T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REKABETÇİ METASEZGİSEL ALGORİTMALAR ile MİKROŞERİT BAĞLANTILI ÇİFT BANTLI KOMBİNE BANT GEÇİRGEN FİLTRE PERFORMANS VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Kervendurdy ALLABERDIYEV

DANIŞMAN
Doç. Dr. Ahmet Arif ULUSLU

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Savunma Teknolojileri, Tezli Yüksek Lisans Programı

Mayıs, 2025

TEZ KABUL VE ONAYI

Kervendurdy ALLABERDIYEV tarafından, **Doç. Dr.** Ahmet Arif ULUSLU danışmanlığında hazırlanan **" Rekabetçi Metasezgisel Algoritmalar ile Mikroşerit Bağlantılı Çift Bantlı Kombine Bant Geçirgen Filtre Performans Veri Tabanının Oluşturulması"** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **09/05/2025** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Doç. Dr. Ahmet Arif ULUSLU İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Buket KARATOP İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Özlem TARI İLGİN İstanbul Arel Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü		☐ Kabul ☐ Ret

Aileme ithaf ediyorum…

BÜTÇE DESTEKLERİ

REKABETÇİ METASEZGİSEL ALGORİTMALAR ile MİKROŞERİT BAĞLANTILI ÇİFT BANTLI KOMBİNE BANT GEÇİRGEN FİLTRE PERFORMANS VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, T.C. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı (Disiplinler arası) Savunma Teknolojileri programı kapsamında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, 2,5 GHz ve 3,0 GHz merkez frekanslarına sahip çift bantlı bant geçiren bir mikroşerit filtre, rekabetçi meta-sezgisel algoritmalar kullanılarak optimize edilmiştir. MATLAB R2023B filtre araç kutusu ile gerçekleştirilen tasarım süreci, elektromanyetik simülasyonlar yardımıyla doğrulanarak etkin ve hızlı bir optimizasyon yöntemi ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi birikimi ve akademik rehberliğiyle bana yol gösteren, aynı zamanda motivasyon sağlayarak gelişimime büyük katkıda bulunan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet Arif ULUSLU ‘ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin, ilgili alanda çalışma yapacak araştırmacılar için faydalı bir kaynak olmasını temenni ederim.

Mayıs 2025 Kervendurdy ALLABERDIYEV

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1. PROBLEM DURUMU 1
1.2. AMAÇ / PROBLEMLER VE ALT PROBLEMLER 2
1.3. SINIRLILIKLAR 2
1.4. TANIMLAR 3
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **4**
3. YÖNTEM **7**
3.1. FİLTRELER 7
3.1.1. Yapısal Tasarımına Göre 8
3.1.1.1. Toplu Elemanlı LC Filtreleri *8*
3.1.1.2. Düzlemsel Filtreler *8*
3.1.2. Geçirdiği Frekans Aralığına Göre 8
3.1.2.1. Alçak Geçiren Filtre *8*
3.1.2.2. Yüksek Geçiren Filtre *10*
3.1.2.3. Bant Geçiren Filtre *11*
3.1.2.4. Bant Durduran Filtre *12*
3.1.3. Tepki Türüne Göre 14
3.1.3.1. Butterworth Filtre *14*

3.1.3.2. Chebyshev Filtre *15*
3.1.3.3. Eliptik (Cauer) Filtre *16*
3.2. KOMBİNE MİKROŞERİT FİLTRE TASARIMININ PERFORMANS ÖLÇÜT FONKSİYONLARI 18
3.3. REKABETÇİ METASEZGISEL ALGORİTMALAR 20
3.3.1. Sakarmeke Algoritması 22
3.3.1.1. Rastgele Hareket *23*
3.3.1.2. Zincir Hareketi *24*
3.3.1.3. Grup Liderlerine Göre Konum Ayarlama *25*
3.3.1.4. Liderler Tarafından Grubu Optimal Alana Yönlendirme (Lider Hareketi) *25*
3.3.2. Kaz Algoritması 26
3.3.2.1. Kullanım Aşaması (Exploitation) *27*
3.3.2.2. Keşif Aşaması (Exploration) *30*
3.3.3. Vahşi Kazlar Algoritması (VKA) 31
3.3.3.1. Düzenli ve Koordineli Grup Göçü (veya Göç ve Yer Değiştirme Hızı Aşaması) *32*
3.3.3.2. Vahşi Kazların Yürümesi ve Yiyecek Araması *34*
3.3.3.3. Vahşi Kazların Üremesi ve Evrimi *34*
3.3.3.4. Vahşi kazların ölümü, göçü ve düzenli evrimi *34*
3.4. AMAÇ FONKSİYONU 35
4. BULGULAR 40
4.1. ÇEŞİTLİ AMAÇ FONKSİYONLARIN PERFORMANS DEĞERLERİ 40
4.2. REKABETÇİ METASEZGISEL ALGORITMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI 43
4.3. FILTRELERIN SIMILASYONLARI 46
5. TARTIŞMA 50
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 51
KAYNAKLAR 52
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 57
ETİK KURUL İZİN YAZISI 58
KURUM İZNİ YAZILARI 59
ÖZGEÇMİŞ 60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1: Alçak Geçiren Filtre 10

Şekil 3.2: Yüksek Geçiren Filtre 11

Şekil 3.3: Bant Geçiren Filtre 12

Şekil 3.4: Bant Durduran Filtre 14

Şekil 3.5: Butterworth Filtre 15

Şekil 3.6: Tip 1 Chebyshev Filtre 16

Şekil 3.7: Tip 2 Chebyshev Filtre 16

Şekil 3.8: Eliptik (Cauer) Filtre 18

Şekil 3.9: Filtre tasarımının şematik diyagramı 20

Şekil 3.10: Havadaki sesin kat ettiği mesafe 29

Şekil 3.11: Vahşi Kazların Düzenli ve Koordineli Grup Göçü Modeli 34

Şekil 4.1: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet₂* ve *FEN* varyasyonları Sakarmeke Algoritması 41

Şekil 4.2: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet₂* ve *FEN* varyasyonları Kaz Algoritması 42

Şekil 4.3: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet₂* ve *FEN* varyasyonları Vahşi Kazlar Algoritması 42

Şekil 4.4: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet₁* ve *FEN* varyasyonları OF_1 44

Şekil 4.5: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet₁* ve *FEN* varyasyonları OF_2 45

Şekil 4.6: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet₁* ve *FEN* varyasyonları OF_3 45

Şekil 4.7: Sakarmeke algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin 3 boyutlu görünümü, ... 47

Şekil 4.8: Sakarmeke algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin *S* parametreleri 47

Şekil 4.9: Kaz algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin 3 boyutlu görünümü 48

Şekil 4.10: Kaz algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin *S* parametreleri 48

Şekil 4.11: Vahşi Kazlar algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin 3 boyutlu görünümü 49

Şekil 4.12: Vahşi Kazlar algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin *S* parametreleri 49

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Tasarım parametreleri. 20

Tablo 4.1: Algoritmaların optimizasyona ait farklı amaç fonksiyonlarının performans değerlendirmeleri 41

Tablo 4.2: Amaç fonksiyonları ile optimizasyona ait farklı rekabetçi algoritmaların performans değerlendirmeleri 44

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
BCA	: Bee Colony Algorithm
BPF	: Band Pass Filters
CDMA	: Code Division Multiple Access
DA	: Dragonfly algoritması
DCE	: Diferansiyel kültürel algoritma
DEA	: Diferansiyel evrim algoritması
EM	: Elektromanyetik
FEN	: Function evaluation number
GA	: Genetik Algoritma
GHz	: Gigahertz
GSM	: Global System for Mobile Communications
Hz	: Hertz
ISM	: İndustrial, Scientific, and Medical
LPF	: Low Pass Filters
LTE	: Long-Term Evolution
MHz	: Megahertz
OF	: Amaç Fonksiyonu
OGA	: Ortogona Genetik Algoritma
PCB	: Printed Circuit Board
PSO	: Parçacık sürüsü optimizasyonu
RF	: Radyo Frekansı
SOA	: Search Optimization Alogorithm
TGA	: Taguchi Genetik Algoritma
TSA	: Tabu Search Algorithm
VKA	: Vahşi Kazlar Algoritması
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	: Wireless Local Area Network

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REKABETÇİ METASEZGİSEL ALGORİTMALAR ile MİKROŞERİT BAĞLANTILI ÇİFT BANTLI KOMBİNE BANT GEÇİRGEN FİLTRE PERFORMANS VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Kervendurdy ALLABERDIYEV

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Savunma Teknolojileri, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Arif ULUSLU

Çift bantlı bant geçiren filtreler, özellikle kablosuz uygulamalar ve çok bantlı radyo dalgaları olmak üzere birçok talebi karşılamak için son gelişmelerde yoğun ilgi çekmiştir. Burada, 2,5 GHz ve 3,0 GHz merkez rezonans frekansına sahip, 3 sıralı mikro-şeritli bir çift bantlı bant geçiren filtre formunda olan ve toplam 13 tasarım parametresine sahip (bunlardan 6'sı değişken) Kombine filtre, günümüzün rekabetçi meta-sezgisel algoritmalarının yardımıyla tek amaçlı ve çok boyutlu bir optimizasyon tasarım problemi haline geldi. Seçilen algoritmalar son yıllarda türetilmiştir ve bu alanda herhangi bir örneklem probleminde henüz kullanılmamıştır. Çalışmada kullanılacak amaç fonksiyonları, bir çalışmadaki matematiksel modellerden özel olarak uyarlanmış en başarılı amaç fonksiyonu çiftlerinden seçilmiştir. Bu tasarım optimizasyon süreci boyunca, MATLAB R2022B sürümünden itibaren kullanılabilir olan R2023B sürümündeki filtre araç kutusu kullanılmıştır. Çalışma, orijinal amaç fonksiyonuna ek olarak, yeni filtre araç kutusu ve mevcut rekabetçi meta-sezgisel algoritmalar gibi bir dizi yenilik içermektedir. Tüm bu optimizasyon süreci boyunca, en uygun sonuçlar elektromanyetik (EM) simülasyon ile doğrulanmıştır. Çalışmadaki tüm bu sonuçlar göz önüne alındığında, önerilen rekabetçi algoritmalarla gerçekleştirilen optimizasyon süreçleri, karmaşık

ve çok boyutlu filtre tasarım optimizasyon uygulamaları için kolay, hızlı ve verimli bir çözümdür. Ayrıca, amaç fonksiyonları değiştirilerek diğer mikrodalga optimizasyon problemlerine hızla uygulanabilir.

Mayıs 2025 , 76 sayfa.

Anahtar kelimeler: Kombine mikroşerit filtre, Çift bantlı bant geçiren filtre, Optimizasyon teknikleri, Meta-sezgisel optimizasyon, Elektromanyetik simülasyon

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

COMPETITIVE METAHEURISTIC ALGORITHMS for BUILDING a PERFORMANCE DATABASE of a DUAL-BAND COMBLINE BANDPASS FILTER MICROSTRIP CONNECTION

Kervendurdy ALLABERDIYEV

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Defence Technology (Interdisciplinary)

Defence Technology (Master) (With Thesis)

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Arif ULUSLU

Dual-band bandpass filters have attracted intense attention in recent developments to meet many demands, especially wireless applications and multi-band radio waves. Here, a Comb line filter in the form of a dual bandpass 3-row microstrip with a center resonance frequency of 2.5 GHz and 3.0 GHz and a total of 13 design parameters, 6 of which are variable, has become a single-objective and multi-dimensional optimization design problem with the help of current competitive metaheuristic algorithms. The selected algorithms have been derived in recent years and have not yet been used for any sampling problems in this field. The objective functions to be used in the study were selected from the most successful pairs of objective functions specially fitted from mathematical models in a study. Throughout this design optimization process, the filter toolbox in the R2023B version, available as of the MATLAB R2022B version, was used. In addition to the original objective function, the study includes multiple innovations such as the new filter toolbox and current competitive metaheuristic algorithms. During this entire optimization process, the most optimal results are

verified by electromagnetic (EM) simulation. Considering all these results in the study, the optimization processes performed with the proposed competitive algorithms are an easy, fast and efficient solution for complex and multidimensional filter design optimization applications Additionally, it can be quickly applied to other microwave optimization problems by changing the objective functions.

May 2025, 76 pages.

Keywords: Combline microstrip filter, dual bandpass filter, optimization techniques, metaheuristic optimization, electromagnetic simulation

1. GİRİŞ

Günümüzün hızla gelişen teknolojik ortamında, kablosuz iletişim sistemleri modern yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiş ve çeşitli sektörlerde yeniliği tetiklemektedir. Gelişmiş bağlantı ve çok işlevselliğe yönelik sürekli artan talep, özellikle karmaşık iletişim mimarileri için gelişmiş filtre teknolojilerinin geliştirilmesini hızlandırmıştır. Çoklu frekans bantlarında eş zamanlı sinyal işlemeye olanak tanıyan çift bantlı bant geçiren filtreler, modern kablosuz iletişimin zorluklarını karşılamada önemli bir bileşen olarak ortaya çıkmıştır. Bu tez, bu tür filtrelerin, özellikle bir kombine mikroşerit filtrenin tasarımına yönelik yeni bir yaklaşımı, bu alanda nispeten yeni bir yaklaşım olan rekabetçi meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarını kullanarak araştırmaktadır. Amaç, optimize edilmiş filtre tasarımları elde etmek için hızlı ve verimli bir yöntem geliştirmektir.

1.1. PROBLEM DURUMU

Çok bantlı bant geçiren filtrelerin, özellikle çift bantlı filtrelerin tasarımı, karmaşık bir mühendislik sorununu ortaya koymaktadır. Geleneksel tasarım metodolojileri genellikle önemli ölçüde zaman yatırımı gerektiren yinelemeli süreçler içerir ve elektromanyetik, matematik ve kontrol teorisi alanlarında uzman mühendislerin derin uzmanlığına büyük ölçüde bağımlıdır. Bu metodolojiler, filtre modellerinin artan karmaşıklığına uyum sağlamakta da zorlanmaktadır. Daha verimli, düşük maliyetli ve kompakt filtrelere olan ihtiyaç arttıkça, uyarlanabilir ve verimli tasarım tekniklerinin kullanılabilirliğinde bir boşluk oluşmaktadır. Bu çalışma, istenen özellikleri verimli bir şekilde elde etmek için gelişmiş yöntemler gerektiren çok boyutlu bir optimizasyon problemi sunan, iki ayrı rezonans frekansına sahip bir kombine mikroşerit filtrenin tasarımına odaklanarak bu boşluğu ele almaktadır. Bu özel uygulama alanında nispeten keşfedilmemiş optimizasyon algoritmalarının kullanılması da mevcut hazır çözümlerin eksikliği sorununa katkıda bulunmaktadır.

1.2. AMAÇ / PROBLEMLER VE ALT PROBLEMLER

Bu tezin temel amacı, rekabetçi meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarını kullanarak çift bantlı bir kombine mikroşerit filtresi için bir performans değerlerine dayalı bir veri tabanı geliştirmektir. Bu amaca ulaşmak için aşağıdaki problemler ve alt problemler tanımlanmıştır:

- **Problem:** Çok sayıda tasarım parametresine sahip kombine bant geçiren filtre tasarlamanın karmaşıklığını, onu tek amaçlı ve çok boyutlu bir optimizasyon problemi olarak formüle ederek ele almak.
- **Alt Problemler:**
    - Bu optimizasyon problemini çözmede, son zamanlarda önerilen üç meta-sezgisel algoritmanın (Sakarmeke, Kaz ve Vahşi Kazlar) etkinliğini araştırmak.
    - Hem geçirme hem de durdurma bandı özelliklerini kapsayan optimizasyon sürecine rehberlik etmek için, matematiksel modellerden türetilen uygun amaç fonksiyonlarını seçmek ve uygulamak.
    - Seçilen algoritmaların ve amaç fonksiyonlarının elde edilen performans değerlerini hem sayısal analiz hem de elektromanyetik (EM) simülasyonlar kullanarak değerlendirmek.
    - Rekabetçi meta-sezgisel algoritmalar kullanarak, diğer mikrodalga tasarım problemlerine de uygulanabilecek, bu tür filtrelerin hızlı ve verimli tasarımına yönelik bir metodoloji oluşturmak.

1.3. SINIRLILIKLAR

Bu çalışma filtre tasarımına yeni bir yaklaşım sunarken, bazı sınırlamalara tabidir:

- **Hesaplama Kaynakları:** Optimizasyon süreçleri hesaplama açısından yoğundur, ancak güçlü donanımın varlığı bunu hafifletmeye yardımcı olur. Ek donanım kullanımı veya simülasyon için farklı hesaplama çerçevelerinin kullanılması, pratik uygulamalarda genel tasarım süresini önemli ölçüde azaltabilir.

- **Amaç Fonksiyonu Seçimi:** Seçilen amaç fonksiyonu çiftleri, mevcut matematiksel modellerden türetilmiştir. Bu çalışmada etkinlikleri gösterilse de diğer modeller veya hibrit yaklaşımlar alternatif ve/veya geliştirilmiş filtre performans değerleri sağlayabilir.

- **Simülasyon Doğruluğu:** EM simülasyonları son derece gerçekçi sonuçlar sağlarken, gerçek dünyadaki üretim ve çevresel faktörler simüle edilmiş ve ölçülen filtre tepkileri arasında farklılıklar ortaya çıkarabilir.

- **Belirli Filtre Türüne Odaklanma:** Çalışma öncelikle kombine mikroşerit filtrelere odaklanmaktadır. Önerilen metodoloji diğer filtre türlerine genişletilebilirken, özel uyarlamalara ihtiyaç duyulabilir.

1.4. TANIMLAR

Bu tez boyunca netliği sağlamak için aşağıdaki terimler tanımlanmıştır:

- **Kombine Mikroşerit Filtre:** Mikroşerit hatlarını ve istenen frekans yanıtını elde etmek için tarak benzeri bir yapı oluşturan, belirli aralıklarla yerleştirilmiş bir dizi rezonatörü kullanan bir bant geçiren filtre türü.

- **Çift Bantlı Bant Geçiren Filtre:** Sinyallerin diğer frekanslarda zayıflatılırken iki farklı frekans bandında geçmesine izin vermek için tasarlanmış bir filtre.

- **Meta-sezgisel Optimizasyon:** Doğal olaylardan ilham alan ve karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için etkili bir yaklaşım sunan, genellikle en uygun çözüme yakınsayan optimizasyon teknikleri sınıfı.

- **Elektromanyetik (EM) Simülasyon:** Tasarlanan filtrelerin performans değerlerini analiz etmek ve beklenen sonuçları doğrulamak için kullanılan, elektromanyetik alanların davranışını analiz eden bilgisayar simülasyonları.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Son yıllarda kablosuz iletişim sistemlerinin icadı yaşam biçimimiz üzerinde büyük bir etki yarattı. Aynı zamanda, mevcut iletişim sistemlerinin geliştirilmesiyle birlikte, bu sistemlerin gereksinim duyarlılığı da bu gelişmelerle paralel olarak artıyor. GSM (Global System for Mobile Communications) teknolojisi, mobil iletişimde küresel bir dönüşüm başlattı. Bu teknoloji, kablosuz yerel alan ağı (WLAN) (wireless local area network) olarak da bilinen kablosuz yerel alan ağıyla bağlantı kuruyor. Küresel ölçekte, kablosuz mikrodalga erişimi için Dünya çapında Mikrodalga Erişimi İçin İş birliği (WiMAX) (Worldwide Interoperability for Microwave Access), Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA) (Code Division Multiple Access) olarak tanımlanır ve günümüzde Uzun Vadeli Evrim (LTE) (Long-Term Evolution) kullanılmaktadır. Uzun mesafeli iletişimde, mikrodalga kablosuz iletişim sistemleri yüksek frekanslı Radyo Frekansı (RF) sistemlerini tercih eder. Bu frekans aralığı 0,3-300 GHz (Gigahertz) arasında olabilir. Çok bantlı bant geçiren filtrelere (BPFs) (Band-pass filter), çok bantlı iletişim sistemlerini hedef uç birimlerle eşleştirmek için ihtiyaç duyulur.

