmektedirler [13, 48].

Tez çalışmasının bu kısımda literatürde bulunan farklı veri tabanlarından yıl kısıtı yapılmadan IEEE ve Science Direct'te toplam 1391 adet makale taranmış, ayrıca Web of Science, Springer Link ve Google Scholar veri tabanlarında da konuyla ilişkili aramalar yapılmıştır. Aşağıda, bulunan çalışmalarda yer alan sezgisel algoritmaların kullanış biçimleri özetlenmiştir. Literatür araştırmasından elde edilen bu algoritmalara bir sonraki bölümde değinilecektir.

Chan ve arkadaşları, ilk sezgisel algoritma tabanlı CMFB çalışmasını önerdi. Bu çalışmada, modüle edilmiş süzgeç bankalarının (MSB'ler) yeni bir ailesi, SOPOT (ikinin katları toplamı) katsayılarıyla geliştirilmiş ve SOPOT MSB olarak adlandırılmıştır. SOPOT katsayılarını bulmak için Genetik Algoritma kullanılmıştır. Tasarım örnekleri, iyi frekans karakteristiğine sahip SOPOT katsayıları kullanan verimli bir çarpansız PR MFB elde edildiğini göstermiştir [49].

Doğrusal bozulmayı ve maksimum örtüşme distorsiyonunu en aza indirmek için Baicher, basit bir GA ve daha spesifik bir yokuş aşağı Simpleks yönteminden oluşan

hibrit bir yöntem kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar mevcut yöntemlerden daha iyi performans göstermiştir [50].

Roldan ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada prototip süzgeçleri tasarlamak için iki Evrimsel Programlama optimizasyon algoritması kullanmıştır: Klasik Evrimsel Programlama Algoritması ve Hızlı Evrimsel Programlama Algoritması. NPR özelliğini sağlayacak şekilde tasarlanmış olan prototip süzgeçler kabul edilebilir bir durdurma bandı zayıflaması, minimal yeniden yapılandırma gürültüsü ve minimum genlik bozulması göstermiştir [51].

Youlian ve arkadaşları, Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Lagrange polinom yaklaşımını birleştirmişlerdir. Önerilen yöntem, durdurma bandı zayıflamasını bir hedef fonksiyon olarak almış ve doğrusal fazlı alçak geçiren prototip süzgeci bu hibrit algoritmayla tasarlamıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen yöntemin uygulanması basit ve pratik olduğunu göstermektedir [52].

Tan ve arkadaşları çalışmalarında CMFB tasarım problemini optimizasyon problemine dönüştürerek basit ve daha az parametreye sahip olması, hızlı yakınsaması nedeniyle amaç fonksiyonunu optimize etmek için Kuantum Davranışlı PSO'yu tercih etmişlerdir. Önerilen çalışma diğer yöntemlere kıyasla yeniden yapılandırma hatası, örtüşme bozulması ve SNR açısından daha iyi performans vermiştir [53].

Liu ve arkadaşları, CMFB'nin mükemmel yeniden yapılandırılmalı prototip süzgecini tasarlamak için iki aşamalı bir yöntem önermiştir. İlk olarak, daha düşük dereceli mükemmel yeniden yapılandırılmalı prototip süzgeci tasarlamak için Değişken Komşuluk Aramasına dayanan meta sezgisel bir algoritma sunulmuştur. Süzgeç derecesinin yüzler hatta binlerle ifade edildiği çalışmalar için prototip süzgecin uzunluğunu arttırmak esastır. İkinci olarak, düşük dereceli mükemmel yeniden yapılandırılmalı prototip süzgecin uzunluğunu daha üst seviyelere genişletmek için bir LMSE yaklaşımı uygulanmıştır. Önerilen VNS temelli yeni meta sezgisel algoritma yarı kesin programlama örneği ile karşılaştırılmıştır. Tasarlanan süzgeç bankasının durdurma bandı zayıflatması ve yeniden yapılandırma hata performansı iyileştirilmiş ve örtüşme bozulması, yeni algoritma ile azaltılmıştır [54].

Nasir ve arkadaşları, prototip süzgeç tasarımı problemini, durma bandının zayıflatılmasını maksimize etmeyi ve yeniden yapılandırma hatasını en aza indirmeyi aynı anda amaçlayan çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak formüle etmiştir. 2011 yılında yazar tarafından önerilen MOEA/DFD algoritması kullanılarak bu çok amaçlı optimizasyon problemi verimli bir şekilde çözülmüştür. Deney sonuçlarına göre MOEA/DFD, NSGA-II ve MOEA/D den daha iyi sonuç gösterdiği görülmüştür [55].

Kuldeep ve arkadaşları, çok fazlı bileşenler, kesirli türev, Lagrange çarpanı ve PSO'yu aynı anda kullanan bir optimizasyon algoritması ile CMFB'yi tasarlamışlardır. Lagrange çarpanı ve PSO, kesirli türev kısıtlamalarını kullanarak optimize edilmiş çok fazlı bileşenleri bulmak için eşzamanlı olarak uygulanmıştır. Kesirli türev, tamsayıyı gerçek düzende değiştirerek türetilmiştir. CMFB, optimum çok fazlı bileşene ve PSO ile optimize edilmiş kesirli türev kısıtlamalarına dayalı olarak tasarlanmıştır. Önerilen yöntemin simülasyon sonuçlarına göre yeniden yapılandırma hatası tepe değeri, genlik bozulması ve örtüşme bozulması terimleri açısından önemli performans artışı gösterdiği görülmüştür [56].

Kuldeep ve arkadaşları, CMFB'yi tasarlamak için Lagrange çarpanı metodu ve Guguk Kuşu arama algoritmasından oluşan hibrit bir metot önermişlerdir. Amaç fonksiyonu minimize edilerek prototip süzgeç katsayılarının optimizasyonu için Lagrange çarpanı yöntemi kullanılmıştır. Guguk Kuşu arama algoritması, CMFB'nin tepe yeniden yapılandırma hatasını aynı anda nesnel bir işlev olarak kullanarak optimal kesirli türev kısıtlamalarını bulmak için kullanılmıştır. Dokuz farklı çalışmayla karşılaştırıldığında, sunulan çalışmanın, geçirgenlik hatası, durdurma bandı hatası, geçiş bandı hatası vb. gibi prototip süzgeç performansını ölçen parametreler açısından daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür [57].

Baderia ve arkadaşları, CMFB'nin prototip süzgecinin amaç fonksiyonunu çok fazlı bileşen terimleri cinsinden oluşturmuşlardır. Kesirli türev kısıtı ABC Algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Tasarım örneği olarak 32 kanallı CMFB yapısı çok fazlı bileşen ve ABC Algoritması temelli kesirli türev kısıtı kullanılarak tasarlanmıştır. Önerilen yöntemin etkinliği, yeniden yapılandırma hatası tepe değeri, geçiş bandı hatası, durdurma bandı hatası, durdurma bandı zayıflaması, genlik bozulması, örtüşme

bozulması, hesaplama zamanı açısından değerlendirilmiştir. Düşük hesaplama karmaşıklığı ve daha az yeniden yapılandırma hatası nedeniyle önerilen yöntem, yakın zamanda önerilen yöntemlere kıyasla daha esnektir ve senkronize uygulamalar için uygun olduğu görülmüştür [58].

Kalathil ve Elias, kanonik imzalı rakam (CSD: canonic signed digit) katsayılarını kullanarak tamamen çarpansız düzgün olmayan NPR CMFB'nin yeni bir tasarımını önermiştir. Prototip süzgeç, pencere yöntemi, Chebyshev yaklaşımı ve kısıtlı en küçük kareler yaklaşımı kullanılarak tasarlanmıştır. Katsayılar, bir arama tablosu kullanılarak CSD'ye kuantalanmıştır. CSD yuvarlamasından kaynaklı bozulma nedeniyle Yapay Arı Koloni algoritması, Genetik algoritma, Yerçekimi Arama algoritması ve Harmony Arama algoritması kullanılarak Süzgeç Bankası'nın performansı artırılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre değiştirilmiş GSA algoritması bu tasarım için diğer tüm algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir [59].

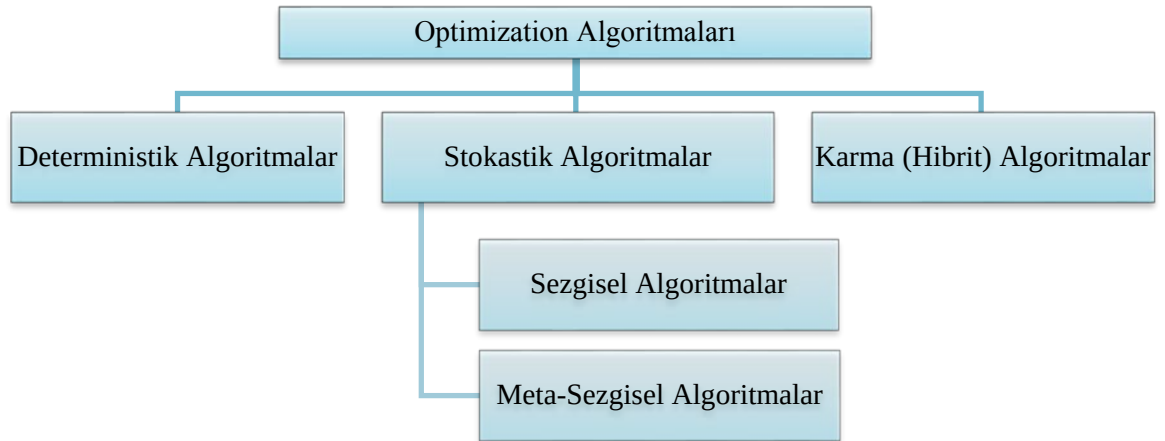
2. BÖLÜM

LİTERATÜRDE KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKASI ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN META SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Optimizasyon algoritmaları algoritmanın doğasına göre üç kategoriye ayrılabilir: ‘deterministik algoritmalar’, ‘stokastik algoritmalar’, ‘deterministik ve stokastik algoritmaların bir karışımı olan hibrit algoritmalar’ [12].

Deterministik algoritmalar kesin verilere, tekrarlanabilir tasarım değişkenlerine ve işlemlere sahiptir. Aynı girdiler için daima aynı çıktıları üretirler. Aksine, stokastik algoritmalar daima biraz rassallık içerirler. Stokastik algoritmaya iyi bir örnek, mutasyon operatörü tarafından kullanılan rastgele sayılardan dolayı genetik algoritmadır. Program her çalıştırıldığında, nihai çözümlerde büyük bir fark olmasa da yollar farklı olacaktır. Stokastik algoritmalar, iki gruba ayrılır: *sezgisel* ve *meta sezgisel* algoritmalar. Fakat aralarında küçük farklılıklar vardır. Literatürde ‘sezgisel’ ve ‘meta sezgisel’in kabul edilmiş hiçbir tanımının mevcut olmadığını belirtmek gerekir; bazıları ‘sezgisel’ ve ‘meta sezgisel’i birbirinin yerine kullanır [12]. Deterministik olmayan meta sezgisel algoritmalar kendi içinde farklı şekillerde sınıflandırılabilir (nüfus tabanlı ve yörünge tabanlı vb.). Bununla birlikte, diğer sınıflandırmalar kapsam dışında olduğundan, burada belirtilmeyecektir. Algoritmanın doğasına göre optimizasyon algoritmalarının genel bir sınıflandırması Şekil 2.1’de gösterilmektedir.

İlgili CMFB çalışmalarıyla ilgili sezgisel algoritmalar, kullanıldıkları yıla göre Tablo 2.1’de verilmektedir. Bu bölümde, algoritmalar Tablo 2.1’deki sıraya göre aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 2. 1. Algoritmanın doğasına göre optimizasyon algoritmalarının genel sınıflandırması.

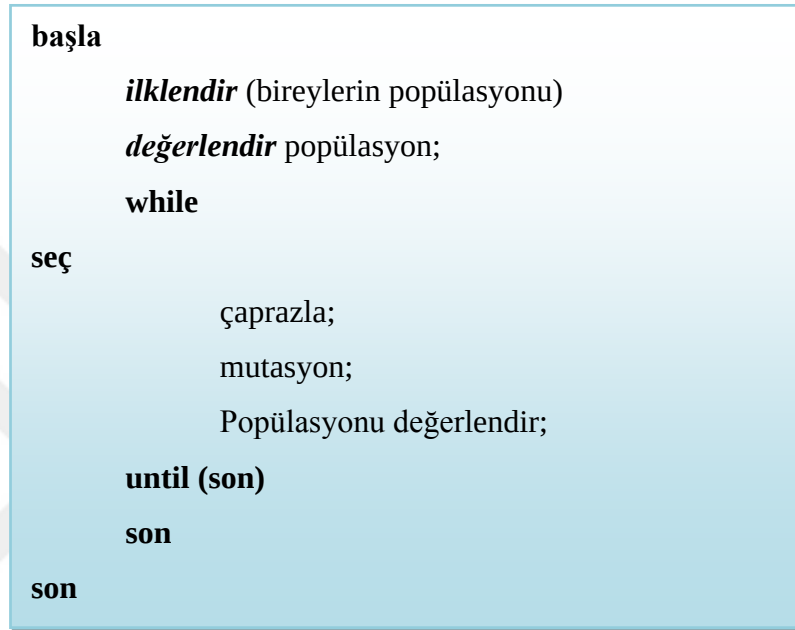
Tablo 2. 1. CMFB Çalışmalarında Kullanılan Meta-Sezgisel Algoritmalar.

Sezgisel Algoritma	İlgili CMFB Çalışmaları
GA (Genetik Algoritma)	2001[49], 2007[50], 2008[60], 2015[11, 59]
EP (Evrimsel Programlama)	2007[51]
PSO (Parçacık Sürüş Optimizasyonu)	2010[52], 2015[56], 2016[61]
Kuantum Davranışlı PSO	2011[53]
VNS (Değişken Komşuluk Araması)	2012[54]
MOEA/DFD(Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma/ Ayrıştırma ve Bulanık Baskınlık)	2012[55]
ABC (Yapay Arı Kolonisi)	2015[11, 58, 59], 2016[61], 2018[62]
GSA (Yerçekimi Arama Algoritması)	2015 [11, 59]
HSA (Harmoni Arama Algoritması)	2015 [11, 59]
Hibrit ABC–HSA	2015[63]
Hibrit GSA–ABC	2015[63]
Hibrit GSA–HSA	2015[11, 63], 2016[64]
CSA (Gugukkuşu Arama Algoritması)	2016[57, 61, 65]
Değiştirilmiş CSA	2016[65]

2.1. GENETİK ALGORİTMA

Doğadaki evrimsel süreçleri bir bilgisayar programı olarak taklit eden Genetik Algoritma (Genetic Algorithm, GA) ilk olarak John Holland ve arkadaşları tarafından 1960'lı yıllarda Michigan Üniversitesi'nde geliştirildi [66]. Genetik algoritmanın gelişimini özetleyen kitabı 1975'te yayınlandı [67]. GA, Darwin'in Evrim Teorisini özetleyen, biyolojik sistemlerin doğal seçimine dayanan ve onları çaprazlama, mutasyon, en uygun

birey seçimi, yeniden üretim gibi matematiksel operatörlerle sunan bir araştırma yöntemidir. GA çok çeşitli optimizasyon problemlerini çözmede çok başarılı bir hale geldiğinden, GA hakkında binlerce araştırma makalesi ve yüzlerce kitap bulunmaktadır [12]. Şekil 2.2'de basit GA prosedürü verilmiştir.



Şekil 2. 2. Basit GA prosedürü [66].

2.2. EVRİMSEL PROGRAMLAMA

Evrimsel Programlama (Evolutionary Programming, EP) ilk olarak ABD’de Fogel ve arkadaşları tarafından tasarlandı [68]. Genetik Algoritmaya benzer bir stokastik optimizasyon algoritmasıdır. Diğer evrimsel algoritmalarından temel farkı, genetik bir operatör olarak çaprazlamayı içermemesidir. Onun yerine farklı bir mutasyon operatörü kullanılır. Mutasyon derecesi sahte rastgelelik temelli değildir, ebeveynlere uygulanan işlevsel değişikliğe dayanarak değerlendirilir. EP Algoritmasının temel adımları Şekil 2.3’te gösterilmiştir [69]. 1999’da, klasik Evrimsel Programlamadan çok daha iyi performans gösteren hızlı evrimsel programlama algoritması (FEP) olarak adlandırılan bir başka versiyon önerilmiştir [70].

2.3. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU ALGORİTMASI

Sürü zekasına dayalı algoritmalar, bireyin çevre ve diğer bireylerle olan etkileşiminin ve ortak davranışlarının modellenmesi ile ortaya çıkmıştır. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

(Particle Swarm Optimization, PSO), balık ve kuş sürülerinin davranışlarından esinlenen bir sürü tabanlı sezgisel algoritmadır. 1995 yılında J. Kennedy ve R. C. Eberhart tarafından geliştirilmiştir [70, 71]. İlk olarak Kennedy tarafından bilginin toplumsal adaptasyonu olarak tanımlanmıştır [72].

başla

ilklendir süre $t = 0$;

ilklendir (bireylerin popülasyonu) $P(t)$;

değerlendir uygunluk (tüm başlangıç bireyleri için) $P'(t)$;

test et sonlandırma kriteri (zaman, uygunluk, vb.), sağlanmadıysa;

$P'(t) \leftarrow \text{mutate } P(t)$;

değerlendir yeni uygunluk değeri $P'(t)$;

seç hayatta kalanlar $P(t+1) \leftarrow P(t), P'(t)$;

zaman sayacını bir arttır $t \leftarrow t + 1$;

son

son

Şekil 2. 3. Evrimsel Programlama Algoritmasının Sözde Kodu [69].

Shi ve Eberhart tarafından, orijinal PSO'ya *atalet ağırlığı* (*inertia weight*) olarak adlandırılan yeni bir parametrenin eklendiği ilk varyantı geliştirilmiştir [73]. Ardından farklı araştırmacılar tarafından algoritmanın performansını artırmak için başlatma, mutasyon operatörleri gibi pek çok farklı parametre önerilen diğer birçok versiyon geliştirilmiştir [74]. Şekil 2.4'te, Parçacık Sürüsü Optimizasyon Algoritmasının orijinal halinin adımları gösterilmiştir [70].

2.3.1. Quantum Davranışlı PSO

Kuantum davranışından esinlenen Kuantum Davranışlı PSO (Quantum Behaved PSO, QPSO) klasik PSO'nun bir varyantıdır. Jun ve arkadaşları tarafından 2004 önerilmiştir [75]. Quantum Davranışlı PSO'da parçacıkların durumunu temsil eden bir kuantum modeli kullanılır. PSO ile karşılaştırıldığında daha az parametreye sahiptir ve daha iyi sonuçlar verir. Kuantum Davranışlı PSO'nun klasik PSO'daki gibi parametre duyarlılığına sahip olması nedeniyle Sun ve arkadaşları bazı parametre kontrol

çalışmaları yapmışlardır [76-78]. Kuantum Davranışlı PSO'yu değiştirmek için literatürde farklı araştırmacılar tarafından birçok farklı çalışma yapılmıştır [79-82].

İlklendir

son

do

Hesapla uygunluk değeri (her bir parçacık için)

Eğer the hesaplanan değeri en iyi değeri (pBest) nden iyiyse

Ayarla hesaplanan değeri yeni pBest olarak

Son

Tüm parçacıkların içinden en iyi uygunluk değeri olanı (gBest) olarak seç

For (Her bir parçacık)

Hesapla *Parçacık hızı* ($v[i]$) :

$v[i] = v[i] + 2 \cdot \text{rand}() \cdot (pbest[i] - present[i]) + 2 \cdot \text{rand}() \cdot (gbest[i] - present[i])$

Güncelle *parçacık pozisyonu* ($present[i]$):

$present[i] = present[i] + v[i]$

son

While (maksimum iterasyon veya minimum durdurma kriteri sağlanana kadar)

Şekil 2. 4. PSO nun orijinal versiyonunun adımları [70].

2.4. DEĞİŞKEN KOMŞULUK ARAMASI

Değişken Komşuluk Araması (Variable Neighbourhood Search, VNS), Mladenović ve Hansen tarafından 1997’de önerilen meta-sezgisel bir yöntemdir [83]. Mladenović ve Hansen, herhangi bir yerel bir arama algoritmasında bir altprogram olarak kolayca uygulanabilen basit ve etkili bir meta sezgisel olan VNS’nin, yerel arama algoritması içindeki komşuluğun sistematik varyasyonu ile elde edilebileceğini göstermiştir [83-85]. Temel VNS Algoritmasının basamakları Şekil 2.5’te gösterilmektedir.

2.5. MOEA/DFD

Çok Amaçlı Optimizasyon, eşzamanlı olarak optimize edilecek birden fazla amaç fonksiyonu olan bir çeşit optimizasyon türüdür. Evrimsel algoritmalar (EA), popülasyon

temelli olmaları nedeniyle tek bir simülasyonda çoklu optimal çözümleri bulabilmektedirler. Dolayısıyla, EA çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmek için ideal seçeneklerdendir [86]. Çeyrek yüzyıldır önerilmiş birçok Çok Amaçlı Evrimsel Algoritma (Multi Objective Evolutionary Algorithm, MOEA) yaklaşımı vardır.

İklendirme. Seç araştırmada kullanılacak *komşuluk yapıları seti* $N_k, k= 1, \dots, k_{max}$,

Bul başlangıç çözümü x ;

Seç durdurma kriteri;

Temel adım. Durdurma kriteri sağlanana kadar aşağıdaki adımları tekrarla:

(1) Ayarla $k \leftarrow 1$; (2) $k = k_{max}$ olana kadar aşağıdaki adımları tekrarla:

(a) **Sarsma.** x' in k . komşuluğunda rastgele bir x' noktası üret ($x' \in N_k(x)$);

(b) **Yerel Arama.** Başlangıç çözümü olarak x' ile yerel arama yöntemleri uygula; elde edilen yerel optimumu x'' ile göster;

(c) **Move or not.** Bu şekilde elde edilen çözüm mevcut olandan daha iyiye oraya git ($x \leftarrow x''$) ve $N_1 (k \leftarrow 1)$ ile aramaya devam et; aksi taktirde $k \leftarrow k + 1$ olarak ayarla

Şekil 2. 5. Temel VNS Algoritmasının adımları [85].

MOEA/Ayrıştırma (Decomposition, D) olarak adlandırılan, ayrıştırmaya dayalı basit ve kapsamlı bir evrimsel optimizasyon algoritması Zang ve Li tarafından 2007'de önerilmiştir [87]. Bu sürüm ilk önce MOEA'yı bir dizi skaler optimizasyon problemine bölmek için ayrıştırma metodunu kullanır. İkinci olarak, alt problemlerin eş zamanlı optimizasyonu için bir EA kullanılır.

MOEA/Ayrıştırma ve Bulanık Baskınlık (Decomposition and Fuzzy Dominance, DFD), 2011 yılında Nasir ve arkadaşları tarafından önerilen MOEA/D'nin yeni bulanık baskınlığına dayalı bir sürümüdür [88]. MOEA/DFD'de ayrıştırma için Tchebycheff yaklaşımı kullanılmıştır. MOEA/DFD algoritması, 12 kıyaslama fonksiyonundan oluşan bir test seti kullanılarak diğer MOEA sürümleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, önerilen algoritmanın seçilen on iki fonksiyonun dokuzundan daha iyi olduğunu göstermektedir [88].

MOEA/DFD'nin ana adımları Şekil 2.6'da gösterilmektedir.

Giriş

Çıkış

İklendirme

Seçim araştırmanın alt-problemleri

For her bir nokta

Seçim eşleştirme/güncelleme aralığı

Yeniden üretim

Onarım

z nin güncellenmesi*

Hesaplama bulanık baskınlık seviyesi

Güncelleme çözümler

Durdurma kriteri Eğer durdurma kriteri sağlanıyorsa dur ve çık

gen**=gen+1

Son ('Seçim'e git)

*z, amaç fonksiyonunun o ana kadar bulunun en iyi (en düşük) değeri.

**gen, geçerli üretim sayısı.

Şekil 2. 6. MOEA/DFD'nin temel adımları [88].

2.6. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Yapay Arı Koloni Algoritması (Artificial Bee Colony Algorithm - ABC), Karaboğa tarafından 2005'te önerilmiştir [89]. Gerçek bir bal arısı sürüsünün kendine özgü olan zeki besin arama davranışı göz önüne alınmış ve çok boyutlu, çok modlu optimizasyon problemlerini çözmek için bu davranışı simüle eden yeni bir yapay arı koloni algoritması geliştirilmiştir. Sphere, Rosenbrock ve Rastrigin fonksiyonlarının küresel minimumlarını bulmak için test edilmiş ve algoritmanın tek modlu/çok modlu sayısal optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılabileceği gösterilmiştir [89]. 2010'da ABC Algoritmasının ayrıntılı tanımı Scholarpedia'ya dahil edilmiştir [90].

Daha sonra Karaboğa ve Baştürk, çok değişkenli fonksiyonları optimize etmek için ABC algoritmasını kullanmış; ABC Algoritması diğer algoritmalarla göre (GA, PSO ve PS-EA) daha başarılı sonuç vermiştir [91]. Karaboğa ve Baştürk, sınırlandırılmamış sayısal optimizasyon problemleri ve kısıtlı optimizasyon problemleri için ABC algoritmasının başarımını artırmaya yönelik farklı sürümleri üzerinde çalışmışlardır [91, 92]. ABC algoritmasının temel adımları Şekil 2.7'de verilmiştir.

Kâşif arıları başlangıç yiyecek kaynaklarına gönder

REPEAT

İşçi arıları yiyecek kaynaklarına gönder ve kaynakların nektar miktarlarını hesapla

Gözcü arıların tercih ettiği kaynakların olasılık değerlerini hesapla

Arıların terkettiği kaynakların kullanılması işlemi durdur

Kâşif arıları yeni yiyecek kaynakları bulmaları için araştırma alanına rastgele gönder

O ana kadar bulunan en iyi yiyecek kaynağını kaydet

UNTIL (gereklilikler sağlanana kadar)

Şekil 2. 7. ABC algoritmasının temel adımları [89].

2.7. YERÇEKİMİ ARAMA ALGORİTMASI

Rashedi ve arkadaşları, 2009 yılında Newton'un yerçekimi ve hareket kanununa dayanan Yerçekimi Arama Algoritmasını (Gravitational Search Algorithm, GSA) önerdi [93]. GSA, yerçekimi kuvveti aracılığıyla birbiriyle etkileşim kuran araştırmacı ajanlardan oluşan popülasyon tabanlı sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. GSA'da konum, atalet kütlesi, aktif yerçekimi kütlesi ve pasif yerçekimi kütlesi, her bir ajanın (veya kütlenin) dört tanımlayıcı özelliğidir [93]. Kütle konumu sorunun bir çözümüne karşılık gelir ve yerçekimi ve atalet kütleleri bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak belirlenir [93]. GSA'nın farklı adımları Şekil 2.8'de gösterilmektedir.

2.8. HARMONİ ARAMA ALGORİTMASI

Müzik çaların doğaçlamalarını taklit eden Harmoni Arama Algoritması (Harmony Search Algorithm, HSA) Geem ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [94]. HSA, Genetik

Algoritma'da olduğu gibi yalnızca iki ebeveyn göz önüne alınmak yerine tüm mevcut vektörleri düşündükten sonra yeni bir vektör yapar ve karar değişkenlerinin başlangıç değerlerinin ayarlanmasını gerektirmez [94]. Bu avantajlı özellikler, HSA'yı diğer yöntemlerden daha esnek hale getirir. Şekil 2.9'da Harmoni Arama Algoritmasının sözde kodu gösterilmiştir [95].

Başla

Üret *başlangıç popülasyonu*

repeat

Değerlendir, her ajan için uygunluk değeri.

Güncelle, *yerçekimi sabiti (G)*, *popülasyonunu en iyi ve en kötü uygunluk değeri*

Hesapla, her bir ajan için *ivme* ve *hız*

Güncelle, ajanların pozisyonu

Sonlandırma kriteri sağlandı mı?

Son (Sonlandırma kriteri sağlanana kadar adımları tekrarla)

Son

Şekil 2. 8. GSA'nın farklı adımları [93].

2.9. HYBRİT META-SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Hibrit yöntemlere olan ilgi ve hibrit optimizasyon çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır. Farklı algoritmaların birleştirilmesinin arkasındaki temel motivasyon, farklı optimizasyon stratejilerinin tamamlayıcı karakterinden yararlanmaktır, yani melezlerin sinerjiden fayda sağladığına inanılmaktadır [96].

Pek çok zorlu optimizasyon probleminin çözümünde, tamamlayıcı algoritmaların uygun birleşimini seçmek çözüm olabilir. Ne yazık ki, etkili bir hibrit yaklaşım geliştirmek genellikle farklı optimizasyon alanlarından uzmanlık gerektiren zor bir iştir [96]. Dahası, belirli bir hibrit algoritma belirli bir sorun için iyi çalışabilir, ancak diğerleri için kötü performans gösterebilir. Bununla birlikte, pek çok uygulama için çok başarılı olduğu gösterilen hibrit algoritma türleri vardır [96]. Literatürde CMFB tasarımı için kullanılmış

olan hibrit algoritmalar hibrit ABC-HSA, hibrit GSA-ABC ve hibrit GSA-HSA'dır [11, 63, 64].

Başla

İklendir, *amaç fonksiyonu* $f(x)$, $x=(x_1, x_2, \dots, x_d)^T$

Üret, başlangıç harmonikleri (gerçek sayı dizileri)

Belirle, *ton ayarlama oranı* r_{pa} , *ton limitleri* ve *bant genişliği*

Tanımla, *harmoni hafıza kabul oranı* (r_{accept})

while (t < Maksimum iterasyon sayısı)

Üret, en iyi harmonikleri alarak yeni harmonikler

Yeni harmonikler (çözümler) elde etmek için tonları ayarla.

if (rand> r_{accept}), Mevcut bir harmoniği rastgele seç

else if (rand> r_{pa}), Sınırlar içerisinde tonu rastgele ayarla

else yeni harmonikleri rastgele üret

end if

Daha iyi ise yeni harmonikleri (çözümleri) al

end while

Mevcut en iyi çözümleri bul.

Son

Şekil 2. 9. Harmoni Araştırma Algoritmasının sözde kodu [95].

2.10. GUGUK KUŞU ALGORİTMASI

Guguk kuşu algoritması (Cuckoo Search Algorithm, CSA), Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından önerilen doğadan esinlenmiş bir meta sezgisel optimizasyon algoritmasıdır [97]. Algoritma, Lévy uçuşlarından ve bazı guguk kuşlarının üreme stratejisinden ilham alır. Lévy uçuşu olarak adlandırılan davranış, hayvanların iki yiyecek arama/toplama eylemi arasında kat ettikleri mesafelerin Lévy dağılımı gibi sürekli olasılık dağılımlarına uygun olarak gerçekleşen davranış biçimidir. Algoritmayı sunan yazarlar basitlik için üç kural tanımlamışlardır [97]:

1. Her bir guguk kuşu bir anda bir yumurta bırakır ve yumurtayı rastgele seçilmiş bir yuvaya atar.

2. Yumurta kalitesi yüksek en iyi yuvalar gelecek kuşaklara taşınacaktır.
3. Mevcut ev sahibi yuvalarının sayısı sabittir ve bir guguk kuşu tarafından bırakılan bir yumurtanın ev sahibi tarafından keşfedilme olasılığı $p_a \in [0, 1]$ dır.

Bu üç kural üzerine kurulmuş guguk kuşu algoritmasının sözde kodu Şekil 2.10'da verilmiştir.

başla

Amaç fonksiyonu $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)^T$

Ev sahibi yuvaları x_i nin başlangıç popülasyonu n 'i oluştur ($i = 1, 2, \dots, n$)

while ($t < \text{Max.jenerasyon}$) veya (durdurma kriteri)

Rastgele bir guguk kuşunu Lévy dağılımıyla belirle ve uygunluk değeri F_i yi değerlendir

'n' içinden rastgele bir yuva seç(j olsun)

if ($F_i > F_j$),

j ' yi yeni çözümle değiştir;

son

En kötü yuvaların bir kısmı (p_a) terkedilir ve yerine yenileri inşa edilir;

En iyi çözümleri (veya kaliteli çözümler sunan yuvaları) sakla;

Çözümleri sırala ve en iyisini bul

end while

İşlem sonrası sonuçlar ve görselleştirme

son

Şekil 2. 10. Guguk Kuşu Algoritmasının sözde kodu [97].

2.10.1. Değiştirilmiş Guguk Kuşu Algoritması (Modified CSA)

Walton ve arkadaşları tarafından 2011'de önerilen Değiştirilmiş Guguk Kuşu Algoritması (Modified CSA, MCSA) klasik CSA'nın değiştirilmiş bir sürümüdür [98]. Bu çalışmada yakınsama oranını artırmak için CSA'da iki değişiklik yapılmış, bu sayede orijinal CSA cazip özelliklerini kaybetmeden daha geniş bir uygulama yelpazesi için daha pratik hale gelmiştir. İlk değişiklik, Lévy uçuş basamağı boyutu α 'ya yapılmıştır. CSA'da α , bir sabit ve $\alpha=1$ iken, MCSA'da α değeri, nesil sayıları arttıkça azalmaktadır [97, 98]. İkinci bir

değişiklik olarak, yakınsamayı en aza indirmek için yumurtalar arasında bilgi alışverişi eklenmiştir. CSA bireyler arasında bilgi alışverişinde bulunmaz ve aramalar birbirinden bağımsızdır [98].



3. BÖLÜM

PENCERE FONKSİYONLARI İLE KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI

Tez çalışmasının bu kısmında iki farklı ayarlanabilir pencere fonksiyonunun kaskat kullanımıyla gerçekleştirilen ve literatürde yer almayan özgün bir CMFB tasarımı yer almaktadır. Bu bölümde ilk olarak tasarımda kullanacak olan Kaiser ve Gaussian ayarlanabilir pencere fonksiyonları anlatılacak, daha sonra benzetim çalışmaları sunulacaktır. Benzetim çalışmalarında öncelikle tek bir pencere fonksiyonu kullanılmasıyla, daha sonra iki pencere fonksiyonunun kaskat kullanımıyla gerçekleştirilen üç tasarım yer almaktadır. Önerilen Yöntem 1 adı verilen kaskat yapıdaki tasarım yönteminin tek bir pencere fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen tasarımlara ve literatürdeki benzerlerine olan üstünlüğü farklı tasarım örnekleri ile açıklanmaktadır. Bölümün sonunda ise girişine EKG işareti uygulaması yapılan önerilen süzgeç bankası çıkışının performans incelemeleri yer almaktadır.

3.1.KULLANILAN PENCERE FONKSİYONLARI

Bu kısımda CMFB tasarımı için, uygulamada sahip oldukları üstünlüklerden dolayı ayarlanabilir pencere fonksiyonlarından Kaiser ve Gaussian pencereleri seçilmiştir.

Düzgün süzgeç bankaları, alt bantların frekans bandındaki genişlikleri birbirine eşit olduğundan frekans spektrumdaki düzgün görüntüleri nedeniyle bu ismi almışlardır. Önerilen Yöntem 1 kullanılarak tasarlanan süzgeç bankasına ait parametreler, sadece Kaiser penceresi ve sadece Gaussian penceresi kullanılarak tasarlanan CMFB parametreleriyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir [99].

3.1.1. Kaiser Penceresi

Kaiser penceresi literatürde en çok kullanılan pencere fonksiyonlarından birisidir. Bu fonksiyon sadeliği ve sahip olduğu iki bağımsız parametrenin verdiği esneklik ile yinelemesiz süzgeç tasarımında sıklıkla tercih edilmektedir. Bessel fonksiyonunu temel olarak geliştirilen Kaiser penceresi, Jim Kaiser tarafından geliştirilmiş ve fonksiyonu literatüre katan kişinin ismiyle adlandırılmıştır [100]. Pencere fonksiyonunun katsayıları Eşitlik 3.1 ile belirlenir.

$$w(n) = \frac{I_0\left(\beta \sqrt{1 - \left(\frac{n-N/2}{N/2}\right)^2}\right)}{I_0(\beta)} \quad 0 \leq n \leq N \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.2'deki N parametresi süzgeç uzunluğunu, I_0 parametresi sıfırıncı dereceden modifiye edilmiş Bessel fonksiyonunu ve β zayıflatma parametresini ifade etmektedir. Buradaki I_0 Eşitlik 3.2 ile ifade edilir.

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=0}^{\infty} \left[\frac{(x/2)^k}{k!} \right]^2 \quad (3.2)$$

β değerinin artması ana-lob genişliğini artırırken yan lobların genliğini azaltır. Bu değişim üç farklı β değeri için Şekil 3.1'de görüldüğü gibidir.

Kaiser penceresiyle FIR süzgeç tasarlamaya yardımcı olan β ve N hesaplama formülleri, Kaiser tarafından deneysel olarak geliştirilerek kullanıma sunulmuştur [101]. Bunlardan süzgeç derecesi N eşitlik 3.3 ile ifade edilir.

$$N = \frac{As - 7.95}{2.285 \Delta w} \quad (3.3)$$

Durdurma bandı zayıflatması A_s (*stopband attenuation*) değeri Eşitlik 3.4 ile hesaplanır.

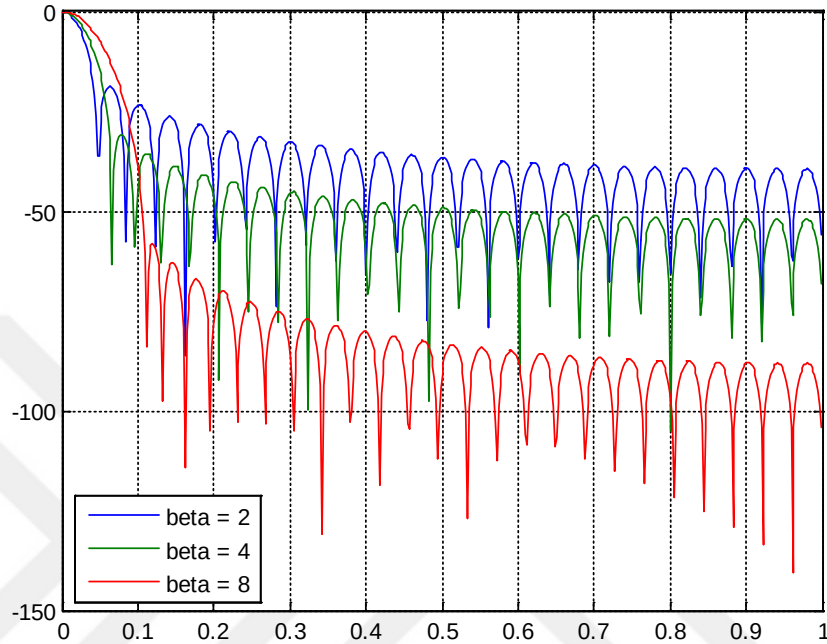
$$A_s = -20 \log_{10} \delta_2 \quad (3.4)$$

Geçiş bandı genişliği Δw Eşitlik 3.5 ile sunulmuştur.

$$\Delta w = w_s - w_p \quad (3.5)$$

β parametresi durdurma bandı zayıflatması değerine bağlı olarak Eşitlik 3.6'da görüldüğü gibi farklı değerler almaktadır.

$$\beta = \begin{cases} 0.1102(A_s - 8.7), & A_s > 50 \\ 0.5842(A_s - 21)0.4 + 0.07886(A_s - 21), & 50 \geq A_s \geq 21 \\ 0 & A_s < 21 \end{cases} \quad (3.6)$$



Şekil 3. 1. Kaiser penceresinde β değerindeki artışa bağlı olarak ana lob ve yan loblardaki değişim.

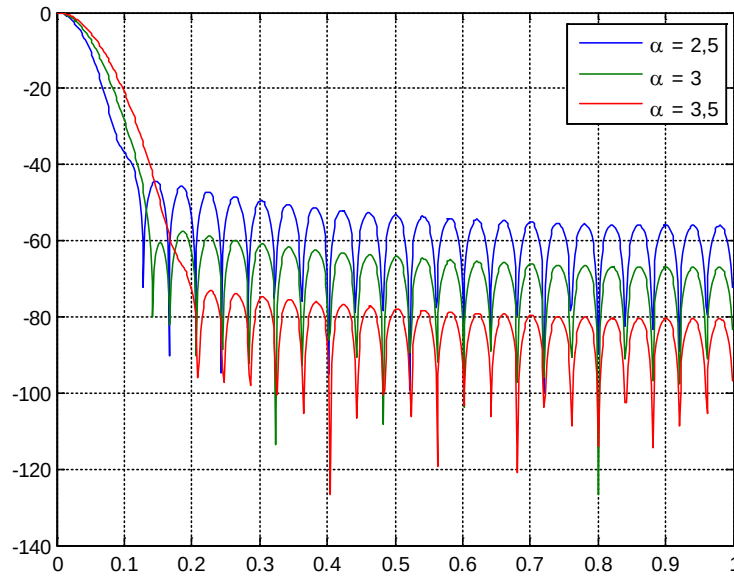
3.1.2. Gaussian Penceresi

Gaussian zaman fonksiyonunun frekans yanıtının da Gaussian'a eşit olduğu bilinmektedir. Gaussian'ın zaman aralığı sonsuz olduğundan, pencere fonksiyonu olarak kullanılabilmesi için kırpılmalıdır. Bu pencere fonksiyonu Eşitlik 3.7 ile ifade edilir [102]:

$$w(n) = e^{-\frac{1}{2}\left(\alpha \frac{n}{N/2}\right)^2}, \quad 0 \leq |n| \leq N/2 \quad (3.7)$$

Literatürde sıklıkla tercih edilen alfa değerleri 2.5, 3 ve 3.5 tir.

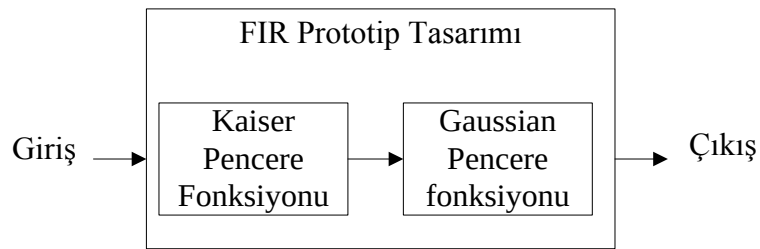
α parametresinin değerindeki artış pencere genişliğinin azalmasına sebep olurken azalması durumunda pencere fonksiyonunun ana-lobunun genişliği artış gösterir [9]. Farklı α değerleri için pencere fonksiyonunun frekans spektrumu Şekil 3.2'de görüldüğü gibidir.



Şekil 3. 2. Gaussian pencere fonksiyonunda α parametresindeki değişimin ana lob ve yan loblardaki değişime etkisi.

3.2. ÖNERİLEN YÖNTEM-1

Tez çalışmasının ilk bölümünde Kaiser ve Gaussian pencere fonksiyonları kullanılarak yeni bir kaskat prototip süzgeç yapısı önerilmiş, bu prototip süzgeç ve DCT kullanılarak CMFB tasarımı gerçekleştirilmiştir [99]. Önerilen yapıya ait blok diyagram Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3. 3. FIR prototip süzgeç için önerilen kaskat yapının blok diyagramı.

Bir FIR süzgeç tasarlarlarken, $0 \leq n \leq M$ aralığı içinde ideal süzgeç yanıtı $h_d(n)$ 'yi elde etmenin en basit yolu, aralığın dışında kalan kısmı kırparak süzgeç yanıtını üretmektir [10]:

$$h(n) = \begin{cases} h_d(n), & n = 0, 1, \dots, N \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.8)$$

Pencere fonksiyonu da istenilen aralık dışını kırıptığından, $w(n)$ kullanıldığı zaman Eşitlik 3.8 ifadesi aşağıdaki ifadeye dönüşür:

$$h(n) = w(n) \cdot h_d(n) \quad (3.9)$$

Şekil 3.3'teki FIR süzgecin yanıtı $h[n]$, girişi $x[n]$ ve çıkışı $y[n]$ olsun. Ayırık bir sistem ele alındığı takdirde sisteme ait giriş-çıkış ilişkisi şu şekilde ifade edilir:

$$y[n] = x[n] * (w_K[n] * w_G[n]) \quad (3.10)$$

Burada $w_K[n]$ Kaiser pencere fonksiyonunun dürtü yanıtını, $w_G[n]$ ise Gaussian penceresinin dürtü yanıtını ifade etmektedir. Önerilen yapıya ait dürtü yanıtı $h[n]$ ise Eşitlik 3.11 ile ifade edilir:

$$h[n] = h_d[n] * w_K[n] * w_G[n] \quad (3.11)$$

$y[n]$ kararlı olabilmek için Eşitlik 3.12'yi sağlamalıdır.

$$|y[n]| = |\sum_{k=-\infty}^{\infty} h[k]x[n-k]| \leq \infty \quad (3.12)$$

Şekil 3.4'te önerilen yöntemle ait akış diyagramı verilmiştir. Akış diyagramına bakılacak olursa ilk önce tasarım için gerekli olan parametre değerlerinin seçiminin yapıldığı görülmektedir. Daha sonra önerilen kaskat yapı ile FIR prototip tasarlanmaktadır. Elde edilen prototip süzgeç ve DCT vasıtasıyla süzgeç bankası elde edilir. Son olarak *PRE*, durdurma bandı zayıflatması A_s , geçiş bandı hatası E_t , durdurma bandı hatası E_s ve geçirme bandı hatası E_p hesaplanır. Tepe Değeri Yeniden Yapılandırma Hatası (*PRE*) Eşitlik 3.13 ile ifade edilir [103].

$$PRE = \max_{\omega} \left\{ 10 \log \left(\sum_{i=1}^M |H_i(e^{j\omega})|^2 \right) \right\} \quad (3.13)$$

Geçirme Bandı (Passband) Hatası (E_p),

$$E_p = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_p} (H_0(\omega))^2 \cdot d\omega \quad (3.14)$$

Durdurma Bandı (Stopband) Hatası (E_s),

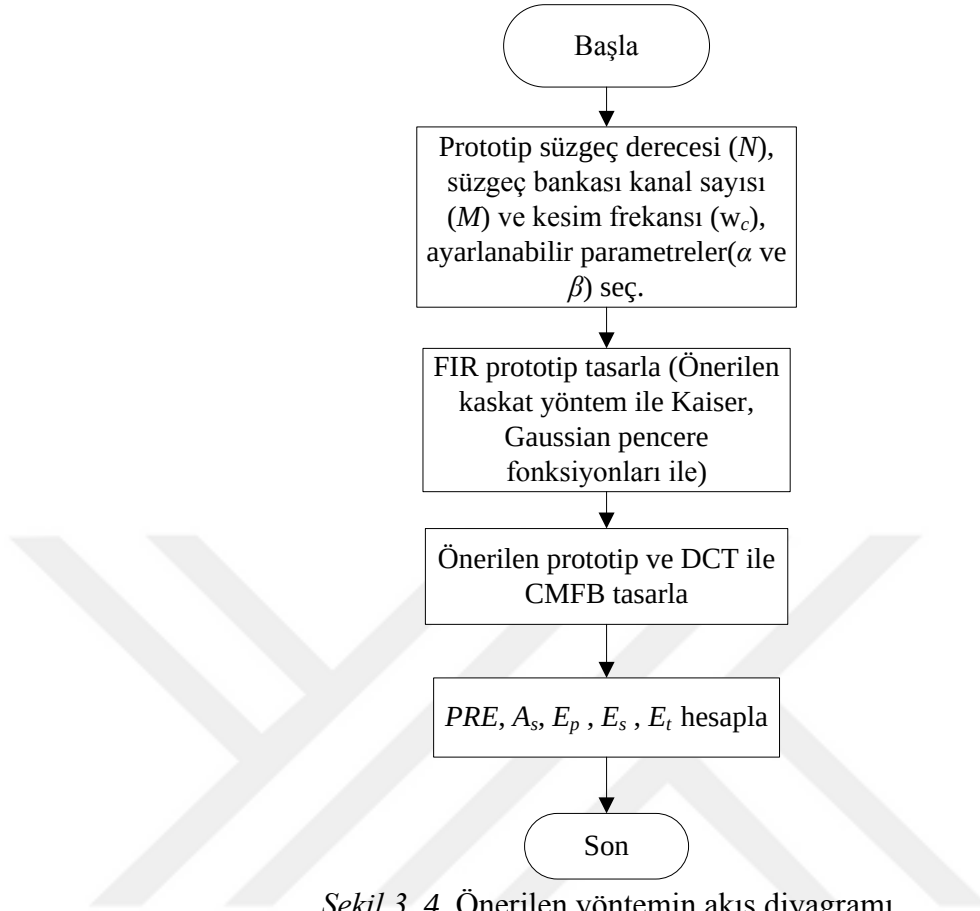
$$E_s = \frac{1}{\pi} \int_{\omega_s}^{\pi} (H_0(\omega))^2 \cdot d\omega \quad (3.15)$$

Geçiş Bandı (Transition Band) Hatası (E_t),

$$E_t = (H_0(\omega) - 0.707 H_0(0))^2, \quad \omega = \omega_c \quad (3.16)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır. Burada $H_0(\omega)$ tasarlanan prototip süzgecin transfer fonksiyonunu ifade etmektedir. Buna ilaveten, kesim frekansı w_c 'nin genlik değeri w_s ve w_p cinsinden şu şekilde ifade edilir [104]:

$$w_c = (w_s + w_p)/2 \quad (3.17)$$



Şekil 3. 4. Önerilen yöntemin akış diyagramı

3.3. BENZETİM SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR-1

Bu kısımda yapılan benzetim sonuçları üç kısımda ele alınmıştır. Kaiser, Gaussian ve önerilen yöntem kullanılarak tasarlanan süzgeç bankalarının performansları ayrı ayrı incelenmiştir. Her bir örnek için ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak elde edilen sonuçlar tablolarda detaylı olarak sunulmuştur. Literatürdeki süzgeç bankası tasarımlarında 2 kanaldan M kanala kadar çeşitli kanal sayılarına sahip çok sayıda örnek bulunmaktadır [54, 62, 105]. Farklı pencere fonksiyonlarının hibrit kullanımına yönelik tasarımlar da mevcuttur [106, 107]. Bu yüzden sunulan tasarım örneklerinde 4, 8, 16 ve 32 olmak üzere farklı kanal sayılarında, süzgeç uzunluğu 32 ile 1024 arasında seçilen on beş farklı değer için CMFB'ler tasarlanarak hem prototip süzgeç hem de süzgeç bankası için elde edilen performans parametreleri değerlendirilmiştir. Kesim frekansı w_c , literatüre uygun olarak π/M değerinden küçük olacak şekilde sırasıyla 0.12, 0.062, 0.031 ve 0.015 olarak belirlenmiştir. Çalışmanın devamında yer alan tablolarda elde edilen değerlerin en iyi olanları **kalin** yazı tipiyle öne çıkarılmıştır. Bazı tablolarda hiç kalın yazıyla belirtilen

ifade olmaması, bu değerlerin tablonun devamı olan Tablo 1A'da yer aldığı anlamını taşımaktadır.

3.3.1. Kaiser Penceresi ile Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası Tasarımı

Tez çalışmasının bu kısmında Kaiser penceresiyle tasarlanan süzgeç bankası parametre değerleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'te 4, 8, 16 ve 32 olmak üzere dört farklı kanal sayısı ve onbeş farklı süzgeç uzunluğu için detaylandırılmıştır. Tablo 3.1'e göre kanal sayısı 4 ve süzgeç derecesi 32 olan CMFB için durdurma bandı zayıflaması A_s 'nin aldığı en iyi değerin 92.5803 dB olduğu görülmektedir. Tepe yeniden yapılandırma hatası minimum değerini süzgeç derecesinin 48 olduğu durumda almış olup değeri 5.9945 olarak elde edilmiştir. E_t değeri ve E_p değeri süzgeç derecesinin artışına bağlı olarak küçük bir artış gösterirken, E_s 'nin aldığı değerler küçük değişimlerle değişkenlik göstermiştir. Dolayısıyla E_s değeri için böyle bir orantıdan bahsedilemez. E_s hatası en küçük değerini süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda 2.5955e-08 olarak alırken E_p 'nin minimum değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda 3.3068e-08 olarak elde edilmiştir. Önerilen Yöntem 1 için yapılan tüm incelemelerde süzgeç derecesinin 80'den büyük olduğu durumlarda elde edilen parametre değerleri Ek 1'de tek tablo halinde sunulmuştur. Bu değerler incelenmek istenirse Ek 1'de Tablo 1A'ya bakılmalıdır.

Tablo 3. 1. Kaiser penceresiyle 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	92.5803	6.0103	2.3623e-06	0.2133	3.3068e-08	0.0786
40	82.5596	6.0122	6.6687e-06	0.2140	2.4051e-07	0.0764
48	78.7210	5.9945	1.7717e-06	0.2136	1.4370e-05	0.0776
56	76.0073	6.0161	5.9461e-06	0.2166	8.3357e-06	0.0768
64	74.8348	6.0116	1.5067e-06	0.2171	1.3606e-05	0.0772
72	64.5269	6.0040	5.9700e-06	0.2173	1.3003e-05	0.0753
80	74.6507	6.0095	1.4251e-06	0.2189	1.4747e-05	0.0883

Tablo 3.2’de kanal sayısı 8 olan CMFB için süzgeç derecesine bağlı olarak elde edilen performans değerleri görülmektedir. Sekiz kanallı yapıda elde edilen maksimum durdurma bandı zayıflatması süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda elde edilmiş olup 82.0220 dB değerindedir. Minimum PRE değeri de aynı süzgeç derecesi için 5.9197 olarak elde edilmiştir. E_t hatası süzgeç derecesindeki artışa bağlı olarak artış göstermektedir. E_s değeri süzgeç derecesindeki değişimle değişkenlik göstermekte olup bir orantı söz konusu değildir. Aynı durum E_p değeri için de geçerlidir. Minimum E_s hatası süzgeç derecesinin 1024 değeri için 1.1672e-07 iken minimum E_p değerinin süzgeç derecesinin 72 değeri için 7.7097e-09 olduğu görülmektedir, bu değerler Ek 1’de verilen tabloda yer almaktadır.

Tablo 3. 2. Kaiser penceresiyle 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	82.0220	5.9197	3.1883e-06	0.1618	6.9937e-08	0.0762
40	73.1635	6.0012	9.1720e-06	0.1890	9.8378e-08	0.0934
48	67.8976	6.0184	8.4547e-06	0.2024	9.3103e-08	0.0703
56	79.4441	6.0191	1.9395e-06	0.2078	5.5355e-08	0.0779
64	71.6395	6.0108	1.9144e-06	0.2096	1.5936e-08	0.0780
72	78.0336	6.0128	3.9630e-06	0.2096	7.7097e-09	0.0717
80	69.6276	6.0008	4.8438e-06	0.2080	2.1210e-06	0.0811

Kanal sayısı 16 olan Kaiser penceresiyle tasarlanan CMFB için süzgeç derecesinin 32 ile 80 arasında değiştiği aralıkta elde edilen performans değerleri Tablo 3.3’te görülmektedir. Burada maksimum durdurma bandı zayıflatması süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için 76.6370 dB olarak bulunmuştur. Minimum PRE değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 4.2524 olarak elde edilmiştir. Süzgeç derecesindeki artış E_s değerinde küçük bir düşüşe sebep olurken, E_t değerinde orantılı bir artışa sebep olmaktadır. E_p değeri için bir orantıdan bahsedilememektedir. E_s , 8.1685e-08 ile süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda minimum değerini almıştır. Minimum E_p değeri süzgeç derecesinin 72 olduğu durumda 1.3154e-07 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. 3. Kaiser penceresiyle 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	76.3742	4.2524	3.0540e-05	0.0806	1.3154e-07	0.0886
40	64.7224	5.0573	2.2844e-05	0.1003	2.8724e-07	0.0801
48	65.9326	5.5491	7.2042e-06	0.1217	5.1779e-07	0.0753
56	64.2080	5.8016	3.2262e-06	0.1429	8.0772e-07	0.0794
64	70.0956	5.9200	1.6261e-06	0.1619	1.1189e-06	0.0808
72	74.0763	5.9733	2.4681e-06	0.1775	1.3961e-06	0.0777
80	72.6514	6.0007	3.3729e-06	0.1892	1.5790e-06	0.0822

Kanal sayısı 32 olan süzgeç bankası tasarımında elde edilen maksimum A_s değeri, süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda Ek 1’de verildiği gibi 82.1161 dB olarak bulunmuştur. Tablo 3.4’e bakılacak olursa en düşük PRE değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda 1.4150 olarak elde edilmiştir.

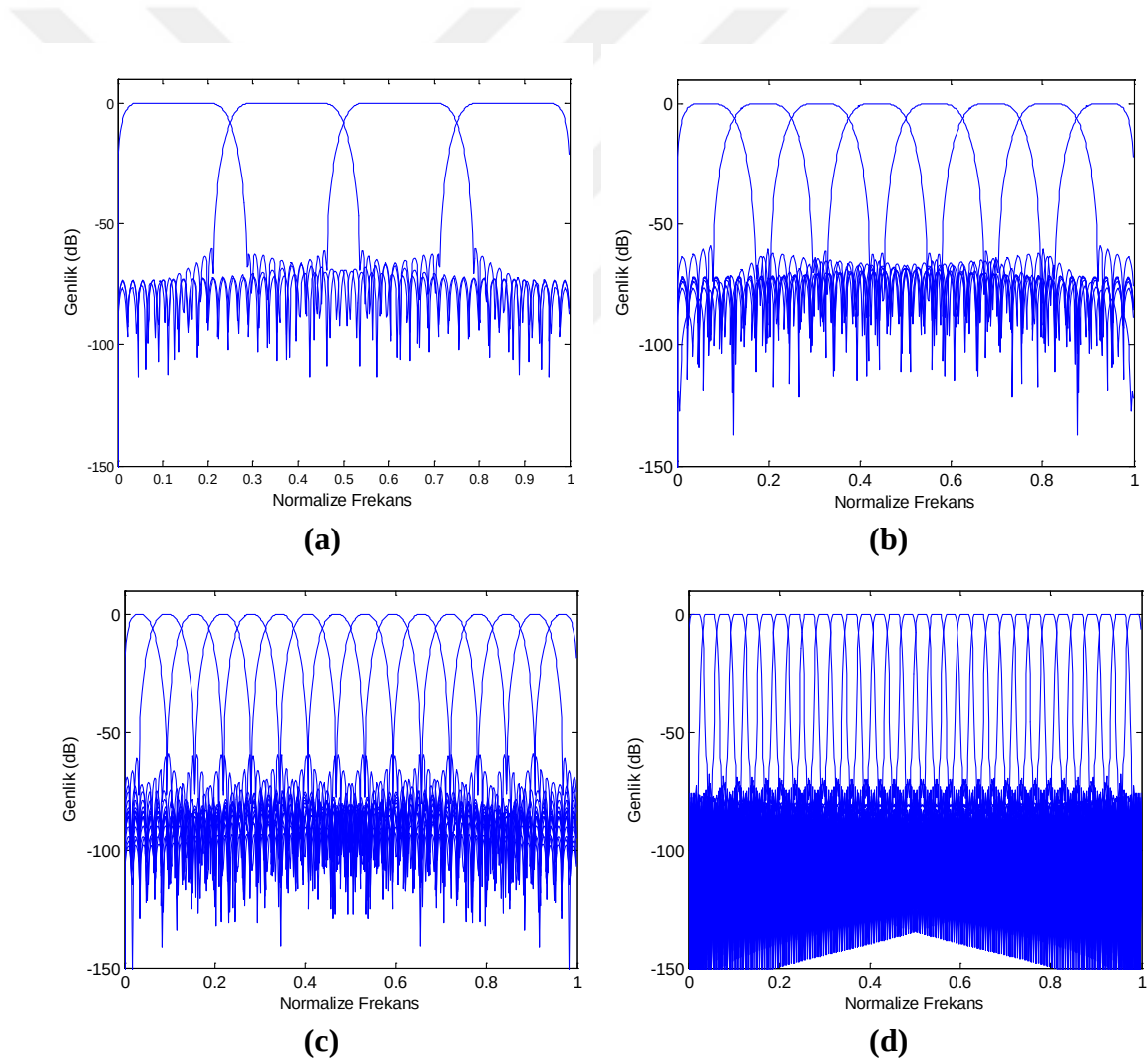
Tablo 3. 4. Kaiser penceresiyle 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	71.8117	1.4150	1.5206e-07	0.0524	4.7730e-05	0.0917
40	69.6898	2.3541	6.4490e-05	0.0577	3.6166e-07	0.0792
48	75.4356	3.1099	2.5863e-05	0.0643	7.2701e-07	0.0766
56	72.0833	3.7371	3.2948e-05	0.0720	1.2988e-06	0.0765
64	55.3427	4.2680	5.3604e-05	0.0808	2.1247e-06	0.0810
72	63.8824	4.7156	3.0552e-05	0.0905	3.2446e-06	0.0795
80	66.2484	5.0808	1.6439e-05	0.1010	4.6856e-06	0.0749

Minimum E_s değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için elde edilmiştir (Bakınız Ek 1, Tablo 1A). Minimum E_t değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda 0.0524

olarak bulunurken, minimum E_p ise süzgeç derecesinin 40 olduğu durumda $3.6166e-07$ olarak elde edilmiştir. Kaiser penceresi ile gerçekleştirilen tüm tasarım örnekleri dikkate alındığında, hesaplama süresi minimum 0.07 s ile maksimum 0.1 s arasında farklı değerler almıştır.

Kaiser penceresi ile gerçekleştirilen tüm tasarım örneklerinde Tablo 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 ve Tablo 1A'daki veriler ışığında 4, 8, 16 ve 32 kanallı süzgeç bankası tasarım örnekleri dikkate alındığında, minimum PRE değerlerinin elde edildiği tasarımların frekans spektrumlarına ait grafikler Şekil 3.5'te sunulmuştur.



Şekil 3. 5. Kaiser penceresiyle tasarlanan CMFB'nın frekans eksenı gösterimleri: (a) $M=4, N=48$; (b) $M=8, N=56$; (c) $M=16, N=120$; (d) $M=32, N=512$.