Bu nedenle, literatürde çok bantlı bant geçiren filtreler hakkında çok sayıda çalışma bulunmaktadır [1–5]. Bunlardan biri, katlanmış açık devre halkalı rezonatörler kullanan yeni düşük kayıplı çift bantlı mikroşerit filtreler gösterilmiş ve ölçülmüştür [1]. Mikrodalga frekans aralığında dijital çift bantlı filtrelerin geliştirilmesi ve uygulanması için bir sentez yaklaşımı geliştirilmiştir. Yöntemin geçerliliğini doğrulamak için frekans tepkileri ölçülmüştür [2]. Bir diğerinde ise, çift bantlı uygulamalar için ayarlanabilir ikinci bir geçirme bandına sahip yeni kompakt halkalı çift modun olduğu bulunmuş ve ölçülen filtre performansı simüle edilmiş yanıta uyumludur [3]. Yeni sap yüklü rezonatörler kullanan çift bantlı bant geçiren filtreler gösterilmiş ve tek modlu rezonans frekanslarının sabit kalması avantajlıdır [4]. Son olarak 2,45 GHz ve 5,27 GHz merkezli kompakt bir çift bantlı bant geçiren filtre tasarlanmış ve kontrol edilebilen bant genişliklerine ve iyi seçiciliğe sahiptir. Bu filtre, WLAN uygulamalarını doğrulamak için tasarlanmıştır [5]. Bant geçiren mikrodalga filtreleri, uydu ve kablosuz iletişim sistemlerinde çok sayıda topoloji ve teknoloji ile kullanılabilir. Modern iletişim uygulamalarında birden fazla işlev ve birden fazla bandın talep edilmesi, çift bantlı bant geçiren filtrelere olan ilgiyi artırmaktadır. Çok işlevli iletişim sistemlerini desteklemek için birden fazla bandı eş zamanlı olarak kullanma özelliği, çift bantlı bant geçiren filtrenin avantajlarından biridir [6–10]. Tek katmanlı filtreler, araştırmacılar tarafından yeni geliştirilen WLAN

standartları gibi, IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11b/g ve IEEE 802.11a [11] gibi kablosuz iletişim sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Tek katmanlı topolojide, çift bantlı filtreler oluşturmak için genellikle çok sayıda mikroşerit yapı kullanılır. Bu yapılar, kompakt boyut, yüksek performans değeri, düşük maliyet, basit tasarım ve kolay imalat avantajlarından yararlanır [11].

Geleneksel tasarım yöntemleri yaklaşımı dört adımdan oluşur [12]. Bu adımlar, yakınlaştırma, gerçekleştirme, kusurların incelenmesi ve uygulama olarak sıralanabilir. Bu adımların uygulama kısmı, elektronik, matematik ve kontrol teorisi alanlarında derin bir uzmanlık gerektirir. Bunların hepsine ek olarak, filtre modelinin karmaşıklığı arttıkça, geleneksel tasarım yöntemleri kullanılarak filtre tasarımı daha zorlaşmaktadır [12]. 2000'li yılların başından itibaren, genişletilebilir donanım terimi kullanılmaya başlanmıştır. Filtre tasarımlarını pratik hale getirmek ve bu karmaşıklığı ortadan kaldırmak için çalışmalar yapılmıştır [13–15]. Optimizasyon, bu yöntemler arasındaki birincil yöntemdir ve Genetik algoritma (GA), bu çalışmaların çoğunda kullanılır [16–18] ve bazı çalışmalarda çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir [19–22]. Literatürde çeşitli sezgisel arama stratejileri açıklanmıştır. Bunlar; Genetik algoritmalar (GA) [23, 24], Arama optimizasyon algoritması (SOA) [25], Ortogonal genetik algoritma (OGA) [26], hibrit Taguchi genetik algoritması (TGA) [27], Tabu arama algoritması (TSA) [28], Benzetilmiş tavlama algoritması (SA) [29], Arı kolonisi algoritması (BCA) [30], Diferansiyel evrim algoritması (DEA) [31, 32], Kedi sürüsü optimizasyonu (CSA) [33], Diferansiyel kültürel algoritma (DCA) [34], Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) [35, 36] gibi örnekler verilebilir. Bunlardan biri de üstel iletim hatlarına sahip bir düşük geçiren filtrenin tasarım optimizasyonu için kullanılan DEA'dır. Bu algoritma, mühendislik alanında son derece popüler ve yeni bir optimizasyon algoritmasıdır. DEA, atama ve meta-sezgisel algoritmalardan daha kararlı ve basit bir yapıya sahiptir, ancak çalışma prensibi genetik algoritmalara benzerdir [37].

Bir çalışmada, çulluk adı verilen bir kuş sürüsünün davranışından esinlenen yeni bir meta-sezgisel yaklaşım önerilmiştir. Ayrıca, bu algoritmanın uygulanabilirliğini doğrulamak için bu algoritma, basınç kabı tasarımı, kaynaklı kiriş tasarımı, çok plakalı disk kavrama freni, kademeli konik kasnak problemi, konsol kiriş tasarımı, redüktör tasarım problemi ve dönen eleman yataklama problemi gibi birçok gerçek problem çözmek için kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, bu algoritmanın karşılaştırılan çoğu optimizasyon yönteminden daha iyi çalıştığını göstermiştir [38]. İkinci çalışma, kuşların beslenme ve dinlenme davranışlarına

dayalı olarak yeni bir meta-sezgisel algoritma olan Kaz algoritmasını önermiştir. Genetik algoritma, PSO, Dragonfly algoritması (DA) ve Uygunluğa Bağlı Optimizasyon (FDO), Kaz algoritmasını 19 tanınmış kıyaslama fonksiyonuyla karşılaştırarak, algoritmayı değerlendirmiştir. Mühendislik vaka çalışmalarının sonuçları, çalışmada önerilen yöntemin gerçek dünyadaki problemleri ne kadar iyi optimize edebileceğini göstermektedir [39]. Üçüncü ve son çalışma, Vahşi Kaz algoritması (VKA) adı verilen basit ve güçlü bir sürü optimizasyon aracına odaklanmıştır. IEEE CEC 2008 ve CEC 2010 özel oturumlarının verimlilikleri ve performans değerleri, yüksek boyutlu D test fonksiyonları kullanılarak doğrulanmıştır. VKA, doğada yaşayan vahşi kazların yaşamlarının çeşitli yönlerini, evrim, ortak göç ve ölüm dahil olmak üzere modellemiştir. Yapısal olarak daha basit olmasına rağmen, diğer büyük ölçekli optimizasyon algoritmalarına göre oldukça güçlü olduğunu göstermektedir [40].

Tüm bu konular bir araya getirildiğinde, filtre tasarımındaki ihtiyaca uygun olarak, çok bantlı bant geçiren filtrenin zorlu tasarımının, günümüzde önerilen üç rekabetçi meta-sezgisel algoritmanın yardımıyla tek amaçlı ve çok boyutlu bir optimizasyon tasarım problemi olarak ele alınabileceği sonucuna varılmıştır. Bahsedilen zorlu tasarım probleminin üstesinden gelmek için, çalışmada kullanılacak amaç fonksiyonları, bir çalışmadaki matematiksel modellerden özel olarak uyarlanmış en başarılı amaç fonksiyonu çiftlerinden seçilecektir [41]. Literatürdeki çalışmaların çoğu hesaplama tabanlıdır ve simülasyon tabanlı çalışmalar neredeyse hiç yoktur. Çalışmada kullanılacak tasarım optimizasyon süreci boyunca, MATLAB R2022B sürümünden itibaren kullanılabilir olan R2023B sürümündeki filtre araç kutusu kullanılacaktır. Böylece, mevcut çalışmalardaki geleneksel tasarım yöntemleri yaklaşımındaki karmaşıklık ve uzmanlık ihtiyacı olmadan bu zorlu görev kolaylıkla tamamlanabilir. Önerilen modelin çift rezonans frekansına ve çok sayıda tasarım parametresine sahip olması problemi oldukça zorlaştırmaktadır.

3. YÖNTEM

3.1. FİLTRELER

Elektronik sistemlerde, radyo frekansı (RF) ve mikrodalga spektrumunda yer alan sinyallerle çalışmak üzere özel olarak geliştirilmiş filtreler bulunmaktadır. Bu filtreler, megahertz (MHz) seviyesinden başlayıp gigahertz (GHz) seviyelerine kadar uzanan, yani orta frekanstan aşırı yüksek frekanslara kadar geniş bir yelpazedeki sinyaller için tasarlanmış elektronik devre elemanlarıdır. Temel görevleri, elektronik sistemler içerisinde, belirlenen bazı frekansların geçişine izin verirken, istenmeyen frekans aralıklarındaki sinyallerin geçişini engellemek veya bu sinyallerin gücünü önemli ölçüde azaltmaktır (zayıflatmaktır).

Günümüz teknolojisinde yaygın olarak kullanılan birçok iletişim sistemi, örneğin geleneksel radyo ve televizyon yayınları, mobil iletişim ağları (cep telefonları), kablosuz yerel ağlar (Wi-Fi) ve benzeri kablosuz teknolojiler, RF ve mikrodalga frekans bandını kullanmaktadır. Bu nedenle, bu frekans aralığında çalışan cihazların büyük bir çoğunluğu hem gönderdikleri hem de aldıkları sinyallerin kalitesini artırmak ve parazitleri engellemek amacıyla bir çeşit filtreleme mekanizmasına sahip olmak zorundadır.

RF ve mikrodalga filtrelerinin yapısal temeline bakıldığında, genellikle birbirleriyle elektromanyetik olarak etkileşim halinde olan (eşleşmiş veya kuplajlı) bir veya daha fazla rezonatörden meydana geldikleri görülür. Rezonatörler, belirli frekanslarda enerji depolayabilen ve salınım yapabilen yapılardır. Bu durum, rezonatör oluşturmak için uygun olan herhangi bir teknolojinin, aynı zamanda filtre imalatında da potansiyel olarak kullanılabileceği anlamına gelir. Filtre tasarımında kullanılan rezonatörlerin kalitesini belirleyen önemli bir parametre ise yüksüz kalite faktörüdür (Q faktörü). Bu faktör, rezonatörün enerji depolama yeteneğinin, enerji kayıplarına oranını ifade eder ve genellikle filtrenin ne kadar seçici olabileceğini, yani istenen frekans bandını ne kadar dar bir aralıkta ve keskin bir şekilde geçirebileceğini doğrudan etkiler. Yüksek Q faktörlü rezonatörler, daha seçici filtrelerin tasarlanmasına olanak tanır.

3.1.1. Yapısal Tasarımına Göre

3.1.1.1. Toplu Elemanlı LC Filtreleri

RF ve mikrodalga filtrelerinde kullanılabilecek en basit rezonatör yapısı, paralel veya seri indüktörler ve kapasitörlerden oluşan bir LC tank devresidir. Bunların çok kompakt olma avantajı vardır, ancak rezonatörlerin düşük kalite faktörü nispeten zayıf performansa yol açar.

Toplu Elemanlı LC filtrelerinin hem üst hem de alt frekans aralığı vardır. Frekans çok düştükçe, düşük kHz ila Hz. aralığına girdikçe, tank devresinde kullanılan indüktörlerin boyutu aşırı derecede büyük hale gelir. Çok düşük frekanslı filtreler genellikle bu sorunun üstesinden gelmek için kristallerle tasarlanır. Frekans yükseldikçe, 600 MHz ve üzeri aralığa girdikçe, tank devresindeki indüktörler pratik olamayacak kadar küçülür. Belirli bir endüktans değerine sahip bir indüktörün elektriksel reaktansı frekansa göre doğrusal olarak arttığından, daha yüksek frekanslarda aynı reaktansı elde etmek için aşırı derecede düşük bir endüktans gerekebilir.

3.1.1.2. Düzlemsel Filtreler

Mikroşerit, koplanar dalga kılavuzu ve şerit hat gibi düzlemsel iletim hatları da iyi rezonatörler ve filtreler yapabilir. Mikroşerit devreleri üretmek için kullanılan süreçler, baskılı devre kartlarını (PCB) (printed circuit board) üretmek için kullanılan süreçlere çok benzerdir ve bu filtrelerin büyük ölçüde düzlemsel olma avantajı vardır.

Hassas düzlemsel filtreler ince film (thin-film) işlemi kullanılarak üretilir. Daha yüksek Q faktörleri, substrat için kuvars veya safir gibi düşük kayıp tanjantlı dielektrik malzemeler ve altın gibi daha düşük dirençli metaller kullanılarak elde edilebilir.

3.1.2. Geçirdiği Frekans Aralığına Göre

Bu sınıflandırma, filtrelerin belirli frekans aralıklarında sinyalleri geçirmesini veya zayıflatmasını dikkate alır.

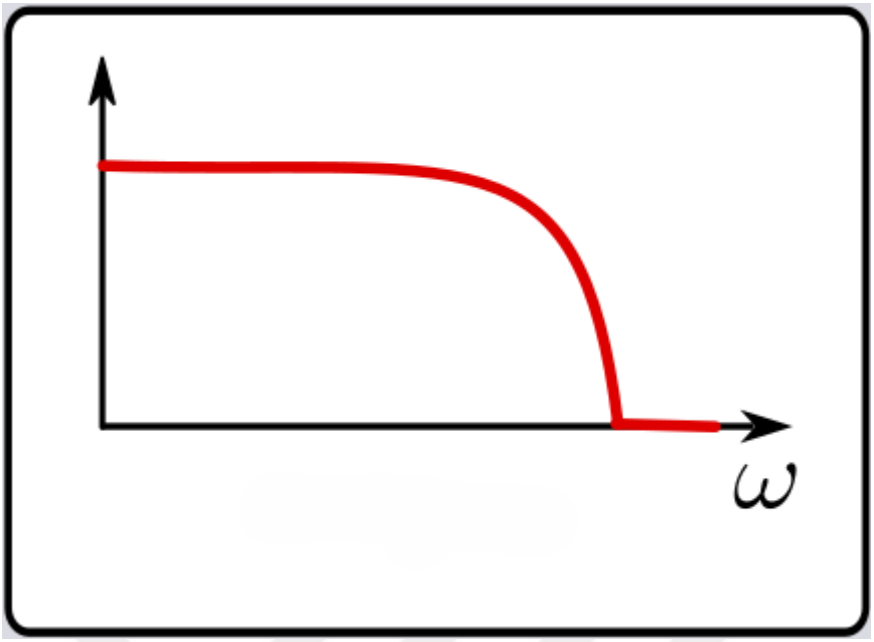
3.1.2.1. Alçak Geçiren Filtre

Alçak geçiren filtrelerin temel işlevi, önceden belirlenmiş bir eşik frekans değerinin (kesim frekansı olarak bilinir) altındaki sinyal bileşenlerinin geçişine izin verirken, bu eşiğin üzerindeki frekans bileşenlerini zayıflatmaktır. Bu özellikleri sayesinde, özellikle düşük frekanslı sinyal bileşenlerinin yüksek frekanslı olanlardan ayrıştırılması gereken durumlarda tercih edilirler. Bir alçak geçiren filtre, tanımlanmış kesim noktasının altındaki frekans

spektrumunu korurken, bu noktanın üzerindeki frekansları bastıran bir elektronik devredir. Filtrenin sinyalleri ne kadar etkin bir şekilde geçirdiği veya zayıflattığı, yani frekans yanıt karakteristiği, tamamen uygulanan spesifik tasarım metodolojisine ve kullanılan bileşenlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Ses mühendisliği gibi alanlarda, bu filtreler bazen 'yüksek kesim' veya 'tiz kesim' filtreleri olarak da anılabilir, çünkü yüksek frekanslı (tiz) sesleri keserler. Fonksiyonel olarak, alçak geçiren filtre, belirli bir frekansın üzerindeki sinyalleri geçiren yüksek geçiren filtrenin tam tersi bir davranış sergiler; bu ikisi birbirini tamamlar.
Optik uygulamalarda ise 'alçak geçiren' ve 'yüksek geçiren' terimleri, ışığın frekansı yerine dalga boyuna göre tanımlandığında anlam tersine dönebilir. Frekans ve dalga boyu arasındaki ters orantı nedeniyle, frekans açısından yüksek geçiren bir filtre, dalga boyu açısından alçak geçiren (yani uzun dalga boylarını geçiren) bir filtre gibi davranır. Bu potansiyel karışıklığı gidermek adına, optik filtrelemelerde frekans yerine dalga boyuna atıfta bulunurken 'kısa geçişli' (short-pass, yüksek frekanslara karşılık gelir) ve 'uzun geçişli' (long-pass, alçak frekanslara karşılık gelir) terminolojisinin kullanılması önerilir.

Alçak geçiren filtrelerin kullanım alanları oldukça geniştir; ses sistemlerindeki dip gürültüsünü (hiss) azaltan devreler, analog sinyallerin dijitale çevrilmeden önce yüksek frekanslı bileşenlerden arındırılması için kullanılan örtüşme önleyici (anti-aliasing) filtreler, veri analizinde dalgalanmaları yumuşatmak amacıyla uygulanan dijital filtreler, belirli ses frekanslarını engellemeye yönelik akustik bariyerler ve görüntü işlemede keskinliği azaltarak bulanıklaştırma efekti yaratma gibi çeşitli uygulamalarda karşımıza çıkarlar. Finans sektöründe sıklıkla kullanılan hareketli ortalama (moving average) hesaplama yöntemi de özünde özel bir alçak geçiren filtre türüdür ve sinyal işleme teknikleri kullanılarak diğer alçak geçiren filtrelerle aynı prensipler çerçevesinde analiz edilebilir. Genel olarak alçak geçiren filtreler, bir sinyal içerisindeki ani, kısa süreli değişimleri veya gürültüyü filtreleyerek, sinyalin daha pürüzsüz, yavaş değişen ana eğilimini ortaya çıkarmakta etkilidir.

Filtre tasarım sürecinde, mühendisler genellikle temel bir referans noktası olarak alçak geçiren filtre yapısını 'prototip filtre' olarak ele alırlar. Bu prototip, genellikle birim bant genişliği ve birim empedans gibi normalize edilmiş değerlere sahiptir. Daha sonra, hedeflenen spesifik uygulama için gereken bant genişliği ve empedans değerlerine ulaşmak amacıyla bu prototip uygun şekilde ölçeklendirilir. Son olarak, bu ölçeklendirilmiş yapı, alçak geçiren, yüksek geçiren, bant geçiren veya bant durduran gibi istenen filtre türüne (bant formuna) matematiksel dönüşümler uygulanarak nihai filtre tasarımı elde edilir.



Şekil 3.1: Alçak Geçiren Filtre

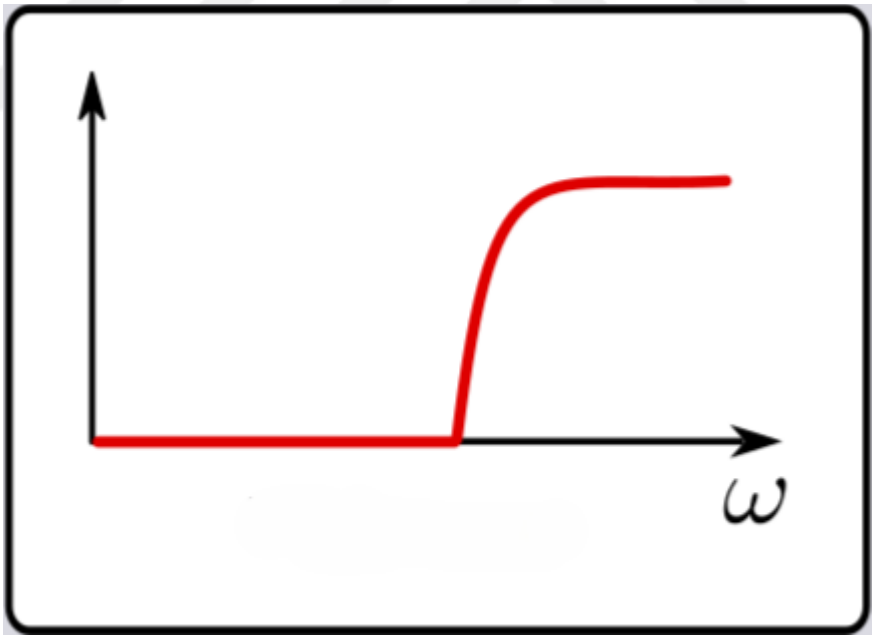
3.1.2.2. Yüksek Geçiren Filtre

Yüksek geçiren filtreler (HPF - High-Pass Filter), elektronik sinyal işlemede temel bir rol oynar. İşlevsel olarak, önceden belirlenen bir eşik frekans değerinin (kesim frekansı) üzerindeki sinyal bileşenlerinin geçişine izin verirken, bu eşiğin altındaki frekans bileşenlerini etkin bir şekilde bastırır veya zayıflatır. Bu seçici geçirgenlik özelliği, özellikle yüksek frekanslı sinyal içeriğinin düşük frekanslı bileşenlerden veya gürültüden ayrıştırılmasının gerektiği çeşitli uygulamalarda onları vazgeçilmez kılar. Örneğin, ses sistemlerinde düşük frekanslı uğultuları (hum) temizlemek veya iletişim sistemlerinde istenmeyen düşük frekanslı parazitleri engellemek amacıyla kullanılabilirler.