3.3.2. Gaussian Penceresi ile Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası Tasarımı

Bu kısımdaki tasarım örneğinde, Gaussian penceresiyle tasarlanan CMFB parametre değerleri irdelenmiştir. 4, 8, 16 ve 32 olmak üzere 4 farklı kanal sayısı için süzgeç uzunluklarına bağlı olarak verilen CMFB parametre değerleri Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de ayrıntılı bir biçimde sunulmuştur.

İlk olarak 4 kanallı CMFB tasarımına ait değerler Tablo 3.5’te sunulmuştur. Tabloya göre minimum PRE değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda 5.7696 olarak elde edilmiştir. Gaussian penceresiyle tasarlanan kanal sayısı 4 olan CMFB için maksimum A_s değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için 120.5536 dB olduğu görülmektedir (Bakınız Ek 1, Tablo 1A). E_s hatası süzgeç derecesi arttıkça daha düşük değerler alma eğilimindedir. Aksine E_t ’de ise süzgeç derecesindeki artışla birlikte değer artışı görülmektedir. E_p hatası için bir orantı söz konusu değildir. E_s değerinin minimum değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için 2.8104e-13 olarak elde edilmiştir (Bakınız Ek 1, Tablo 1A). Minimum E_p değerinin süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda 3.2969e-09 olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 5. Gaussian penceresiyle 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	80.9588	5.7696	1.8907e-08	0.1376	3.2969e-09	0.0663
40	81.4605	5.9497	1.3768e-08	0.1653	5.0560e-09	0.0715
48	81.5282	6.0018	1.1539e-08	0.1850	5.8221e-09	0.0742
56	81.7651	6.0160	9.5400e-09	0.1975	5.2487e-09	0.0685
64	81.5117	6.0196	9.0277e-09	0.2050	3.7876e-09	0.0738
72	81.7459	6.0204	7.7295e-09	0.2093	3.7760e-08	0.0720
80	82.8207	6.0206	5.4945e-09	0.2118	1.8117e-08	0.0723

Tablo 3.6’da Gaussian penceresi ile tasarlanmış kanal sayısı 8 olan CMFB için farklı süzgeç derecelerine göre elde edilen parametre değerleri görülmektedir. Tablo 3.6’nın ilk satırında A_s ’nin maksimum değerinin süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 90.5294

dB olduğu görülmektedir. Yine aynı satırda PRE 'nin aldığı minimum değer süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda 5.8734 olarak elde edilmiştir. E_t hatası süzgeç derecesi arttıkça artan değer almıştır. E_t 'nin en düşük değeri Tablo 3.6'nın ilk satırında süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 0.1577 olarak elde edilmiştir. E_s ve E_p için orantısal bir artış ya da azalmadan bahsedilemez. E_s hatasının aldığı minimum değer süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda 5.6944e-08 olarak elde edilmişken minimum E_p değeri süzgeç derecesinin 96 olduğu durumda 3.9275e-09 olarak bulunmuştur, bu değerler incelenmek istenirse Ek 1'e bakılmalıdır.

Tablo 3. 6. Gaussian penceresiyle 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	90.5294	5.8734	2.6009e-06	0.1577	6.6527e-08	0.0780
40	75.7447	5.9840	4.0002e-05	0.1831	9.0224e-08	0.0854
48	71.2904	6.0158	4.8790e-05	0.1974	8.2811e-08	0.0663
56	74.1626	6.0143	1.6183e-05	0.2055	4.9737e-08	0.0693
64	75.3961	6.0205	1.8681e-06	0.2099	1.7702e-08	0.0607
72	69.3660	6.0169	1.8808e-05	0.2117	3.2701e-09	0.0698
80	67.8455	6.0177	2.2777e-05	0.2127	1.1239e-08	0.0752

Tablo 3.7'de kanal sayısı 16 olan, Gaussian penceresi kullanılarak tasarlanmış CMFB için elde edilen performans değerleri görülmektedir. Tablonun ilk satırına bakılacak olursa, PRE 'nin minimum değerinin süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 4.1942 olduğu görülmektedir. Maksimum A_s değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda 80.6329 dB olarak elde edilirken, yine aynı süzgeç derecesi için minimum E_s değeri 3.4411e-08 olarak elde edilmiştir (Bakınız Ek 1, Tablo 1A). Kanal sayısı 8 olan süzgeç bankasında süzgeç derecesi arttıkça E_t hatası artmakta olup, süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda minimum değerini 0.0804 olarak aldığı görülmektedir. E_p 'nin minimum değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda 1.3160e-07 olarak elde edilmiştir. Gaussian penceresi kullanılarak yapılan tasarım örnekleri dikkate alındığında, hesaplama süresinin minimum 0.06 s ile maksimum 0.08 s arasında farklı değerler aldığı görülmüştür.

Tablo 3. 7. Gaussian penceresiyle 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

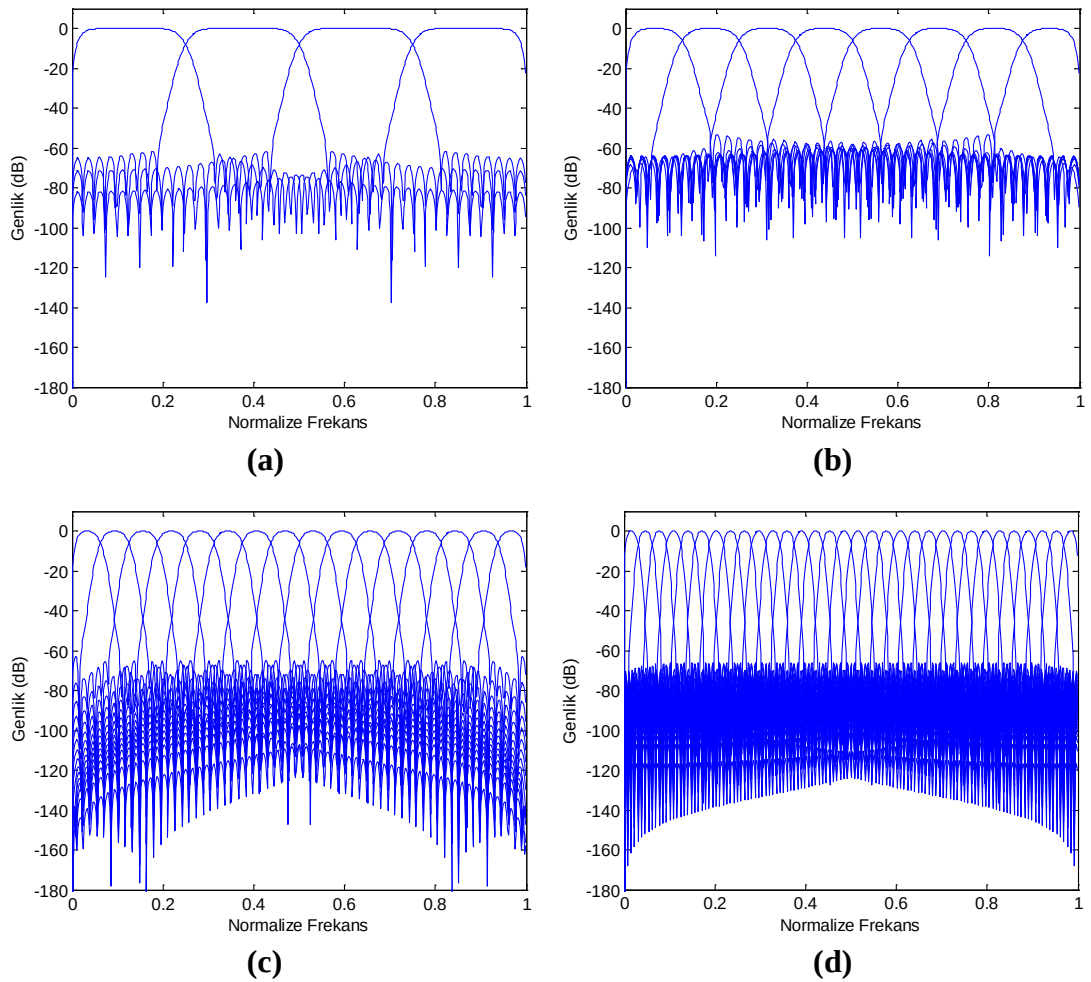
N	A_s (dB)	PRE	E_s	Et	Ep	t (s)
32	69.0954	4.1942	1.6052e-04	0.0804	1.3160e-07	0.0789
40	67.5133	4.9789	1.4152e-04	0.0994	2.8327e-07	0.0800
48	74.5564	5.4596	4.2617e-05	0.1198	5.0283e-07	0.0899
56	77.8529	5.7301	7.9007e-06	0.1395	7.7103e-07	0.0794
64	77.8661	5.8700	1.3634e-06	0.1568	1.0478e-06	0.0688
72	68.6975	5.9429	1.0956e-05	0.1710	1.2799e-06	0.0721
80	69.4885	5.9813	1.5839e-05	0.1817	1.4148e-06	0.0791

Tablo 3.8’de Gaussian penceresiyle tasarlanmış kanal sayısı 32 olan CMFB için elde edilen performans değerleri görülmektedir. Tablo 3.8’in ilk satırında süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için minimum PRE değeri 1.3750 olarak elde edilmiştir. A_s ’nin maksimum değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için 81.8438 dB iken, E_s hatasının minimum değeri de yine aynı süzgeç derecesi için 7.9667e-08 olarak elde edilmiştir (Bakınız Ek 1, Tablo 1A). Ep hatasının minimum değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 1.5458e-07 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. 8. Gaussian penceresiyle 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	Et	Ep	t (s)
32	65.1622	1.3750	4.8427e-04	0.0524	1.5458e-07	0.0748
40	63.0951	2.3087	3.8915e-04	0.0578	3.6541e-07	0.0785
48	62.9445	3.0596	3.0490e-04	0.0643	7.3066e-07	0.0771
56	63.9431	3.6819	1.6212e-04	0.0719	1.2987e-06	0.0833
64	63.4643	4.2075	1.4434e-04	0.0805	2.1137e-06	0.0822
72	58.9934	4.6451	1.5293e-04	0.0900	3.2106e-06	0.0751
80	61.8101	5.0045	8.7745e-05	0.1001	4.6102e-06	0.0757

Şekil 3.6’da Tablo 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve Tablo 1A’daki veriler ışığında 4,8,16 ve 32 olmak üzere dört farklı kanal sayısı ve on beş farklı süzgeç derecesi değeri için elde edilmiş Gaussian penceresi ile tasarlanmış CMFB tasarımları içerisinde minimum *PRE* değerlerinin elde edildiği süzgeç bankalarının frekans spektrumlarına ait grafikler gösterilmektedir. Şekil 3.6.a’da Gaussian temelli olarak tasarlanmış 4 kanallı süzgeç bankasının, Şekil 3.6.b’de 8 kanallı süzgeç bankasının, Şekil 3.6.c’de 16 kanallı süzgeç bankasının, Şekil 3.7.d’de ise 32 kanallı süzgeç bankasının analiz bankalarına ait frekans spektrum grafikleri görülmektedir.



Şekil 3. 6. Gaussian penceresiyle tasarlanmış CMFB’lerin frekans eksenı gösterimleri: (a) $M=4, N=80$; (b) $M=8, N=64$; (c) $M=16, N=128$; (d) $M=32, N=256$.

3.3.3. Önerilen Yöntem 1 ile Kosinüs Modüleli Süzgeç Bankası Tasarımı

Bu kısımda verilen bilgilerde önerilen yöntem kullanılarak elde edilen CMFB tasarımları incelenmiştir. Önerilen prototip süzgeç ile gerçekleştirilen CMFB tasarımlarından elde edilen performans parametreleri, önceki iki kısımda yer alan Kaiser ve Gaussian pencere fonksiyonları kullanılarak tasarlanan süzgeç bankaları ile karşılaştırılmıştır. Kanal sayıları ve süzgeç dereceleri tüm örnekler için sabit tutulmuş, elde edilen performans parametre değerleri sırasıyla Tablo 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12 ve Ek 1'deki Tablo 1A'da detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Tablo 3.9'da kanal sayısı 4 olan, önerilen yöntem kullanılarak tasarlanmış CMFB için elde edilen performans değerleri görülmektedir. Kanal sayısı 4 olan süzgeç bankası tasarımı için maksimum A_s değeri süzgeç derecesinin 128 olduğu durumda 95.2379 dB olarak bulunmuştur. PRE 'nin minimum değeri süzgeç derecesinin 88 olduğu durumda $1.0665e-04$ olarak elde edilmiştir. Süzgeç derecesinin değişimi ile E_s hatasının değeri arasında orantısal bir değişim söz konusu olmayıp, minimum değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için $6.3241e-09$ olarak bulunmuştur. E_p 'nin minimum değeri süzgeç derecesinin 112 olduğu durum için $5.4575e-09$ olarak elde edilmiştir. Tablo 3.9'dan E_t hatasının süzgeç derecesindeki artışa bağlı olarak artış gösterdiği görülmektedir.

Tablo 3. 9. Önerilen Yöntem 1 ile 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	80.5842	0.2579	4.4632e-08	0.0047	2.6612e-08	0.0988
40	82.4328	0.1156	4.2710e-07	0.0111	7.6949e-09	0.0963
48	80.8992	0.0474	3.7653e-08	0.0189	1.1926e-08	0.0991
56	84.7634	0.0183	4.3217e-07	0.0267	2.8607e-08	0.0994
64	81.8627	0.0077	5.1078e-08	0.0333	2.6125e-08	0.1002
72	91.9998	0.0034	3.7700e-07	0.0385	1.6536e-08	0.1028
80	82.3402	8.3024e-04	7.3679e-08	0.0427	2.1852e-08	0.1031

Tablo 3.10’da kanal sayısı 8 olan, önerilen yöntem kullanılarak tasarlanmış CMFB için elde edilen performans değerleri görülmektedir. Kanal sayısı 8 olan önerilen yöntem ile tasarlanan CMFB için A_s ’nin maksimum değeri süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 97.5860 dB olarak bulunmuştur. Tablo 3.10’da süzgeç derecesin 64 olduğu durum için PRE ’nin minimum değeri 2.1644e-04 olarak elde edilmiştir. En iyi E_s hatası minimum değerini süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda alarak 3.9278e-08 bulunmuştur (Bakınız Ek 1, Tablo 1A). E_t değeri burada da süzgeç derecesindeki artışla orantılı bir değer artışı göstermiştir. Minimum E_t hatasının Tablo 3.10’un ilk satırından süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 0.0083 olduğu görülmektedir. E_p ’nin minimum değeri ise süzgeç derecesinin 120 olduğu durum için 4.6287e-09 olarak bulunmuştur.

Tablo 3. 10. Önerilen Yöntem 1 ile 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	97.5860	0.1244	1.6029e-06	0.0083	6.7684e-08	0.1013
40	79.6996	0.0281	1.7724e-05	0.0236	9.2973e-08	0.1112
48	77.7910	0.0032	1.9921e-05	0.0340	8.5923e-08	0.1108
56	85.3906	0.0035	5.6080e-06	0.0395	5.0632e-08	0.1013
64	90.4784	2.1644e-04	1.1996e-06	0.0421	1.5815e-08	0.1119
72	69.9739	0.0028	9.7401e-06	0.0426	2.3915e-08	0.1136
80	69.8721	0.0041	1.1911e-05	0.0425	1.5098e-08	0.1086

Tablo 3.11’de kanal sayısı 16 olan, önerilen yöntem kullanılarak tasarlanmış CMFB için elde edilen performans değerleri görülmektedir. Kanal sayısı 16 olan önerilen yönteme göre tasarlanan süzgeç bankası için maksimum A_s değeri, süzgeç derecesinin 56 olduğu durum için 121.7585 dB olarak bulunmuştur. PRE ’nin minimum değeri süzgeç derecesinin 120 olduğu durum için 4.6287e-09 olarak elde edilmiştir. E_s ’nin minimum değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için 2.9002e-08 değerini almıştır. Süzgeç derecesinin 80’den büyük olduğu tasarımların performans parametre değerleri incelenmek istenirse Ek 1, Tablo 1A’ya bakılmalıdır. Tablo 3.11’de E_t hatasının minimum değerinin süzgeç derecesinin 48 olduğu durum için 1.4636e-04 olarak değer

aldığı görülmektedir. E_p hatasının en düşük değeri ise süzgeç derecesinin 128 olduğu durum için 2.5953e-07 olarak Ek 1'deki Tablo 1A'da yer almaktadır.

Tablo 3. 11. Önerilen Yöntem 1 ile 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

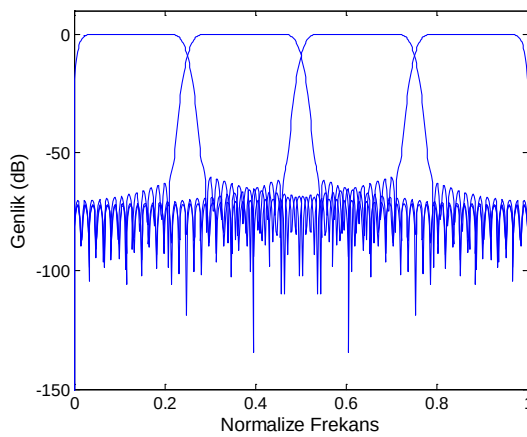
N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	70.9084	1.7960	9.2078e-05	0.0195	1.3157e-07	0.0969
40	74.7456	1.0006	4.7827e-05	0.0056	2.8525e-07	0.1032
48	76.5647	0.5155	1.9059e-05	1.4636e-04	5.1028e-07	0.1005
56	121.7585	0.2536	2.9074e-06	0.0020	7.8927e-07	0.1034
64	92.4547	0.1240	7.1709e-07	0.0083	1.0831e-06	0.1138
72	78.4565	0.0616	4.1763e-06	0.0163	1.3373e-06	0.0995
80	70.3615	0.0289	1.1248e-05	0.0238	1.4958e-06	0.1043

Tablo 3.12'de kanal sayısı 32 olan, önerilen yöntem kullanılarak tasarlanmış CMFB için elde edilen performans değerleri görülmektedir. Önerilen yöntem ile tasarlanan 32 kanallı CMFB için A_s 'nin maksimum değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için 81.8740 dB olarak bulunmuştur. PRE 'nin minimum değeri süzgeç derecesinin 256 olduğu durumda 1.9503e-04 değerini almıştır. En düşük E_s hatası süzgeç derecesinin 1024 değerinde 4.6657e-08 olarak elde edilmiştir. Süzgeç derecesinde artma oldukça E_t hatasında da artış gözlemlenmiştir. Minimum E_t hatası süzgeç derecesinin 96 olduğu durum için 5.8028e-05 olarak bulunmuştur. E_p hatasının aldığı en düşük değer süzgeç derecesinin 512 olduğu durum için 4.6362e-08 dir. Süzgeç derecesinin 80'den büyük olduğu tasarımların performans parametre değerleri incelenmek istenirse Ek 1, Tablo 1A'ya bakılmalıdır. Süzgeç bankası tasarımında durdurma bandı zayıflatması değerinin 80 dB üzerinde olması ve bunun yanında PRE 'nin düşük değerler alması istenilen özelliklerdendir.

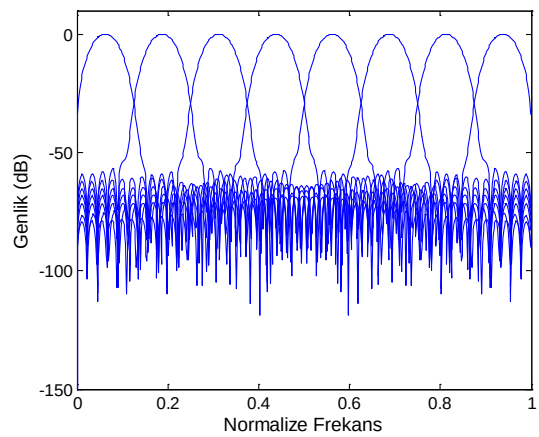
Tablo 3. 12. Önerilen Yöntem 1 ile 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	Es	Et	Ep	t (s)
32	71.9744	4.6241	1.8940e-04	0.0622	1.5332e-07	0.1099
40	66.1193	3.6877	1.9648e-04	0.0513	3.6353e-07	0.1021
48	67.1303	2.9345	1.3174e-04	0.0400	7.2883e-07	0.1060
56	67.9081	2.3098	7.3449e-05	0.0291	1.2988e-06	0.0995
64	64.7650	1.7816	9.3009e-05	0.0193	2.1192e-06	0.1086
72	64.9760	1.3390	5.7226e-05	0.0113	3.2276e-06	0.1159
80	63.6632	0.9750	4.6473e-05	0.0053	4.6478e-06	0.1080

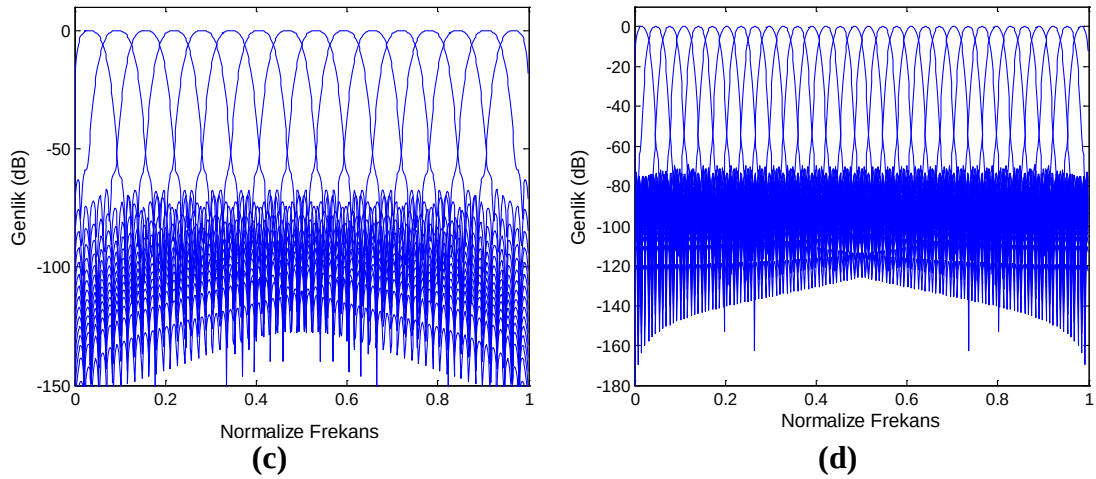
Şekil 3.7’de Tablo 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 ve Tablo 1A’daki veriler ışığında 4,8,16 ve 32 olmak üzere dört farklı kanal sayısı ve on beş farklı süzgeç derecesi için önerilen yöntem kullanılarak elde edilen CMFB tasarımları içerisinde minimum PRE değerlerinin bulunduğu süzgeç bankalarının frekans spektrumlarına ait grafikler gösterilmektedir. Şekil 3.7.a’da önerilen yöntem ile tasarlanan 4 kanallı süzgeç bankasının, Şekil 3.7.b’de 8 kanallı süzgeç bankasının, Şekil 3.7.c’de 16 kanallı süzgeç bankasının, Şekil 3.7.d’de ise 32 kanallı süzgeç bankasının analiz bankası kısmına ait frekans spektrumu grafiği verilmiştir.



(a)



(b)



Şekil 3. 7. Önerilen Yöntem 1 ile tasarlanan CMFB'lerin frekans eksenı gösterimleri: **(a)** $M=4$, $N=88$; **(b)** $M=8$, $N=64$; **(c)** $M=16$, $N=128$; **(d)** $M=32$, $N=256$.

Kaiser, Gaussian ve önerilen yöntem kullanılarak gerçekleştirilen tasarım örneklerinin birbirleriyle karşılaştırılmaları sonucu elde edilen değerler Tablo 3.13'te verilmiştir. Bu karşılaştırma tablosunda her bir kanal sayısı için sırasıyla A_s ve PRE değerlerinin en iyi olduğu durum incelenerek o duruma ait süzgeç derecesi baz alınmış ve tabloya eklenmiştir. Tablonun ilk iki satırında sırasıyla 4 kanallı süzgeç bankası için A_s ve PRE değerlerinin en iyi elde edildiği satırlar yer almaktadır. 8 kanal için 3. ve 4. satırlarda; 16 kanal için 5. ve 6. satırlarda; 32 kanal için 7. ve 8. satırlarda yine A_s ve PRE değerlerinin en iyi elde edildiği satırlar seçilmiştir.

Kanal sayısı 4 olan süzgeç bankası tasarımları içinde Kaiser penceresinin en iyi A_s değeri $N=32$ için 92.5803; Gaussian penceresinin en iyi A_s değeri $N=1024$ için 92.2537; önerilen yöntemin en iyi A_s değeri $N=128$ için 95.2379 olarak elde edilmiştir. Önerilen yöntemin A_s değeri diğerlerinden daha iyidir. Bu yüzden Tablo 3.13'ün ilk satırında en iyi A_s değerinin olduğu satır olan 128 seçilmiştir. Bu seçim yapılırken dikkat çeken bir diğer husus Gaussian penceresi ile yapılan tasarımın yüksek süzgeç uzunluğu ile en kötü A_s değerini verdiğidir. Tablo 3.13'ün ikinci satırında birinciye benzer şekilde yapılan karşılaştırmada bu kez en iyi PRE değeri esas alınmıştır. Kanal sayısı 4 olan süzgeç bankası tasarımlarında her üç tasarım örneğine bakılacak olursa Kaiser penceresi ile elde edilen minimum PRE değeri 5.9945, Gaussian penceresi ile elde edilen minimum PRE değeri 5.7696, önerilen yöntem ile elde edilen minimum PRE değeri süzgeç derecesinin 88 olduğu durum için $1.06e-04$ olarak bulunmuştur. Önerilen yöntemin verdiği hata

değeri diğerlerinden oldukça iyi olduğundan karşılaştırma tablosu için seçilen süzgeç derecesi değeri 88 belirlenerek karşılaştırma tablosunun 2. Satırına eklenmiştir. Bu şekilde diğer kanal sayıları için de ilk satır en iyi A_s değerine ve ikinci satır en iyi PRE değerine göre belirlenerek karşılaştırma tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 3.13'te tüm kanal sayıları için elde edilen karşılaştırmalı sonuçlardan da görüldüğü gibi önerilen yöntem kullanılarak tasarlanan süzgeç bankalarının performans parametreleri, Kaiser ve Gaussian penceresi ile gerçekleştirilen süzgeç bankalarının performans parametrelerinden daha iyi sonuçlara sahiptir.

Tablo 3. 13. Kaiser, Gaussian ve Önerilen Yöntem 1 için karşılaştırma tablosu.

M	N	<i>Kaiser</i>		<i>Gaussian</i>		<i>Önerilen Yöntem</i>	
		A_s	PRE	A_s	PRE	A_s	PRE
4	128	75.4952	6.0105	82.5015	6.0206	95.2379	2.6160e-04
4	88	76.2029	6.0164	82.7939	6.0206	89.7997	1.0665e-04
8	32	82.0220	5.9197	90.5294	5.8734	97.5860	0.1244
8	64	71.6395	6.0108	75.3961	6.0205	90.4784	2.1644e-04
16	56	64.2080	5.8016	77.8529	5.7301	121.7585	0.2536
16	128	71.3378	6.0107	71.5437	6.0203	77.1504	3.4609e-06
32	1024	82.1161	6.0173	81.8438	6.0123	81.8740	0.0041
32	256	73.9259	6.0108	66.3138	6.0202	72.0365	1.9503e-04

Tablo 3.13'ün 3. ve 4. satırlarında sırasıyla kanal sayısı 8 olan tasarımlar içinde en iyi A_s ve en iyi PRE değerinin elde edildiği süzgeç dereceleri seçilmiştir. Süzgeç derecesinin maksimum A_s değeri 32 olduğu durum için 97.5860 dB olarak ve en iyi PRE değeri süzgeç derecesinin 64 olduğu durum için 2.16e-04 olarak önerilen yöntem ile yapılan tasarımlardan elde edilmiştir. Kanal sayısı 16 ve 32 olan tasarımlar içinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kanal sayısının 16 olduğu durumda süzgeç derecesinin 56 olduğu durum için elde edilen A_s değeri 121.7585 dB olup bu değer bu kısımda yapılan tüm incelemeler içindeki maksimum A_s değeridir. Benzer şekilde kanal sayısının 16 ve süzgeç derecesinin 128 olduğu durumda elde edilen minimum PRE değeri 3.46e-06 ile tüm tasarımlar

içindeki minimum hata değeridir. Tablo 3.13'ün son iki satırında 32 kanallı tasarımlar içinde yine en iyi A_s ve en iyi PRE değerinin elde edildiği süzgeç dereceleri temel alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Minimum PRE değeri süzgeç derecesinin 256 olduğu durumda $1.9503e-04$ olarak elde edilirken maksimum A_s değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için 82.1161 dB olarak Kaiser ile elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dikkat çekici olan bir diğer önemli nokta, önerilen yöntem ile elde edilen ve diğer tasarımlardan daha iyi olan A_s değerlerinin daha düşük süzgeç dereceleri ile gerçekleştirilebildiğidir.

Süzgeç bankası tasarımı söz konusu olduğunda prototip süzgecin başarımı doğrudan doğruya süzgeç bankasının performansını etkileyen temel parametredir. Tasarlanan prototip süzgece DCT uygulanması yoluyla CMFB elde edilmiş olur. Süzgeç bankasındaki temel bileşen prototip süzgeç olduğundan, süzgeç bankasını optimize edebilmek için prototip süzgeci optimize etmek gerekir. Bu kısımda önerilen yöntem ile tasarlanan prototip süzgecin performansı, literatürdeki diğer bazı çalışmalarla kıyaslanarak karşılaştırma sonuçları Tablo 3.14'te verilmiştir. Tabloda verilen sayısal değerlere bakıldığında önerilen prototip süzgecin literatürdeki benzerlerinden daha iyi sonuçlara sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 14. Önerilen prototip süzgecin performans karşılaştırması.

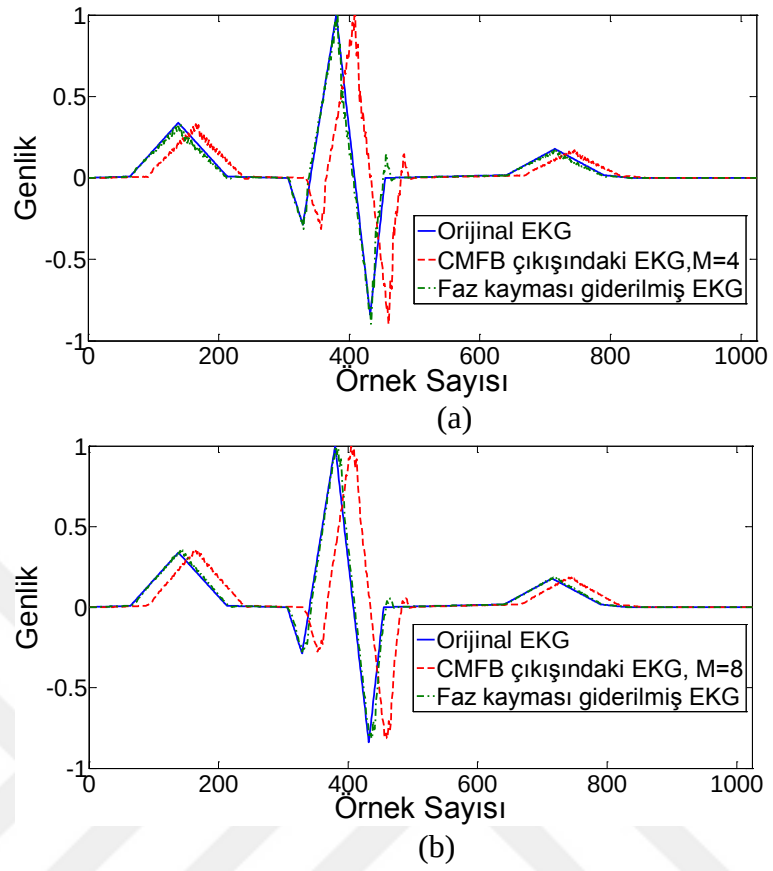
<i>Karşılaştırılan Yöntem</i>	<i>N</i>	<i>α</i>	<i>β</i>	<i>A_s (dB)</i>
Yöntem [108]	127	3,08	-	50.02
<i>Önerilen Yöntem 1</i>	128	3,08	-	81.59
Yöntem [109]	48	-	4	65.84
<i>Önerilen Yöntem 1</i>	48	-	4	74.22
Yöntem [110]	20	-	5.65	75
<i>Önerilen Yöntem 1</i>	20	-	5.65	84.89
Yöntem [111]	127	-	6	58.79
<i>Önerilen Yöntem 1</i>	128	-	6	85.81

Buraya kadar gerçekleştirilen her üç tasarım örneğinin performans parametrelerine dair yapılan incelemelerde süzgeç derecesi değerleri 32-1024 aralığında onbeş farklı değerle sınırlandırılmıştır. Tüm tasarımlar için süzgeç derecesi değerinin 80'den fazla olduğu durumlardaki performans parametreleri incelenmek istenirse EK 1'de bulunan Tablo 1A'ya bakılabilir.

3.3.4. Önerilen Yöntem 1'in EKG İşaretine Uygulanması

Çalışmanın bu bölümünde önerilen yöntem ile Bölüm 3.3'te tasarlanan CMFB'nin performansını genlik bozunumu ve korelasyon açısından değerlendirebilmek amacıyla uygulama örneği verilmiştir. Uygulamada kullanılmak üzere Matlab programıyla benzetim ortamında üretilen bir EKG (Elektrokardiyografi) işareti temel alınmıştır. EKG işareti kalpte bulunan kasların ürettiği elektriksel işaretlerden meydana gelir ve birçok kalp rahatsızlığının teşhisinde kullanılır [112]. Uygulamada sıklıkla tercih edilen bir işaret olan EKG'nin örnek sayısı bu çalışmada 1024 olarak alınmıştır.

Uygulamada kanal sayısı birinde 4 diğerinde 8 olan, süzgeç derecesi $N-1=32$ olarak verilen iki farklı süzgeç bankası tercih edilmiştir. Bu iki süzgeç bankasının önerilen yöntem kullanılarak gerçekleştirilen prototip süzgeçlerinin katsayıları sırasıyla Ek B ve Ek C'de verilmiştir. Uygulama sonucunda süzgeç bankası çıkışında elde edilen EKG işaretinde faz kayması mevcuttur. Faz kaymalı olan ve faz kayması giderilen her iki işaret Şekil 3.8'de görüldüğü gibidir. 4 kanallı yapının kullanıldığı durum için orijinal EKG işareti ile 0.1215 rad.'lık bir faz kayması mevcut iken, 8 kanallı yapının kullanıldığı durumda 0.1260 rad.'lık bir faz kayması değeri elde edilmiştir. 4 kanallı CMFB'nin kullanıldığı durum için genlik bozunumu ve korelasyon sırasıyla 0.2505 ve 0.9879 iken, 8 kanallı CMFB'nin kullanıldığı durum için bu değerler 0.6408 ve 0.9881 olarak bulunmuştur. Süzgeç derecesi aynı tutulup kanal sayısı arttırıldığında korelasyon değerinin daha iyi elde edildiği görülmüştür.



Şekil 3. 8. 4 kanallı ve 8 kanallı süzgeç bankalarının EKG işaretine uygulanması sonucu elde edilen grafikler: (a) 4 Kanallı süzgeç bankasının kullanıldığı durum, (b) 8 Kanallı süzgeç bankasının kullanıldığı durum.

4. BÖLÜM

SEZGİSEL ALGORİTMALARLA KOSİNÜS MODÜLELİ SÜZGEÇ BANKASI TASARIMI

Tez çalışmasının bu bölümünde sezgisel algoritmalar kullanılarak süzgeç bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımlar için yine iki farklı ayarlanabilir pencere fonksiyonu olan Kaiser ve Gaussian pencereleri kullanılmıştır. Bölüm içeriğinde iki farklı yöntem önerilmiştir. Bölüm 4.1’de sunulan Önerilen Yöntem 2’de prototip süzgeç tasarlanırken kullanılan pencere fonksiyonunun ayarlanabilir parametresi ve prototip süzgecin kesim frekansı sezgisel algoritmalarla optimize edilmiştir. Bölüm 4.2’de verilen Önerilen Yöntem 3’te ise, Önerilen Yöntem 1’de kullanılan amaç fonksiyonunun yerine farklı amaç fonksiyonu kullanılarak geliştirilen ve sezgisel algoritmalarla gerçekleştirilen CMFB tasarımlarından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. KULLANILAN SEZGİSEL ALGORİTMALAR

Tez çalışmasının bu kısmında sunulan Önerilen Yöntem 2, ABC algoritması ile tasarlanmıştır. Önerilen Yöntem 3’te ise ABC, PSO ve DE algoritmalarının kullanıldığı üç farklı tasarım yer almaktadır. Bölümün devamında tasarımlarda kullanılan sezgisel algoritmalar kısaca açıklanacaktır.

4.1.1. ABC Algoritması

ABC algoritması doğadaki bal arısı sürülerinin besin ararken sergilediği iş bölümü ve organizasyon davranışlarından esinlenilerek geliştirilen sürü tabanlı sezgisel bir algoritmadır [89, 90]. Algoritma az sayıda kontrol parametresi olması ve sadeliği

sayesinde birçok mühendislik probleminin çözümünde tercih edilmektedir [113-120]. Algoritmaya göre üç çeşit yapay arı tanımlanmış ve bu isimler algoritmanın aşamalarını tanımlamışlardır: işçi arılar, gözcü arılar, kâşif arılar. Algoritmada başlangıç yiyecek kaynakları rastgele olarak üretilir. Üretilen her bir kaynak, problemin olası çözümleri anlamına gelmektedir. İşçi arılar yiyecek kaynaklarına gönderilir ve nektar miktarları hesaplanır. Nektarı biten işçi arı kâşif arıya dönüşür. Gözcü arılar kovanda bekler, görevlendirildikleri zaman işçi arıların belirlediği nektar miktarlarından faydalanarak yeni kaynaklara yönlendirilir. Kâşif arılar ise yeni yiyecek kaynakları için rastgele aramalar yaparlar. Bu rastgelelik algoritmanın yerel optimumlara takılmasını engeller. Sonlandırma kriterleri sağlanana kadar algoritma döngüsü devam eder. Algoritmanın sözde kodu aşağıda verildiği gibidir [91].

- Başlangıç yiyecek kaynaklarını oluştur ve kâşif arıları bu kaynaklara gönder
- **REPEAT**
 - İşçi arıları onların yiyecek kaynaklarına gönder
 - Gözcü arıları seçilen yiyecek kaynaklarına gönder
 - Kâşif arıları yeni kaynaklar aramaları için araştırma alanına gönder
- **UNTIL**

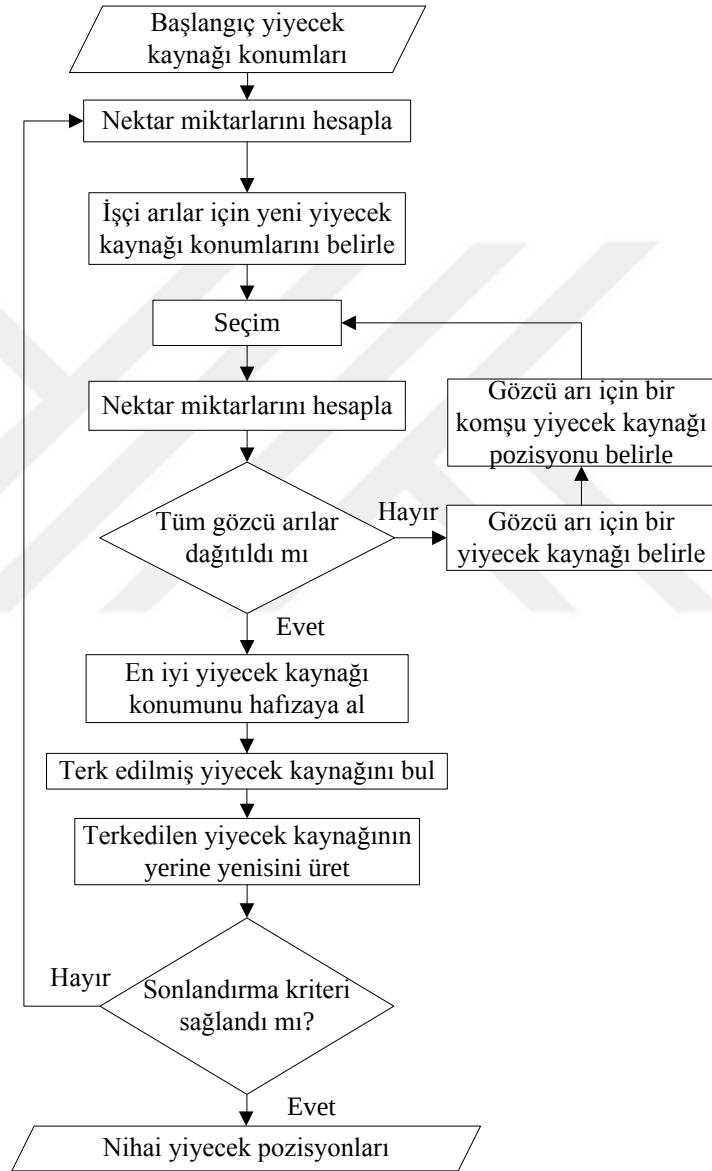
Algoritmanın başlangıcında, ABC başlangıç popülasyonunu rastgele olarak üretir. Algoritmada ‘yiyecek kaynaklarının konumları’ ve ‘yiyecek kaynaklarının nektar miktarları’ sırasıyla problemin olası çözümlerini ve ilgili çözümlerin uygunluk değerlerini ifade eder. Yiyecek kaynaklarının sayısı işçi arıların sayısına eşittir. Bir sonraki çevrimde önceki kaynağın komşuluğunda elde edilen yeni kaynak konumu Eşitlik 4.1 ile verilmiştir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (4.1)$$

Burada ϕ_{ij} $[-1, 1]$ aralığında rastgele bir değer; x_{ij} i 'inci yiyecek kaynağının j 'inci boyutu; x_k ise rastgele seçilmiş bir yiyecek kaynağıdır. Bir gözcü arı bir yiyecek kaynağını o kaynağın olasılık değerini ifade eden p_i ye göre Eşitlik 4.2'teki gibi seçer:

$$p_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_i} \quad (4.2)$$

Burada SN popülasyon büyüklüğü, fit_i ise i 'inci kaynağın uygunluk değeridir. Kâşif arılar terkedilmiş yiyecek kaynaklarını yenileriyle değiştirirler. Bu işlem ABC'de rastgele bir değer üreterek ve bu değeri terkedilmiş olanla değiştirerek gerçekleştirilir. ABC algoritmasının akış diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmiştir [91, 121].



Şekil 4. 1. ABC Algoritmasının Akış Diyagramı.

4.1.2. PSO Algoritması

PSO algoritması 1995 yılında J. Kennedy ve R. C. Eberhart tarafından sunulan, balık ve kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek geliştirilen sürü tabanlı bir sezgisel

algoritmadır [70, 71]. Algoritma başlangıç parçacıklarını oluşturarak ve onlara başlangıç hızlarını atayarak başlar. Her parçacık konumundaki amaç fonksiyonunu değerlendirir ve en iyi fonksiyon değerini ve en iyi konumu belirler [122]. Mevcut hıza, parçacıkların en iyi bireysel konumlarına ve komşularının en iyi konumlarına bağlı olarak yeni hızları seçer. Daha sonra parçacık konumlarını, hızlarını ve komşularını yinelemeli olarak günceller. Yeni konum, eski konum ve parçacıkları sınırlar içinde tutmak için değiştirilmiş olan hızla hesaplanır. Algoritma bir durma kriterine ulaşana kadar iterasyonlar devam eder. N boyutlu bir arama uzayında, j parçacığının konumu ve hızı sırasıyla $X_j = (X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jn})$ ve $V_j = (V_{j1}, V_{j2}, \dots, V_{jn})$ vektörleri ile temsil edilir [122]. X_{pbest} ve X_{gbest} sırasıyla parçacık j 'nin en iyi pozisyonu ve grubun global en iyi pozisyonu olsun. Her bir parçacığın modifiye edilmiş hızı ve pozisyonu o anki hızı ve X_{pbest} ve X_{gbest} 'ten olan mesafeyi kullanarak şu şekilde hesaplanır [122].

$$V_{ij}^{k+1} = V_{ij}^k + C_1 r_p (X_{pbestij}^k - X_{ij}^k) + C_2 r_g (X_{pbesti}^k - X_{ij}^k) \\ i = 1, 2, \dots, N \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (4.3)$$

Burada k iterasyon sayısı, V_{ij}^{k+1} i . değişkenin j . parçacığının $k+1$ 'inci iterasyondaki hızı, X_{ij}^k i . değişkenin j . parçacığının k 'inci iterasyondaki pozisyon değeri, C_1 ve C_2 sırasıyla bilişsel ve sosyal parametre, N toplam değişken sayısı, $X_{pbestij}^k$ i . değişkenin j . parçacığının k 'inci iterasyondaki bireysel en iyi pozisyonu, X_{pbesti}^k i . değişkenin k 'inci iterasyona kadar olan global en iyi değeridir. r_p ve r_g ise ayrı üretilen düzgün dağılımlı rastgele sayılardır. Hız değerleri Eşitlik 4.3'e göre belirlenen her bir parçacığın pozisyonu Eşitlik 4.4'e göre güncellenir:

$$X_{ij}^{k+1} = X_{ij}^k + V_{ij}^{k+1} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, N \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (4.4)$$

PSO'nun yakınsama oranını arttırmak amacıyla Shi ve Eberhart tarafından orijinal PSO'ya eklenen *atalet ağırlığı* isimli parametre, Eşitlik 4.4.'deki V_{ij}^k terimiyle çarpılarak kullanılmaktadır [122].

4.1.3. DE Algoritması

Storn ve Price tarafından geliştirilen DE, popülasyon tabanlı bir araştırma yöntemidir. [123, 124]. Başlangıçta algorithma NP adet D boyutlu parametreden oluşan başlangıç

popülasyonu üretilir. NP, minimizasyon işlemi boyunca sabit kalır [124]. İlk vektör popülasyonu rastgele seçilir ve tüm parametre uzayını kapsamalıdır. Aksi belirtilmedikçe tüm rastgele kararların düzgün bir olasılık dağılımı olduğu kabul edilmektedir.

DE algoritması birçok açıdan genetik algoritmaya benzer. Genetik algorithmadan farklı olarak DE algoritması yeni parametre vektörlerini iki popülasyon vektörü arasındaki ağırlık farkını üçüncü bir vektöre ekleyerek oluşturur. Bu işleme ‘*mutasyon*’ adı verilmektedir. Dolayısıyla popülasyon büyüklüğü her zaman üçten büyük olmalıdır. Mutasyona uğrayan vektörün parametreleri daha sonra hedef vektör olarak adlandırılan önceden belirlenmiş başka bir vektörün parametreleriyle karıştırılarak yeni bir deneme vektörü elde edilir. Parametre karıştırma genellikle ‘*çaprazlama*’ olarak adlandırılır [124]. Eğer yeni vektör, hedef vektörden daha düşük bir maliyet fonksiyonu değerine sahipse, yeni vektör hedef vektörü bir sonraki nesilde değiştirir. Bu son işleme ‘*seleksiyon*’ denir. Her bir popülasyon vektörünün bir kez hedef vektör olarak hizmet etmesi gerekir. Böylece tüm NP karşılaştırmaları bir jenerasyon içinde gerçekleşir. DE’nin temel adımları şu şekildedir:

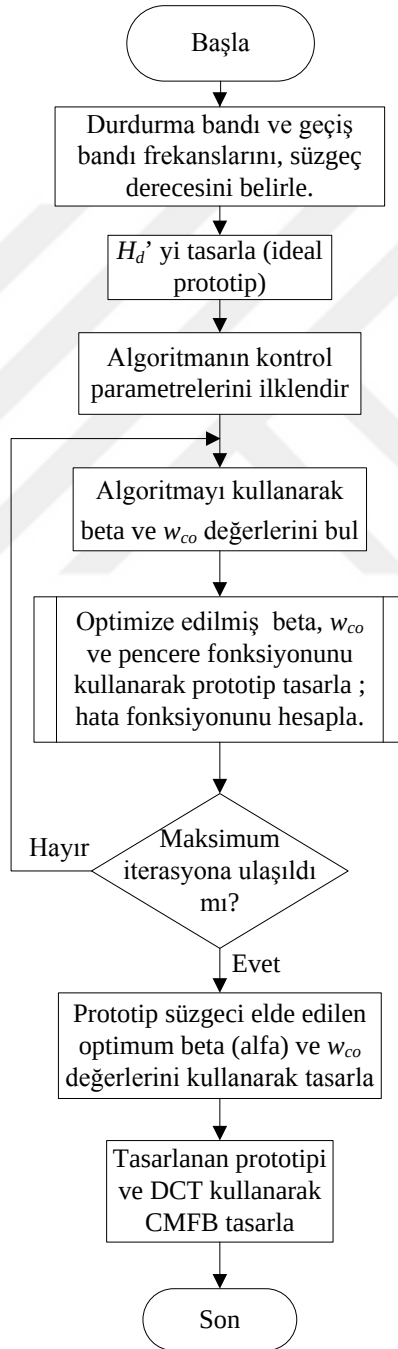
- Kontrol parametrelerini ilklendir
- Başlangıç popülasyonunu oluştur
- **UNTIL**
 - o Mutasyon/Rekombinasyon
 - o Değerlendirme/Seleksiyon
- **SON** (durdurma kriteri sağlanana dek)

4.2. ÖNERİLEN YÖNTEM-2

Bu kısımdaki CMFB tasarımı Kaiser ve Gaussian pencereleri ve ABC algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Prototip süzgecin kesim frekansı w_{co} ve ayarlanabilir pencere parametresi (Kaiser için β ve Gaussian için α) ABC algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Prototip süzgeç tasarımında pencere fonksiyonu kullanmanın kolay ve verimli bir yol olması ve normalde deneysel olarak elde edilen ve kullanılan pencere fonksiyonunun ayarlanabilir parametresinin optimize edilmesi prototip süzgeç performansını arttırmıştır. Önerilen yöntemde amaç fonksiyonu Eşitlik 4.5 ile belirlenir:

$$\phi = |H_{ideal}(e^{j\omega}) - H_{elde edilen}(e^{j\omega})| \quad (4.5)$$

Önerilen yöntemin akış diyagramı Şekil 4.2’de verilmiştir. Algoritmada iterasyon sayısı boyunca minimize edilerek optimum değer elde edilmeye çalışılan β , w_{co} ve DCT ile CMFB tasarımı yapılır.



Şekil 4. 2. Önerilen yöntemin akış diyagramı

4.3. BENZETİM SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR-2

Önerilen yöntem için dört farklı tasarım örneği sunularak yöntemin performansı bu örnekler üzerinden incelenmiştir. Örneklerde sırasıyla kanal sayısı 4, 8, 16 ve 32 alınarak, süzgeç bankasının prototip süzgeci hem Kaiser penceresi hem de Gaussian penceresi ile tasarlanmıştır. Kesim frekansı w_{co} ve pencere fonksiyonuna ait ayarlanabilir parametre değeri (Kaiser için β ve Gaussian için α) ABC algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Tüm örneklerde geçirme bandı sınır frekansı ve durdurma bandı sınır frekansı literatüre uygun biçimde $\pi/2M'$ 'e yakın birer değer olarak belirlenmiştir [53]. Tasarım örneklerinde kullanılan ABC algoritması kontrol parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Optimize edilen parametre sayısı iki olduğundan popülasyon büyüklüğü 20 olarak alınmıştır, algoritmayı çalıştırma sayısı 30'dur.

Tablo 4. 1. ABC Algoritması Kontrol Parametreleri

Popülasyon Büyüklüğü	20
Limit	100
Maksimum Çevrim Sayısı	100
Çalışma Sayısı	30

4.1.2.1. Tasarım Örneği 1

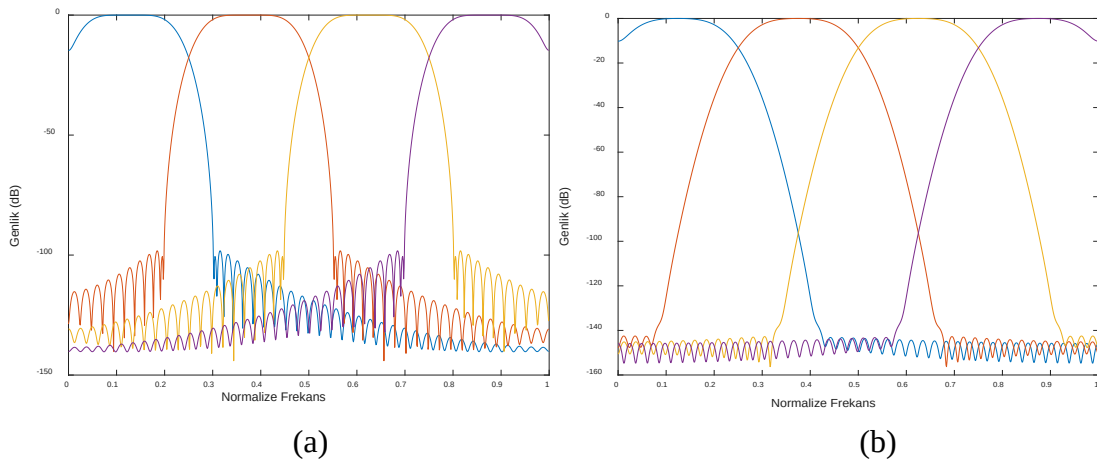
Bu örnekte $M=4$ kanallı CMFB tasarlanmıştır. Geçiş bandı sınır frekansı değeri $w_p=(0.1\pi)/(2M)=0.03925$ ve durdurma bandı sınır frekansı değeri $w_s=(0.4\pi)/(2M)=0.15700$ dir. $N=2mM$ (m tamsayı) olacak şekilde 10 farklı süzgeç uzunluğu değeri için süzgeç bankası tasarımı yapılmıştır. Her iki pencere fonksiyonu için ABC fonksiyonu kullanılarak optimize edilen w_{co} , β ve α değeri ile hesaplanan PRE ve A_s değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

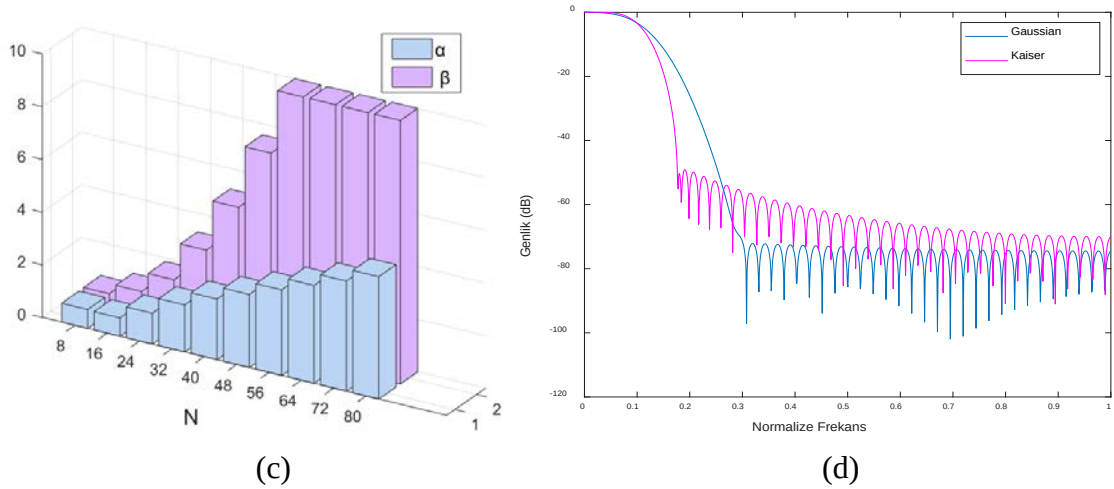
Tablo 4.2, Kaiser penceresi ve Gaussian penceresi olmak üzere iki farklı kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda Kaiser penceresi ile tasarlanan 4 kanallı CMFB parametreleri, ikinci kısımda ise Gaussian penceresi ile tasarlanan 4 kanallı CMFB parametreleri yer almaktadır. N değeri arttıkça elde edilen parametre değerlerinde iyileşme görülmüştür. Kaiser penceresi için $N=56$ dan sonra $\beta=10.00$ 'a yakınsarken, kesim frekansı $N=64$ ten sonra $\alpha=0.0967$ değerinde sabit kalmıştır.

Tablo 4. 2. ABC ile tasarlanan 4 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	<i>Kaiser Penceresi</i>				<i>Gaussian Penceresi</i>			
	β	w_{co}	PRE	A_s	α	w_{co}	PRE	A_s
8	0.7421	0.0685	0.0722	7.7861	0.7209	1e-07	0.0723	7.7862
16	1.1243	0.1017	0.0018	21.7424	0.7004	0.1029	0.0018	21.7958
24	1.8725	0.1008	4.2437e-04	25.1919	1.1737	0.1005	4.5783e-04	25.1523
32	3.2909	0.0977	7.6760e-05	30.1805	1.7881	0.0967	1.2623e-04	29.1472
40	5.2151	0.0969	7.0295e-08	27.9455	2.3092	0.0960	6.3159e-07	26.5410
48	7.5722	0.0966	1.2132e-08	27.3759	2.7789	0.0960	4.2323e-07	26.3687
56	10.000	0.0965	8.4916e-11	27.6315	3.2547	0.0960	1.8199e-08	26.1035
64	10.000	0.0967	8.4099e-12	32.9508	3.7201	0.0960	4.0539e-11	26.1011
72	10.000	0.0967	7.8592e-11	39.3045	4.1851	0.0960	1.5478e-11	26.1001
80	10.000	0.0967	1.0487e-11	46.9199	4.6501	0.0960	4.8175e-14	26.1008

En düşük *PRE* değeri $N=64$ için $8.4099e-12$ olarak elde edilirken, en iyi durdurma bandı zayıflaması değeri ise $N=80$ değeri için 46.9199 olarak elde edilmiştir. Tablonun son dört sütunundaki Gaussian penceresi parametrelerinde α değeri N 'deki artışa bağlı olarak düzenli artış göstermiştir. Kesim frekansı $N=40$ tan sonra 0.0960 değerine yakınsamıştır. En düşük *PRE* değeri $N=80$ için $4.8175e-14$ olarak bulunurken, en iyi durdurma bandı zayıflaması $N=32$ için 29.1472 dB olarak bulunmuştur. Tablo 4.2'de algoritmanın hesaplatamadığı en kötü kesim frekansı değeri ise $N=8$ için $1.0000e-07$ 'dir ve belirlenen w_p - w_s aralığı dışında kalan tek değerdir. Tasarım örneği 1'e ait analiz süzgeçlerin büyüklük yanıtı ile α ve β grafikleri Şekil 4.3'te görülmektedir.





Şekil 4. 3. (a) Kaiser penceresiyle 4 Kanallı 80. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (b) Gaussian penceresiyle 4 Kanallı 80. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (c) Tasarım örneği 1 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.

4.1.2.2. Tasarım Örneği 2

Bu örnekte $M=8$ kanallı CMFB tasarlanmıştır. Geçiş bandı sınır frekansı değeri $w_p=(0.1\pi)/(2M)=0.019625$ ve durdurma bandı sınır frekansı değeri $w_s=(0.4\pi)/(2M)=0.078500$ dir. $N=2mM$ (m tamsayı) olacak şekilde on farklı değerde süzgeç uzunluğu değeri için süzgeç bankası tasarımı yapılmıştır. Her iki pencere fonksiyonu için ABC fonksiyonu kullanılarak optimize edilen w_{co} , β ve α değeri ile hesaplanan PRE ve A_s değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3, Tablo 4.2'ye benzer şekilde yine Kaiser penceresi ve Gaussian penceresi olmak üzere iki farklı kısımdan oluşmaktadır. Bu kez yapılan tasarım $M=8$ kanallıdır. Tablo 4.3 için de genel olarak N değeri arttıkça elde edilen parametre değerlerinde iyileşme görülmüştür. Kaiser penceresi için $N=128$ 'den sonra $\beta=10.00$ 'a yakınsarken, kesim frekansı $N=96$ dan sonra yakın değerlerde seyrederek 0.0479 değerinde sabit kalmıştır.

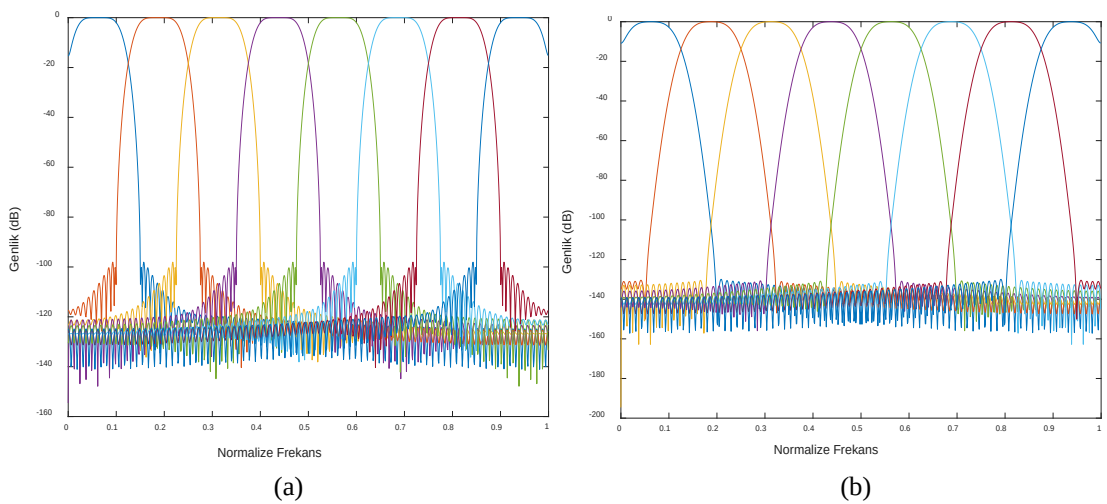
En düşük PRE değeri $N=128$ için $1.8901e-12$ olarak elde edilirken, en iyi durdurma bandı zayıflaması değeri ise $N=160$ değeri için 49.7286 dB olarak elde edilmiştir. Gaussian penceresi parametrelerinde α değeri yine N deki artışa bağlı olarak düzenli artış göstermiştir. Kesim frekansı $N=80$ den sonra 0.0476 değerine yakınsamıştır. En düşük PRE değeri $N=160$ için $1.7007e-13$ olarak bulunurken, en iyi durdurma bandı zayıflaması $N=64$ için 34.2173 dB olarak bulunmuştur. Tablo 4.3'te algoritmanın hesaplatamadığı en

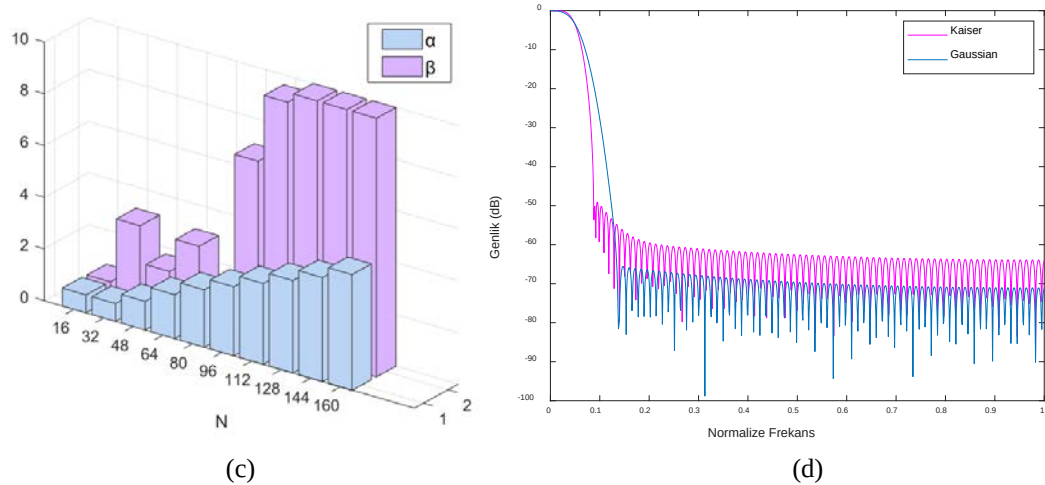
kötü kesim frekansı değeri ise $N=16$ için $1.0000e-07$ dir ve belirlenen $w_p - w_s$ aralığı dışında kalan tek değerdir.