Teknik olarak, bir yüksek geçiren filtre, tanımlanmış kesim frekansının üzerinde yer alan frekans spektrumundaki sinyalleri geçirip, bu frekansın altındaki sinyalleri zayıflatan bir elektronik devre veya algoritmadır. Bir sinyalin belirli bir frekansta ne kadar zayıflatılacağı (attenuation miktarı), tamamen filtrenin tasarım özelliklerine ve kullanılan bileşenlere bağlıdır. Sistem teorisi açısından, yüksek geçiren filtreler genellikle davranışları zamanla değişmeyen ve giriş sinyaline doğrusal bir şekilde yanıt veren, yani doğrusal zamanla değişmeyen (LTI - Linear Time-Invariant) sistemler olarak ele alınır ve modellenir. Ses mühendisliği alanında, düşük frekansları (bas sesleri) kestikleri için bazen "alçak kesim filtresi" veya "bas kesim filtresi" olarak da isimlendirilirler.

Yüksek geçiren filtrelerin pratik uygulama alanları oldukça çeşitlidir. Önemli kullanımlarından biri, sıfır olmayan DC (doğru akım) bileşenlerine karşı hassas olan elektronik devrelerden veya radyo frekansı (RF) ekipmanlarından DC seviyesini bloke etmektir. Böylece devrenin kararlı çalışması sağlanır. Bunun yanı sıra, yüksek geçiren bir filtre, bir alçak geçiren filtre ile uygun şekilde birleştirildiğinde, sadece belirli bir frekans aralığını geçiren bir bant geçiren filtre oluşturmak için de kullanılabilir.

Optik sistemlerde ise filtreler, frekans yerine genellikle dalga boyu temel alınarak sınıflandırılır. Bu bağlamda, "yüksek geçiren" ve "alçak geçiren" terimlerinin anlamları, frekans ve dalga boyu arasındaki ters orantı nedeniyle elektroniktekine göre zıtlık gösterir. Optikte "yüksek geçiren" (daha yaygın kullanımıyla "kısa geçişli" - short-pass) bir filtre, sadece daha kısa dalga boylarına (dolayısıyla daha yüksek frekanslara) sahip ışığın geçmesine izin verirken, "alçak geçiren" (daha yaygın kullanımıyla "uzun geçişli" - long-pass) filtre ise daha uzun dalga boylarını (daha düşük frekansları) geçirir.

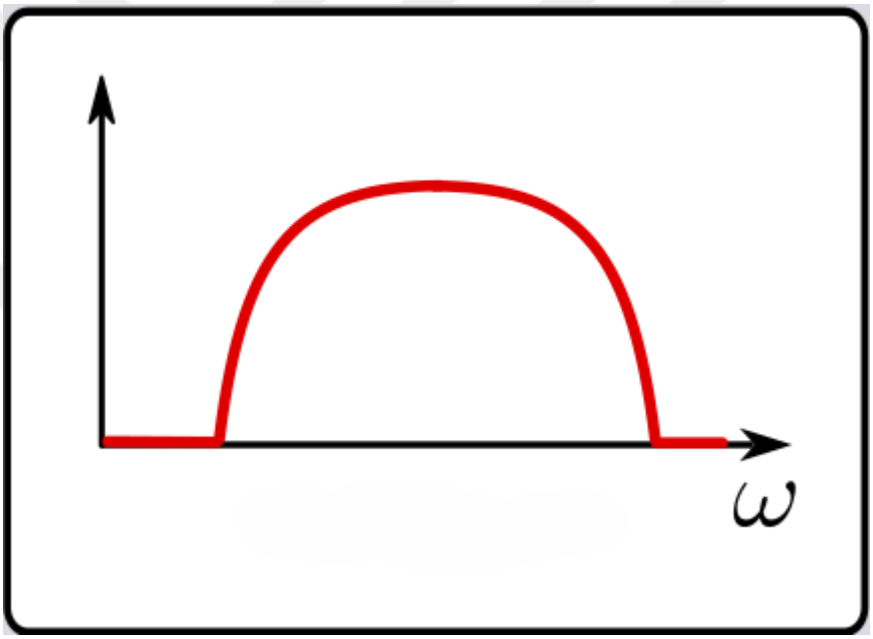


Şekil 3.2: Yüksek Geçiren Filtre

3.1.2.3. Bant Geçiren Filtre

Belirli bir frekans aralığı içindeki sinyalleri geçirir, bu aralık dışındaki sinyalleri zayıflatır. Belirli frekanslardaki sinyalleri seçmek için, örneğin, radar sistemleri, telekomünikasyon ve müzik cihazlarında kullanılır. Elektronikte ve sinyal işlemede, bir filtre genellikle bir sinyalin (alternatif bir voltaj veya akım) frekans bileşenlerini kaldıran iki portlu bir devre veya cihazdır.

Bir bant geçiren filtre, geçirme bandı (passband) adı verilen belirli bir frekans bandındaki bileşenleri geçirirken, bu bandın üstündeki veya altındaki frekanslara sahip bileşenleri engeller. Bu, belirli bir frekansın üzerindeki bileşenleri geçiren yüksek geçiren filtrenin ve belirli bir frekansın altındaki bileşenleri geçiren alçak geçiren filtrenin tersidir. Dijital sayılarla temsil edilen sinyallerin bilgisayar programları tarafından işlendiği dijital sinyal işlemede, bant geçiren filtre, aynı işlevi yerine getiren bir bilgisayar algoritmasıdır. Bant geçiren filtre terimi ayrıca, genellikle fotoğrafçılıkta ve tiyatro aydınlatmasında kullanılan, belirli bir ışık frekansı bandını geçiren renkli malzeme tabakaları olan optik filtreler ve belirli bir frekans bandındaki ses dalgalarını geçiren akustik filtreler için de kullanılır. İdeal bir bant geçiren filtrenin tamamen düz bir geçirme bandı olur: geçirme bandı içindeki tüm frekanslar, yükseltme veya zayıflatma olmaksızın çıkışa geçirilir ve geçirme bandı dışındaki tüm frekanslar tamamen zayıflatılır.



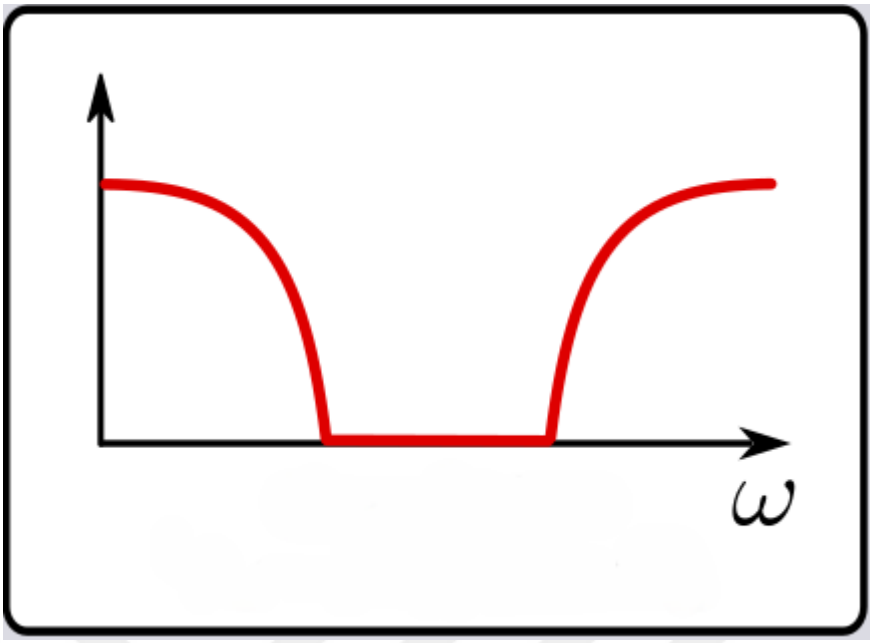
Şekil 3.3: Bant Geçiren Filtre

3.1.2.4. Bant Durduran Filtre

Sinyal işleme alanında kullanılan filtre türlerinden biri de bant durduran (veya bant reddetme) filtrelerdir. Bu filtrelerin temel özelliği, geniş bir frekans spektrumundaki sinyallerin büyük bir kısmını herhangi bir değişikliğe uğratmadan iletme kabiliyetine sahip olmalarıdır. Ancak, önceden belirlenmiş, spesifik bir frekans bandı içindeki sinyallerin gücünü çok belirgin seviyelere kadar düşürürler, yani bu bandı etkin bir şekilde zayıflatırlar. Bu seçici zayıflatma yeteneği, onları özellikle belirli frekanslardaki istenmeyen sinyalleri, parazitleri veya girişimleri bir sistemden temizlemek için son derece kullanışlı kılar. Elektronik devrelerde

karşılaşılan gürültüyü engellemek veya belirli bir frekansı hedef alarak ortadan kaldırmak (kesik veya notch filtreleme olarak da bilinir) bu filtrelerin yaygın uygulama alanlarındandır. İşlevsel olarak, bant durduran filtreler, yalnızca belirli bir frekans bandını geçiren bant geçiren filtrelerin tam tersi bir davranış sergilerler; yani birbirlerinin tamamlayıcısıdırlar. Bant durduran filtrelerin özel ve önemli bir alt kategorisi ise çentik filtreleridir (notch filter). Çentik filtreleri, engelledikleri veya zayıflattıkları frekans bandının oldukça dar olmasıyla karakterize edilirler. Bu dar durdurma bandı, yüksek bir kalite faktörü (Q faktörü) ile ilişkilidir ve filtrenin çok hassas bir şekilde sadece belirli bir frekansı reddetmesini sağlar.

Dar çentik filtreleri (optik), Raman spektroskopisinde, canlı ses üretiminde (genel seslendirme sistemleri veya PA sistemleri) ve enstrüman amplifikatörlerinde (özellikle akustik gitar, mandolin, bas enstrüman amplifikatörü vb. gibi akustik enstrümanlar için amplifikatörler veya preamplifikatörler) ses geri beslemesini (feedback) azaltmak veya önlemek için kullanılırken, frekans spektrumunun geri kalanı üzerinde az fark edilir bir etkiye sahiptir (elektronik veya yazılım filtreleri). Diğer isimleri arasında "bant limit filtresi", "T-çentik filtresi", "bant eleme filtresi" ve "bant reddetme filtresi" bulunur. Tipik olarak, durdurma bandının genişliği 1 ila 2 dekaddır (yani, zayıflatılan en yüksek frekans, zayıflatılan en düşük frekansın 10 ila 100 katıdır). Ancak, ses bandında, bir çentik filtresi, yalnızca yarım ton aralıklı olabilen yüksek ve düşük frekanslara sahiptir. İdeal bir bant durduran filtrenin frekans yanıtı şeklinden, bant durduran filtrenin basitçe ters çevrilmiş bir bant geçiren filtre olduğu açıktır. Bu iki filtre tipi, bant genişliği, geçirme bandı, durdurma bandı ve merkez frekansı gibi aynı tanımları paylaşır. İdeal bir bant durduran filtre için, zayıflatma durdurma bandında sonsuz ve iki geçirme bandında sıfır olmalıdır. Bant durduran bir filtre karakteristiği elde etmek için pratikte sıklıkla başvurulan bir yöntem, bir alçak geçiren (LPF) ve bir yüksek geçiren (HPF) filtrenin paralel bir mimaride bir araya getirilmesidir. Bu yapılandırmada, LPF belirlenen kesim frekansının altındaki sinyalleri, HPF ise kendi kesim frekansının üzerindeki sinyalleri iletir. İki filtrenin etkin geçirme spektrumları arasında kalan ve her iki filtrenin de sinyali önemli ölçüde zayıflattığı frekans aralığı, hedeflenen durdurma bandını meydana getirir. Bu tasarım prensibi sayesinde, filtrelerin birleşik frekans yanıtlarında istenmeyen bir kesişim veya örtüşme bölgesi oluşması engellenir; yani, alçak geçiren filtrenin geçirdiği en yüksek frekans ile yüksek geçiren filtrenin geçirmeye başladığı en düşük frekans arasında, istenen durdurma bandını tanımlayan bir boşluk bırakılır. Başlangıç ve bitiş frekans noktalarındaki fark, iki filtrenin herhangi bir örtüşme olmadan etkili bir şekilde bağlanmasına neden olur.



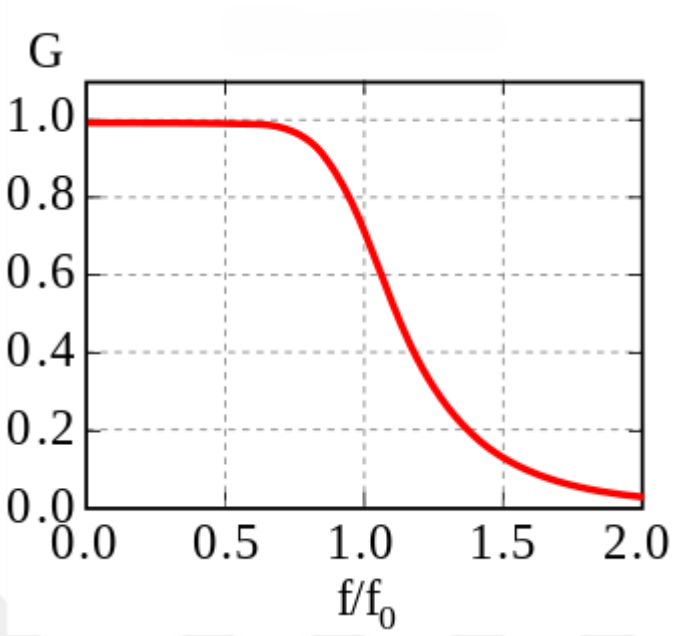
Şekil 3.4: Bant Durduran Filtre

3.1.3. Tepki Türüne Göre

Bu sınıflandırma, filtrelerin frekans cevabı ve faza olan etkisi dikkate alınarak yapılır.

3.1.3.1. Butterworth Filtre

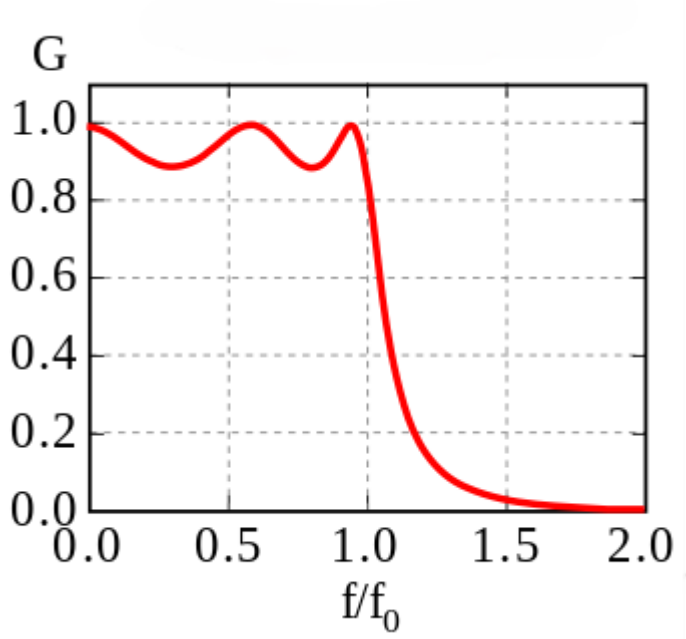
Geçirme bandında en düzgün tepkimeyi sunar, yani frekans cevabı mümkün olduğunca düzdür. Bu filtre, keskin frekans geçişi sağlamak yerine, yumuşak geçiş sunar. Hafif geçiş gereksinimlerinin olduğu uygulamalarda, örneğin ses sistemleri. Butterworth, 'imkânsız' olduğu düşünülen çok karmaşık matematiksel problemleri çözme konusunda bir üne sahipti. O zamanlar, filtre tasarımı, kullanılan teorinin sınırlamaları nedeniyle önemli ölçüde tasarımcı deneyimi gerektiriyordu. Filtre, yayınlanmasından sonra 30 yılı aşkın bir süre boyunca yaygın olarak kullanılmadı. Butterworth şunu belirtmişti: "İdeal bir elektrik filtresi sadece istenmeyen frekansları tamamen reddetmekle kalmamalı, aynı zamanda istenen frekanslar için tekdüze (uniform) bir duyarlılığa sahip olmalıdır." Böyle ideal bir filtre elde edilemez, ancak Butterworth, doğru değerlere sahip filtre elemanlarının sayısı artırılarak ardışık olarak daha yakın yaklaşımların elde edildiğini gösterdi. O zamanlar, filtreler geçirme bandında önemli dalgalanmalara (ripple) neden oluyordu ve bileşen değerlerinin seçimi oldukça etkileşimliydi.



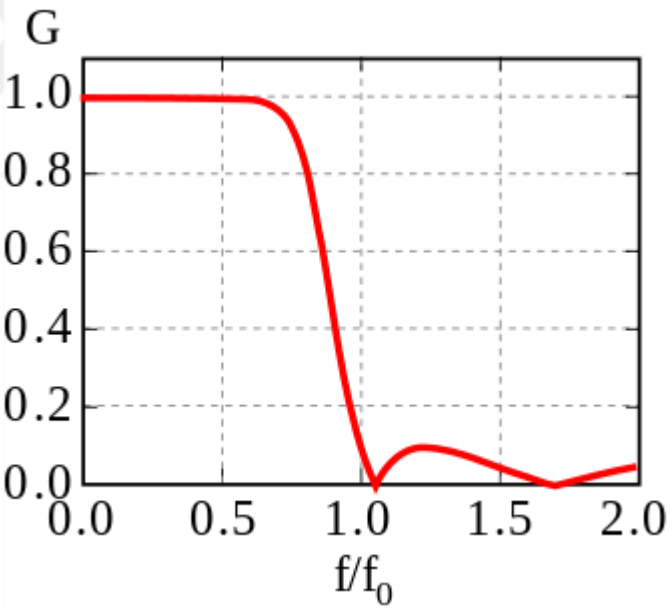
Şekil 3.5: Butterworth Filtre

3.1.3.2. Chebyshev Filtre

Geçirme bandında daha dik bir geçiş sağlar, ancak dalgalanma (ripple) içerir. Bu, geçiş bölgesinde daha hızlı bir kayıplı geçiş sağlar. Hızlı frekans geçişi gerektiren uygulamalar için uygundur. **Chebyshev filtreleri**, Butterworth filtrelerinden daha dik bir düşüşe (roll-off'a) sahip olan ve geçirme bandı dalgalanması (tip I) veya durdurma bandı dalgalanması (tip II) bulunan analog veya dijital filtrelerdir. Chebyshev filtreleri, filtrenin çalışma frekans aralığı boyunca idealleştirilmiş ve gerçek filtre karakteristiği arasındaki hatayı en aza indirme özelliğine sahiptir, ancak bunu frekans yanıtındaki dalgalanmalarla başarırlar. Bu filtre türü, matematiksel özellikleri Chebyshev polinomlarından türetildiği için Pafnuty Chebyshev 'in adını almıştır. Tip I Chebyshev filtreleri genellikle " Chebyshev filtreleri" olarak anılırken, Tip II filtreler genellikle "ters Chebyshev filtreleri" olarak adlandırılır. Chebyshev filtrelerine özgü geçirme bandı dalgalanması nedeniyle, bazı uygulamalar için geçirme bandında daha düzgün ancak durdurma bandında daha düzensiz bir yanıta sahip filtreler tercih edilir.