Tablo 4. 3. ABC ile tasarlanan 8 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	<i>Kaiser Penceresi</i>				<i>Gaussian Penceresi</i>			
	Beta	w_{co}	PRE	A_s	Alpha	w_{co}	PRE	A_s
16	0.6752	0.0344	0.0408	7.0585	0.6899	1e-07	0.0409	7.0582
32	3.1742	0.0044	0.0011	22.9546	0.6881	0.0505	0.0011	23.0192
48	1.7426	0.0502	2.3623e-04	26.7439	1.1042	0.0501	2.5259e-04	26.6991
64	3.0490	0.0485	5.7491e-05	36.0650	1.6980	0.0481	8.6059e-05	34.2173
80	0.0480	0.0480	1.1360e-07	31.1485	2.2183	0.0476	6.8799e-07	28.9974
96	7.0060	0.0479	1.5792e-08	30.2364	2.6680	0.0476	3.5021e-07	28.7416
112	9.6166	0.0478	9.8130e-11	29.5678	3.1295	0.0476	2.2066e-08	28.2672
128	10.0000	0.0478	1.8901e-12	34.4925	3.5778	0.0476	2.3459e-11	28.2611
144	10.0000	0.0479	3.8292e-11	41.3656	4.0252	0.0476	2.7676e-11	28.2586
160	10.0000	0.0479	8.4425e-12	49.7286	4.4724	0.0476	1.7007e-13	28.2605

Tasarım Örneği 2'ye ait analiz süzgeçlerin büyüklük yanıtı ile α ve β grafikleri Şekil 4.4'te görülmektedir.





Şekil 4. 4. (a) Kaiser penceresiyle 8 Kanallı 160. dereceden CMFB'nın analiz süzgeci için genlik yanıtı, (b) Gaussian penceresiyle 8 Kanallı 160. dereceden CMFB'nın analiz süzgeci için genlik yanıtı, (c) Tasarım Örneği 2 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Tasarım Örneği 2 için prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.

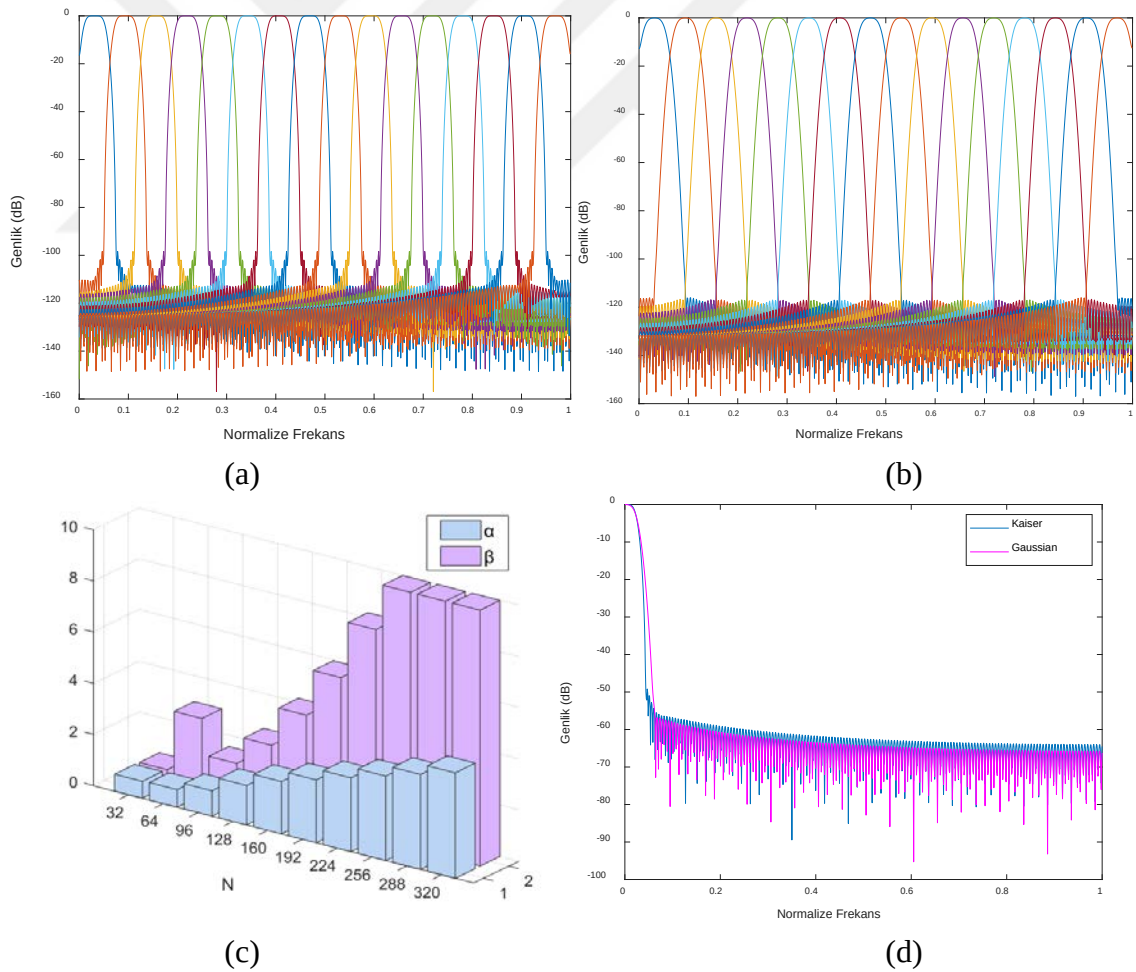
4.1.2.3. Tasarım Örneği 3

Bu örnekte $M=16$ kanallı CMFB tasarlanmıştır. Geçiş bandı sınır frekansı $w_p=(0.1\pi)/(2M)=0.0098125$ ve durdurma bandı sınır frekansı $w_s=(0.4\pi)/(2M)=0.03925$ dir. $N=2mM$ (m tamsayı) olacak şekilde 10 farklı süzgeç uzunluğu değeri için süzgeç bankası tasarımı yapılmıştır. Kaiser ve Gaussian için ABC ile optimize edilen w_{co} , β ve α değeri ile hesaplanan PRE ve A_s değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4. 4. ABC ile tasarlanan 16 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	<i>Kaiser Penceresi</i>				<i>Gaussian Penceresi</i>			
	Beta	w_{co}	PRE	A_s	Alpha	w_{co}	PRE	A_s
32	0.6286	0.0165	0.0222	6.8797	0.6540	1.0e-07	0.0222	6.8788
64	2.9787	0.0037	6.8853e-04	26.4045	0.6767	0.0245	6.9049e-04	26.3512
96	1.5687	0.0247	1.2131e-04	31.7809	0.9828	0.0247	1.3850e-04	32.1497
128	2.6306	0.0238	5.6479e-05	39.6836	1.5355	0.0237	7.2379e-05	43.5815
160	4.1560	0.0235	3.9966e-07	42.0640	2.0396	0.0233	1.3295e-06	35.5803
192	5.9733	0.0235	4.1258e-08	38.7077	2.4527	0.0233	4.0827e-07	34.7402
224	8.1934	0.0234	8.4099e-10	36.5561	2.8828	0.0234	5.5941e-08	33.4535
256	10.0000	0.0234	9.7437e-17	37.7870	3.2988	0.0234	2.7985e-12	33.4762
288	10.0000	0.0234	1.6836e-11	45.8461	3.7116	0.0234	1.3629e-10	33.4720
320	10.0000	0.0234	7.9878e-12	56.0332	4.1242	0.0234	2.8040e-12	33.4826

Tablo 4.4'ün Kaiser penceresi kısmına bakıldığında, Kaiser penceresi için $N=256$ 'dan sonra $\beta=10.00$ 'a yakınsarken, kesim frekansı $N=224$ 'ten sonra 0.0234 değerinde sabit kalmıştır. En düşük PRE değeri $N=256$ için $9.7437e-17$ olarak elde edilirken, en iyi durdurma bandı zayıflaması değeri ise $N=320$ için 56.0332 dB olarak elde edilmiştir. Gaussian penceresi kısmında ise, α değeri yine N deki artışa bağlı olarak düzenli artış göstermiştir. Kesim frekansı $N=224$ 'ten sonra 0.0476 değerine yakınsamıştır. En düşük PRE değeri $N=256$ için $2.7985e-12$ olarak bulunmuş, en iyi durdurma bandı zayıflaması $N=128$ için 43.5815 dB olarak elde edilmiştir. Tablo 4.4'te algoritmanın hesaplatamadığı en kötü kesim frekansı değeri ise $N=32$ için yine $1.0000e-07$ dir ve belirlenen $w_p - w_s$ aralığı dışında kalan tek değerdir. Tasarım Örneği 3'e ait analiz süzgeçlerin büyüklük yanıtları ve α ve β grafikleri Şekil 4.5'te görülmektedir.



Şekil 4. 5.

(a) Kaiser penceresiyle 16 Kanallı 320. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtları, (b) Gaussian penceresiyle 16 Kanallı 320. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtları, (c) Tasarım Örneği 3 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Tasarım Örneği 3 için prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.

4.1.2.4. Tasarım Örneği 4

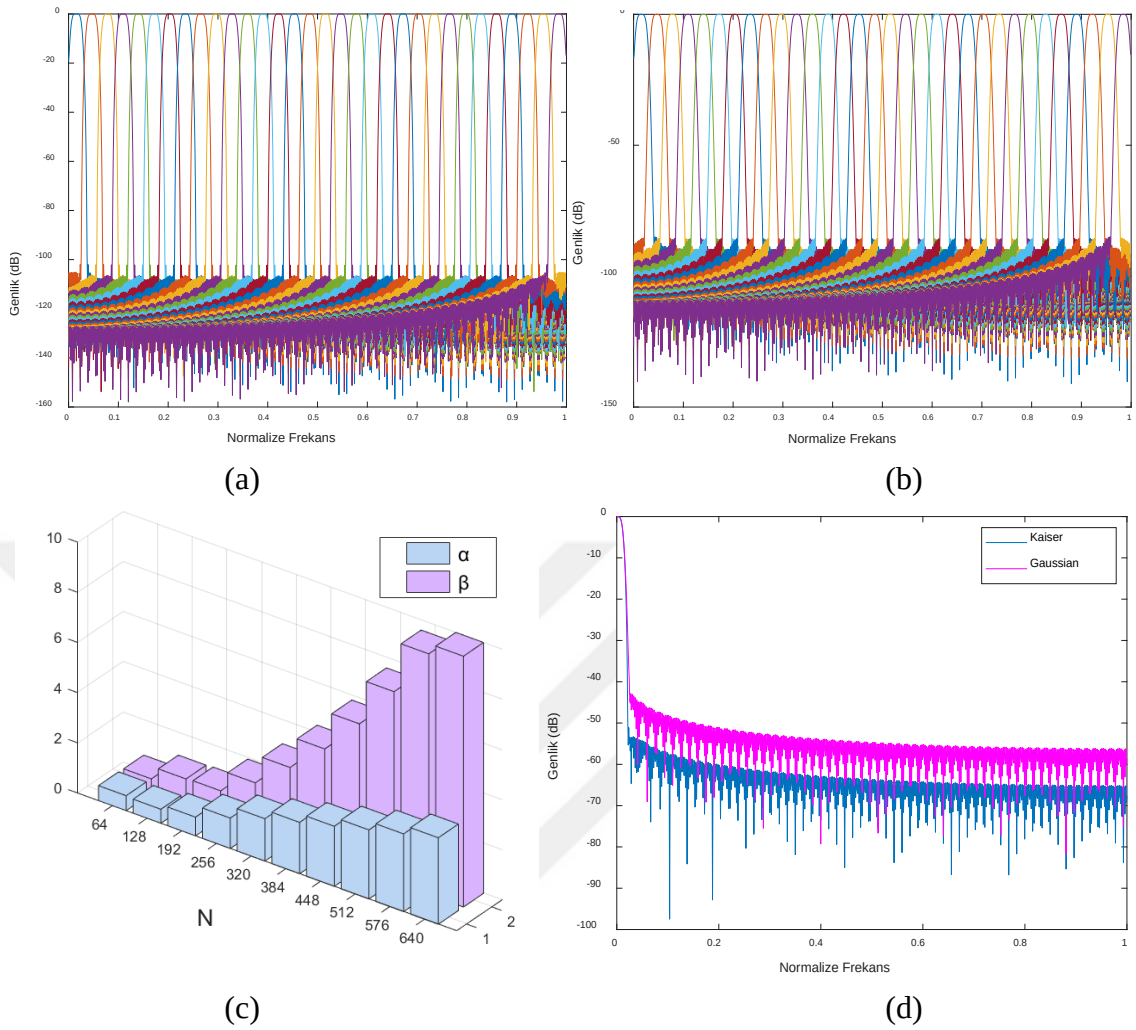
Bu örnekte $M=32$ kanallı CMFB tasarlanmıştır. Geçiş bandı sınır frekansı değeri $w_p=(0.1\pi)/(2M)=0.00490625$ ve durdurma bandı sınır frekansı değeri $w_s=(0.4\pi)/(2M)=0.019625$ dir. $N=2mM$ (m tamsayı) olacak şekilde 10 farklı süzgeç uzunluğu değeri için süzgeç bankası tasarımı yapılmıştır. İki pencere için ABC ile optimize edilen değişkenleriyle hesaplanan PRE ve A_s 'ler Tablo 4.5'te sunulmuştur.

Tablo 4. 5. ABC ile tasarlanan 32 kanallı CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	<i>Kaiser Penceresi</i>				<i>Gaussian Penceresi</i>			
	Beta	w_{co}	PRE	A_s	Alfa	w_{co}	PRE	A_s
64	0.5804	0.0075	0.0119	6.8797	0.5968	1.0e-07	0.0120	7.1462
96	1.0813	0.0086	0.0062	26.4045	0.5587	0.0100	0.0062	18.6514
192	1.1102	0.0120	6.5879e-05	31.7809	0.7477	0.0120	6.6905e-05	37.7310
256	1.9323	0.0115	7.6930e-05	39.6836	1.2135	0.0115	8.4037e-05	27.2544
320	3.0473	0.0112	3.4127e-06	42.0640	1.6905	0.0112	5.4981e-06	58.4708
384	4.2894	0.0112	1.8098e-07	38.7077	2.0477	0.0112	5.2825e-07	55.4916
448	5.7944	0.0112	4.1551e-08	36.5561	2.3959	0.0112	4.1765e-07	45.1937
512	7.5790	0.0112	1.7398e-10	37.7870	2.7537	0.0112	7.5243e-09	48.6809
576	9.5901	0.0112	9.6756e-12	45.8461	3.0993	0.0112	2.3543e-09	49.0607
640	10.000	0.0112	7.3144e-12	56.0332	3.4479	0.0112	4.0091e-10	49.4999

Tablo 4.5'te Kaiser penceresinin β değerinde 0.5 ile 10.0000 arasında N değerindeki artışla orantılı olarak düzenli bir artış görülmektedir. $N=320$ değerinden sonra kesim frekansı 0.0112 değerine yakınsamıştır. En düşük PRE değeri $N=640$ için 7.3144e-12 olarak elde edilirken, en iyi durdurma bandı zayıflatması yine $N=640$ için 73.3102 dB olarak bulunmuştur. Gaussian penceresi kısmında α değeri yine N deki artışa bağlı olarak düzenli artış göstermiştir. Kesim frekansı, $N=320$ 'den sonraki değerlerde 0.0112'ye yakınsamıştır. En düşük PRE değeri $N=640$ için 2.7985e-12 olarak bulunmuş, en iyi durdurma bandı zayıflaması $N=320$ için 58.4708 dB olarak elde edilmiştir. Tablo 4.5'te algoritmanın hesaplatamadığı en kötü kesim frekansı değeri ise $N=64$ için yine 1.0000e-07 dir ve belirlenen $w_p - w_s$ aralığı dışında kalan tek değerdir.

Tasarım Örneği 4'e ait analiz süzgeçlerinin grafikleri Şekil 4.6'da görülmektedir.



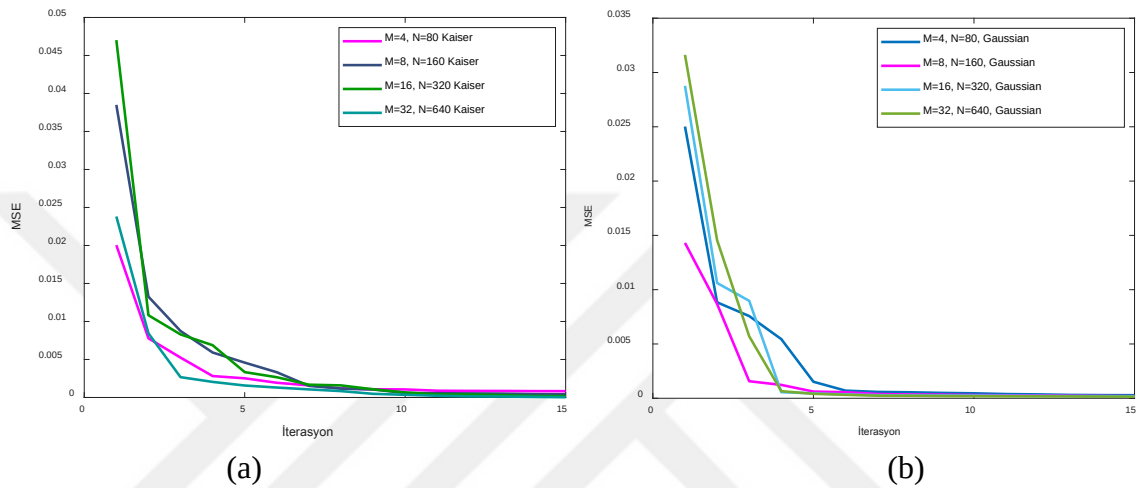
Şekil 4. 6. (a) Kaiser penceresiyle 32 Kanallı 640. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (b) Gaussian penceresiyle 32 Kanallı 640. dereceden CMFB'nin analiz süzgeci için genlik yanıtı, (c) Tasarım Örneği 3 için elde edilen α ve β değerleri, (d) Tasarım Örneği 3 için prototip süzgeçlerin genlik yanıtları.

Sunulan tasarım örnekleri incelenerek genel bir değerlendirme yapıldığında, şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Tüm örneklerde her iki pencere için en düşük PRE değeri 'Kaiser, $M=16$, $N=256$ ' için $9.7437e-17$ olarak bulunmuştur.
- Tüm örnekler için en iyi durdurma bandı zayıflatması değeri 'Kaiser, $M=32$, $N=640$ ' için 73.3102 dB olarak bulunmuştur.
- Tüm Kaiser penceresi örnekleri için minimum β değeri 0.5804 ($M=32$, $N=64$) iken maksimum β değeri tüm örneklerde 10.0000 'a yakınsamıştır.

- Tüm Gaussian penceresi örnekleri için minimum α değeri 0.5968 ($M=32, N=64$) iken maksimum α değeri 4.4724 ($M=4, N=80$) olarak bulunmuştur.

Tasarım örneklerinde her iki pencere fonksiyonu için yakınsama grafikleri Şekil 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4. 7. Yakınsama grafikleri: (a) Kaiser Penceresi örnekleri için, (b) Gaussian Penceresi örnekleri için.

4.2. ÖNERİLEN YÖNTEM-3

Tez çalışmasının bu kısmında Önerilen Yöntem 1’de kullanılan amaç fonksiyonu değiştirilmiş ve amaç fonksiyonunu optimize etmek için sezgisel algoritmalar tasarıma dahil edilmiştir. Önerilen Yöntem 3 başlığı altındaki bu üç tasarımın amaç fonksiyonu aynı olup, kullanılan sezgisel algoritma farklıdır. Bu yüzden metnin devamında bu yöntemlerden sırasıyla ABC ile Önerilen Yöntem 3, PSO ile Önerilen Yöntem 3 ve DE ile Önerilen Yöntem 3 olarak bahsedilecektir. Kullanılan üç algoritmayla optimize edilecek olan amaç fonksiyonu Eşitlik 4.6’daki gibi tanımlanmıştır:

$$\varphi = \varphi_{A_s} + \varphi_{PRE} + \varphi_{MSE} \quad (4.6)$$

Konunun teorisine üçüncü bölümde yer verildiğinden burada sadece benzetim çalışmaları ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Tasarlanan CFMB nin performansı seçilen üç farklı algoritma için ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Son olarak ABC, PSO ve DE

algoritmaları ile önerilen yöntemden elde edilen süzgeç bankasının performans değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Seçilen algoritmalarda kullanılan kontrol parametrelerinin değerleri, tasarımın performansında önemli bir etkiye sahiptir. Koloni boyutu (CS) ve limit değerleri olarak sırasıyla 20 ve 100 olarak tercih edilmiştir [48, 91]. Algoritmanın durdurma ölçütü, maksimum iterasyon sayısına eşit olup buradaki örneklerde değeri 100 olarak kullanılmıştır. Parametrelerin başlangıç değerleri (0, 1) aralığında rastgele olarak üretilmiştir. Tüm algoritmalar için algoritmayı çalışma sayısı 30 olarak belirlenmiştir. Simülasyonlar Intel Pentium Core2 Duo T7500 2.2 G CPU, 2048 MB RAM özelliklerine sahip bir bilgisayarda Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir. Algoritmaların kontrol parametreleri Tablo 4.6’da sunulmuştur.

Tablo 4. 6. Kullanılan algoritmaların kontrol parametreleri

Kontrol Parametreleri	ABC	PSO	DE
Limit	100	-	-
Popülasyon Sayısı	20	20	20
Bilişsel Parametre (c1)	-	2	-
Sosyal Parametre (c2)	-	2	-
Çaprazlama Oranı (CR)	-	-	0.9
Ağırlıklandırma Faktörü (F)	-	-	0.5
Çalıştırma sayısı	30	30	30
Maksimum İterasyon Sayısı	100	100	100

4.2.1. ABC ile Önerilen Yöntem 3

Bu kısımda daha önce üçüncü bölümde Önerilen Yöntem 1 tasarımında kullanılan amaç fonksiyonu değiştirilerek ve ABC algoritması kullanılarak yeni bir tasarım gerçekleştirilmiştir. Eşitlik 4.3 ile tanımlanan hata fonksiyonu, bu alt bölümde ABC algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Bu şekilde tasarlanan CMFB’nin 4, 8, 16 ve 32 olmak üzere dört farklı kanal sayısı için parametre değerleri de yine bu kısımda incelenmiştir.

Tablo 4.7’de kanal sayısı 4 olan ABC ile optimize edilmiş CMFB için verilen değerlere göre en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 512 değeri için elde edilirken en düşük E_s değeri de yine aynı süzgeç derecesi için elde edilmiştir. En düşük E_t ve E_p değerleri süzgeç derecesinin 40 olduğu durumda elde edilmiştir. Optimum PRE değeri süzgeç derecesinin 72 olduğu durumda elde edilmiştir.

Tablo 4. 7. ABC ile tasarlanan 4 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	89.5941	0.0134	2.5849e-05	0.0544	0.8023	12.0884
40	105.9487	0.0014	3.9432e-05	0.0367	0.0367	12.1163
48	106.2778	0.0019	5.0680e-07	0.0434	0.8996	12.1462
56	88.3148	1.7858e-04	5.4328e-06	0.0537	0.6600	12.2890
64	86.7307	4.4374e-05	4.6981e-07	0.0480	0.7159	12.5585
72	114.7774	1.9054e-05	8.2443e-07	0.0503	0.7873	12.2587
80	51.6671	3.7273e-04	1.3471e-07	0.0447	0.8381	12.2906
88	68.2989	0.0287	9.8527e-09	0.0595	0.0595	12.3764
96	90.1119	0.0055	1.7769e-07	0.0435	0.0435	12.4562
112	51.0856	0.0050	2.7216e-08	0.0491	0.0490	12.4154
120	66.3205	0.0119	1.6329e-07	0.0527	0.0527	12.4934
128	86.5426	0.0066	1.4391e-08	0.0527	0.0507	12.5474
256	64.1778	0.0010	2.8886e-10	0.0566	0.0566	12.8907
512	142.0541	5.5897e-04	2.1049e-11	0.0666	0.0666	13.4789
1024	92.4205	1.9446e-05	2.2315e-10	0.1007	0.1007	14.3573

Tablo 4.8’de $M=8$ için ABC algoritmasıyla tasarlanan CMFB için elde edilen veriler yer almaktadır. Buna göre en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 72 olduğu durumda 158.0014 olarak elde edilirken en düşük PRE ve E_t değerinin yine aynı süzgeç derecesinde elde

edildiği ve değerlerinin sırasıyla $1.4293\text{e-}06$ ve 0.0247 olduğu görülmektedir. Minimum E_s hatası süzgeç derecesinin 256 olduğu durumda $1.3239\text{e-}10$ 'dur. Minimum E_p hatası ise süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda $2.8207\text{e-}06$ değerini almıştır.

Tablo 4. 8. ABC ile tasarlanan 8 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	A_s (dB)	PRE	E_s	Et	E_p	t (s)
32	122.6351	0.0198	$3.6055\text{e-}04$	0.0855	0.5033	19.6136
40	70.4018	0.0034	$1.1688\text{e-}05$	0.1016	0.5656	19.9973
48	80.4209	0.0056	$1.3060\text{e-}05$	0.1061	0.5515	20.2056
56	77.2644	$1.0263\text{e-}04$	$7.9546\text{e-}08$	0.0587	0.7020	20.2962
64	76.7701	$1.5019\text{e-}04$	$2.7198\text{e-}06$	0.0498	0.6132	20.0513
72	158.0014	1.4293e-06	$1.1101\text{e-}08$	0.0247	0.8518	20.2046
80	81.5107	$5.2350\text{e-}04$	$6.4259\text{e-}06$	0.0601	0.9440	20.3981
88	78.7358	0.0013	$2.4661\text{e-}07$	0.0507	0.6339	20.2968
96	72.6205	$7.4048\text{e-}04$	$1.2918\text{e-}08$	0.0549	0.6809	20.3750
112	92.3744	$5.7361\text{e-}04$	0.0022	0.0617	0.2129	20.6116
120	72.5580	$6.5410\text{e-}06$	$9.6133\text{e-}05$	0.0467	0.3804	20.3369
128	83.6113	$1.6604\text{e-}05$	$2.3562\text{e-}07$	0.0551	0.3195	20.7157
256	62.1605	$9.9177\text{e-}05$	1.3239e-10	0.0659	0.1862	21.7565
512	130.6230	$3.1462\text{e-}04$	$5.6996\text{e-}08$	0.0720	$3.4840\text{e-}04$	22.5625
1024	92.4052	$6.2882\text{e-}06$	$2.2466\text{e-}10$	0.1012	2.8207e-06	23.8471

Tablo 4.9'da kanal sayısının 16 olduğu durumda ABC algoritmasıyla tasarlanmış CMFB için elde edilen veriler görülmektedir. ABC ile tasarlanmış 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 64 olduğu durum için 133.9499 olarak elde edilmiştir. En düşük PRE değeri ve minimum E_p hatası süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda sırasıyla $7.9171\text{e-}13$ ve $2.7090\text{e-}06$ olarak elde edilmiştir. E_s hatasının minimum

değeri 0.0419 olarak süzgeç derecesinin 120 olduğu durumda elde edilirken, E_t hatasının minimum değeri 2.0225e-11 süzgeç derecesinin 512 olduğu durumda elde edilmiştir.

Tablo 4. 9. ABC ile tasarlanan 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	A_s (dB)	PRE	Es	Et	Ep	t (s)
32	6.7737	0.1100	4.5708e-04	0.0855	0.0279	37.3441
40	9.5457	0.0701	1.991e-04	0.0854	0.0494	36.2796
48	13.2102	0.0281	1.2003e-04	0.0853	0.0822	36.6431
56	22.1110	0.0427	9.3024e-05	0.0852	0.1452	38.2446
64	133.9499	0.0119	7.1185e-05	0.0850	0.2219	36.8733
72	100.5286	0.0040	0.0147	0.0828	0.2381	38.1896
80	59.1278	3.0608e-04	5.2946e-07	0.0970	0.2525	37.2906
88	68.5832	8.3227e-04	4.2955e-07	0.0624	0.2947	38.3681
96	69.0769	0.0012	4.7051e-06	0.0769	0.1890	37.8982
112	96.7599	6.5868e-05	3.0764e-11	0.0443	0.3801	38.4174
120	93.3371	5.9310e-05	2.9595e-08	0.0419	0.3731	38.3636
128	74.3224	3.4024e-04	1.1457e-06	0.0554	0.1308	40.1198
256	55.7159	9.3808e-07	5.7381e-09	0.0434	0.0652	40.0298
512	125.2575	5.4921e-05	2.0225e-11	0.0565	2.2632e-04	41.7545
1024	92.4493	7.9171e-13	2.2507e-10	0.1000	2.7090e-06	42.8351

Tablo 4.10’da ABC ile tasarlanmış 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen veriler yer almaktadır. Burada elde edilen A_s değerlerinde diğer örneklerde elde edilenlere göre önemli ölçüde düşüş gözlenmiştir. En iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 256 olduğu durumda 145.9926 olarak elde edilmiştir. PRE için elde edilen en iyi değer süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda 3.8222e-11 bulunmuştur. Ep hatası 5.4298e-17 ile en düşük değerini süzgeç derecesinin 32 olduğu durumda alırken, yine aynı değer için Et

hatası da 0.0712 ile minimum değerini almıştır. E_s hatasının en düşük değeri süzgeç derecesinin 512 olduğu durum için 2.5795e-11 olarak bulunmuştur.