Şekil 3.6: Tip 1 Chebyshev Filtre



Şekil 3.7: Tip 2 Chebyshev Filtre

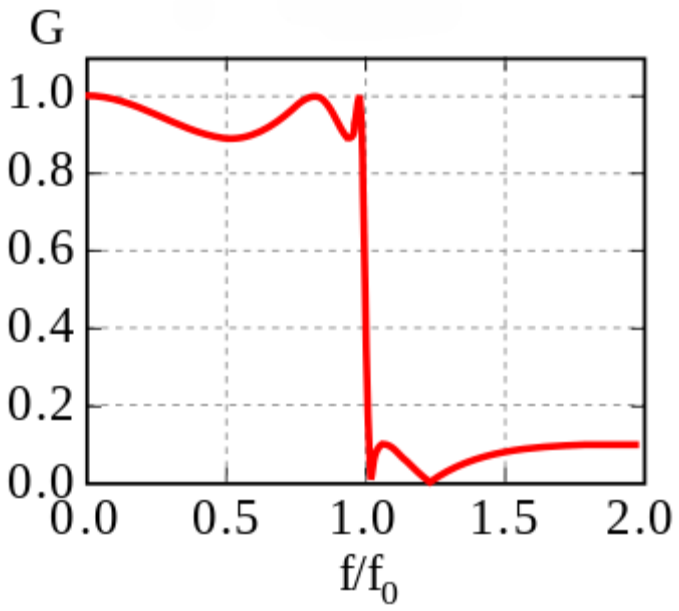
3.1.3.3. Eliptik (Cauer) Filtre

Filtre tasarımında, özellikle geçirme bandından durdurma bandına çok hızlı bir geçişin gerektiği durumlarda, eliptik filtreler öne çıkar. Bu filtre türü, Wilhelm Cauer ve Yegor Zolotarev'in katkılarıyla geliştirildiği için sırasıyla Cauer filtresi veya Zolotarev filtresi olarak da anılır. Eliptik filtrelerin en ayırt edici özelliği, hem sinyallerin geçmesine izin verilen frekans aralığında (geçirme bandı) hem de sinyallerin engellendiği frekans aralığında (durdurma bandı)

kontrollü ve eşitlenmiş genlik dalgalanmalarına (equiripple) sahip olmasıdır. Bu dalgalanmaların seviyesi, tasarım aşamasında her bir bant için ayrı ayrı ve bağımsız olarak ayarlanabilir.

Eliptik filtrelerin en önemli avantajı, belirli bir filtre derecesi (yani kullanılan bileşen sayısı) ve izin verilen dalgalanma seviyeleri için, geçirme bandı ile durdurma bandı arasındaki kazanç değişiminin (yani geçişin dikliğinin) teorik olarak mümkün olan en hızlı şekilde gerçekleşmesidir. Başka bir deyişle, aynı karmaşıklık seviyesindeki (eşit derecedeki) diğer hiçbir filtre türü, bu kadar keskin bir frekans seçiciliği sağlayamaz. Bu özellik, özellikle radyo alıcıları veya radar sistemleri gibi, birbirine çok yakın frekansların hassas bir şekilde ayrıştırılmasının kritik olduğu uygulamalar için eliptik filtreleri ideal bir seçenek haline getirir. Tasarım esnekliği açısından, geçirme ve durdurma bandı dalgalanmalarını bağımsız olarak ayarlama imkanından feragat edilerek, bunun yerine filtrenin kullanılan elektronik bileşenlerin değerlerindeki küçük değişimlere karşı olabildiğince duyarsız (maksimum düzeyde stabil) olacak şekilde tasarlanması da mümkündür.

Eliptik filtreler, diğer klasik filtre türleriyle de yakından ilişkilidir. Eğer tasarımda durdurma bandındaki dalgalanma miktarı sıfıra doğru azaltılırsa, filtrenin karakteristiği tip I Çebışev filtresine benzer. Tersine, geçirme bandındaki dalgalanma sıfıra yaklaştırılırsa, filtre tip II Çebışev filtresi gibi davranır. Son olarak, hem geçirme hem de durdurma bandındaki dalgalanmaların her ikisi de sıfıra indirgendiğinde, eliptik filtrenin frekans yanıtı, geçirme bandında tamamen düz olan Butterworth filtresi karakteristiğine dönüşür.



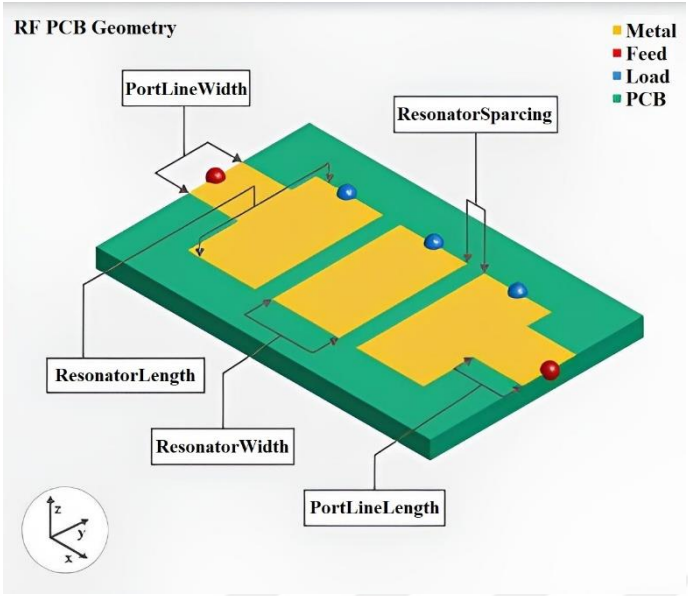
Şekil 3.8: Eliptik (Cauer) Filtre

3.2. KOMBİNE MİKROŞERİT FİLTRE TASARIMININ PERFORMANS ÖLÇÜT FONKSİYONLARI

Elektronik sinyal işlemede kullanılan filtre türlerinden biri olan bant geçiren filtreler, belirli bir frekans spektrumu aralığındaki sinyallerin geçişine izin verme, ancak bu tanımlanmış aralığın dışında kalan tüm frekans bileşenlerini etkin bir şekilde bastırma veya engelleme işlevini görür. Bu filtreler, yalnızca hedeflenen frekans bandındaki bilgiyi koruyarak, diğer frekanslardaki potansiyel gürültüyü veya istenmeyen sinyalleri sistemden ayıklar. Standart bir bant geçiren filtre karakteristiği elde etmek için yaygın bir yöntem, bir alçak geçiren filtrenin (belirli bir frekansın altını geçiren) ve bir yüksek geçiren filtrenin (belirli bir frekansın üstünü geçiren) özelliklerini uygun bir şekilde bir araya getirmektir. Bu iki temel filtre türünün kombinasyonu, sadece ikisinin geçirme bantlarının kesiştiği aralıktaki frekansların geçişine olanak tanır. Ancak, ISM bant filtrelerinin geliştirilmesiyle birlikte, mikro şeritli çift bantlı bant geçiren filtre, çok bantlı antenler ve çok bantlı filtreler gibi ek donanımlara ihtiyaç duyulur. ISM uygulamaları, endüstriyel, bilimsel, tıbbi, evsel veya benzer amaçlar için yerel RF enerjisi kullanımı için geliştirilen ekipmanları içerir. Günümüzde kablosuz iletişimdeki ilerlemeler ve yeni sistemlerin ortaya çıkması, uygun fiyatlı ve küçük çift bantlı mikrodalga filtrelere olan talebi artırmıştır. Kablosuz iletişimdeki son gelişmeler, RF devrelerinin çift bantlı bant geçmesini zorunlu kılmıştır [42–45]. Çift bantlı bant geçiren filtreler oluşturmak için birçok yöntem vardır; örneğin, iki farklı bant genişliğinde çalışan iki filtreyi birleştirmek veya geniş

bantlı bir bant geçiren filtre ve bir bant durdurucu filtre içeren bir kaskad kullanmak. Sonuç olarak, mevcut filtrenin bu dezavantajlarını gidermek ve etkili bir çözüm elde etmek için, filtrenin genel boyutunu, ağırlığını ve maliyetini azaltan ve ekleme kaybını azaltan mikro-şeritli çift bantlı bant geçiren filtreler önerilmektedir. ISM (industrial, scientific, and medical) bandı genellikle düzenlenmiş, lisanssız bir RF spektrumudur. Ancak, ISM bandı kullanıcıları, diğer kullanıcılardan gelebilecek parazitlere karşı güvenli bir garantiye sahip değildir. ISM band uygulamaları uluslararası düzeyde RF endüstriyel, bilimsel ve tıbbi ihtiyaçlar için ayrılmıştır. Elektromanyetik (EM) parazit, ISM ekipmanları aynı frekansı kullandığında radyo iletişimini bozar. Sonuç olarak, radyo bandı yalnızca belirli frekans bantlarında kullanılabilir. Yüksek hızlı kablosuz LAN'larda çalışan iki ISM frekansı olan 2,5 GHz ve 3,0 GHz bantlarında çalışacak bir çift bantlı mikroşerit bant geçiren filtre önerilmiş ve tasarlanmıştır.

Filtre tasarımına başlamak için, empedans ve frekansta normalize edilmiş bir Butterworth düşük geçiren filtre prototipi kullanılır. Prototip tasarım (LPF), daha sonra istenen frekans aralığına (BPF) dönüştürülür. Bu iki aşama, indüktörler ve kapasitörler de dahil olmak üzere toplu eleman devrelerini oluşturur. Son olarak, toplu bileşenleri mikroşerit iletim hattına dönüştürmek için Richards dönüşümü [46] kullanılır. Planar filtre, giriş ve çıkış terminalleri için 50Ω iletim hattı empedansıyla, kapasitörle sonlandırılmış üç rezonatör kullanır. Her rezonatör, bir ucunda delikli topraklama için ve diğer ucunda giriş ve çıkış terminalleri için sonlandırılmıştır. Butterworth özellikleri, üçüncü dereceden bant geçiren hatların merkez frekansta rezonans olmasını sağlar [47]. Önerilen birleşik filtre, toplam 13 değişken parametre içerir, bunlardan 6'sı değişkendir. MATLAB R2022B sürümünden itibaren kullanılabilir olan R2023B sürümü, önerilen filtreyi simüle etmiş ve optimize etmiştir. Şekil 3.9 ve Tablo 3.1 filtre tasarımının şematik diyagramını ve tasarım parametrelerini içerir. Hala çok yeni olan anten araç kutusu, geleneksel tasarım yöntemlerinin karmaşıklığını ve tutarsızlığını ortadan kaldırıyor ve derin uzmanlık bilgisine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırıyor. Sonuçların 3B EM simülasyonu olarak elde edilebilmesi ek bir avantaj sağlar. Tüm bu işlemler, 13900K Intel Core i9 CPU, 5,80 GHz işlemci, 16 GB ekran kartı ve 32 GB RAM'e sahip bir bilgisayar ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9: Filtre tasarımının şematik diyagramı.

Tablo 3.1: Tasarım parametreleri.

Parametre	Merkez Değer	Değer Aralık	Açıklama
ResonatorLength	3 (mm)	±%40	Rezonatörün uzunluğu
ResonatorWidth	1,6 (mm)	±%40	Rezonatörün genişliği
ResonatorSpacing	0,4 (mm)	±%40	Rezonatörler arasındaki boşluk
PortLineLength	1.1 (mm)	±%40	Giriş ve çıkış hatlarının uzunluğu
PortLineWidth	1,3 (mm)	±%40	Giriş ve çıkış hatlarının genişliği
GroundPlaneWidth	5,0 (mm)	±%40	Yer düzleminin genişliği
FilterOrder	3	Sabit	Filtre sırası
ResonatorOffset	0	Sabit	Her rezonatörün Y ofseti
FeedOffset	0,3	Sabit	Giriş ve çıkış hatları için Y ofseti
Capacitor	1 pF	Sabit	Kapasitör değeri
Height	1,6 (mm)	Sabit	Kombine filtrenin zemin düzleminden yüksekliği
Substrate	dielectric	-	Dielektrik malzeme nesnesinin türü
Conductor	Metal	-	Katman nesnesinin iletilmesinde kullanılan metal türü

3.3. REKABETÇİ METASEZGISEL ALGORİTMALAR

Bilgisayar bilimi, gerçek dünyadaki sorunları çözmek için çok sayıda algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmalardan bazıları bilgisayar bilimcileri tarafından ortaya atıldı, ancak diğer bilim dallarının literatüründe de öne sürülen algoritmalar mevcuttur. Ancak bilgisayar bilimleri, bu algoritmaların bilgisayarın ve hesaplamanın gücünü kullanarak çok sayıda gerçek dünya sorununu çözmeye başlamasına yardımcı olmuştur. Bilim adamları halen mevcut algoritmaları

geliştirmeye ve yeni yöntemler önermeye devam ediyor. Matematik ve bilgisayar mühendisliği gibi ileri düzey disiplinlerde, özellikle lisansüstü seviyede karşılaşılan karmaşık problemlerin çözümüne yönelik yaklaşımlar genellikle sezgisel, metasezgisel veya buluşsal (heuristic) kategoriler altında incelenir. Bu paradigmalar, kesin ve kanıtlanabilir en iyi (optimal) çözümü garanti etmek yerine, kabul edilebilir bir hesaplama süresi içerisinde, optimuma oldukça yakın ve pratik açıdan uygulanabilir çözümler üretmeye odaklanır. Bu yaklaşımın temelinde, çözümün mutlak doğruluğundan ziyade, verimli bir şekilde 'yeterince iyi' bir sonuca ulaşma hedefi yatar.

Bu felsefe nedeniyle, bu alanda geliştirilen algoritmaların kendilerine özgü güçlü yanları olduğu gibi zayıf yönleri de bulunmaktadır. Örneğin, sıkça referans verilen Hill Climbing algoritması, yerel optimum tuzaklarına kolayca düşebilir ve bu nedenle global optimum çözümü bulamadan sonlanabilir; bu onun belirgin bir zayıflığıdır. Ancak, hesaplama hızı ve basitliği açısından önemli avantajlar sunar. Bu durum, sezgisel algoritmaların doğasını genel olarak yansıtır: Çoğu zaman, en iyi çözümü bulma garantisinden feragat ederek, çözüme ulaşma süresini kısaltmayı önceliklendirirler. Dolayısıyla, bu algoritmaların, çözüm uzayını kapsamlı bir şekilde taramak yerine, daha çok çözüm süresini optimize etmeye yönelik mekanizmalar içerdiği söylenebilir.

Bu özelliklerinden dolayı, meta-sezgisel yöntemler, özellikle optimum sonuca geleneksel yöntemlerle ulaşmanın çok uzun sürdüğü veya hesaplama açısından mümkün olmadığı karmaşık problemlerin çözümünde değerli araçlar haline gelmiştir. Makine öğrenmesi modellerinin eğitimi, yapay sinir ağlarının parametre ayarları ve çeşitli mühendislik optimizasyon problemleri gibi alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Meta-sezgisel algoritmalar, büyük ve karmaşık arama uzaylarında dahi optimuma yakın tatmin edici sonuçlar üretebilme potansiyeline sahiptir.

Meta-sezgisel optimizasyon yaklaşımları, ilham kaynaklarına göre genetik süreçler, fiziksel olaylar (tavlama gibi), sürü davranışları (karıncalar, kuşlar, arılar), sosyal etkileşimler veya müzikal harmoni gibi çeşitli ana başlıklar altında sınıflandırılabilir. Örneğin, doğadaki arı kolonilerinin yiyecek arama davranışlarını taklit ederek optimizasyon problemi çözen Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritması veya kuş sürülerinin koordineli hareketlerinden esinlenerek geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması, bu doğadan ilham alan

yaklaşımların somut örnekleridir ve gerçek dünya problemlerine uyarlanarak başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlamışlardır.

Bu tez çalışması özelinde ise, literatürde son üç yıl gibi yakın bir zamanda önerilmiş olan ve bu spesifik filtre optimizasyonu bağlamında daha önce kullanılmadığı tespit edilen üç farklı rekabetçi meta-sezgisel algoritma, performans değerlerini karşılaştırmak ve filtre tasarım problemine uygunluklarını değerlendirmek amacıyla seçilmiştir [38–40].

3.3.1. Sakarmeke Algoritması

Sakarmeke kuşları, Rallidae familyasına ait küçük su kuşlarıdır. Latincede "sakarmeke" anlamına gelen Fulica cinsini oluştururlar [5]. Sakarmeke kuşlarının alınlarında belirgin ön kalkanlar veya diğer süslemeler, kırmızıdan koyu kırmızıya değişen gözleri ve renkli gagaları vardır. Birçoğunun, ancak hepsinin değil, kuyruk altlarında beyazlık bulunur. Amerikan sakarmeke davranışları üzerine yapılan literatür, üreme, habitat ve göç davranışları üzerine kapsamlı çalışmalar içerir [4]. Sakarmeke kuşlarının su üzerinde birçok davranışı ve hareketi vardır. Bu makalede, yeni bir optimizasyon yöntemi sunmak için bu kuşun su yüzeyindeki davranışını kullandık. Sakarmeke kuşları, hareket yönlerine açılı olarak hareket ederler. Sakarmeke sürüsünün su üzerindeki davranışı üç hareketten oluşur. Düzensiz bir hareket ve Senkronize bir hareket. Sakarmeke kuşları ayrıca su yüzeyinde bir zincir hareketi yapar ve her sakarmeke, önündeki sakarmeke'nin arkasında hareket eder.

Sakarmeke kuşlarının farklı kolektif davranışları vardır, bu makaledeki amacımız kolektif hareketleri (su yüzeyindeki düzenli ve düzensiz hareketler) simüle etmektir. Tüm grup, grup liderleri olarak kabul ettiğimiz grubun önündeki birkaç sakarmeke tarafından hedefe (yiyecek) yönlendirilir.

Bu nedenle, su yüzeyindeki sakarmeke kuşlarının aşağıdaki gibi dört farklı hareketini ele alıyoruz:

1. Rastgele hareket
2. Zincir hareketi
3. Grup liderlerine göre konum ayarlaması
4. Liderler tarafından grubu optimal alana yönlendirme (lider hareketi)

Tüm optimizasyon algoritmalarının temel çerçevesi aynıdır. Algoritma, $(x) = \{x_1, x_2, \ldots x_n\}$ şeklinde bir başlangıç rastgele popülasyonu ile başlar. Bu rastgele popülasyon, amaç fonksiyonu tarafından tekrar tekrar değerlendirilir ve bir hedef değer belirlenir $(O) = \{O_1,$

$O_2,...O_n\}$. Ayrıca, bir optimizasyon tekniğinin özünü oluşturan bir dizi kuralla geliştirilir. Popülasyon tabanlı optimizasyon teknikleri, optimizasyon problemlerinin optimal miktarını aradığı için, tek bir çalıştırmada bir çözüm bulma garantisi yoktur. Ancak, yeterli sayıda rastgele çözüm ve optimizasyon adımı (yineleme) ile küresel optimal bulma olasılığı artar. 7 tek-modlu test fonksiyonu ve algoritma keşfinin değerlendirilmesi için 6 çok-modlu test fonksiyonu dahil olmak üzere 13 test fonksiyonu (30, 100 ve 500 boyutlu) kullanıldı. Sonuçlar, Sakarmeke algoritmasının diğer bilinen optimizasyon algoritmalarına kıyasla iyi ve rekabetçi bir performans değerine sahip olduğunu göstermiştir [38].

Popülasyon, denklem (3.1) kullanılarak görünür alanda rastgele oluşturulur:

$$CootPos(i) = rand(1, d) *(ub - lb) + lb \quad (3.1)$$

Burada CootPos(i) sakarmeke konumunu, d değişken sayısını veya problem boyutlarını, lb arama uzayının alt sınırını ve ub arama uzayının üst sınırını temsil eder bunlar denklem (3.2) ile tanımlanmıştır. Her değişkenin farklı bir alt sınır ve üst sınır problemi olabilir.

$$lb = [lb_1, lb_2, ..., lb_d], \qquad ub = [ub_1, ub_2, ..., ub_d] \quad (3.2)$$

Başlangıç popülasyonunu oluşturduktan ve her ajanın konumunu belirledikten sonra, her çözümün uygunluğu O_i = f(x) amaç fonksiyonu kullanılarak hesaplanmalıdır. NL sayıda sakarmeke kuşunu grup lideri olarak seçiyoruz. Lider seçimi rastgele yapılır.
Şimdi, önceki bölümde bahsedilen su yüzeyindeki sakarmeke kuşlarının dört hareketi uygulanmaktadır.

3.3.1.1. Rastgele Hareket

Algoritmanın bu hareket adımını gerçekleştirmek amacıyla, öncelikle tanımlanmış arama alanı içerisinde, denklem (3.3) ile belirlenen yöntem uyarınca rastgele bir hedef nokta (Q konumu) seçilmektedir. Ardından, optimizasyon sürecindeki sakarmeke kuşu (çözüm adayı), mevcut konumundan bu rastgele belirlenen Q noktasına doğru yönlendirilerek pozisyonu güncellenmektedir.

$$Q = rand(1, d)*(ub - lb) + lb \quad (3.3)$$

Sakarmeke algoritmasının stokastik (rastgele öğeler içeren) yapısının bir sonucu olan bu hareket adımı, arama uzayının çeşitliliğini koruyarak farklı çözüm alanlarının taranmasını sağlar. Bu mekanizmanın kritik bir avantajı, algoritmanın potansiyel olarak karşılaşabileceği yerel optimum noktalarında ilerlemesinin engellenmesini önlemektir. Eğer algoritma, global en iyi çözüm yerine yerel bir zirvede takılı kalırsa, bu rastgele hareket adımı, bu noktadan uzaklaşarak daha umut verici bölgelere yönelmek için sağlam bir 'kaçış stratejisi' sunar. Bu strateji uygulandıktan sonra sakarmeke'nin yeni yerleşimi, Denklem (3.4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$CootPos(i) = CootPos(i) + A \times R2 \times (Q - CootPos(i)) \tag{3.4}$$

Burada *R2*, [0, 1] aralığında rastgele bir sayıdır, *A* denklem (3.5)'e göre hesaplanır.

$$A = 1 - L \times (1/Iter) \tag{3.5}$$

Burada *L* mevcut yinelemeyi, *Iter* ise maksimum yinelemeyi temsil eder.

3.3.1.2. Zincir Hareketi

Sakarmeke algoritmasındaki 'zincir hareketi' olarak adlandırılan mekanizmayı hayata geçirmek için literatürde önerilen farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımlardan biri, etkileşim halindeki iki sakarmeke'nin konumlarının aritmetik ortalamasının alınması prensibine dayanır. Alternatif bir metodoloji ise, öncelikle iki birey arasındaki yönlendirilmiş mesafeyi temsil eden vektörün hesaplanmasını ve ardından sakarmekelerden birinin, diğerine doğru bu hesaplanan mesafe vektörünün belirli bir fraksiyonu (örneğin, yarısı) kadar hareket ettirilmesini içerir. Bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen uygulamalarda, bahsedilen ilk yöntem, yani iki sakarmeke'nin ortalama konumunu temel alan yaklaşım benimsenmiştir. Bu yaklaşıma göre sakarmeke'nin güncellenmiş pozisyonu, Denklem (3.6) ile verilen formülasyon kullanılarak belirlenmektedir.

$$CootPos(i) = 0.5 \times (CootPos\ (i - 1) + CootPos(i)) \tag{3.6}$$

Burada CootPos(i-1) ikinci sakarmekedir.

3.3.1.3. Grup Liderlerine Göre Konum Ayarlama

Sakarmeke sürüsünün kolektif hareket dinamiği incelendiğinde, genellikle sürünün öncü konumunda bulunan az sayıda bireyin (liderlerin) yönlendirici bir rol üstlendiği gözlemlenir. Sürünün geri kalan üyeleri (takipçiler), bu lider sakarmekelerin belirlediği rotayı takip ederek kendi pozisyonlarını sürekli olarak günceller ve liderlere doğru bir yönelim sergilerler. Bu noktada, algoritma tasarımı açısından önemli bir soru ortaya çıkar: Her bir takipçi sakarmeke, hangi spesifik lideri referans alarak konum ayarlaması yapacaktır? Bir yaklaşım olarak, tüm liderlerin konumlarının ortalamasının alınması ve takipçilerin bu ortalama noktaya doğru hareket etmesi düşünülebilir. Ancak, bu strateji, tüm sürünün hızla tek bir noktaya yığılmasına ve potansiyel olarak suboptimal bir çözüm etrafında kümelenmesine yol açarak 'erken yakınsama' riskini taşır. Bu riskten kaçınmak ve sürünün çeşitliliğini korumak amacıyla, her bir takipçiye atanacak liderin belirlenmesi için Denklem (3.7)'de tanımlanan özgün bir seçim mekanizması bu çalışmada kullanılmıştır.

$$K = 1 + (i \ MOD \ NL) \tag{3.7}$$

Burada i mevcut sakarmeke'nin indeks numarası, NL lider sayısı ve K liderin indeks numarasıdır.

Sakarmeke(i), konumunu liderin k'sine göre güncellemelidir. Denklem (3.8), seçilen lidere göre sakarmeke'nin bir sonraki konumunu hesaplar.

$$CootPos(i) = LeaderPos(k) + 2 \times R1 \times \cos(2R\pi) \times (LeaderPos(k) - CootPos(i)) \tag{3.8}$$

Burada CootPos(i) sakarmeke'nin mevcut konumu, LeaderPos(k) seçilen lider konumu, R1 [0, 1] aralığında rastgele bir sayı, π 3.14 ile aynı pi değeri ve R [−1, 1] aralığında rastgele bir sayıdır.

3.3.1.4. Liderler Tarafından Grubu Optimal Alana Yönlendirme (Lider Hareketi)

Sürünün genel amacı, belirlenmiş bir hedef bölgeye, yani optimizasyon problemindeki 'optimal alana' doğru ilerlemektir. Bu kolektif hedefe ulaşılabilmesi için, sürüyü yönlendiren lider sakarmekelerin kendi pozisyonlarını sürekli olarak bu hedefe yönelik olarak ayarlamaları kritik

bir gerekliliktir. Liderlerin konumlarını güncelleme mekanizması olarak Denklem (3.9) önerilmektedir. Bu matematiksel formülasyon, stratejik bir biçimde, o ana kadar keşfedilmiş en iyi çözüm olan mevcut optimal noktanın (gBest) yakın çevresinde daha avantajlı pozisyonlar aramak üzere tasarlanmıştır. Bununla birlikte, optimizasyon sürecinin sadece mevcut en iyi çözüm etrafında sıkışıp kalmaması ve potansiyel olarak daha üstün başka çözümleri keşfedebilmesi için, liderlerin zaman zaman bu mevcut optimal noktadan bilinçli olarak uzaklaşması da gerekebilir. Denklem (3.9), hem bu mevcut en iyi çözüme yakınsama (exploitation) hem de ondan uzaklaşarak yeni bölgeler keşfetme (exploration) davranışlarını dengeli bir şekilde sağlayabilen etkili bir yöntem sunmaktadır.

$$LeaderPos(i)=\begin{cases} B \times R3 \times cos(2R\pi) \times \left(gBest - LeaderPos(i)\right) + gBest & R4 < 0.5 \\ B \times R3 \times cos(2R\pi) \times \left(gBest - LeaderPos(i)\right) - gBest & R4 >= 0.5 \end{cases} \quad (3.9)$$

Burada gBest şimdiye kadar bulunan en iyi konum, R3 ve R4 [0, 1] aralığında rastgele sayılar, π 3,14 ile aynı pi değeri, R [−1, 1] aralığında rastgele bir sayı ve B denklem (3.10)'a göre hesaplanır.

$$B = 2 - L \times (1/Iter) \quad (3.10)$$

Burada L mevcut yinelemeyi, Iter ise maksimum yinelemeyi temsil eder. 2 × R3, algoritmanın yerel optimuma takılmaması için daha büyük rastgele hareketler yapar. Bu, kullanım aşamasında da keşif yaptığımız anlamına gelir. Cos(2Rπ), bu arama ajanının etrafında daha iyi bir konum bulmak için en iyi arama ajanının etrafında farklı yarıçaplarla arama yapar.
Burada ortaya çıkan soru, bu farklı hareketlerin nasıl ve ne zaman gerçekleştirildiğidir. Optimizasyon algoritmalarının rastgele doğasını korumak için, tüm bu hareketleri rastgele olarak ele alıyoruz. Bu, algoritmanın yürütülmesi sırasında sakarmeke'nin rastgele, zincir halinde veya grup liderlerine doğru hareket edebileceği anlamına gelir.

3.3.2. Kaz Algoritması

Kaz algoritması ilk olarak popülasyonu, yani X matrisini başlatır. X, bir kazın konumunu temsil eder. Popülasyon başlatıldıktan sonra, arama alanı dışına çıkan arama ajanları (kazlar) geri döndürülür. Her yinelemede, her arama ajanının uygunluğu standart test fonksiyonları aracılığıyla belirlenir. Aramadaki her ajanın (X matrisindeki her satır) uygunluk değeri ölçülür ve en iyi uygunluk (BestFitness) ve en iyi konum (BestX) değerlerini bulmak için diğer

ajanların (diğer satırlar) uygunluk değerleriyle karşılaştırılır. BestFitness ve BestX, her bir mevcut satırın uygunluğunu *(fitness$_i$+1)* bir önceki satırın uygunluğuyla *(fitness$_i$)* karşılaştıran işlemlerdir.

Sonraki adımlarda, keşif ve kullanım aşamaları bir koşul ve rastgele bir değişken kullanılarak dengelenir. Bu değişken, yineleme sayısına göre aşamaları eşit olarak dağıtmayı amaçlar. "rnd" olarak adlandırılan rastgele değişken kullanılarak KAZ'da keşif veya kullanım için %50 olasılık verilir. Koşullu bir ifade ile yinelemeler keşif ve kullanım arasında eşit olarak bölünür. Ayrıca, pro, rnd ve coe gibi rastgele değerler alan başka değişkenler de vardır. Pro, rnd ve coe değişkenlerinin değerleri 0 ile 1 arasında bulunur. Coe değerinin 0,17'den küçük veya eşit olup olmadığını kontrol etmek için bir koşul belirlenir; aksi takdirde, değer 0,17'ye eşitlenir. Pro değişkeninin işlevi, hangi denklemin çalışacağını belirlemektir. Ayrıca, kazın ayağıyla taşıdığı taşın ağırlığını temsil eden değişken de bulunur. Keşif ve kullanım aşamaları sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak tartışılacaktır.

Yapılan bir çalışmada algoritmanın başarısı değerlendirmek amacıyla Kaz (Goose) algoritması 19 iyi bilinen kıyaslama test fonksiyonu üzerinde kıyaslanmıştır ve sonuçlar Genetik algoritma (GA), Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), Yusufçuk algoritması (DA) ve Uygunluk bağımlı optimize edici (FDO) ile yapılan karşılaştırmalı bir çalışma ile doğrulanmıştır. Ek olarak Bulgular Kaz (Goose) algoritmasının FDO, DA, PSO, GA, FOX, BOA, WOA, ChOA ve SA gibi iyi bilinen sezgisel yöntemlerle oldukça rekabetçi sonuçlar sağlayabildiğini göstermiştir [39].

3.3.2.1. Kullanım Aşaması (Exploitation)

Bölüm 3.2.1'de açıklandığı gibi, grupları koruma olasılığı, kullanım aşaması için sahip olduğumuz bir ön koşuldur. Kazın ayağında tuttuğu taşın ağırlığını bulacağız, bu ağırlığın 5 ile 25 kg arasında olduğu tahmin edilmektedir. Denklem (3.11) aracılığıyla, herhangi bir yineleme için taşın ağırlığını rastgele buluruz. Bu değişken, yineleme sayısını gösterir.

$$Stone_Weight_{it}=randi([5,25],1,1) \tag{3.11}$$

Daha sonra, Denklem (3.12)'de, taş düştüğünde yere ulaşması için gereken süre olan $Time_of_Arrive_Object_{it}$'i bulmalıyız. Bu süre, döngüdeki her yineleme için 1 ile boyut sayısı arasında rastgele bir değerdir.

$$Time_of_Arrive_Object_{it}=rand(1, dim) \quad (3.12)$$

Denklem (3.13)'de, nesne yere çarptığında ve bir ses çıkarıp sürüdeki bireysel kaza iletildiğinde geçen süre olan $Time_of_Arrive_Sound_{it}$'i buluruz.

$$Time_of_Arrive_Sound_{it}=rand(1, dim) \quad (3.13)$$

Bir sonraki denklemde, yinelemeler boyunca sesin yayılması ve sürüdeki bireysel kaza ulaşması için gereken toplam süreyi keşfederiz. Denklem (3.14)'de gösterildiği gibi, toplam süre boyut sayısına bölünür. Gerekli ortalama süreyi elde etmek için toplam süreyi 2'ye böleriz. Denklem (3.15) adımları açıklar.

$$Total_time=\frac{\sum(Time_of_Arrive_Sound_{it})}{dim} \quad (3.14)$$

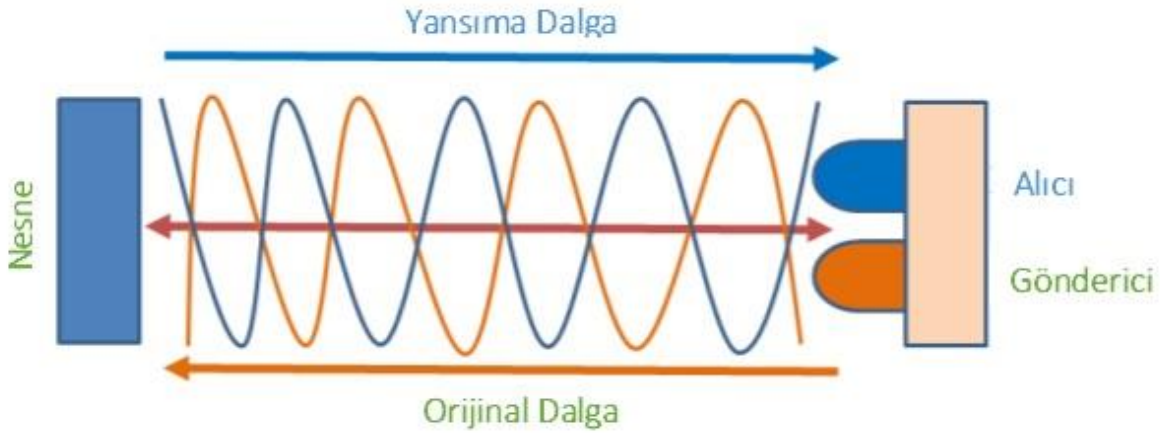
$$Total_Avarage=\frac{Total_time}{2} \quad (3.15)$$

Önceki bölümlerde tartıştığımız gibi, kullanım ve keşif aşamalarının dağılımından sorumlu rastgele bir değişken olan "rnd" vardır. "pro" değişkeninin değeri [0, 1] aralığından rastgele seçilir. "pro" değişkeninin değerinin 0,2'den büyük ve "$Stone_Weight_{it}$" (taş ağırlığı) değerinin 12'den büyük veya eşit olduğunu varsayalım. Denklem (3.16)'da "$Time_of_Arrive_Object_{it}$" (nesnenin yere ulaşma süresi), nesnenin 9,81 m/s²'lik ivmesine bölünen "$Stone_Weight_{it}$" (taş ağırlığı) değerinin karekökü ile çarpılır. Gruptaki bireyi korumak ve uyandırmak için bu denklemler çözülmelidir.

$$Free_Fall_Speed=Time_of_Arrive_Object_{it}*\frac{\sqrt[2]{Stone_Weightit}}{9{,}81} \quad (3.16)$$

Denklem (3.17)'de, sesin kat ettiği mesafeyi $(Distance_S_Travel_{it})$ bulmak için, havadaki ses hızı $(Speed_Sound)$ ile sesin seyahat süresi $(Time_of_Arrive_Sound_{it})$ çarpılmalıdır. Havadaki ses hızı 343,2 metre/saniyedir. Şekil 3.10 sesin kat ettiği mesafeyi açıklamaktadır.

$$Distance_S_Travel_{it}=Speed_Sound * Time_of_Arrive_Sound_{it} \quad (3.17)$$



Şekil 3.10: Havadaki sesin kat ettiği mesafe

Bu adımda, nöbetçi kaz ile dinlenen veya beslenen diğer kaz arasındaki mesafeyi *(Distance_Goose$_{it}$)* buluruz. Denklem (3.18)'de, sesin kat ettiği mesafeyi *(Distance_S_Travel$_{it}$)* 1/2 veya 0,5 ile çarparız çünkü sadece sesin gitme süresine ihtiyacımız vardır geri dönüş süresine değil.

$$Distance_Goose_{it} = 0{,}5 * Distance_S_Travel_{it} \quad (3.18)$$

Popülasyonda yeni bir X değeri belirlemek, yani sürüdeki bireyi uyandırmak için, Denklem (3.19)'da gösterildiği gibi bir $BestX_{it}$ (en iyi konum) bulmalıyız. Bu denklem, düşen nesnenin hızı (*Free_Fall_Speed)* ile kazın mesafesinin *(Distance_Goose$_{it}$)* çarpımının, ortalama sürenin karesi (*Timel_Avarage^2)* ile toplamından oluşur.

$$X_{(it+1)} = Free_Fall_Speed + Distance_Goose_{it} * Timel_Avarage^2 \quad (3.19)$$

Aksine, eğer hem taşın ağırlığı *(Stone_Weight$_{it}$)* hem de "pro" değişkeni sırasıyla 12'den küçük ve 0,2'den küçük veya eşitse, yeni X değerini aşağıdaki Denklem (3.11)'de gösterildiği gibi buluruz. Düşen bir nesnenin hızını ($Free_Fall_Speed$) elde etmek için, nesneye ulaşmak için geçen süre *(Time_of_Arrive_Object$_{it}$)* ile taşın ağırlığının ($Stone_Weight_{it}$) yerçekimine bölünmesiyle çarpılır. Ayrıca, sesin kat ettiği mesafeyi ($Distance_S_Travel_{it}$) ve kazın mesafesini ($Distance_Goose_{it}$) belirlemek için, önceki denklemler (3.17) ve (3.18)'de kullanılır.

$$Free_Fall_Speed = Time_of_Arrive_Object_{it} * \frac{Stone_Weightit}{9{,}81} \quad (3.20)$$

Diğer bir yöntemle, yeni bir matematiksel denklem kullanarak yeni bir X değeri buluruz. Bu denklemde, düşen nesnenin hızı, kazın mesafesi, ortalama süre ve "coe" değişkeni sırasıyla çarpılır.

$$X_{(it+1)} = Free_Fall_Speed * Distance_Goose_{it} * Timel_Avarage^2 * Coe \quad (3.21)$$

Kullanım aşamasında, yeni bir X değeri bulmak için iki denklem kullandık, örneğin Denklem (3.19) ve Denklem (3.21). "pro" ve *(Stone_Weight$_{it}$)* (taş ağırlığı) değişkenlerinin değerleri, hangi denklemin kullanılacağını belirlemiştir.