Tablo 4. 10. ABC ile tasarlanan 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	A_s (dB)	PRE	E_s	Et	Ep	t (s)
32	1.5175e-06	18.0346	0.9487	0.0712	5.4298e-17	75.5544
40	8.3503e-07	18.0401	0.9488	0.0712	7.7370e-16	78.7981
48	5.5526	1.3125	1.8608e-04	0.0853	4.3893e-04	80.3048
56	7.9028	0.6556	1.3729e-04	0.0851	7.9956e-04	78.5263
64	11.2650	0.1283	1.1035e-04	0.0849	0.0013	77.4247
72	15.9485	0.0986	7.4506e-05	0.0847	0.0021	77.2540
80	17.9093	0.0773	5.2791e-05	0.0846	0.0027	76.5429
88	20.0371	0.0397	3.7089e-05	0.0844	0.0034	76.5158
96	26.1020	0.0295	3.0428e-05	0.0842	0.0047	76.8261
112	92.0581	0.0238	1.3022e-05	0.0838	0.0075	77.9999
120	77.9988	0.0106	5.1795e-06	0.0837	0.0082	77.1920
128	107.9592	0.0064	1.0359e-05	0.0833	0.0116	83.2273
256	145.9926	0.0039	3.2268e-06	0.0774	0.0116	80.9769
512	126.4135	5.5851e-08	2.5795e-11	0.0895	1.2331e-04	83.2339
1024	92.5305	3.8222e-11	2.2249e-10	0.1034	2.9822e-06	84.4317

Bölüm 4.2’de sunulan Önerilen Yöntem 2 ile bu bölümde sunulan ABC ile Önerilen Yöntem 3’ün her ikisinde de ABC algoritması ile yapılan tasarımlar mevcuttur. Önerilen Yöntem 2’de örneğin kanal sayısı 4 olan tasarım örneği için süzgeç derecesinin 80’e kadar olduğu durumlar içinde incelenecek olursa elde edilen A_s değerlerinin en iyisi 46.9199 dB olarak elde edilirken bu değer ABC ile Önerilen Yöntem 3’te 114.7774 dB’ dir. Bu yüzden daha sonraki karşılaştırmalara Önerilen Yöntem 3 değerleri dahil edilmiştir.

4.2.2. PSO ile Önerilen Yöntem 3

Bu kısımda Önerilen Yöntem 3'e ait amaç fonksiyonu PSO algoritması kullanılarak optimize edilmiştir. Tasarlanan CMFB'nin dört farklı kanal sayısı için elde edilen sonuçlar bu kısımda sunulmuştur. Tablo 4.11'de kanal sayısı 4 olan PSO ile tasarlanan kaskat CMFB için elde edilen performans değerleri görülmektedir. Elde edilen en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 40 olduğu durum için 177.1533 değerindedir. Yine aynı süzgeç derecesi için minimum E_t değeri 0.0376 olarak elde edilmiştir. En düşük PRE ve E_p değeri N 'nin 1024 olduğu durum için sırasıyla 2.4735e-05 ve 6.6588e-06 olarak bulunmuştur. Minimum E_s , $N=512$ olduğu durum için 2.2225e-11 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. 11. PSO ile tasarlanan 4 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	113.2038	0.0506	2.3907e-05	0.0555	0.8034	12.6696
40	177.1533	0.0412	3.9010e-05	0.0376	0.9684	12.0924
48	127.9564	0.0091	4.8179e-07	0.0424	0.8983	12.0843
56	86.8115	0.0052	5.0962e-07	0.0606	0.5819	12.1038
64	125.7776	0.0170	4.3235e-07	0.0490	0.7179	12.1577
72	127.8633	0.0093	1.0035e-06	0.0513	0.7546	12.2623
80	51.7141	0.0084	1.3539e-07	0.0447	0.8382	12.0065
88	110.8693	0.0231	8.5658e-07	0.0508	0.3084	12.2661
96	138.7057	0.0225	2.1411e-07	0.0505	0.5416	12.2414
112	51.1432	0.0084	2.7497e-08	0.0491	0.7309	12.0145
120	110.2071	0.0167	1.2140e-08	0.0470	0.2620	12.6106
128	122.7879	0.0235	1.4660e-07	0.0560	0.3657	12.3811
256	64.1335	0.0018	2.8503e-10	0.0564	0.2232	13.0352
512	134.0761	7.0079e-04	2.2225e-11	0.0635	6.2492e-04	13.7330
1024	92.6808	2.4735e-05	2.1231e-10	0.0982	6.6588e-06	15.1619

Tablo 4.12’de kanal sayısı 8 olan PSO ile tasarlanmış CMFB için elde edilen performans parametreleri sunulmuştur. Maksimum A_s değeri $N=48$ için 198.1741 olarak elde edilmiştir. En düşük PRE ve en düşük E_p değerleri burada da süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için sırasıyla $1.9652e-05$ ve $7.3335e-06$ olarak bulunmuştur. E_s hatasının minimum değeri süzgeç derecesinin 512 olduğu durumda $1.7925e-11$ olarak elde edilmiştir. E_t ise $N=72$ olduğu durumda 0.0245 minimum değerini almıştır.

Tablo 4. 12. PSO ile tasarlanan 8 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri.

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	94.840	0.0610	3.6055e-04	0.0855	0.5033	20.1276
40	174.3793	0.0574	1.1208e-05	0.1016	0.5655	20.1307
48	198.1741	0.0244	1.3986e-05	0.1048	0.5489	19.9383
56	122.7373	2.4454e-04	4.6337e-08	0.0593	0.7034	20.3336
64	49.5427	0.0189	9.8857e-07	0.0853	0.8516	20.6564
72	132.8598	0.0018	1.1853e-08	0.0245	0.8509	20.3970
80	125.8782	0.0207	6.1159e-06	0.0584	0.9366	20.6525
88	130.8302	0.0087	2.5289e-07	0.0516	0.6358	19.9556
96	112.6127	0.0025	1.4145e-08	0.0427	0.6834	21.2388
112	155.4660	0.0116	2.0271e-06	0.0603	0.1436	20.0204
120	122.1427	0.0055	1.8742e-07	0.0528	0.2733	20.3670
128	117.7608	0.0084	2.2395e-07	0.0535	0.3155	20.5864
256	62.4083	0.0014	1.4873e-10	0.0669	0.1875	20.9226
512	132.4820	5.1236e-04	1.7925e-11	0.0682	7.3394e-04	22.1871
1024	92.1003	1.9652e-05	2.4024e-10	0.0994	7.3335e-06	23.3895

$M=16$ için PSO ile tasarlanmış CMFB için elde edilen parametreler Tablo 4.13’te sunulmuştur.

Elde edilen en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 64 olduğu durum için 238.2911 değerindedir. En düşük PRE ve E_p değeri N 'nin 1024 olduğu durum için sırasıyla $9.7518e-06$ ve $7.8611e-06$ olarak bulunmuştur. Minimum E_s hatası süzgeç derecesinin 512 olduğu durum için $1.9595e-11$ olarak elde edilmiştir. Minimum E_t değeri ise süzgeç derecesinin 120 olduğu durum için 0.0450 olarak bulunmuştur.

Tablo 4. 13. PSO ile tasarlanan 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	6.7737	0.3551	4.5708e-04	0.0855	0.0279	36.6757
40	9.5459	0.2628	1.9916e-04	0.0854	0.0494	36.6619
48	13.2107	0.2012	1.2004e-04	0.0853	0.0822	36.8371
56	22.1109	0.2791	9.3022e-05	0.0852	0.1452	36.7506
64	238.2911	0.0504	7.1184e-05	0.0850	0.2219	36.8168
72	154.3159	0.0566	9.9894e-06	0.0850	0.2381	37.1717
80	153.6911	0.0618	4.0223e-06	0.0849	0.2766	36.8146
88	149.1917	0.0200	1.8361e-06	0.0848	0.3200	37.6234
96	143.3841	0.0090	9.7397e-07	0.0847	0.3699	37.4521
112	46.3298	0.0228	2.2900e-07	0.0845	0.4495	36.6602
120	116.3294	0.0047	1.0605e-07	0.0450	0.3357	37.6695
128	45.9906	0.0100	5.9308e-08	0.0844	0.5064	38.3720
256	55.5332	0.0020	2.7517e-08	0.0693	0.0173	39.7743
512	193.7037	2.6204e-04	1.9595e-11	0.0597	5.2655e-04	39.5266
1024	91.7643	9.7518e-06	2.5968e-10	0.1004	7.8611e-06	41.6439

Tablo 4.14'te kanal sayısı 32 olan PSO ile tasarlanan CMFB için elde edilen performans parametreleri sunulmuştur.

Elde edilen en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 256 olduğu durum için 223.6281 olarak elde edilmiştir. En düşük PRE ve en düşük E_p değeri N 'nin 1024 olduğu durum için sırasıyla $3.9312e-07$ ve $7.8041e-06$ olarak bulunmuştur. Minimum E_s hatası süzgeç derecesinin 512 olduğu durum için $3.0859e-11$ olarak elde edilmiştir. Minimum E_t değeri süzgeç derecesinin 32, 40 ve 56 olduğu durumlar için eşit olup 0.0712 değerindedir.

Tablo 4. 14. PSO ile tasarlanan 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	1.5434e-06	25.1343	0.9488	0.0712	1.0019e-16	76.6470
40	8.3840e-07	26.0942	0.9488	0.0712	8.1906e-16	79.2947
48	8.0052e-07	27.2567	0.9508	0.0718	1.3464e-14	84.4335
56	7.0627e-07	0.0018	0.9485	0.0712	2.4220e-14	83.3668
64	11.2647	0.3144	1.1035e-04	0.0849	0.0024	78.4639
72	15.9447	0.5648	0.1804	0.0847	0.0038	79.8239
80	17.4414	0.2964	4.5337e-05	0.0846	0.0047	75.9610
88	20.0371	0.1477	3.7088e-05	0.0844	0.0061	75.7009
96	26.1082	0.2152	3.0430e-05	0.0842	0.0083	76.5900
112	145.7616	0.1804	1.3031e-05	0.0838	0.0132	76.6918
120	172.4014	0.1299	5.1958e-06	0.0837	0.0145	77.7378
128	136.6910	0.0124	1.4611e-05	0.0832	0.0221	76.5204
256	223.6281	0.0145	3.2256e-06	0.0774	0.1667	80.1186
512	115.8450	6.8422e-05	3.0859e-11	0.0774	2.0515e-04	80.3817
1024	92.7211	3.9312e-07	2.1392e-10	0.1036	7.8041e-06	84.2897

4.2.3. DE ile Önerilen Yöntem 3

Bu kısımda Önerilen Yöntem 3'e ait amaç fonksiyonu DE algoritması kullanılarak optimize edilmiş, farklı kanal sayıları için elde edilen değerler incelenmiştir. Tablo

4.15'te DE ile tasarlanmış dört kanallı kaskat CMFB'ye ait performans parametre değerleri görülmektedir. Elde edilen en iyi A_s değeri ve en iyi E_t değeri süzgeç derecesinin 72 olduğu durumda sırasıyla 180.9559 ve 9.9458e-07 olarak elde edilmiştir. Minimum E_s hatasının süzgeç derecesinin 512 olduğu durum için 2.0135e-11 olduğu görülmektedir. Minimum PRE ve minimum E_p değeri N 'nin 1024 olduğu durum için sırasıyla 7.5255e-06 ve 7.3852e-06 olarak bulunmuştur.

Tablo 4. 15. DE ile tasarlanan 4 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	176.6775	0.0524	2.6147e-05	0.0573	0.7987	14.8628
40	41.8554	0.0181	8.3463e-06	0.0359	0.9007	14.9136
48	147.2197	0.0092	4.8085e-07	0.0424	0.8982	14.9882
56	26.4046	0.0014	5.6202e-08	0.0511	0.5062	14.9108
64	155.1270	0.0172	4.4004e-07	0.0488	0.7176	15.1934
72	180.9559	0.0092	9.9458e-07	9.9458e-07	0.7552	15.0123
80	51.7138	0.0084	1.3538e-07	0.0447	0.8382	15.0388
88	29.0456	0.0089	1.8550e-07	0.0469	0.2914	15.0212
96	175.6686	0.0225	2.1632e-07	0.0504	0.5412	15.0935
112	51.1429	0.0084	2.4971e-05	0.0491	0.7309	15.1810
120	167.4339	0.0167	1.1901e-08	0.0469	0.2618	15.1725
128	172.3128	0.0235	1.4662e-07	0.0560	0.3657	15.2034
256	64.1343	0.0018	8.1731e-07	0.0564	0.2232	15.6748
512	24.6560	3.0968e-04	2.0135e-11	0.0580	0.0195	16.8616
1024	92.6145	7.5255e-06	1.9357e-10	0.0985	7.3852e-06	17.6176

Tablo 4.16'da DE ile tasarlanmış 8 kanallı kaskat CMFB için elde edilen performans parametreleri görülmektedir. Bu değerlere göre elde edilen en iyi A_s değeri süzgeç

derecesinin 120 olduğu durum için 210.5088 olarak elde edilmiştir. En düşük PRE ve en düşük E_p değeri N 'nin 1024 olduğu durum için sırasıyla 4.4083e-08 ve 5.6754e-05 olarak bulunmuştur. Süzgeç derecesinin 48 değeri için elde edilen durdurma bandı hatası 5.3006e-17 ile en düşük değerini almıştır. E_t değerinin optimumu süzgeç derecesinin 80 değeri için 9.0275e-05 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. 16. DE ile tasarlanan 8 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	7.9970	0.1026	1.4868e-05	0.0856	0.1490	24.3617
40	8.6056	0.0197	1.2165e-09	1.6700e-04	0.1574	24.6922
48	4.6102	0.3634	5.3006e-17	0.0111	0.0575	24.6687
56	133.3496	3.0455e-04	1.9853e-08	0.0553	0.6909	24.7517
64	142.7379	0.0286	1.0417e-05	0.0476	0.4736	24.6966
72	184.0853	0.0018	1.1804e-08	0.0245	0.8510	24.8881
80	8.8167	0.3334	3.4630e-08	9.0275e-05	0.2773	24.8393
88	182.4081	0.0087	2.5267e-07	0.0515	0.6356	24.9565
96	155.3021	0.0025	1.4154e-08	0.0426	0.6833	24.7461
112	50.4532	0.0135	2.7282e-06	0.0505	0.1286	25.2366
120	210.5088	0.0043	1.2207e-07	0.0607	0.2908	25.0431
128	151.6094	0.0087	2.4109e-07	0.0516	0.3111	24.9525
256	62.4702	0.0014	1.5330e-10	0.0671	0.1879	25.9145
512	71.9985	5.2663e-04	1.5789e-11	0.0693	0.0015	26.6104
1024	82.6367	4.4083e-08	1.8514e-11	0.0835	5.6754e-05	27.9974

Tablo 4.17'de DE ile tasarlanmış 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen performans parametreleri görülmektedir.

Elde edilen en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 128 olduğu durum için 137.0281 olarak elde edilmiştir. En düşük PRE değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için $1.4817e-07$ olarak bulunmuştur. Süzgeç derecesinin 512 olduğu durumda durdurma bandı hatası $2.9409e-11$ ile en düşük değerini almıştır. Minimum E_t hatası süzgeç derecesinin 120 değeri için 0.0019 olarak elde edilmiştir. En düşük E_p değeri N 'nin 40 olduğu durum için $7.4783e-19$ olarak bulunmuştur.

Tablo 4. 17. DE ile tasarlanan 16 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	E_s	E_t	E_p	t (s)
32	2.3201e-05	27.7052	0.9688	0.0768	1.7364e-14	86.9134
40	1.3089e-07	26.9067	0.9567	0.0734	7.4783e-19	86.8863
48	2.4433	3.1740	1.2013e-05	0.0855	1.9320e-04	85.7439
56	3.9842	1.9232	8.9251e-06	0.0854	4.7711e-04	86.9234
64	5.8141	1.1183	8.5071e-06	0.0852	9.5112e-04	87.0862
72	2.8613	3.2850	6.1548e-08	0.0271	3.0158e-04	87.9005
80	4.4976	2.1560	1.3023e-06	0.0853	7.8684e-04	87.1605
88	6.9103	0.8457	2.7599e-07	0.0851	0.0014	87.0460
96	7.3143	0.7784	1.7540e-07	0.0851	0.0017	88.3246
112	15.3485	0.0574	0.0317	0.0174	0.0055	88.1744
120	12.6264	0.1803	1.5016e-07	0.0019	0.0048	87.6903
128	137.0281	0.0124	1.0684e-05	0.0366	0.0206	87.6192
256	11.9892	0.2202	3.5033e-15	0.0844	0.0060	87.8172
512	52.2040	6.6847e-05	2.9409e-11	0.0728	9.5828e-04	90.1053
1024	92.6876	1.4817e-07	1.9337e-10	0.1017	8.0187e-06	92.0663

Tablo 4.18'de DE ile tasarlanmış 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen performans parametreleri görülmektedir. Elde edilen en iyi A_s değeri süzgeç derecesinin 128 olduğu

durum için 121.1794 olarak elde edilmiştir. En düşük PRE değeri süzgeç derecesinin 1024 olduğu durum için $3.2704e-09$ olarak bulunmuştur. Süzgeç derecesinin 512 olduğu durumda durdurma bandı hatası $2.9431e-11$ ile en düşük değerini almıştır. Minimum E_t hatası süzgeç derecesinin 120 değeri için 0.0027 olarak elde edilmiştir. En düşük E_p değeri N 'nin 40 olduğu durum için $2.1034e-15$ olarak bulunmuştur.

Tablo 4. 18. DE ile tasarlanan 32 kanallı kaskat CMFB için elde edilen parametre değerleri

N	A_s (dB)	PRE	Es	Et	Ep	t (s)
32	9.4217e-06	27.3043	0.9695	0.0770	2.8454e-15	88.1186
40	8.0356e-06	29.7410	0.9654	0.0759	2.1034e-15	88.4244
48	3.2007	2.3487	1.2774e-05	0.0855	3.0630e-04	86.7315
56	4.4814	1.6424	9.7709e-06	0.0853	5.7901e-04	87.9364
64	4.0258	2.2485	8.1268e-06	0.0854	5.5475e-04	88.4245
72	1.9639	4.1979	0.2426	0.0406	1.5073e-04	89.1970
80	5.3328	1.4736	1.3078e-06	0.0837	9.7861e-04	89.7136
88	12.9761	0.1347	5.1808e-06	0.0847	0.0037	99.0444
96	26.0823	0.2150	3.0370e-05	0.0842	0.0083	96.7514
112	16.9675	0.0402	4.8188e-07	0.0147	0.0063	90.1468
120	23.1203	0.0555	8.3259e-07	0.0027	0.0095	89.2940
128	121.1794	0.0126	9.8932e-06	0.0763	0.0202	89.9390
256	27.0689	0.0027	7.0205e-11	0.0823	0.0358	90.0872
512	58.7621	6.6827e-05	2.9431e-11	0.0741	6.6346e-04	91.8031
1024	92.3940	3.2704e-09	1.9761e-10	0.0923	9.9666e-06	95.0980

4.3. TASARIMLARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN ANALİZLERİ

Bu kısımda tez çalışması boyunca önerilen yöntemlerden elde edilen sonuçların hepsi birlikte ele alınmıştır. Her bir kanal sayısı için elde edilen sonuçlar ayrı ayrı analiz

edilmiştir. CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen A_s ve PRE değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Şekil 4.8’de tasarlanan 4 kanallı CMFB yapılarından Önerilen Yöntem 1, ABC ile Önerilen Yöntem 3, PSO ile Önerilen Yöntem 3 ve DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemlerinden farklı süzgeç dereceleri için elde edilen A_s değerleri görülmektedir.

4 kanal için tasarlanan süzgeç bankaları içinde elde edilen en yüksek A_s değeri süzgeç derecesinin 72 olduğu durumda DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemiyle 180,9566 dB olarak elde edilmiştir. En kötü A_s değeri ise süzgeç derecesinin 512 olduğu durum için yine DE ile Önerilen Yöntem 3 ile 24,6566 olarak bulunmuştur. N değerinin 80, 112 ve 256 olduğu durumlarda Önerilen Yöntem 1; 56 olduğu durumda ABC ile Önerilen Yöntem 3 en iyi sonuçları üretmiştir. N değerinin 40,88,512,1024 olduğu durumlarda PSO ile Önerilen Yöntem 3 daha başarılıken; 32,48, 64, 72, 96, 120 ve 128 olduğu durumlarda DE ile Önerilen Yöntem 3 en iyi A_s sonucunu üretmiştir. Buna göre 4 kanal için en fazla optimum A_s değeri üreten yöntem DE ile Önerilen Yöntem 3 olmuştur.

Şekil 4.9’deki grafikte tasarlanan 4 kanallı CMFB yapılarından Önerilen Yöntem 1, ABC ile Önerilen Yöntem 3, PSO ile Önerilen Yöntem 3 ve DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemlerinden farklı süzgeç dereceleri için elde edilen PRE değerleri görülmektedir. Bu değerler arasındaki optimum PRE değeri süzgeç derecesinin 72 olduğu durum için ABC ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi ile $1,91e-06$ olarak elde edilmiştir. En kötü PRE değeri ise süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için 0,2579 olarak Önerilen Yöntem 1 ile elde edilmiştir. Süzgeç derecesinin 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80 ve 1024 olduğu durumlarda ABC ile Önerilen Yöntem 3, süzgeç derecesinin 88, 96, 112, 120, 128 ve 256 olduğu durumlarda Önerilen Yöntem 1, 512 olduğu durumda ise DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi en iyi sonucu vermiştir. PSO ile Önerilen Yöntem 3 yönteminin 4 kanal için elde edilen PRE hesaplamalarında optimum değer üretmemiş olması dikkat çekicidir. Bu sonuçlara göre 4 kanal için en fazla optimum PRE değeri üreten yöntem ABC ile Önerilen Yöntem 3 olmuştur.

Şekil 4.10’da 8 kanallı tasarımlardan farklı süzgeç dereceleri için elde edilen A_s değerleri yer almaktadır. Grafiğe göre tüm 8 kanallı tasarımlar içinde elde edilen en iyi A_s değerleri

süzgeç derecesinin 120 olduğu durum için DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi ile 210,5088 olarak elde edilmiştir. Bu grafikte elde edilen en kötü A_s değeri de süzgeç derecesinin 48 olduğu durumda 4,6102 olarak DE ile Önerilen Yöntem 3 ile üretilmiştir. Süzgeç derecesinin 32 ve 1024 olduğu durumlarda ABC ile Önerilen Yöntem 3, süzgeç derecesinin 40, 48, 80, 112 ve 512 olduğu durumlarda PSO ile Önerilen Yöntem 3, 56, 64, 72, 88, 96, 120 ve 128 olduğu durumlarda ise DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi optimum sonucu üretmiştir. 8 kanal için elde edilen değerler arasında sezgisel yöntemlerin hepsinin Önerilen Yöntem 1'den daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre en fazla optimum A_s değeri üreten yöntem DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi olmuştur.

Şekil 4.11'de 8 kanallı tasarımlardan farklı süzgeç dereceleri için elde edilen *PRE* değerleri görülmektedir. Tüm 8 kanallı değerler içinde optimum *PRE* değeri süzgeç derecesinin 72 olduğu durum için $1,43e-06$ olarak ABC ile Önerilen Yöntem 3 ile elde edilmiştir. Süzgeç derecesinin 48 ve 1024 olduğu durum dışındaki tüm incelemelerde en iyi sonuçları üreten yöntem ABC ile Önerilen Yöntem 3 olmuştur. 1024 için ise DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi optimum sonucu üretmiştir. 8 kanallı tasarımlar içindeki en kötü *PRE* değeri ise süzgeç derecesinin 48 olduğu durumda DE ile Önerilen Yöntem 3 ile 0,3634 olarak elde edilmiştir. Bu kanal sayısı için neredeyse tüm optimum değerleri üreten yöntem ABC ile Önerilen Yöntem 3 olup diğerlerinden oldukça iyi değerler ürettiği açıkça görülmektedir.

Şekil 4.12'de 16 kanallı tasarımlardan farklı süzgeç dereceleri için elde edilen A_s değerlerinin tamamı görülmektedir. Buradaki optimum değer, süzgeç derecesinin 64 olduğu durumda PSO ile Önerilen Yöntem 3 ile gerçekleştirilen tasarımdan 238,2911 olarak elde edilmiştir. İkinci en iyi değer yine PSO ile Önerilen Yöntem 3 ile tasarlanan yöntemle ait olup 193,7037 değerindedir. En düşük A_s değeri ise DE ile Önerilen Yöntem 3 ile süzgeç derecesinin 40 olduğu durumda $1,31e-07$ dB olarak bulunmuştur. Süzgeç derecesinin 32, 40, 48, 56 ve 256 olduğu durumlar için Önerilen Yöntem 1, süzgeç derecesinin 64, 72, 80, 88, 96, 120 ve 512 olduğu durumlar için PSO ile Önerilen Yöntem 3, 112 olduğu durum için ABC ile Önerilen Yöntem 3, 128 ve 1024 olduğu durum için DE ile Önerilen Yöntem 3 yöntemleri optimum sonuçları üretmişlerdir. Bu sonuçlara göre

16 kanallı süzgeç bankası tasarımları içinde en çok optimum A_s değeri üreten yöntem PSO ile Önerilen Yöntem 3 olmuştur.

Şekil 4.13'te 16 kanallı tasarımlardan farklı süzgeç dereceleri için elde edilen *PRE* değerleri görülmektedir. Buna göre elde edilen en iyi *PRE* değeri ABC ile Önerilen Yöntem 3 ile $7,92e-13$ olarak elde edilmiştir. En kötü değer ise süzgeç derecesinin 32 olduğu durum için DE ile Önerilen Yöntem 3 ile $27,9067$ olarak bulunmuştur. Tabloda dikkat çeken önemli bir nokta, $N=128$ hariç elde edilen tüm optimum değerlerin ABC ile Önerilen Yöntem 3 ile tasarlanan yönteme ait olduğudur.

Şekil 4.14'te 32 kanallı tasarımlardan farklı süzgeç dereceleri için elde edilen tüm A_s değerleri görülmektedir. Bu tabloda süzgeç derecesinin 32, 40, 48, 56, 64, 72, 80, 88 ve 96 olduğu durumlar için Önerilen Yöntem 1 ile elde edilen sonuçlar en iyileridir. Süzgeç derecesinin 112, 120, 128 ve 256 olduğu durumlarda ise PSO ile Önerilen Yöntem 3 yönteminin sonuçları optimumdur. 512 ve 1024 için ise ABC ile Önerilen Yöntem 3 en iyi sonuçları üretmiştir. 32 kanallı tasarımlar içinde elde edilen en iyi A_s değeri $223,6281$ ile PSO ile Önerilen Yöntem 3'e aittir. En kötü A_s değeri ise $8,01e-07$ olarak PSO ile Önerilen Yöntem 3 ile elde edilmiştir. Süzgeç derecesinin 112'nin altında olduğu değerlerde Önerilen Yöntem 1, sezgisel algoritmalarından daha iyi sonuçlar üretmiştir. Tablo geneline bakıldığında da 32 kanallı süzgeç bankası tasarımları içinde en çok optimum değer üreten yöntem Önerilen Yöntem 1 olmuştur.

Şekil 4.15'te ise tüm 32 kanallı tasarımlardan farklı süzgeç dereceleri için elde edilen *PRE* değerlerinin tamamı görülmektedir. Buradaki en iyi *PRE* değeri $3,82e-11$ olarak süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda ABC ile Önerilen Yöntem 3 ile bulunmuştur. En kötü *PRE* değeri ise süzgeç derecesinin 40 olduğu durumda DE ile Önerilen Yöntem 3 yönteminden elde edilmiş olup değeri $29,7411$ 'dir. Süzgeç derecesinin 32, 40 ve 256 olduğu durumlarda Önerilen Yöntem 1, süzgeç derecesinin 48, 64, 72, 80, 88, 96, 112, 120, 128, 512 ve 1024 olduğu durumlarda ABC ile Önerilen Yöntem 3, süzgeç derecesinin 56 olduğu durumda ise PSO ile Önerilen Yöntem 3 optimum sonuçları üretmiştir. DE ile Önerilen Yöntem 3 yönteminin hiç optimum sonuç üretmemiş olması dikkat çekicidir. Yine burada da diğer kanal sayılarındaki *PRE* değerlerine benzer şekilde

elde edilen optimum değerlerin büyük çoğunluğu ABC ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi ile elde edilmiştir.

Şekil 4.8, Şekil 4.10, Şekil 4.12 ve Şekil 4.14'teki değerlerin hepsinde dört farklı kanal sayısı için elde edilen tüm A_s değerleri arasında en iyi A_s değeri 238,2911 ile süzgeç derecesinin 64 ve kanal sayısının 16 olduğu durumda elde edilmiştir. En kötü A_s değeri ise kanal sayısının 32 ve süzgeç derecesinin 46 olduğu durumda $8,01e-07$ olarak PSO ile Önerilen Yöntem 3 ile bulunmuştur. Farklı kanal sayılarında ve farklı süzgeç derecelerinde farklı optimumlar elde edildiğinden iyi A_s değerinin elde edildiği yöntem için bir genelleme yapmak mümkün değildir. Şekil 4.9, Şekil 4.11, Şekil 4.13 ve Şekil 4.15'te dört farklı kanal sayısı için elde edilen tüm PRE değerleri arasında en iyi PRE değeri 16 kanal için süzgeç derecesinin 1024 olduğu durumda $7,92e-13$ olarak elde edilmiştir. Tüm örnekler için farklı kanal sayılarında ve farklı süzgeç derecelerinde elde edilen optimum PRE değerlerinin neredeyse tamamı ABC ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi ile elde edildiğinden, bu yöntemin PRE değerleri söz konusu olduğunda oldukça iyi sonuçlar verdiğini söylemek doğru olur.