3.3.2.2. Keşif Aşaması (Exploration)

Bu aşamada, rastgele uyanma veya bireyi korumayı düzenlemek için, kaz şimdiye kadar keşfedilen en iyi konumu takip ederek rastgele uyanır. Kaz ayağında taş taşımıyorsa, sürüdeki bireyler rastgele uyanır. Sürüdeki kazlardan biri uyandığında, sürüdeki tüm bireyleri korumak için bağırmaya başlar.

Önceki bölümlerde bahsettiğimiz gibi, "rnd" değişkeninin değeri 0.5'den küçükse, Denklem(3.13) ve Denklem(3.14)'deki gibi denklemler uygulanır. Ayrıca, minimum sürenin *(Minimum_Time)* toplam süreden *(Total_Time)* büyük olup olmadığı kontrol edilir ve eğer büyükse, minimum süre toplam süreye eşitlenir.

alpha değişkeninin değeri 2'den 0'a kadar değişir. Bu değer, döngüdeki her yinelemede önemli ölçüde azalır. Denklem (3.22), arama uzayında yeni bir X değerinin sonucunu iyileştirmek için kullanılır.

$$alpha = \left(2 - \left(\frac{loop}{\frac{Max_It}{2}}\right)\right) \quad (3.22)$$

Burada "*Max_It*", yapılabilecek yineleme sayısıdır. Arama aşamasını en uygun çözüm olma olasılığı en yüksek olan çözüme doğru kaydırmak için, *Minimum_Time* ve *alpha* parametrelerini hesaplamak önemlidir.

Kazın, arama uzayındaki diğer bireyleri rastgele keşfetmesini sağlamak için "randn(1, dim)" fonksiyonu kullanılır. Bununla birlikte, Minimum_Time ve alpha değişkenleri, KAZ'un arama yeteneğini geliştirmek için kullanılır. Denklem (3.23)'de, minimum süre ve alpha, rastgele bir sayı ile çarpılır ve ardından arama uzayındaki en iyi konuma eklenir.

$$X_{(it+1)} = randn(1,dim) * (Minimum_Time*alpha) + Best_pos \quad (3.23)$$

Burada "dim", problem boyutlarının sayısını ve "Best_pos", arama alanında bulduğumuz en iyi X veya en iyi konumu temsil eder.

Özetle, kaz algoritması popülasyonları rastgele oluşturarak başlar. Ardından, ilk yinelemede, sınırların dışındaki değerleri düzeltmek için sürüdeki popülasyon değerlerini gözden geçirir. Ayrıca, arama sınırları içindeki en iyi puanı ve en iyi konumu belirlemek için amaç fonksiyonlarını uygular.

Kullanım ve keşif aşamalarını kontrol etmek için, rastgele seçilen değerlere sahip "rnd" adında bir rastgele değişken kullanılır. Rnd değeri 0,5'den büyük veya eşitse, keşif aşaması etkinleştirilir. Bu koşul dahilinde, "pro" ve taşın ağırlığı "Stone_Weight" gibi iki rastgele değişken daha vardır. Pro 0,2'den büyük ve taşın ağırlığı 12'den büyük veya eşitse, (3.11), (3.12), (3.13), 3.1 (4), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18) ve (3.19) denklemleri uygulanır. Öte yandan, pro 0.2'den küçük veya eşit ve taşın ağırlığı Stone_Weight 12'den küçükse, (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.17), (3.18), (3.20) ve (3.21) denklemleri uygulanır.

Rnd'nin 0,5'den küçük olduğu bir senaryoda ise keşif aşaması başlatılır. Bunu göstermek için, "Time_of_Arrive_Sound", "Total_Time" ve "alpha" değişkenleri kullanılır. Bu durumda, (3.13), (3.14), (3.22) ve (3.23) denklemleri sırayla uygulanır.

Ayrıca, bu algoritmada arama uzayında yeni bir X bulmak için üç yöntem uyarlanmıştır. Kullanım aşamasında, örneğin Denklem (3.19) ve Denklem (3.21) gibi iki denklem kullanılır. Ancak, keşif aşamasında yeni bir X tespit etmek için sadece Denklem (3.23) kullanılır.

3.3.3. Vahşi Kazlar Algoritması (VKA)

Son yıllarda, hayvanların grup hareketlerinden ve grup arayışlarından esinlenen yeni algoritmalar önerilmiştir. Bu makalede, vahşi kazların yaşamlarının farklı aşamalarından esinlenerek, ritmik ve koordineli grup göçü, üreme ve evrim ile ayrıca kaz popülasyonundaki

ölümler dahil olmak üzere, yüksek boyutlu optimizasyon problemleri için Vahşi Kazlar Algoritması (VKA) adında yeni ve verimli bir algoritma sunulmaktadır. Genel olarak, önerilen

Yapılan bir çalışmada Vahşi Kazlar algoritmasının yüksek boyutlu problemlerin optimizasyonu için performans değerlerini ortaya koymak amacıyla, algoritma CEC 2008 ve CEC 2010 fonksiyonlarına dayalı sep-CMA-ES, CCPSO2, CSO, EPUS-PSO, MLCC, DECCD, DECC-DML, CBCC2-DG, CBCC1-DG ve DECC-DG algoritmalarıyla test edilmiş, karşılaştırmalı analizlerde olumlu performans değerleri elde edilmiştir [40].

VKA aşamaları şunlardır:

1. Düzenli ve koordineli grup göçü (veya göç ve yer değiştirme hızı aşaması): Bu aşama, bireylerin uçuş yollarını komşularına ve sürüdeki önde gelen kazlara göre ayarladığı vahşi kazların organize uçuş modellerini simüle eder.
2. Vahşi kazların yürümesi ve yiyecek araması: Bu aşama, algoritmanın keşif yönünü temsil eden kazların yiyecek arama davranışını taklit eder. Kazlar, algoritmanın arama alanında yeni alanları keşfetmesi gibi, çevrelerinde yiyecek ararlar.
3. Vahşi kazların üremesi ve evrimi: Bu aşama, genetik algoritmalardaki çaprazlamaya benzer bir süreci yansıtan, mevcut çözümlere dayalı olarak yeni çözümlerin üretildiği doğal üreme ve evrim süreçlerini modeller.
4. Vahşi kazların ölümü, göçü ve düzenli evrimi: Bu aşama, vahşi kaz popülasyonunda doğal seçilim ve popülasyon yönetimini temsil eder. Daha zayıf kazlar popülasyondan elenir, daha güçlü çözümler teşvik edilir ve algoritmanın genel performans değerini iyileştirilir

Öncelikle, i-inci vahşi kazın konum vektörünün x_i'ye eşit olması için, vahşi kazların başlangıç popülasyonu oluşturulur. En iyi yerel konum veya kişisel en iyi çözüm p_i ve göç hızı v_i belirlenir. Daha sonra, tüm vahşi kaz popülasyonları hedef fonksiyonlarına göre en iyiden en kötüye doğru sıralanır.

Bu modelleme stratejisinde, her vahşi kaz, sıralanmış popülasyondaki komşu vahşi kazlardan bilgi edinir ve bu bireyler tarafından yönlendirilir. VKA aşamaları, sonraki alt bölümlerde daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

3.3.3.1. Düzenli ve Koordineli Grup Göçü (veya Göç ve Yer Değiştirme Hızı Aşaması)

Bu aşamada kazlar, liderlerini takip ederek ve konumlarını komşu kazların konumlarına ve hızlarına göre ayarlayarak senkronize bir şekilde göç ederler. Vahşi kazların göçü, sıralanmış

popülasyondaki ön ve bitişik bireylere ulaşmaya dayalı, grup halinde, koordineli, düzenli ve kontrol altındaki bir göçtür. Kazların koordineli hızına göre hız ve yer değiştirme denklemleri, Denklem (3.24) ve Denklem (3.25)'de verilmiştir.

$$v_{i,d}^{Iter+1} = \left(r_{1,d} * v_{i,d}^{Iter} + r_{2,d} * \left(v_{i+1,d}^{Iter} - v_{i-1,d}^{Iter}\right)\right) + r_{3,d} * \left(p_{i,d}^{Iter} - x_{i-1,d}^{Iter}\right) + r_{4,d} * \left(p_{i+1,d}^{Iter} - x_{i,d}^{Iter}\right) + r_{5,d} * \left(p_{i+2,d}^{Iter} - x_{i+1,d}^{Iter}\right) - r_{6,d} * \left(p_{i-1,d}^{Iter} - x_{i+2,d}^{Iter}\right) \quad (3.24)$$

Burada $x_{i,d}$, $p_{i,d}$ *ve* $v_{i,d}$ sırasıyla *i*-inci vahşi kazın mevcut konumunun, en iyi konumunun ve mevcut hızının *d*-inci boyutunu temsil eder. Unutmayın ki bu çalışmada, $r_{k,d}$, k = 1, 2, … , 11, 0 ile 1 arasında eşit olarak dağılmış rastgele sayılardır.

Denklem (3.24)'de görüldüğü gibi, her vahşi kazın (örneğin *i*-inci vahşi kaz) hız ve konum değişiklikleri, önündeki ve arkasındaki üyelerin hızlarına yani $\left(v_{i+1,d}^{Iter} - v_{i-1,d}^{Iter}\right)$ ve ayrıca bitişik üyelerin konumlarına bağlıdır.

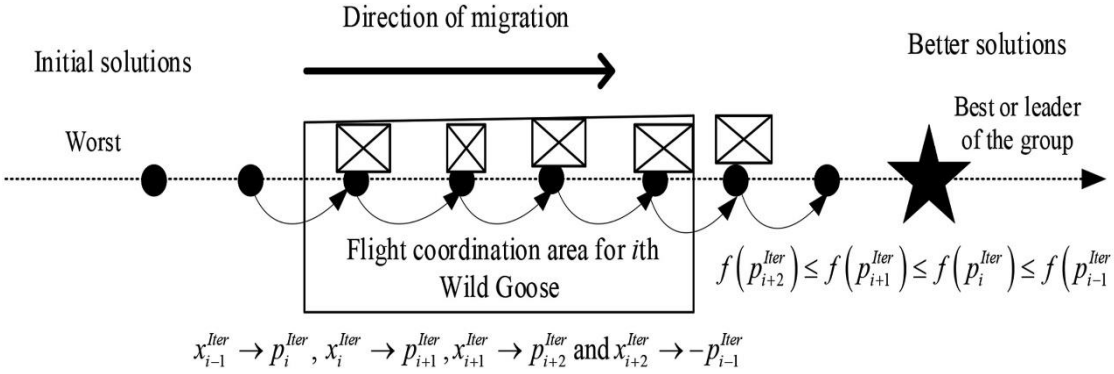
Şekil 3.11'deki vahşi kazların göçü modelinden ve Denklem (3.24)'den anlaşılacağı gibi, vahşi kazlar, hareket ve navigasyon için kalıplar olarak, sıralanmış popülasyondaki bitişik bireylerden bilgi alır ve bu üyelere ulaşmaya çalışırlar (mesafelerini azaltırlar), yani

$$x_{i-1}^{Iter} \rightarrow p_i^{Iter}, x_i^{Iter} \rightarrow p_{i+1}^{Iter}, x_{i+1}^{Iter} \rightarrow p_{i+2}^{Iter} \; and \; x_{i+2}^{Iter} \rightarrow p_{i-1}^{Iter}$$

Ek olarak, küresel en iyi üye, tüm sürünün hareketleri için bir başka rehber olarak kullanılır; bu, Denklem (3.25)'de yansıtılır. Bu konum değişikliği, tüm üyelerin hareketini sıralı bir dizi olarak modellemek için, ön üyelerle koordineli olarak sıralı bir şekilde gerçekleştirilir, bu da Şekil 3.11'de gösterilmiştir.

$$x_{i,d}^{v} = p_{i,d}^{Iter} + r_{7,d} * r_{8,d} * \left(\left(g_d^{Iter} + p_{i+1,d}^{Iter} - 2 * p_{i,d}^{Iter}\right) + v_{i,d}^{Iter+1}\right) \quad (3.25)$$

Burada g_d, tüm üyeler arasında küresel en iyi konumu temsil eder.



Şekil 3.11: Vahşi Kazların Düzenli ve Koordineli Grup Göçü Modeli

3.3.3.2. Vahşi Kazların Yürümesi ve Yiyecek Araması

Bu adım, *i*-inci vahşi kazın önündeki üyeye, yani *(i+1)*-inci kaza doğru hareket etmesi $p_i^{Iter} \to p_{i+1}^{Iter}$ şeklinde modellenmiştir. Başka bir deyişle, *i*-inci kaz *(i+1)*-inci kaza ulaşmaya çalışır (, $x_{i+1}^{Iter} - p_{i+2}^{Iter}$). Vahşi kazın yürümesi ve yiyecek araması denklemi, x_i^W şu şekildedir:

$$x_{i,d}^{w} = p_{i,d}^{Iter} + r_{9,d} * r_{10,d} * \left(p_{i+1,d}^{Iter} - p_{i,d}^{Iter}\right) \tag{3.26}$$

3.3.3.3. Vahşi Kazların Üremesi ve Evrimi

Vahşi kazların yaşamının bir diğer aşaması da üreme ve evrimdir. Bu makalede, modelleme, göç denkleminin (x_i^v) ve yürüyüş ve yiyecek arama denkleminin (x_i^W) bir kombinasyonunu kullanacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Önerilen VKA algoritması için *Cr* değeri, toplam simülasyonlarda 0,5'dir.

$$x_{i,d}^{Iter+_1} = \begin{cases} x_{i,d}^{v} \; if \; r_{11,d} \le Cr \\ x_{i,d}^{w} \; otherwise \end{cases} \tag{3.27}$$

3.3.3.4. Vahşi kazların ölümü, göçü ve düzenli evrimi

Literatürdeki önceki deneyler, farklı optimizasyon algoritmaları için popülasyon sayısı ile yineleme sayısının her tür problemi çözmede aynı düzeyde etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Bazı fonksiyonlar için, algoritmanın popülasyonunun boyutu, algoritmanın yineleme sayısından daha önemli ve daha etkilidir ve bazı diğer fonksiyonlar için, algoritmanın yineleme sayısı, VKA algoritmasının popülasyonunun boyutundan daha önemli ve daha etkilidir. Bu makalede, bu sorunu aşmak ve uzlaşmacı bir çözüm oluşturmak için, tüm test fonksiyonları için algoritma performans değerini dengelemek amacıyla ölüm aşaması kullanılmıştır. Bu aşamada, algoritma maksimum popülasyon sayısı $Np^{initial}$ ile başlar ve algoritma yinelemeleri sırasında, daha zayıf üyeler Denklem (3.28) temel alınarak

popülasyondan çıkarılır ve popülasyon boyutu son yinelemede son değerine Np^{final} ulaşana kadar doğrusal olarak azalır.

$$Np = \text{round}\left(Np^{initial} - \left(\left(Np^{initial} - Np^{final}\right) * \left(\frac{FEs}{FEs_{max}}\right)\right)\right) \tag{3.28}$$

Burada FE_s fonksiyon değerlendirmelerinin sayısını ve FE_{smax} da maksimumunu gösterir.

3.4. AMAÇ FONKSİYONU

Optimizasyon problemleri, iyileştirilmesi gereken tek amaçlı veya çok amaçlı problemleri içerir. Amaç fonksiyonu, bu problemlerin matematiksel bir ifadesidir. Ek olarak, bu amaç fonksiyonları kendi içinde birleştirilerek maliyet fonksiyonunu da içerir. Çoğu problemde, tasarım değişkenleri ve amaç fonksiyonları doğrusaldır. Karmaşık yapıları nedeniyle, doğrusal olmayan amaç fonksiyonları sınırlıdır [41]. Doğrusal olmayan problemler genellikle birçok tepe noktası ve birçok yerel optimum içerir [41]. Karmaşık ve çok sayıda tasarım parametresine sahip optimizasyon problemleri için, karmaşık amaç fonksiyonları geliştirilmesi gerekebilir. Küresel optimuma ulaşmak, optimizasyonun ana hedefidir. Meta-sezgisel algoritmalar hem yerel optimumlardan kaçınmada hem de küresel optimumu belirlemede oldukça iyidir. Bu nedenle, yeni meta-sezgisel algoritma modelleri geliştirilmektedir. Mevcut optimizasyon teknikleri arasından seçilen Sakarmeke algoritması, Kaz algoritması ve Vahşi Kaz algoritması, farklı amaç fonksiyonlarıyla desteklenmektedir ve en iyi performans değeri sonuçları hedeflenmektedir. Bu amaçla, literatürde mevcut bir çalışmadan [41] uyarlanan doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel modellerden üç farklı amaç fonksiyonu çifti, geçirme ve durdurma bant bölümleri için tanımlanmıştır. Bu amaç fonksiyonları, literatürde mevcut bir çalışmada sırasıyla Polinom, Exponential ve Fourier olarak adlandırılmıştır [41].

Polinom Modeli: Matematikte polinom, bağımsız değişkenlerden ve sabit bir sayıdan oluşan bir ifade olarak tanımlanır. İfade; toplama, çıkarma, çarpma, bölme ve üs alma gibi işlemleri içerir. Üs almadaki katsayı, polinomun derecesini belirler. Burada, yalnızca çarpma ve bölme işlemlerini içeren en temel ve basit birinci dereceden form tercih edilmiştir. Bu bağlamda, yüksek tutulması istenen değere pozitif bölme, düşük tutulması istenen değere ise negatif bölme uygulanır. Ek olarak, değişkenlerin ağırlık katsayıları da ifadeye çarpım olarak eklenmiştir.

Üstel Model: Üstel fonksiyon veya üstel işlev, matematikte sıkça kullanılan fonksiyonlardan biridir. Genel tanımı a^x şeklindedir. Burada, a yerine genellikle e (Euler sayısı) kullanılır. Bu

modelde, yüksek tutulması istenen değer negatif üs olarak, düşük tutulması istenen değer ise pozitif üs olarak yazılır. Diğer tüm modellerde olduğu gibi, ağırlık katsayısı değeri de ifadeye çarpan olarak eklenir.

Fourier Modeli: Fourier savına (önermesine/varsayımına) dayanarak, ifadeleri kosinüs ve sinüs eğrileriyle temsil etmek mümkündür. Değerleri pozitif veya negatif yönde maksimize etmek için, kosinüs eğrisi tercih edilir. Yine, her fonksiyonda olduğu gibi, ağırlık katsayıları çarpan olarak eklenir. Filtrelerin hedef ölçüm fonksiyonlarının iki önemli parametresi olan S_{11} ve S_{21}, burada amaç fonksiyonlarını belirlemek için karar değişkenleri olarak kullanılır. Amaç fonksiyonlarının belirlenmesinde, geçirme bandı frekansında S_{11} parametresinin minimize edilmesi ve S_{21} parametresinin maksimize edilmesi hedeflenir. Benzer şekilde, durdurma bandı frekansında, S_{11} parametresinin maksimize edilmesi ve S_{21} parametresinin minimize edilmesi hedeflenir. Ölçüm fonksiyonlarının önemini gösteren ağırlık katsayıları ($wc_{1\text{-}2}$), her iki parametre (S_{11}, S_{21}) aynı öneme sahip olduğundan eşit olarak seçilmiştir.

***S_{11}* (Yansıma Katsayısı):** S_{11}, filtrenin giriş portundan yansıyan gücün, aynı porta gelen güce oranı olarak tanımlanır. Kaynak ve filtre arasındaki empedans uyumunu ölçer. İdeal olarak, S_{11}, filtrenin *geçirme bantları* (bu çalışmada yaklaşık 2.5 GHz ve 3,0 GHz civarı) içinde minimize edilmelidir; bu, yansıyan gücün minimal ve iletilen gücün maksimum olduğunu gösterir. S_{11}, durdurma bandında ise maksimize edilecek şekilde tasarlanır. Bu, bu frekanslardaki sinyallerin reddedilmemesini sağlar. *Düşük bir S_{11} değeri (negatif sonsuza yaklaşan dB cinsinden), iyi bir empedans uyumunu ve minimal yansımayı gösterir.*

***S_{21}* (İletim Katsayısı):** S_{21}, filtrenin giriş portundan çıkış portuna iletilen gücün, giriş portuna gelen güce oranı olarak ölçülür. Yüksek bir S_{21} değeri, filtrenin geçmesini istediğimiz frekanslarda verimli bir iletimi gösterir. Optimizasyonda, geçirme bandında maksimize edilecek şekilde kullanılır. Bu, istenen sinyalin etkili bir şekilde geçmesine ve durdurma bandında ise istenmeyen sinyalleri yansıtacak şekilde minimize edilmesini sağlar. *Yüksek bir S_{21} değeri (0 dB'ye yaklaşan), filtreden etkin sinyal iletimini gösterir.*

Bu çalışmadaki amaç, 2.5 GHz ve 3,0 GHz geçirme bantları içinde düşük S_{11} ve yüksek S_{21} değerlerine ve durdurma bantlarında ise bunların tersine ulaşarak, istenen frekansları etkili bir şekilde geçirirken istenmeyen sinyalleri zayıflatma yeteneğini gösteren çift bantlı bir filtre tasarlamaktır. Karar değişkenleri olarak kullanılan bu iki parametre, filtrenin tasarım ve

optimizasyon sürecine dayalı olarak ne kadar iyi performans değeri gösterdiğinin bir ölçüsünü sağlar.

İlk olarak, ilgili çalışmada önerilen Polinom modelini örnek alarak, bant geçirme ve bant durdurma bölümleri için amaç fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Bant geçirme bölümü:

$$OF_{p1} = (wc_1 * |S_{21i}|) + \left(\frac{wc_2}{|S_{11i}|}\right) \quad (3.29)$$

Bant durdurma bölümü:

$$OF_{s1} = \left(wc_1 * |S_{11j}|\right) + \left(\frac{wc_2}{|S_{21j}|}\right) \quad (3.30)$$

Burada, wc_1 ve wc_2 ağırlık katsayıları, $|S_{11i}|$ ve $|S_{11j}|$ sırasıyla geçirme ve durdurma bantlarındaki S_{11} parametresinin mutlak değerleri, $|S_{21i}|$ ve $|S_{21j}|$ ise sırasıyla geçirme ve durdurma bantlarındaki S_{21} parametresinin mutlak değerleridir. Bu denklemlerde, çarpma işlemi ağırlık katsayılarını, toplama işlemi ise farklı optimizasyon hedeflerini (S_{11} ve S_{21}) birleştirmeyi temsil eder. S_{11} parametresi, amaç fonksiyonunda ters orantılı olarak (yani paydada) yer almaktadır. Bu sayede, S_{11}'in değeri azaldıkça (yani yansıma azaldıkça), amaç fonksiyonunun değeri de azalır ve algoritma S_{11}'i minimize etmeye yönlendirilir. Benzer şekilde, S_{21} parametresi, geçirme bandında maksimize, durdurma bandında ise minimize edilmek üzere denklemlerde yer alır. Bu şekilde tanımlanan amaç fonksiyonları hem S_{11} hem de S_{21} parametrelerinin optimize edilmesini sağlayarak, filtrenin hem geçirme hem de durdurma bantlarındaki performans değerini iyileştirmeyi amaçlar.

İkinci olarak, ilgili çalışmada önerilen Exponential modeli örnek alarak, bant geçirme ve bant durdurma bölümleri için amaç fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır: Üstel fonksiyon veya üstel işlev, matematikte sıkça kullanılan fonksiyonlardan biridir. Genel tanımı a^x şeklindedir. Burada, a yerine genellikle e (Euler sayısı) kullanılır. Bu modelde, yüksek tutulması istenen değer negatif üs olarak, düşük tutulması istenen değer ise pozitif üs olarak yazılır. Diğer tüm modellerde olduğu gibi, ağırlık katsayısı değeri de ifadeye çarpan olarak eklenir.

Bant geçirme bölümü:

$$OF_{p2} = (wc_1 * e^{-S_{21i}}) + (wc_2 * e^{S_{11i}}) \quad (3.31)$$

Bant durdurma bölümü:

$$OF_{s2} = (wc_1 * e^{-S_{11j}}) + (wc_2 * e^{S_{21j}}) \quad (3.32)$$

Burada, wc_1 ve wc_2 ağırlık katsayıları, S_{11i} ve S_{11j} sırasıyla geçirme ve durdurma bantlarındaki S_{11} parametresi, S_{21i} ve S_{21j} ise sırasıyla geçirme ve durdurma bantlarındaki S_{21} parametresidir.

Üstel modelde, yüksek olması istenen S_{21} değeri negatif üs ile ($e^{(-S_{21i})}$), düşük olması istenen S_{11} değeri ise pozitif üs ile ($e^{(S_{11i})}$) ifade edilmiştir. Bu sayede, S_{21} arttıkça ve S_{11} azaldıkça amaç fonksiyonunun değeri azalır, yani optimizasyon hedefine ulaşılır.

Üçüncüsü, ilgili çalışmada önerilen Fourier modeli örnek alarak, bant geçirme ve bant durdurma bölümleri için amaç fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır: Fourier savına (önermesine/varsayımına) dayanarak, ifadeleri kosinüs ve sinüs eğrileriyle temsil etmek mümkündür. Değerleri pozitif veya negatif yönde maksimize etmek için, kosinüs eğrisi tercih edilir. Yine, her fonksiyonda olduğu gibi, ağırlık katsayıları çarpan olarak eklenir. Bu çalışmada, amaç fonksiyonlarını oluşturmak için kosinüs eğrisi tercih edilmiştir. Kosinüs fonksiyonunun tepe noktasının 0'da olması, optimizasyon algoritmalarının bu noktayı bulmasını kolaylaştırır. Amaç fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Bant geçirme bölümü:

$$OF_{p3} = wc_1 * \cos(-S_{21i}) + wc_2 * \cos(S_{11i}) \quad (3.33)$$

Bant durdurma bölümü:

$$OF_{s3} = wc_1 * \cos(-S_{11j}) + wc_2 * \cos(S_{21j}) \quad (3.34)$$

Burada, wc_1 ve wc_2 ağırlık katsayılarıdır. S_{11} ve S_{21} parametrelerinin kosinüs fonksiyonları içindeki işaretleri, bu parametrelerin maksimize mi yoksa minimize mi edileceğini belirler (negatif işaret maksimizasyon, pozitif işaret minimizasyon anlamına gelir).

Çalışmada seçilen rekabetçi optimizasyon algoritmaları tek amaçlıdır. Bu noktadan itibaren, maliyet fonksiyonu, durdurma ve geçirme bölümleri için üretilen amaç fonksiyonlarını 1-5 GHz aralığında 0,1'lik bir adımla toplayarak elde edilir.

Dolayısıyla, $Maliyet_1$ fonksiyonu (3.35) şu şekilde tanımlanır:

$$Maliyet_1 = \sum_{f=1.0}^{f=5.0} OFp_k + OFs_k \text{ , } k=1,2,3 \tag{3.35}$$

Ancak bu problemde, farklı amaç fonksiyonlarının performans değerini eşit olarak karşılaştırmak için ek bir maliyet fonksiyonu belirlenmelidir. Bu hedefe ulaşmak için, en basit polinom model olan amaç fonksiyonu çifti temel alınacaktır.

Bu nedenle, $Maliyet_2$ fonksiyonu (3.36) şu şekilde tanımlanır:

$$Maliyet_2 = \sum_{f=1.0}^{f=5.0} OFp_1 + OFs_1 \tag{3.36}$$

Devam eden bölümde, 2,5 GHz ve 3,0 GHz merkez rezonans frekansına sahip, 13 farklı tasarım parametresine sahip, 3 sıralı mikro şeritli bir filtre formunda olan çift bantlı bant geçiren bir filtre örneğinin optimizasyon tasarımının kapsamlı bir çalışma analizi sunulacaktır.

4. BULGULAR

Çalışmanın analiz bölümünde tek amaçlı çok boyutlu bir optimizasyon tasarım problemi olarak önerilen merkez rezonans frekansları 2,5 GHz ve 3,0 GHz olan bir çift bant geçiren 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresi 13 tasarım parametresinden değişken olan 6 tanesinin optimizasyonu için güncel rekabetçi meta sezgisel algoritmalar yardımı ile karar değişkeni olarak seçilen S_{11} ve S_{21} parametresinden türetilen $Maliyet_1$ (3.35) değeri üzerinden bir optimizasyon çalışması yapılacaktır. Çalışmanın ilk kısmında farklı amaç fonksiyonlarının algoritmalardaki performans değerlendirmeleri üzerine bir analiz yapılacaktır. Bu kısımda her algoritma kendi içerisinde mukayese edilecek olup bir sonraki kısımda rekabetçi algoritmaların birbirleri ile performans değerlerinin kıyaslamaları yapılacaktır. Çalışmanın son kısmında ise en başarılı sonuçlar için karar değişkeni olarak seçilen S_{11} ve S_{21} değerleri için 3 boyutlu elektromanyetik (EM) simülasyon olarak elde gösterilecektir.

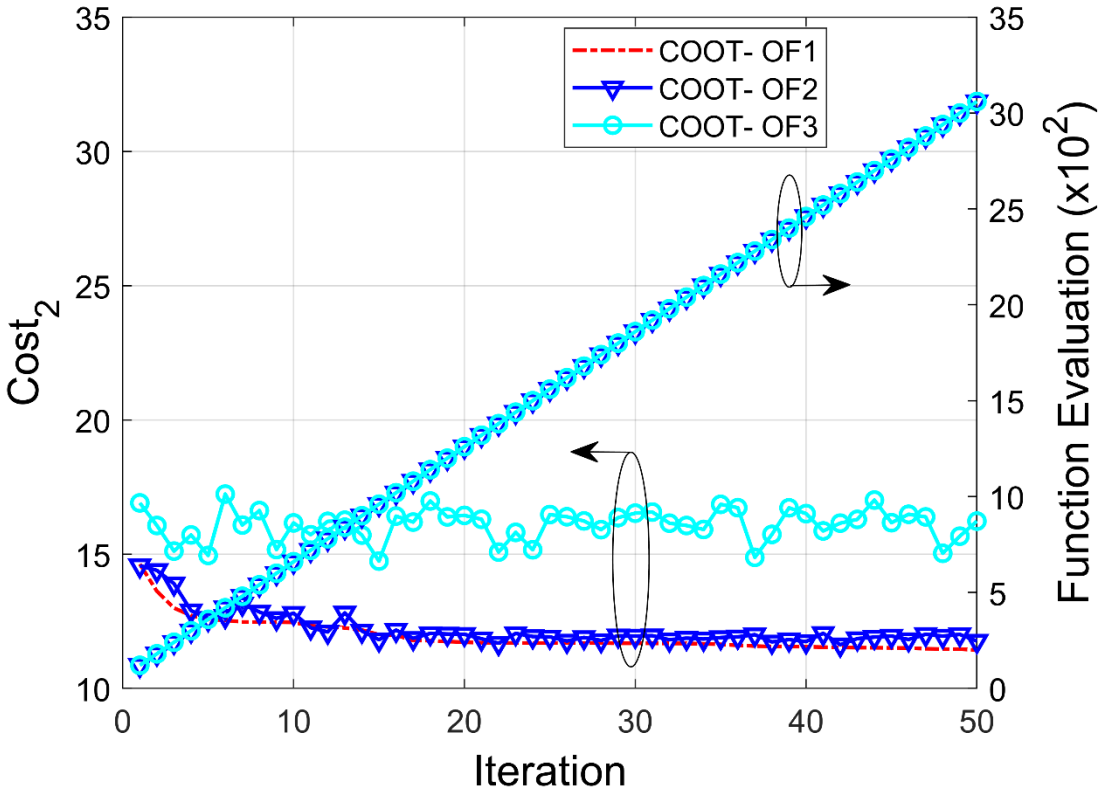
4.1. ÇEŞİTLİ AMAÇ FONKSİYONLARIN PERFORMANS DEĞERLERİ

Optimizasyon probleminin matematiksel bir ifadesi olan amaç fonksiyonu en optimum sonuçların bulunmasında büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle doğrusal ve doğrusal olmayan matematiksel modellerden uyarlanan birbirinden farklı amaç fonksiyon çiftleri bir önceki bölümde çift bant geçiren filtrenin geçiren ve durduran bant bölümleri için tasarlanmıştı. Bu kısımda güncel türetilmiş olan $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30), $OF_{p\text{-}s2}$ (3.31-3.32) ve $OF_{p\text{-}s3}$ (3.33-3.34) kullanılarak $Maliyet_2$ (3.36) değeri üzerinden Sakarmeke, Kaz ve Vahşi Kazlar algoritmalarının kendi içlerinde performans değerleri kıyaslanacaktır. Optimizasyon algoritmaları rastgele başlatılan süreçler olduğundan dolayı bulunan sonuçlar 10 farklı çalışma içerisinden seçilen en iyi performansın tekrarı ile birlikte, $Maliyet_2$ ve tipik Fonksiyon Değerlendirme Numarası (*FEN*) olarak Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Optimizasyon süreleri Kaz algoritması için 176 dakika, Sakermeke algoritması için 190 dakika ve Vahşi Kazlar algoritması için 192 dakika olarak ölçülmüştür. Filtre simülasyon dönüş süresinin algoritmayı çok etkilememesi nedeniyle her birinde benzer süreler çıkması beklenen bir neticedir. Sakarmeke, Kaz ve Vahşi Kazlar algoritmaları için kendi içerisinde sırası ile Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 gösterilmiştir. Ek olarak Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 yer alan $Maliyet_2$ ve *FEN* değişimlerinin detayları Tablo

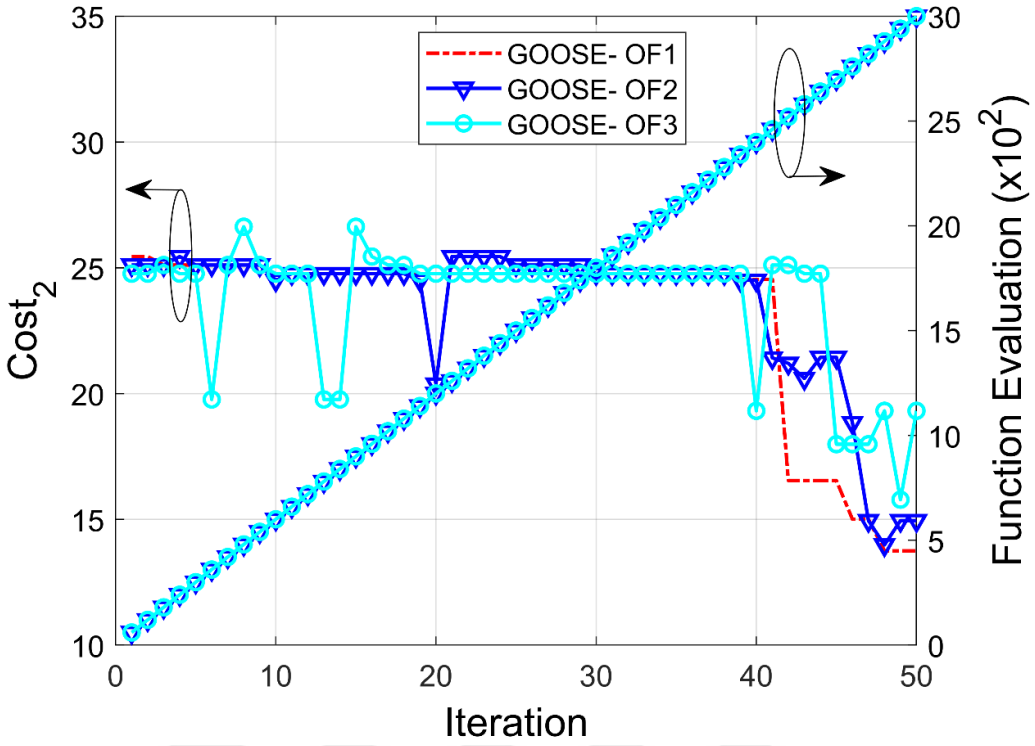
4.1'de sayısal olarak verilmiştir. Ayrıca Tablo 4.1'de elde edilen *Maliyet*$_2$ (3.36) değerine ulaşılan *FEN* numarası da verilmiştir.

Tablo 4.1: Algoritmaların optimizasyona ait farklı amaç fonksiyonlarının performans değerlendirmeleri

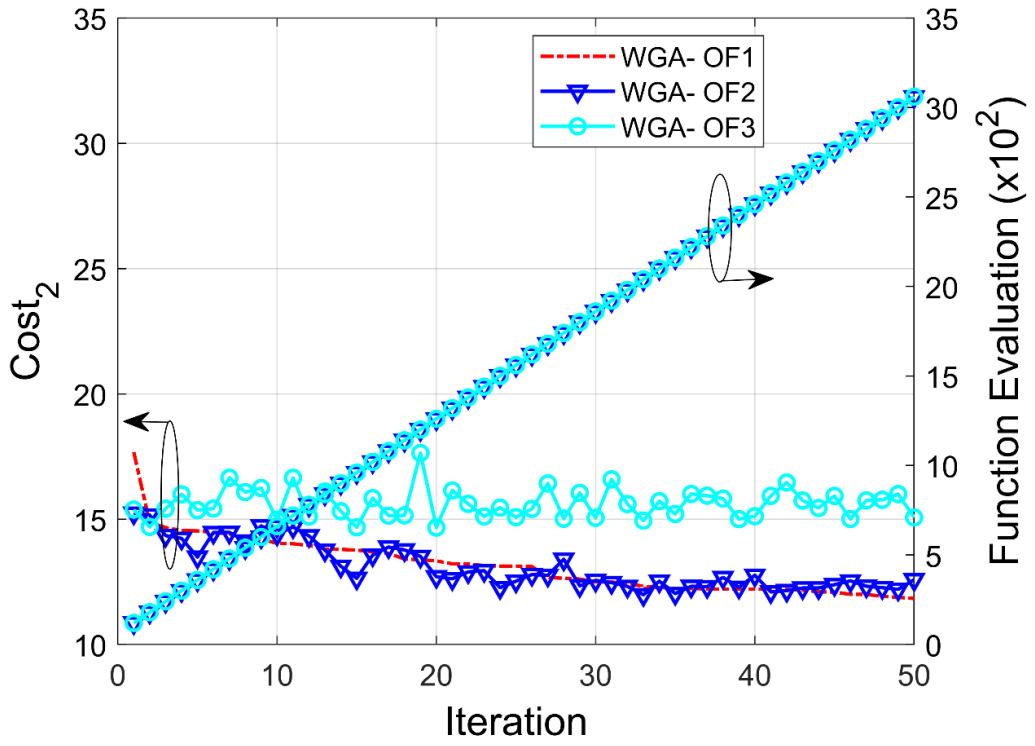
Tip		OF_1			OF_2			OF_3		
		Min.	**Mak.**	**Ort.**	**Min.**	**Mak.**	**Ort.**	**Min.**	**Mak.**	**Ort.**
Coot	Maliyet$_2$	11,43	14,63	11,94	11,62	14,57	12,20	14,74	17,23	16,09
	FEN	3060	120	3060	2580	120	3060	960	420	3060
Goose	Maliyet$_2$	13,74	25,44	23,12	13,98	25,44	23,53	15,78	26,63	23,69
	FEN	2880	120	3000	2880	240	3000	2940	480	3000
Wild Geese	Maliyet$_2$	11,84	17,67	13,14	11,98	15,24	13,09	14,66	17,64	15,62
	FEN	3060	120	3060	2040	120	3060	1260	1200	3060



Şekil 4.1: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet*$_2$ ve *FEN* varyasyonları Sakarmeke Algoritması



Şekil 4.2: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet*$_2$ ve *FEN* varyasyonları Kaz Algoritması



Şekil 4.3: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet*$_2$ ve *FEN* varyasyonları Vahşi Kazlar Algoritması