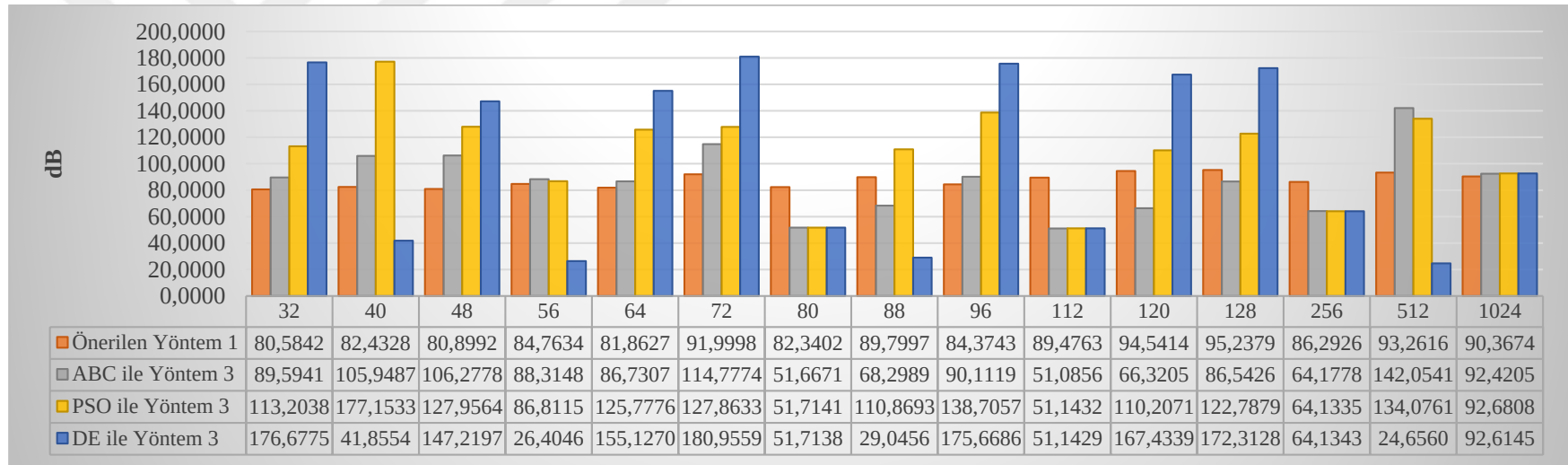
Tablo 4.19'da ABC, PSO ve DE ile tasarlanan Önerilen Yöntem 3'e ait değerlerin karşılaştırılması sunulmuştur. Bu tabloya göre $M=8$ ve $M=160$ için verilen ilk dört satırda önerilen yöntemlerle elde edilen A_s değerlerinin hepsi karşılaştırılan yöntemden iyi çıkarken, PRE değeri için sadece ABC ile Önerilen Yöntem 3 ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılan yöntemden daha iyidir. DE ile Önerilen Yöntem 3'ün ürettiği sonuçlar

$M=16$ ve $M=256$ için tablodaki sonuçlara bakılacak olursa ABC ve PSO ile Önerilen Yöntem 3 ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılan yöntemden daha iyi sonuç verirken DE ile Önerilen Yöntem 3 ile elde edilen sonuç diğerlerinden daha kötüdür.

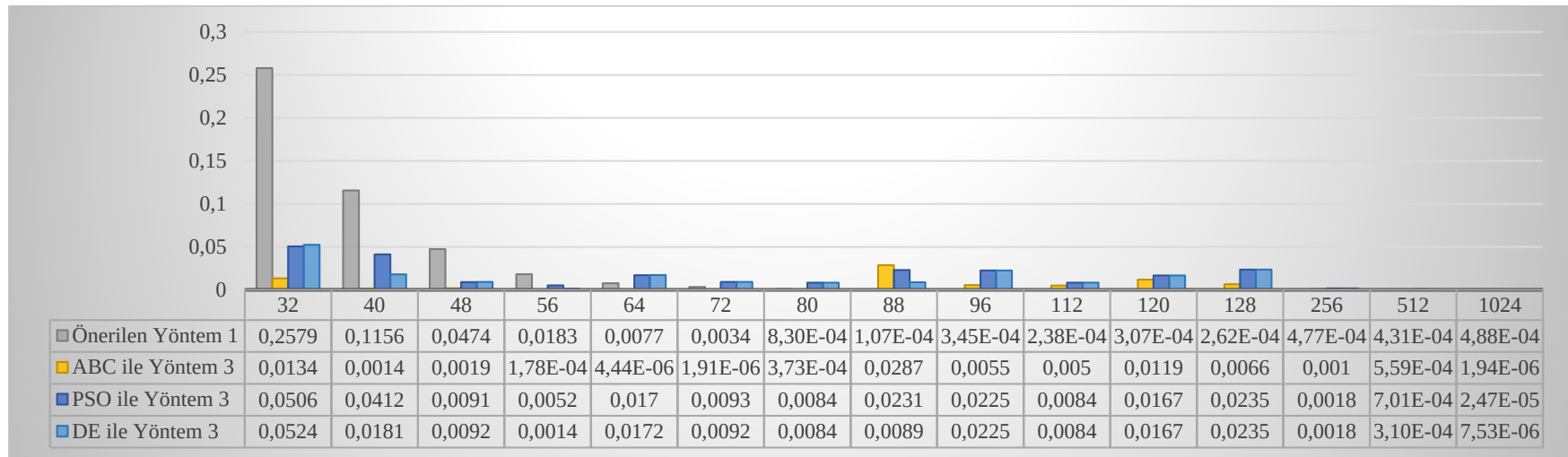
$M=32$ ve $M=512$ için tablonun son dört satırındaki sonuçlar verilmiştir. Buna göre Önerilen Yöntem 3 ile elde edilen üç farklı sonucun hepsi karşılaştırılan yöntemden daha iyidir. Buradaki en iyi A_s değeri ABC ile Önerilen Yöntem 3 ile 126.4135 dB olarak elde edilmiştir. Yine aynı M ve N değerleri için elde edilen PRE değerlerine bakılacak olursa Önerilen Yöntem 3 ile elde edilen tüm değerler karşılaştırılan yöntemden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tablo 4. 19. Önerilen Yöntem 3 için elde edilen değerlerin performans karşılaştırması.

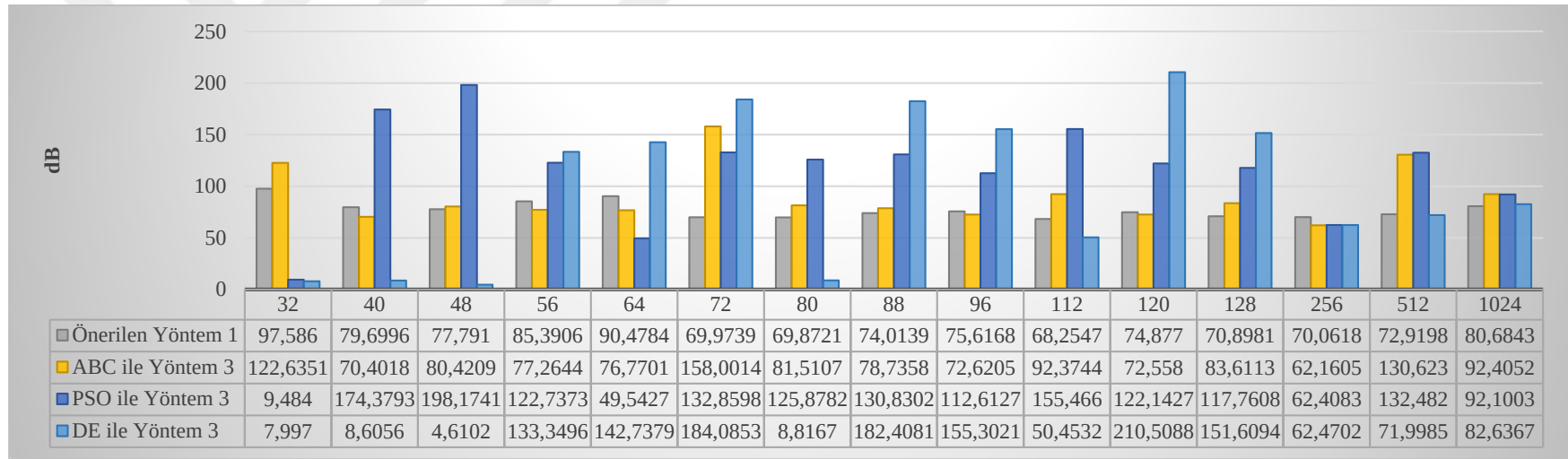
<i>Karşılaştırılan Yöntem</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>A_s (dB)</i>	<i>PRE</i>
<i>Yöntem [57]</i>	160	8	18.7009	1.3e-03
<i>ABC ile Önerilen Yöntem 3</i>	160	8	54.0040	9.1588e-07
<i>PSO ile Önerilen Yöntem 3</i>	160	8	54.0256	1.7510e-03
<i>DE ile Önerilen Yöntem 3</i>	160	8	54.0272	1.8122e-03
<i>Yöntem [57]</i>	256	16	14.8847	1.4e-03
<i>ABC ile Önerilen Yöntem 3</i>	256	16	55.7159	9.3808e-07
<i>PSO ile Önerilen Yöntem 3</i>	256	16	55.5332	2. e-02
<i>DE ile Önerilen Yöntem 3</i>	256	16	11.9892	2.2020e-02
<i>Yöntem [57]</i>	512	32	14.3161	2.2000e-03
<i>ABC ile Önerilen Yöntem 3</i>	512	32	126.4135	5.5851e-08
<i>PSO ile Önerilen Yöntem 3</i>	512	32	115.8450	6.8422e-05
<i>DE ile Önerilen Yöntem 3</i>	512	32	58.7621	6.6827e-05



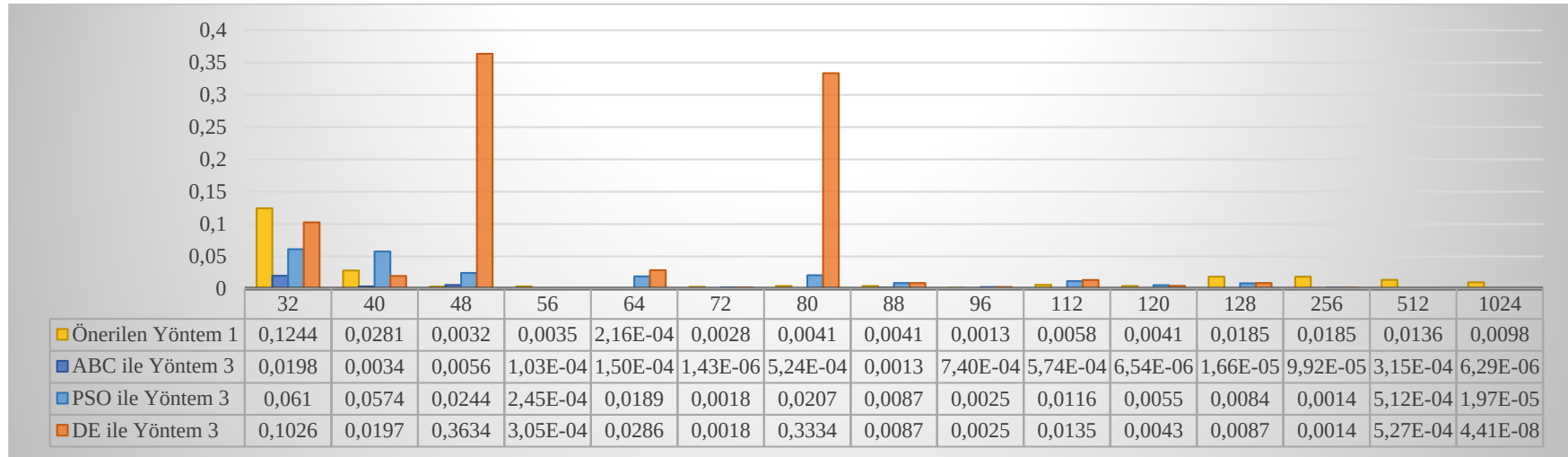
Şekil 4. 8. 4 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen A_s değerleri



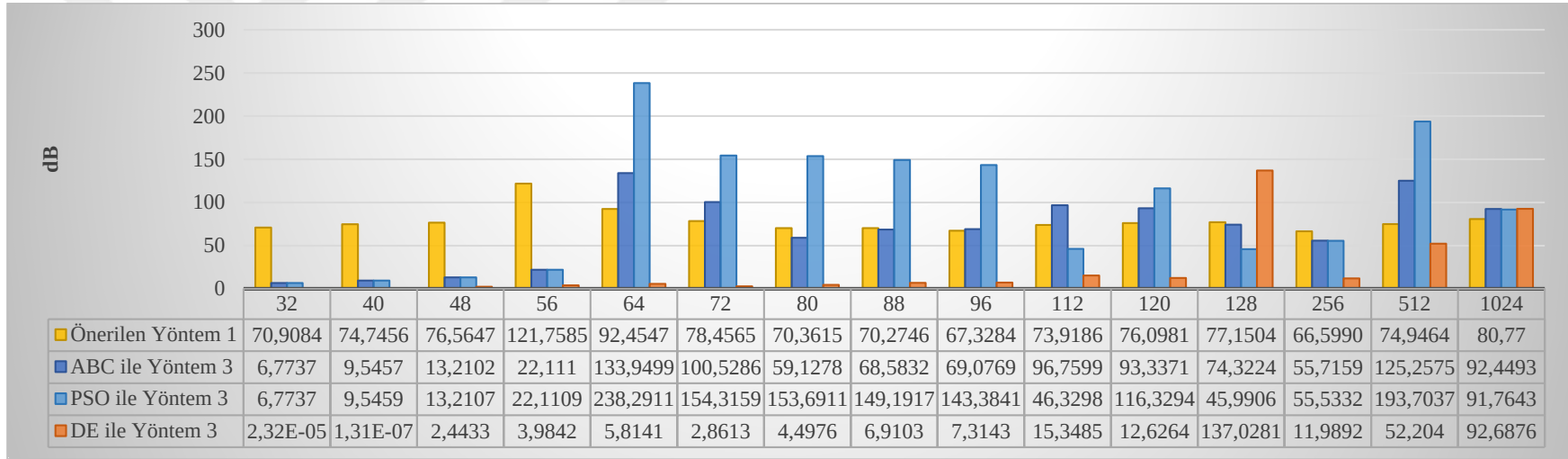
Şekil 4. 9. 4 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen PRE değerleri



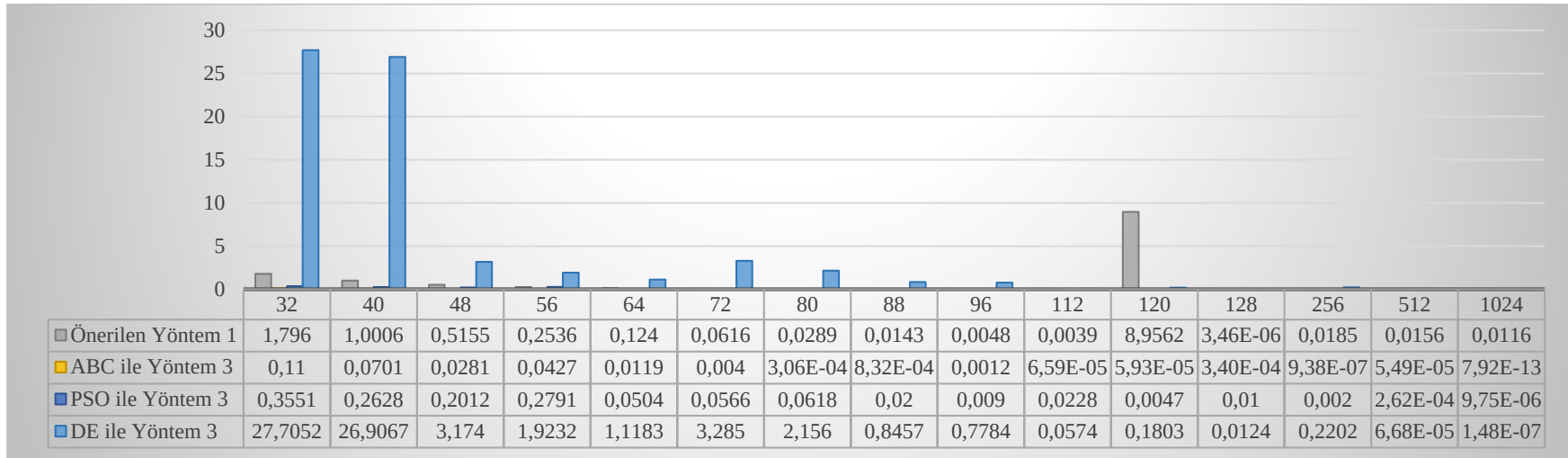
Şekil 4. 10. 8 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen A_s değerleri



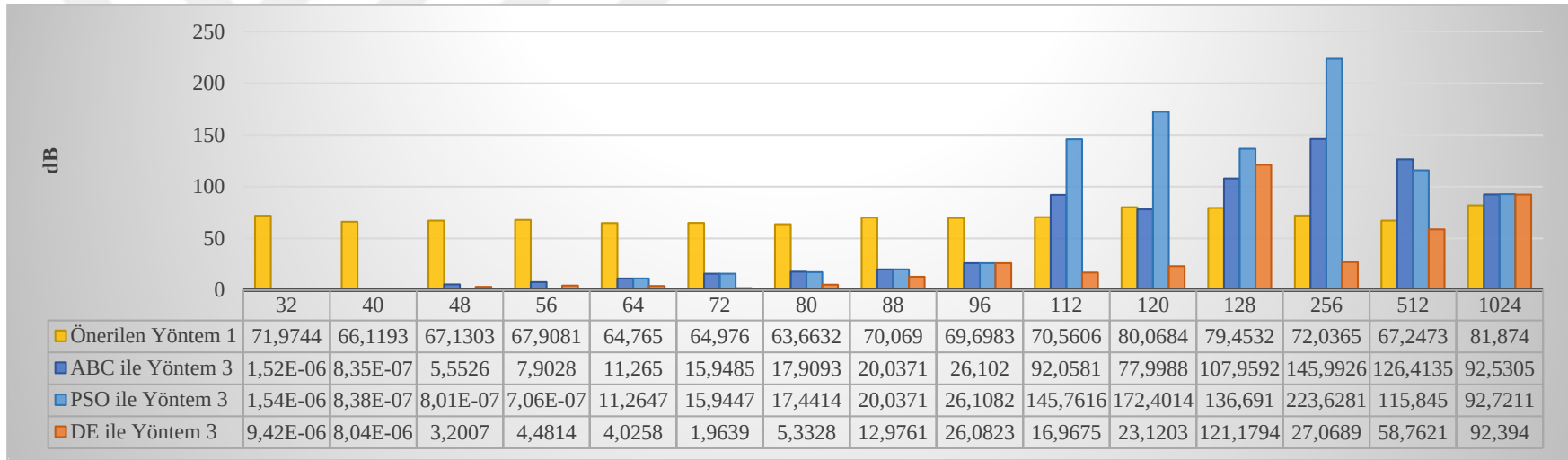
Şekil 4. 11. 8 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen PRE değerleri.



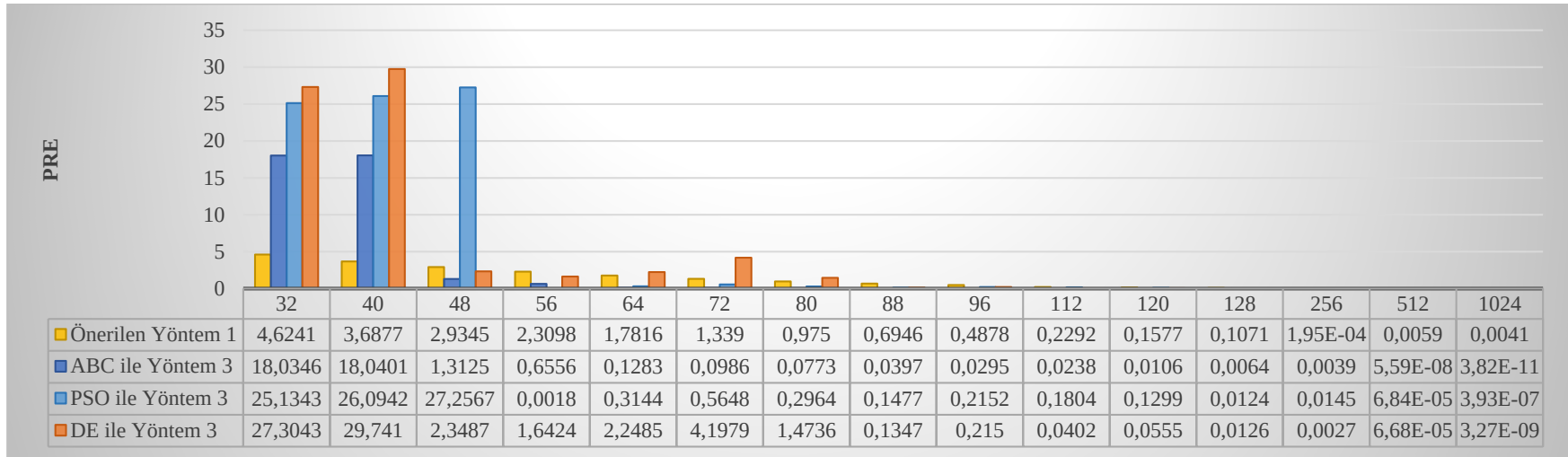
Şekil 4. 12. 16 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen A_s değerleri.



Şekil 4. 13. 16 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen PRE değerleri.

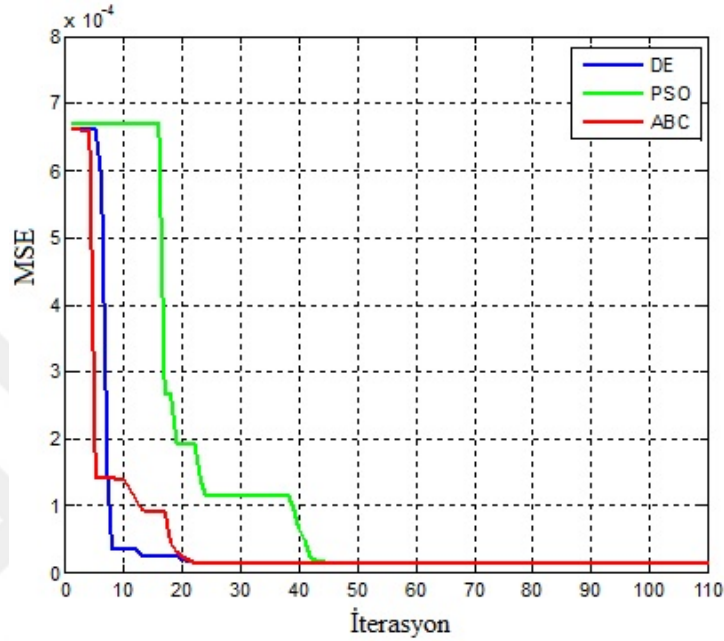


Şekil 4. 14. 32 kanallı CMFB tasarımlarının hepsinden elde edilen A_s değerleri.



Şekil 4. 15. 32 kanallı CMFB için tüm yöntemlerle elde edilen PRE değerleri

Şekil 4.16’da Önerilen Yöntem 3 için kullanılan sezgisel algoritmalarla 4 kanallı yapıda süzgeç derecesinin 80 olduğu durumda; DE, PSO ve ABC’ye ait MSE yakınsama grafikleri görülmektedir.



Şekil 4. 16. ABC, PSO ve DE için karşılaştırmalı MSE yakınsama grafiği.

Burada ilk iterasyonlarda en iyi değer ABC algoritmasına aitken beşinci iterasyondan sonra DE algoritması daha iyi sonuç vermiş, yirminci iterasyondan sonra bu iki algoritmanın performansı eşitlenmiştir. PSO algoritmasının yakınsama hızı ABC ve DE algoritmalarının yakınsama hızlarından daha zayıf kalmıştır.

5. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1.Tartışma

Alt bantlara sahip süzgeçleme, sabit hızlı olup yüksek çıkış gürültüsü ve süzgeç katsayısı değişimi hassasiyeti olan tek bir süzgeç göz önüne alındığında, karmaşık süzgeçleme problemlerini çözmek için mevcut en iyi yaklaşımlardan birisidir. Bu süzgeçleme türü, çok hızlı süzgeç bankalarının inşasında kullanılır. Süzgeç bankası tasarımlarının önemli bir avantajı, FIR süzgeçlerin verimliliğini önemli bir şekilde arttırma yeteneği olup bu sayede pratikte kullanımlarını oldukça çekici hale getirmesidir. Bir FIR süzgeç kolaylıkla istenilen değerde bir doğrusal faz yanıtı üretir. Süzgeç bankası tasarımı gibi işaretin dalga şeklinin korunmasının gerektiği durumlarda doğrusal fazlı FIR süzgeç uygun bir seçimdir.

Süzgeç bankalarında sürekli zamanlı işaretleri işleyebilmek için bu işaretler önce parçalara ayrılıp işlem yapıldığından, işaretin parçalara ayrıldığı noktalarda meydana gelen bozulmaları azaltabilmek adına bir işaret parçasının her iki sınırında pencere fonksiyonlarından faydalanılarak ağırlıklandırma işlemi yapılır. Bu sayede işaretin uç noktalarında meydana gelen bozulmalar minimize edilir. En genel tanımıyla belirlenen fonksiyon aralığı dışındaki değerlerin sıfır olduğu fonksiyonlara '*pencere fonksiyonu*' adı verilmektedir. Literatürdeki süzgeç tasarımında istenilen genlik spektrumuna düşük derecelerde ve uygun spektral parametrelerle ulaşabilmek amacıyla pencere fonksiyonları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar kendi içlerinde sabit pencere fonksiyonları ve ayarlanabilir pencere fonksiyonları olmak üzere iki çeşittir. Sabit miktarda zayıflatma sağlayan pencere fonksiyonlarına *sabit pencere fonksiyonları* adı verilir. Bu fonksiyonların zayıflatma miktarı sabit olduğundan uygulamaların çoğu için elverişsizdirler. Bazı pencere fonksiyonları ise sahip oldukları şekillendirici parametreler

sayesinde süzgecin dalgalanma ve zayıflatma değerlerinin ayarlanmasına olanak tanır. Böyle pencere fonksiyonları '*ayarlanabilir pencere fonksiyonları*' olarak adlandırılırlar. Bu tez çalışmasında yapılan tasarımlarda ayarlanabilir parametresi β ile ifade edilen Kaiser penceresi ve ayarlanabilir parametresi α ile ifade edilen Gaussian penceresi olmak üzere iki farklı ayarlanabilir pencere fonksiyonu kullanılmıştır.

Klasik algoritmalarla göre daha kısa sürede daha az işlem yaparak sonuç elde edebilen sezgisel algoritmalar bu yetenekleri sayesinde mühendislik, finans, ekonomi gibi birçok farklı alanda farklı türde problemlerin çözümleri için sıklıkla tercih edilmektedirler. Popülasyon tabanlı olan üç farklı sezgisel algoritma ABC, PSO ve DE bu tez çalışmasında CMFB tasarımı için tercih edilen algoritmalar. Süzgeç bankalarında prototip süzgeç tasarımının gerçekleştirilmesi çok parametresi olan bir optimizasyon problemidir. Prototip süzgeci tasarlarken sezgisel algoritma kullanılmadan yapılan tasarımda elde edilen durdurma bandı zayıflatması ve tepe yeniden yapılandırma hatası değerlerini iyileştirmek için sezgisel algoritmalar tercih edilmiştir.

Tez çalışmasının ilk bölümünde konu ile ilgili temel bilgiler ve mevcut literatür çalışmaları yer almaktadır. Literatür araştırması esnasında IEEE, ScienceDirect, Web of Science, Springer Link ve Google Scholar veri tabanları başta olmak üzere konuya ilişkin anahtar kelimeler kullanılarak detaylı bir araştırma yapılmıştır.

İkinci bölümde, birinci bölümdeki araştırmalar ışığında literatürde CMFB tasarımlarında kullanılan sezgisel algoritmalar hakkında kısa bilgiler ve hangi algoritmaların hangi çalışmalarda kullanıldığına dair referanslar yer almaktadır.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde Kaiser ve Gaussian ayarlanabilir pencere fonksiyonlarıyla tasarlanan özgün bir CMFB yöntemi sunulmuş ve Önerilen Yöntem 1 olarak adlandırılmıştır. CMFB'nin prototip süzgeci bu pencerelerin kaskat kullanımı ile tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen tasarımdan elde edilen performans parametreleri literatürdeki benzerlerinden daha iyi sonuçlar üretmiştir.

Dördüncü bölümde sezgisel algoritmalar kullanılarak yapılan süzgeç bankası tasarımları yer almaktadır. Bu kısımda sezgisel algoritma kullanılarak iki farklı CMFB

tasarlandığından 4. Bölüm, Önerilen Yöntem-2 ve Önerilen Yöntem-3 olmak üzere iki alt başlıkta toplanmıştır.

Önerilen Yöntem-2, ilk tasarımdan tamamıyla farklı olup burada süzgeç bankasının pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan prototip süzgecinin kesim frekansı ve pencere fonksiyonunun ayarlanabilir parametresi olmak üzere iki farklı parametre ABC algoritmasıyla tasarlanmıştır. Bu yöntemle elde edilen w_{co} , α ve β parametreleri optimize edilerek almış olduğu değerler sunulmuştur. Bu yöntem, literatürde yer alan deneysel parametre değerlerinin kullanımından farklı değerlerin kullanılması durumunda hangi parametre değerlerinin kullanılabileceğini gözler önüne serilirken, elde edilen durdurma bandı zayıflatması değerlerinin düşük değerlerde kalması önerilen yöntemin dezavantajıdır.

Önerilen Yöntem 3'te ise Önerilen Yöntem 1'in amaç fonksiyonu geliştirilip değiştirilerek tasarıma sezgisel algoritmalar da dahil edilmiştir. Burada prototip süzgecin performans parametrelerine göre tanımlanan hata fonksiyonu sezgisel algoritmalar kullanılarak optimize edilerek süzgeç bankası tasarımları gerçekleştirilmiştir. Önerilen Yöntem-3 başlığı altında ABC ile Önerilen Yöntem 3, PSO ile Önerilen Yöntem 3 ve DE ile Önerilen Yöntem 3 olmak üzere üç farklı yöntem denenmiş, farklı kanal sayıları ve farklı süzgeç derecelerine sahip tasarım örnekleri sunulmuştur. Sezgisel yöntemlerle elde edilen sonuçların, sezgisel olmayan ve literatürden daha iyi sonuçlar üreten kaskat tasarımdan daha iyi olduğu görülmüştür. Sezgisel algoritma kullanılarak yapılan tasarımlarda optimum A_s değerleri söz konusu olduğunda algoritmaların birbirlerine üstünlüğü olmayıp farklı durumlarda farklı tasarımlar en iyi sonuçları üretmiştir. *PRE* değerleri söz konusu olduğunda ise optimum değerlerin neredeyse tamamı, elde edilen diğer sonuçlardan çok daha iyi bir şekilde ABC ile Önerilen Yöntem 3 yöntemi ile elde edilmiştir.

5.2.Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında işaret işlemede büyük öneme sahip olan süzgeç bankaları içinde tasarım kolaylığı ve verimliliği açısından tercih sebebi olan CMFB tasarımları gerçekleştirilmiştir. Sunulan tasarımlarda iki farklı pencere fonksiyonu olan Kaiser ve Gaussian ile ABC, PSO ve DE olmak üzere üç farklı sezgisel algoritma kullanılarak farklı

kanal sayıları ve farklı süzgeç derecelerine sahip tasarımlar yapılmıştır. Sezgisel algoritmalar kullanılarak yapılan tasarımlardan elde edilen performans parametrelerinin diğerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Önerilen yöntemlerin tamamı düzgün CMFB'ler olup alt kanalların bant genişlikleri birbirine eşittir. Çalışmaların devamı niteliğinde farklı pencere türleri kullanılarak prototip süzgeç tasarımları denenebilir. Ayrıca problem durumuna bağlı olarak alt kanal bant genişlikleri birbirinden farklı olan tasarımlar, önerilen tasarımlar kullanılarak geliştirilebilir ve farklı türde işaretlere uygulanabilir.



KAYNAKÇA

1. Vaidyanathan, P.P., Multirate systems and filter banks. 1993: Prentice-Hall, Inc. 900.
2. Nussbaumer, H. and M. Vetterli. Computationally efficient QMF filter banks. in Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '84. 1984.
3. Mertins, A., Signal Analysis: Wavelets, Filter Banks, Time-Frequency Transforms, and Applications. 1999, England.: Wiley.
4. Milic, L., Multirate Filtering for Digital Signal Processing: MATLAB Applications. 2008: Information Science Reference - Imprint of: IGI Publishing. 414.
5. Chu, P.L., Quadrature Mirror Filter Design for an Arbitrary Number of Equal Bandwidth Channels. Ieee Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1985. **33**(1): p. 203-218.
6. Masson, J. and Z. Picel. Flexible design of computationally efficient nearly perfect QMF filter banks. in Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '85. 1985.
7. Shaeen, K. and E. Elias, Prototype Filter Design Approaches for Near Perfect Reconstruction Cosine Modulated Filter Banks - A Review. Journal of Signal Processing Systems for Signal Image and Video Technology, 2015. **81**(2): p. 183-195.
8. Ertürk, S., Sayısal İşaret İşleme. 2009: Birsen Yayınevi.
9. Prabhu, K.M.M., "Window Functions and their Applications in Signal Processing". 2014: CRC Press.
10. Jackson, L.B., Digital Filters and Signal Processing: With MATLAB Exercises. 1996: Kluwer Academic Publishers. 520.
11. Sakthivel, V. and E. Elias, Design of low complexity sharp MDFT filter banks with perfect reconstruction using hybrid harmony-gravitational search algorithm. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2015. **18**(4): p. 648-657.
12. Yang, X.-S., Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms: Second Edition. 2010: Luniver Press. 160.

13. Vasant, P., Meta-Heuristics Optimization Algorithms in Engineering, Business, Economics, and Finance. 2012: IGI Global. 734.
14. Creusere, C.D. and S.K. Mitra, A Simple Method for Designing High-Quality Prototype Filters for M-Band Pseudo Qmf Banks. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 1995. **43**(4): p. 1005-1007.
15. Lin, Y.P. and P.P. Vaidyanathan, Linear-Phase Cosine-Modulated Maximally Decimated Filter Banks with Perfect Reconstruction. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 1995. **43**(11): p. 2525-2539.
16. Beaulieu, F.D. and B. Champagne, Design of prototype filters for perfect reconstruction DFT filter bank transceivers. *Signal Processing*, 2009. **89**(1): p. 87-98.
17. Ying, T., Design of perfect reconstruction cosine modulated filter bank with linear phase. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 1998. **9**(1): p. 23-29.
18. Rahimi, S. and B. Champagne, Oversampled perfect reconstruction DFT modulated filter banks for multi-carrier transceiver systems. *Signal Processing*, 2013. **93**(11): p. 2942-2955.
19. Nguyen, T.Q., Near-perfect-reconstruction pseudo-QMF banks. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 1994. **42**(1): p. 65-76.
20. Koilpillai, R.D. and P.P. Vaidyanathan, A Spectral Factorization Approach to Pseudo-Qmf Design. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 1993. **41**(1): p. 82-92.
21. Cruz-Roldan, F., et al., Alternating analysis and synthesis filters: A new pseudo-QMF bank. *Digital Signal Processing*, 2001. **11**(4): p. 329-345.
22. Rothweiler, J. Polyphase quadrature filters--A new subband coding technique. in *Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE International Conference on ICASSP '83*. 1983.
23. Gordana, J.-D., ed. *Multirate systems: design and applications*. ed. J.-D. Gordana. 2002, IGI Publishing: USA. 312.
24. Malvar, H.S., Modulated Qmf Filter Banks with Perfect Reconstruction. *Electronics Letters*, 1990. **26**(13): p. 906-907.
25. Malvar, H.S., Extended Lapped Transforms - Properties, Applications, and Fast Algorithms. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 1992. **40**(11): p. 2703-2714.

26. Ramstad, T.A. and J.P. Tanem, Cosine-Modulated Analysis-Synthesis Filterbank with Critical Sampling and Perfect Reconstruction. *Icassp 91*, Vols 1-5, 1991: p. 1789-1792.
27. Koilpillai, R.D. and P.P. Vaidyanathan, New Results on Cosine-Modulated Fir Filter Banks Satisfying Perfect Reconstruction. *Icassp 91*, Vols 1-5, 1991: p. 1793-1796.
28. Koilpillai, R.D. and P.P. Vaidyanathan, Cosine-Modulated Fir Filter Banks Satisfying Perfect Reconstruction. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 1992. **40**(4): p. 770-783.
29. Saramaki, T., Designing Prototype Filters for Perfect-Reconstruction Cosine-Modulated Filter Banks. 1992 *Ieee International Symposium on Circuits and Systems*, Vols 1-6, 1992: p. 1605-1608.
30. Nguyen, T.Q., T.I. Laakso, and T.E. Tuncer, On Perfect-Reconstruction Allpass-Based Cosine-Modulated Iir Filter Banks. 1994 *Ieee International Symposium on Circuits and Systems*, Vol 2, 1994: p. B33-B36.
31. Ibarra-Manzano, O.G. and G. Jovanovic-Dolecek, Cosine-modulated FIR filter banks satisfying perfect reconstruction: An iterative algorithm. 42nd Midwest Symposium on Circuits and Systems, Proceedings, Vols 1 and 2, 1999: p. 1061-1064.
32. Bregovic, R. and T. Saramaki, An efficient approach for designing nearly perfect-reconstruction low-delay cosine-modulated filter banks. 2002 *Ieee International Symposium on Circuits and Systems*, Vol I, Proceedings, 2002: p. 825-828.
33. Cruz-Roldan, F. and M. Monteagudo-Prim, Efficient implementation of nearly perfect reconstruction FIR cosine-modulated filterbanks. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 2004. **52**(9): p. 2661-2664.
34. Alhava, J. and A. Viholainen, Coefficient quantization in nearly perfect-reconstruction cosine-modulated filter banks. 2000 *Ieee International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Proceedings, Vols I-Vi, 2000: p. 536-539.
35. Martin, P., F. Cruz-Roldan, and T. Saramaki, A windowing approach for designing critically sampled nearly perfect-reconstruction cosine-modulated transmultiplexers and filter banks. *Ispa 2003: Proceedings of the 3rd International*

- Symposium on Image and Signal Processing and Analysis, Pts 1 and 2, 2003: p. 755-760.
36. Cruz-Roldan, F., I. Santamaria, and A.M. Bravo, Frequency sampling design of prototype filters for nearly perfect reconstruction cosine-modulated filter banks. *Ieee Signal Processing Letters*, 2004. **11**(3): p. 397-400.
 37. Jeong-Jin, L. and L. Byeong Gi, A design of nonuniform cosine modulated filter banks. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing*, 1995. **42**(11): p. 732-737.
 38. Argenti, F., B. Brogelli, and E. DelRe, Cosine-modulated non-uniform filter banks. 1996 Ieee Digital Signal Processing Workshop, Proceedings, 1996: p. 129-132.
 39. Li, J.L., T.Q. Nguyen, and S. Tantaratana, A simple design method for near-perfect-reconstruction nonuniform filter banks. *Ieee Transactions on Signal Processing*, 1997. **45**(8): p. 2105-2109.
 40. Chan, S.C., X.M. Xie, and T.I. Yuk, Theory and design of a class of cosine-modulated non-uniform filter banks. 2000 Ieee International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Proceedings, Vols I-Vi, 2000: p. 504-507.
 41. Xie, X.M., Design of nonuniform cosine-modulated filter-banks with the perfect-reconstruction property and arbitrary filter lengths. *Progress in Natural Science*, 2007. **17**(3): p. 340-345.
 42. Zhang, Z.J. and Y. Yang, Efficient design of low delay nonuniform cosine modulated filter banks based on gradient information. *Chinese Journal of Electronics*, 2008. **17**(3): p. 567-570.
 43. Lee, J.J. and B.G. Lee, A Design of Nonuniform Cosine-Modulated Filter Banks. *Ieee Transactions on Circuits and Systems Ii-Analog and Digital Signal Processing*, 1995. **42**(11): p. 732-737.
 44. Kumar, A., G.K. Singh, and S. Anurag, An optimized cosine-modulated nonuniform filter bank design for subband coding of ECG signal. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 2015. **27**(2): p. 158-169.
 45. Zhang, Z.J., Efficient design of cosine modulated filter banks based on gradient information. *Ieee Signal Processing Letters*, 2007. **14**(12): p. 940-943.

46. Firoz, J.S., M.S. Rahman, and T.K. Saha, Bee Algorithms for Solving DNA Fragment Assembly Problem with Noisy and Noiseless data. Proceedings of the Fourteenth International Conference on Genetic and Evolutionary Computation Conference, 2012: p. 201-208.
47. Zhang, Z.J., P.L. Shui, and T. Su, Efficient Design of High-Complexity Cosine Modulated Filter Banks Using 2Mth Band Conditions. Ieee Transactions on Signal Processing, 2008. **56**(11): p. 5414-5426.
48. Ozdemir, G. and N. Karaboga. Süzgeç Bankası Tasarımında Kullanılan ABC Algoritmasının Kontrol Parametrelerindeki Değişimin Performansa Etkisinin İncelenmesi. in ASYU-2017 Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Konferansı. 2017. Antalya, TURKIYE.
49. Chan, S.C., W. Liu, and K.L. Ho, Multiplierless perfect reconstruction modulated filter banks with sum-of-powers-of-two coefficients. Ieee Signal Processing Letters, 2001. **8**(6): p. 163-166.
50. Baicher, G.S., Optimal Design of a Class of M-Channel Uniform Filter Bank Using Genetic Algorithms. Icspc: 2007 Ieee International Conference on Signal Processing and Communications, Vols 1-3, Proceedings, 2007: p. 1515-1518.
51. Cruz-Roldan, F., et al., Evolutionary programming techniques for designing M-channel cosine modulated filter banks. 2007 Ieee International Symposium on Intelligent Signal Processing, Conference Proceedings Book, 2007: p. 279-284.
52. Zhu Youlian, Huang Cheng, and T. Weige. Frequency Domain Optimization Design of Linear Phase Cosine Modulated Filter Banks. in 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. 2010.
53. Tan, F., et al. Optimal design of Cosine Modulated Filter Banks using quantum-behaved particle swarm optimization algorithm. in Image and Signal Processing (CISP), 2011 4th International Congress on. 2011.
54. Liu, H., Z. Yang, and Z. Cao, Design perfect reconstruction cosine-modulated filter bank by variable neighbourhood search-least-mean-square error. Iet Signal Processing, 2012. **6**(3): p. 273-280.
55. Nasir, M., S. Sengupta, and S. Das, Efficient Design of Cosine-Modulated Filter Banks Using Evolutionary Multi-objective Optimization. Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing, (Semcco 2012), 2012. **7677**: p. 785-792.

56. Kuldeep, B., A. Kumar, and G.K. Singh. PSO based optimized fractional derivative constraints for designing M-Channel filter bank. in Signal Processing, Computing and Control (ISPCC), 2015 International Conference on. 2015.
57. Kuldeep, B., A. Kumar, and G.K. Singh, Design of Multi-channel Cosine-Modulated Filter Bank Based on Fractional Derivative Constraints Using Cuckoo Search Algorithm. *Circuits Systems and Signal Processing*, 2015. **34**(10): p. 3325-3351.
58. Baderia, K., A. Kumar, and G.K. Singh, Design of Multi-Channel Filter Bank using ABC Optimized Fractional Derivative Constraints. 2015 International Conference on Communications and Signal Processing (Iccsp), 2015: p. 490-494.
59. Kalathil, S. and E. Elias, Non-uniform cosine modulated filter banks using meta-heuristic algorithms in CSD space. *Journal of Advanced Research*, 2015. **6**(6): p. 839-849.
60. Manoj, V.J. and E. Elias, Design of Cosine Modulated Filterbank Transmultiplexer for Unknown Channels Using Genetic Algorithm. 2008 Ieee Region 10 Conference: Tencon 2008, Vols 1-4, 2008: p. 385-389.
61. Sharma, I., A. Kumar, and G.K. Singh, Adjustable window based design of multiplier-less cosine modulated filter bank using swarm optimization algorithms. *Aeu-International Journal of Electronics and Communications*, 2016. **70**(1): p. 85-94.
62. G., O. and N. Karaboga, The effect of the increase in the number of channels to the performance in the Cosine Modulated Filter Bank design, in 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). 2018: İzmir. p. 1-4.
63. Kalathil, S., B.S. Kumar, and E. Elias, Efficient design of multiplier-less digital channelizers using recombination non-uniform filter banks. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 2015.
64. Kalathil, S. and E. Elias, Design of multiplier-less sharp non-uniform cosine modulated filter banks for efficient channelizers in software defined radio. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2016. **19**(1): p. 147-160.
65. Baderia, K., A. Kumar, and G.K. Singh. An improved method for designing cosine modulated filter bank using polyphase components. in 2016 3rd

- International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN). 2016.
66. Srinivas, M. and L.M. Patnaik, Genetic algorithms: a survey. *Computer*, 1994. **27**(6): p. 17-26.
 67. Holland, J.H., *Adaptation in natural and artificial systems : an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*. 1975, Ann Arbor: University of Michigan Press.
 68. Fogel, L.J., A.J. Owens, and M.J. Walsh, *Intelligent decision-making through a simulation of evolution*. *IEEE Transactions on Human Factors in Electronics*, 1965. **HFE-6**(1): p. 13-23.
 69. Yao, X., Y. Liu, and G.M. Lin, *Evolutionary programming made faster*. *Ieee Transactions on Evolutionary Computation*, 1999. **3**(2): p. 82-102.
 70. Eberhart, R. and J. Kennedy. *A new optimizer using particle swarm theory*. in *Micro Machine and Human Science*, 1995. MHS '95., *Proceedings of the Sixth International Symposium on*. 1995.
 71. Kennedy, J. and R. Eberhart. *Particle swarm optimization*. in *Neural Networks*, 1995. *Proceedings., IEEE International Conference on*. 1995.
 72. Kennedy, J. *The particle swarm: social adaptation of knowledge*. in *Evolutionary Computation*, 1997., *IEEE International Conference on*. 1997.
 73. Shi, Y. and R. Eberhart. *A modified particle swarm optimizer*. in *1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98TH8360)*. 1998.
 74. Imran, M., R. Hashim, and N.E.A. Khalid, *An Overview of Particle Swarm Optimization Variants*. *Procedia Engineering*, 2013. **53**: p. 491-496.
 75. Jun, S., F. Bin, and X. Wenbo. *Particle swarm optimization with particles having quantum behavior*. in *Proceedings of the 2004 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No.04TH8753)*. 2004.
 76. Sun, J., W.B. Xu, and B. Feng, *Adaptive parameter control for quantum-behaved particle swarm optimization on individual level*. *International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol 1-4, Proceedings*, 2005: p. 3049-3054.
 77. Sun, J., W.B. Xu, and J. Liu, *Parameter selection of quantum-behaved Particle Swarm Optimization*. *Advances in Natural Computation, Pt 3, Proceedings*, 2005. **3612**: p. 543-552.

78. Xu, W.B. and J. Sun, Adaptive parameter selection of quantum-behaved particle swarm optimization on global level. *Advances in Intelligent Computing, Pt 1, Proceedings*, 2005. **3644**: p. 420-428.
79. Yang, K.Q. and H. Nomura, Quantum-behaved particle swarm optimization with chaotic search. *Ieice Transactions on Information and Systems*, 2008. **E91d**(7): p. 1963-1970.
80. Xu, M. and W.B. Xu, Parameter Estimation of Complex Functions Based on Quantum-behaved Particle Swarm Optimization Algorithm. *Dcabs 2008 Proceedings, Vols I and II*, 2008: p. 591-596.
81. Xi, M.L., J. Sun, and W.B. Xu, Quantum-behaved particle swarm optimization with elitist mean best position. *Dynamics of Continuous Discrete and Impulsive Systems-Series B-Applications & Algorithms*, 2007. **14**: p. 1643-1647.
82. Su, D.B., W.B. Xu, and J. Sun, Quantum-behaved Particle Swarm Optimization with Crossover Operator. *Proceedings of the 2009 International Conference on Wireless Networks and Information Systems*, 2009: p. 399-402.
83. Mladenović, N. and P. Hansen, Variable neighborhood search. *Computers & Operations Research*, 1997. **24**(11): p. 1097-1100.
84. Hansen, P., N. Mladenovic, and J.A. Moreno Perez, Variable neighbourhood search: methods and applications. *4or-a Quarterly Journal of Operations Research*, 2008. **6**(4): p. 319-360.
85. Hansen, P. and N. Mladenović, Variable neighborhood search: Principles and applications. *European Journal of Operational Research*, 2001. **130**(3): p. 449-467.
86. Deb, K., *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*. 2001, New York: Wiley. 518.
87. Zhang, Q.F. and H. Li, MOEA/D: A multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition. *Ieee Transactions on Evolutionary Computation*, 2007. **11**(6): p. 712-731.
88. Nasir, M., et al., An Improved Multiobjective Evolutionary Algorithm based on Decomposition with Fuzzy Dominance. *2011 Ieee Congress on Evolutionary Computation (Cec)*, 2011: p. 765-772.

89. Karaboga, D., An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization. 2005, Technical Report-tr06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, .
90. Karaboga, D., Artificial bee colony algorithm. Scholarpedia, 2010. 5: p. 6915.
91. Karaboga, D. and B. Basturk, A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. Journal of Global Optimization, 2007. **39**(3): p. 459-471.
92. Karaboga, D. and B. Basturk, On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. Applied Soft Computing, 2008. **8**(1): p. 687-697.
93. Rashedi, E., H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi, GSA: A Gravitational Search Algorithm. Information Sciences, 2009. **179**(13): p. 2232-2248.
94. Geem, Z.W., J.H. Kim, and G.V. Loganathan, A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search. Simulation, 2001: p. 76:2,60-68.
95. Yang, X.-S., Harmony Search as a Metaheuristic Algorithm, in Music-Inspired Harmony Search Algorithm: Theory and Applications, Z.W. Geem, Editor. 2009, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 1-14.
96. Blum, C., et al., Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey. Applied Soft Computing, 2011. **11**(6): p. 4135-4151.
97. Yang, X.S. and D. Suash. Cuckoo Search via Levy flights. in 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC). 2009.
98. Walton, S., et al., Modified cuckoo search: A new gradient free optimisation algorithm. Chaos, Solitons & Fractals, 2011. **44**(9): p. 710-718.
99. Ozdemir, G. and N. Karaboga, Uniform Cosine Modulated Filter Banks - A New Cascade Method Based on Window Functions. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, May 2019 (ACCEPTED).
100. Kaiser, J.F. and R.W. Schafer, Use of the Io-Sinh Window for Spectrum Analysis. Ieee Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1980. **28**(1): p. 105-107.
101. Ingle, V.K. and J.G. Proakis, Digital Signal Processing Using MATLAB (3rd ed.). 2011, CL-Engineering
102. Harris, F.J., On the use of windows for harmonic analysis with the discrete Fourier transform. Proceedings of the Ieee, 1978. **66**(1): p. 51-83.

103. Datar, A., A. Jain, and P.C. Sharma, Design of Kaiser window based optimized prototype filter for cosine modulated filter banks. *Signal Processing*, 2010. **90**(5): p. 1742-1749.
104. Avci, K., Design of fir filters using exponential-Hamming window family. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 2016. **24**(4): p. 2513-2524.
105. Ozdemir, G., N. Karaboga, and T. Koza, Performance Comparison of Two Channel CMFB and QMF Bank Designed via ABC Algorithm. 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (Siu), 2017.
106. Karaboga, N. and B. Kamislioglu, A New Method for Quarter Mirror Filter Bank Design. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2015. **30**(2): p. 297-307.
107. Avci, K., Two dimensional digital filter design using Kaiser-Hamming window structure and Huang transform and image enhancement application. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2018. **33**(4): p. 1459-1473.
108. Ustun, B. and K. Avci, A New Hybrid Window based on Cosh and Hamming Windows for Nonrecursive Digital Filter Design. 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (Siu), 2015: p. 2282-2285.
109. Arya, R. and S. Jaiswal, Design of Low pass FIR Filters using Kaiser Window Function with variable parameter Beta (β). *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, 2015. **3**(March/April 2015): p. 220-224.
110. Roy, T.K. and M. Morshed, Performance Analysis of Low Pass FIR Filters Design Using Kaiser, Gaussian and Tukey Window Function Methods. 2013 2nd International Conference on Advances in Electrical Engineering (Icaee 2013), 2013: p. 1-+.
111. Avci, K., Kaiser-Hamming Window and Its Performance Analysis for Nonrecursive Digital Filter Design. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2014. **29**(4): p. 823-833.
112. Gacek, A., An Introduction to ECG Signal Processing and Analysis, in *ECG Signal Processing, Classification and Interpretation: A Comprehensive Framework of Computational Intelligence*, A. Gacek and W. Pedrycz, Editors. 2012, Springer London: London. p. 21-46.

113. Kamislioglu, B. and N. Karaboga, Investigation of the performance of the Kaiser-Hamming window in design of QMF bank. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences-Pamukkale Universitesi Muhendislik Bilimleri Dergisi, 2019. **25**(2): p. 165-173.
114. Kockanat, S., et al., Adaptive FIR Filtering Using ABC Algorithm: a Noise Reduction Application on Mitral Valve Doppler Signal. Elektronika Ir Elektrotechnika, 2018. **24**(5): p. 62-68.
115. Koza, T. and N. Karaboga, Quadrature Mirror Filter Bank Design for Mitral Valve Doppler Signal Using Artificial Bee Colony Algorithm. Elektronika Ir Elektrotechnika, 2017. **23**(1): p. 57-62.
116. Kockanat, S. and N. Karaboga, Medical Image Denoising Using Metaheuristics. Metaheuristics for Medicine and Biology, 2017. **704**: p. 155-169.
117. Kockanat, S. and N. Karaboga, A novel 2D-ABC adaptive filter algorithm: A comparative study. Digital Signal Processing, 2015. **40**: p. 140-153.
118. Kockanat, S. and N. Karaboga, The design approaches of two-dimensional digital filters based on metaheuristic optimization algorithms: a review of the literature. Artificial Intelligence Review, 2015. **44**(2): p. 265-287.
119. Karaboga, D., et al., A comprehensive survey: artificial bee colony (ABC) algorithm and applications. Artificial Intelligence Review, 2014. **42**(1): p. 21-57.
120. Karaboga, N. and F. Latifoglu, Elimination of noise on transcranial Doppler signal using IIR filters designed with artificial bee colony - ABC-algorithm. Digital Signal Processing, 2013. **23**(3): p. 1051-1058.
121. Karaboga, D. and B. Akay, A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm. Applied Mathematics and Computation, 2009. **214**(1): p. 108-132.
122. Jain, N.K., U. Nangia, and J. Jain, A Review of Particle Swarm Optimization. Journal of The Institution of Engineers (India): Series B, 2018. **99**(4): p. 407-411.
123. Price, K. and R. Storn, Differential evolution. Dr Dobbs Journal, 1997. **22**(4): p. 18-+.
124. Storn, R. and K. Price, Differential evolution - A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. Journal of Global Optimization, 1997. **11**(4): p. 341-359.

EKLER

EK 1.

Tablo 1A: N 'nin 88-1024 arasındaki değerleri için Kaiser, Gaussian ve önerilen yöntemin A_s ve PRE değerleri.

M	N	<i>Kaiser</i>		<i>Gaussian</i>		<i>Önerilen Yöntem</i>	
		A_s	PRE	A_s	PRE	A_s	PRE
4	88	76.2029	6.0164	82.7939	6.0206	89.7997	1.0665e-04
4	96	70.9394	6.0108	82.1396	6.0206	84.3743	3.4547e-04
4	112	73.8678	6.0109	82.9328	6.0206	89.4763	2.3834e-04
4	120	69.8318	6.0157	83.3269	6.0206	94.5414	3.0694e-04
4	128	75.4952	6.0105	82.5015	6.0206	95.2379	2.6160e-04
4	256	69.1174	6.0083	88.8956	6.0206	86.2926	4.7695e-04
4	512	69.1423	6.0153	91.8449	6.0206	93.2616	4.3080e-04
4	1024	84.3048	6.0158	92.2537	6.0206	90.3674	4.8766e-04
8	88	62.9447	5.9872	68.7164	6.0156	74.0139	0.0041
8	96	74.5284	5.9962	73.7426	6.0166	75.6168	0.0013
8	112	69.9941	6.0131	65.4169	6.0124	68.2547	0.0058
8	120	71.7344	6.0067	65.2444	6.0061	74.8770	0.0041
8	128	67.8661	6.0022	75.1831	5.9878	70.8981	0.0185
8	256	69.6429	6.0014	62.5640	5.9943	70.0618	0.0185
8	512	67.5994	6.0026	63.4566	6.0039	72.9198	0.0136
8	1024	75.2632	6.0036	80.7173	6.0110	80.6843	0.0098
16	88	67.1283	6.0131	67.2735	5.9984	70.2746	0.0143
16	96	63.2979	6.0175	63.1294	6.0131	67.3284	0.0048
16	112	71.1994	6.0189	67.4777	6.0139	73.9186	0.0039
16	120	69.1898	6.0202	74.4837	6.0188	76.0981	8.9562e-04
16	128	71.3378	6.0107	71.5437	6.0203	77.1504	3.4609e-06
16	256	71.7422	6.0036	66.3429	5.9879	66.5990	0.0185
16	512	68.0051	6.0014	70.6969	5.9964	74.9464	0.0156
16	1024	76.6370	6.0027	80.6329	6.0013	80.7700	0.0116
32	88	65.9156	5.3616	66.2722	5.2824	70.0690	0.6946
32	96	69.1128	5.5764	66.3343	5.4877	69.6983	0.4878
32	112	70.9105	5.8248	64.8553	5.7556	70.5606	0.2292
32	120	59.8210	5.8917	69.4872	5.8308	80.0684	0.1577
32	128	73.5517	5.9360	70.9591	5.8882	79.4532	0.1071
32	256	73.9259	6.0108	66.3138	6.0202	72.0365	1.9503e-04
32	512	69.7732	6.0193	72.9338	5.9997	67.2473	0.0059
32	1024	82.1161	6.0173	81.8438	6.0123	81.8740	0.0041

EK 2.

4 Kanal ve $N-1=32$ değeri için elde edilen prototip süzgecin katsayıları:

-0.000208878667407 -0.000461205115124 -0.000737720897405 -
 0.000910709734482 -0.000781968501672 -0.000099024615960 0.001409842755193
 0.003992040778579 0.007855254339063 0.013268278633907 0.020890539346966
 0.032237116555731 0.049581796650666 0.074198895791595 0.103153802202547
 0.127799640461735 0.137624600032137 0.127799640461735 0.103153802202547
 0.074198895791595 0.049581796650666 0.032237116555731 0.020890539346966
 0.013268278633907 0.007855254339063 0.003992040778579 0.001409842755193
 -0.000099024615960 -0.000781968501672 -0.000910709734482 -
 0.000737720897405 -0.000461205115124 -0.000208878667407

EK 3.

8 Kanal ve $N-1=32$ değeri için elde edilen prototip süzgecin katsayıları:

0.000442051216234 0.001036170507058 0.001926216465019 0.003160516400934
 0.004771687275456 0.006771181988899 0.009148921872725 0.011890628278296
 0.015046816747074 0.018912505957122 0.024338457433520 0.032967565493540
 0.046809135360883 0.066588635458018 0.089490701307131 0.108619757317287
 0.116158101841610 0.108619757317287 0.089490701307131 0.066588635458018
 0.046809135360883 0.032967565493540 0.024338457433520 0.018912505957122
 0.015046816747074 0.011890628278296 0.009148921872725 0.006771181988899
 0.004771687275456 0.003160516400934 0.001926216465019 0.001036170507058
 0.000442051216234

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Gökçen ÖZDEMİR
Uyruğu: Türkiye (T.C.)
Doğum Tarihi ve Yeri: 03.09.1980 - İzmir
Medeni Durum: Evli
e-mail: gozdemir@erciyes.edu.tr
Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Melikgazi, KAYSERİ.

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2009
Lisans	Niğde Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2004
Lise	Niğde Atatürk Lisesi, Niğde	1998

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2007-Halen	Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi
2004-2007	Özel sektör	Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

SCI, SSCI VE AHCI İNDEKSLERİNE GİREN YAYINLAR

1. Ozdemir, G. and N. Karaboga, A review on the cosine modulated filter bank studies using meta-heuristic optimization algorithms. Artificial Intelligence Review, 2017: p. 1-25.
2. Ozdemir, G. and N. Karaboga, “Uniform Cosine Modulated Filter Banks - A New Cascade Method Based on Window Functions”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, ACCEPTED (May 2019).

DiĞER DERGİLERDE YAYINLANAN MAKALELER

3. Ozdemir, G., M.E. Erkoc, and N. Karaboga, Analysis of the Effects of the Frequency Band Values on the Performance of the Cosine Modulated Filter Bank Design. Majlesi Journal of Telecommunication Devices, 2018. 7(1).
4. Erkoc, M.E., G. Ozdemir, and N. Karaboga, Comparison of Reconstruction Algorithms for Sparse Signal Recovery from Noisy Measurement. Majlesi Journal of Telecommunication Devices, 2018. 7(1).

ULUSAL HAKEMLİ BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

5. Ozdemir, G. and N. Karaboga. Süzgeç Bankası Tasarımında Kullanılan ABC Algoritmasının Kontrol Parametrelerindeki Değişimin Performansa Etkisinin İncelenmesi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Konferansı, ASYU-2017, ANTALYA, TÜRKİYE. 2017

ULUSLARARASI HAKEMLİ BİLDİRİ KİTAPLARINDA YER ALAN YAYINLAR

6. Ozdemir, G. and N. Karaboga. Design of M-Channel Uniform Cosine Modulated Filter Bank Using qABC Algorithm. in International Workshop on Mathematical Methods in Engineering, MME2017, ANKARA, TÜRKİYE. 2017.

7. Özdemir, G., N. Karaboğa, and T. Koza. Performance comparison of two channel cmfb and qmf bank designed via abc algorithm. in 2017 25th Signal processing and communications applications conference (SIU). 2017. IEEE.
8. Erkoç, M.E., G. Ozdemir, and K. Nurhan. Comparison of Reconstruction Algorithms for Sparse Signal Reconstruction from Noisy Measurement. in International Advanced Researches and Engineering Congress, IAREC-2017, Osmaniye, TURKIYE. 2017.
9. Ozdemir, G. and N. Karaboga. The effect of the increase in the number of channels to the performance in the Cosine Modulated Filter Bank design. in 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). 2018. IEEE.
10. Ozdemir, G., M.E. Erkoc, and N. Karaboga, Using FPGA's For Educational Purposes in Logic Laboratory, in International Conference on Education in Mathematics, Science and Technology (ICEMST). 2018: Muğla, Türkiye. p. 188.
11. Erkoc, M.E., et al., Integration of Programmable Hardwares to Engineering Education: FPGAS, in International Conference on Education in Mathematics, Science and Technology (ICEMST). 2018: Muğla, Türkiye. p. 189.
12. Ozdemir, G., M.E. Erkoc, and N. Karaboga. Analysis of the Effect of the Stop Band and Transition Band Frequency Values on the Performance of the Filter Bank Design. in International Advanced Researches and Engineering Congress, IAREC-2017, Osmaniye, TURKIYE. 2017.