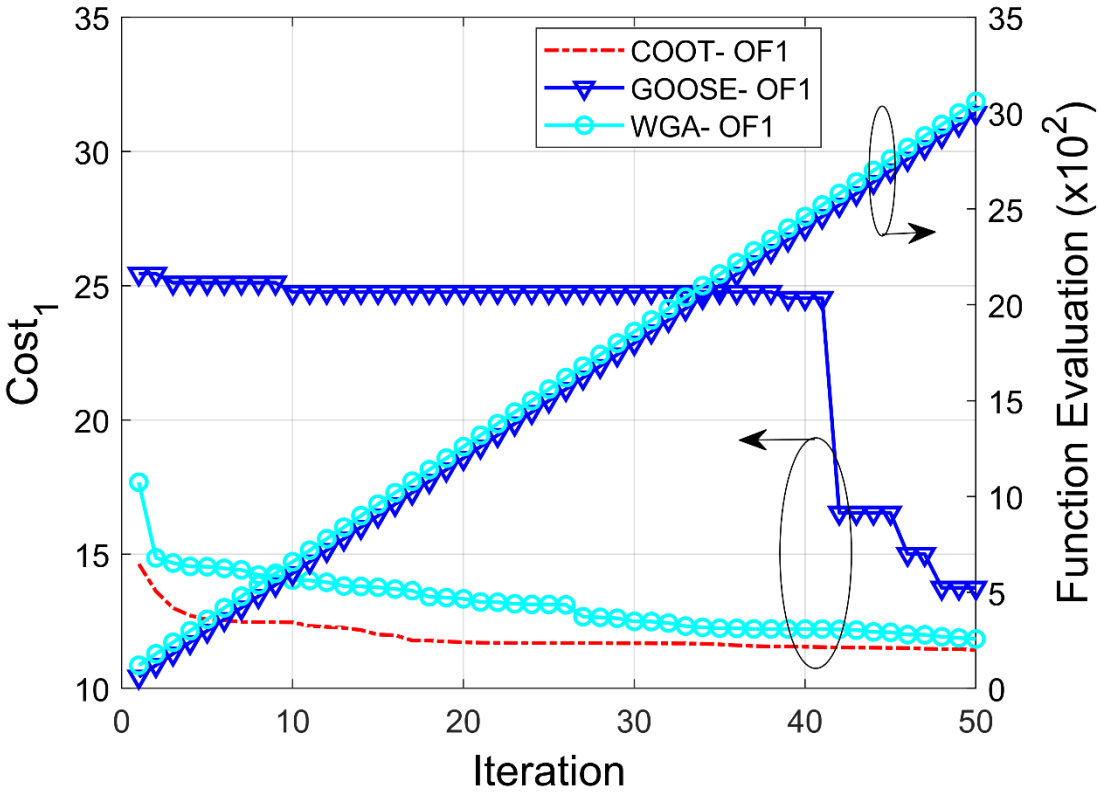
Sakarmeke (Coot) algoritmasına ait olan Şekil 4.1 kendi içinde incelendiğinde en başarılı olanın $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) olduğu ve $Maliyet_2$ (3.36) değerinde ise düzenli bir düşüş yaşandığı görülmektedir. Kaz (Goose) algoritmasına ait olan Şekil 4.2 incelendiğinde ise başlarda sabit olan $Maliyet_2$ (3.36) değeri iterasyonun ilerlemesi ile basamaklı bir düşüş yaşadığı ve en başarılı sonucun $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) ile elde edildiği görülmektedir. Vahşi Kazlar (Wild Geese) algoritmasına ait olan Şekil 4.3'de ise $Maliyet_2$ (3.36) değerinde iterasyonun artışı ile düzenli bir azalma yaşandığı ve yine en başarılı $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) kullanılarak elde edilen sonuç olduğu görülmektedir. Tablo 4.1'den açıkça görülebileceği üzere her 3 algoritma içinde en başarılı sonuçlara $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) kullanılarak varıldığı görülmektedir. Bununla birlikte $OF_{p\text{-}s2}$ (3.31-3.32) orta başarılı olduğu ve $OF_{p\text{-}s3}$ (3.33-3.34)'ün ise en başarısız amaç fonksiyon çifti olduğu görülmektedir.

4.2. REKABETÇİ METASEZGISEL ALGORITMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

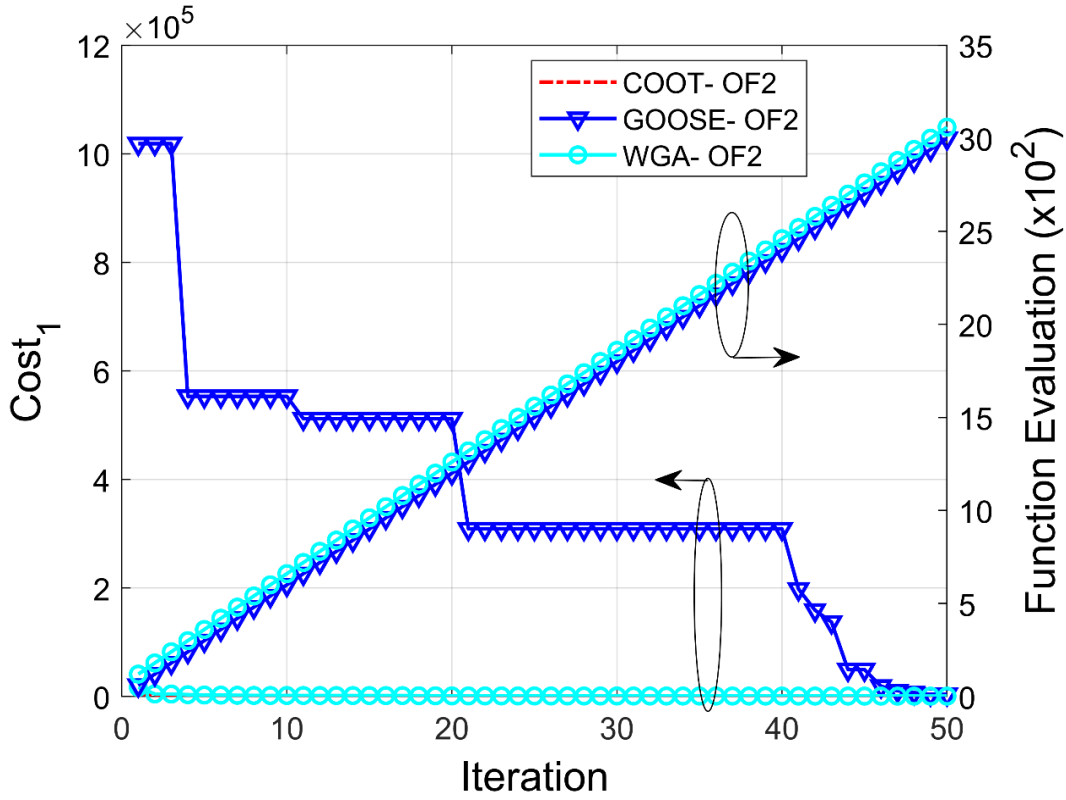
Çalışmanın bu kısmı geçmiş son 3 yıl içerisinde önerilmiş başarılarını geleneksel algoritmalar karşısında ispatlamış ve filtre tasarımı alanında hiçbir örnekleme probleminde kullanılmamış optimizasyon tekniklerinden olan Sakarmeke (Coot), Kaz (Goose) ve Vahşi Kazlar (Wild Geese) algoritmalarının birbirleri karşısındaki performans değerlerini kıyaslama amacıyla matematiksel modellerden uyarlanan amaç fonksiyonlarından $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30), $OF_{p\text{-}s2}$ (3.31-3.32) ve $OF_{p\text{-}s3}$ (3.33-3.34) kullanılarak $Maliyet_1$ (3.35) değeri üzerinden çalışmalar ile sürdürülmüştür. Tıpkı bir önceki bölümde olduğu gibi optimizasyon algoritmaları rastgele başlatılan süreçler olduğundan dolayı bulunan sonuçlar 10 farklı çalışma içerisinden seçilen en iyi performans değerlerinin tekrarı ile birlikte, $Maliyet_1$ ve tipik *FEN* olarak Şekil 4.4'de gösterilmektedir. Ek olarak minimum, maksimum ve ortalama varyasyonları Tablo 4.2'de sayısal bir tablo olarak verilmiştir. $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30), $OF_{p\text{-}s2}$ (3.31-3.32) ve $OF_{p\text{-}s3}$ (3.33-3.34) her bir algoritma için kendi içerisinde sırası ile Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 yer alan $Maliyet_1$ ve *FEN* değişimlerinin detayları sırası ile Tablo 4.2'de sayısal olarak verilmiştir. Aynı zamanda Tablo 4.2'den elde edilen $Maliyet_1$ (3.35) değerine ulaşılan *FEN* numarası da verilmiştir.

Tablo 4.2: Amaç fonksiyonları ile optimizasyona ait farklı rekabetçi algoritmaların performans değerlendirmeleri

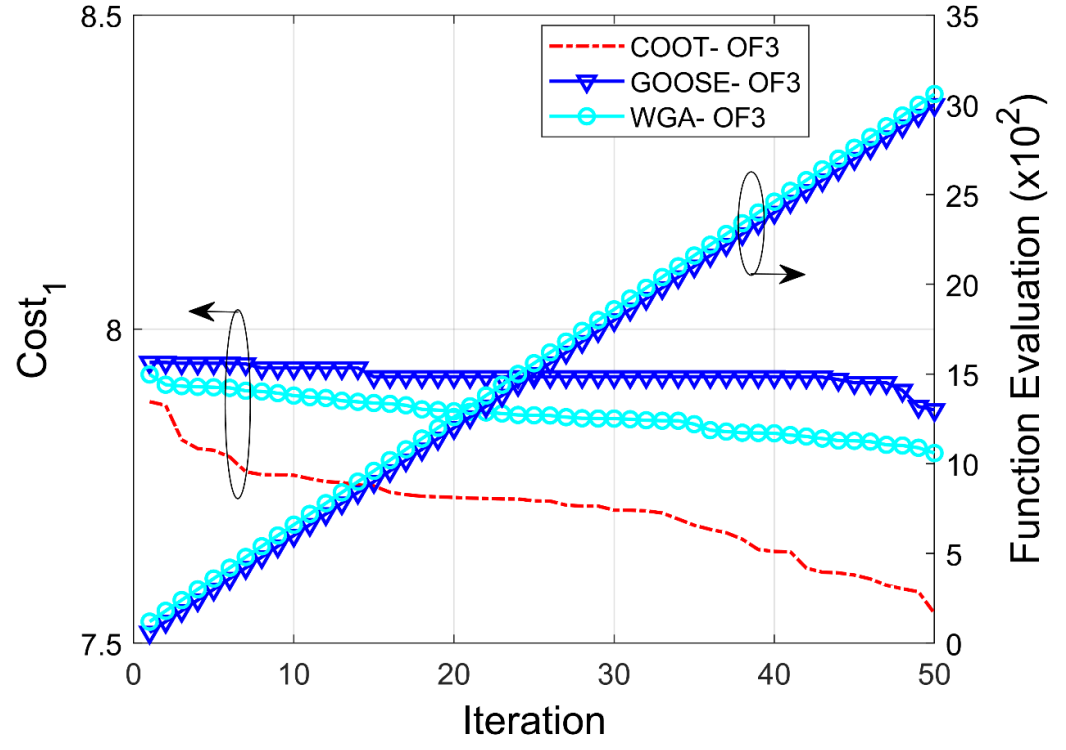
Tip		Coot algoritması			Goose algoritması			Wild Geese algoritması		
		Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.
OF_1	$Maliyet_1$	11,43	14,63	11,94	13,74	25,44	23,12	11,84	17,67	13,14
	FEN	3060	120	3060	2880	120	3000	3060	120	3060
OF_2	$Maliyet_1$	464	4158	767	4125	1018571	377273	600	16879	1653
	FEN	3060	120	3060	2940	60	3000	3060	120	3060
OF_3	$Maliyet_1$	7,55	7,88	7,71	7,87	7,95	7,93	7,80	7,93	7,86
	FEN	3060	120	3060	3000	60	3000	3060	120	3060



Şekil 4.4: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet₁* ve *FEN* varyasyonları *OF₁*



Şekil 4.5: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet*$_1$ ve *FEN* varyasyonları *OF*$_2$

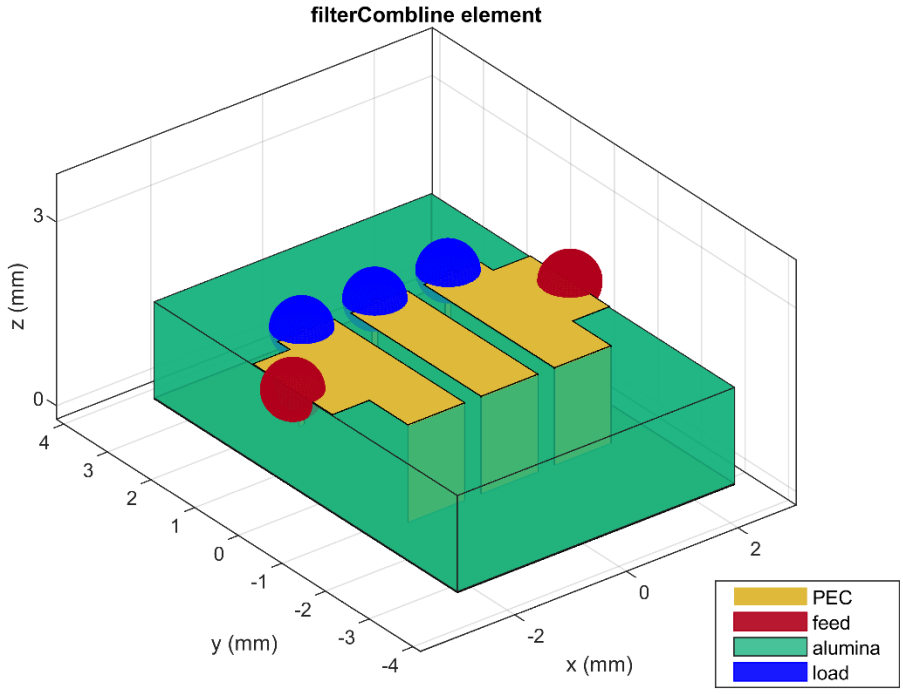


Şekil 4.6: Optimizasyona yönelik 10 çalışma arasından seçilen en iyi performansın yinelenmesiyle tipik *Maliyet*$_1$ ve *FEN* varyasyonları *OF*$_3$

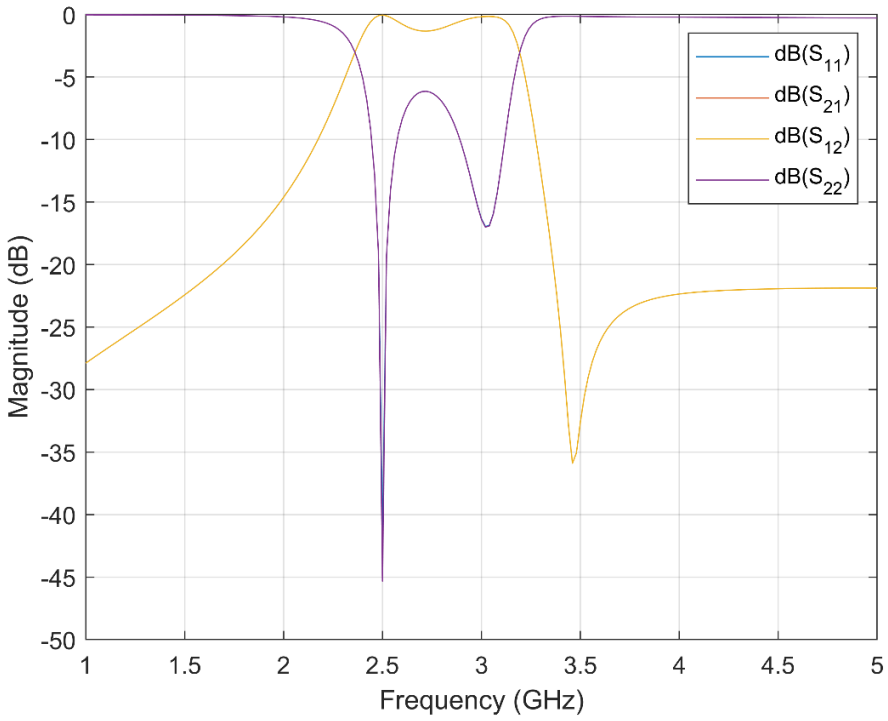
Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 için $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30), $OF_{p\text{-}s2}$ (3.31-3.32) ve $OF_{p\text{-}s3}$ (3.33-3.34) dikkate alındığında Sakarmeke ve Vahşi Kazlar algoritmalarının düzenli bir düşüş yaşanırken Kaz algoritmasında ise basamaklı bir düşüş yaşandığı gözlenmiştir. Algoritmaların performans değerleri açısından en başarısız olan Kaz olurken, en başarılı algoritma ise Sakarmeke algoritması olarak görülmektedir. Vahşi Kazlar algoritması ise orta karar bir performans değeri sergilemiştir. Tablo 4.2'den de açıkça görülebileceği üzere algoritmalar ve amaç fonksiyon çiftleri birleştirilerek bir arada değerlendirilecek olursa Sakarmeke algoritması ile $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) amaç fonksiyon çifti en başarılı çift olmuştur.

4.3. FILTRELERIN SIMILASYONLARI

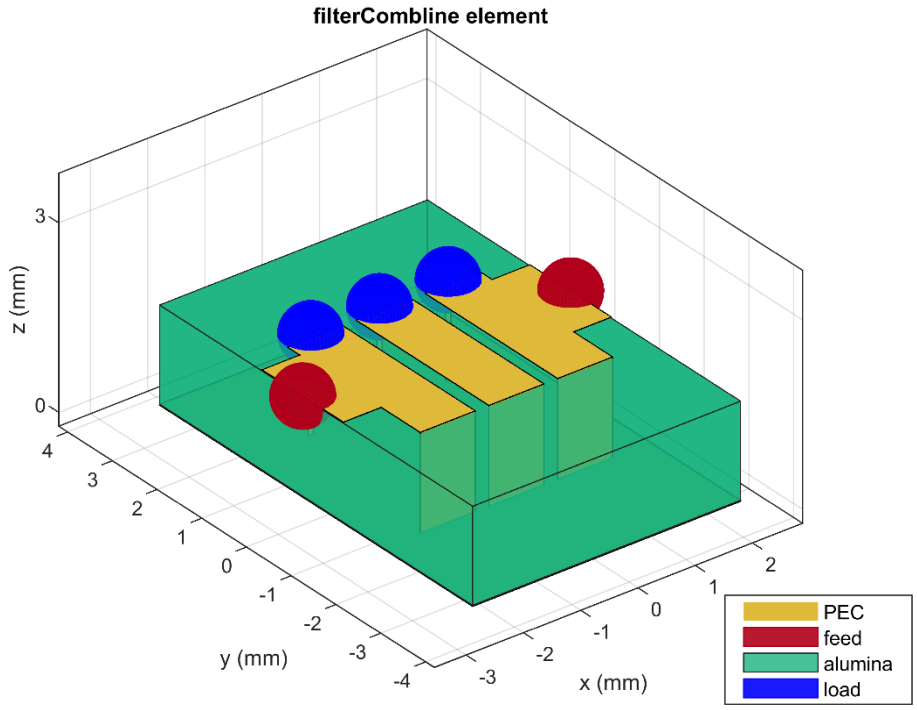
Çalışmanın bu kısmına kadarki bölümlerde 3 güçlü meta-sezgisel algoritma Sakarmeke, Kaz ve Vahşi Kazlar için karar değişkenleri S_{11} ve S_{21} arasındaki eş zamanlı takas ilişkisini etmeye yarayan Polinom, Exponential ve Fourier olarak isimlendirilen amaç fonksiyonlarının performans değerleri tablo ve grafik olarak sunulmuştur. Fakat elde edilen sonuçların gerçekten başarılımı olduğunu görebilmek için hedef ölçüm fonksiyonu olarak da nitelendirebileceğimiz S_{11} ve S_{21} seçilen 2,5 GHz ve 3,0 GHz'deki sonuçlarını 3B elektromanyetik (EM) simülasyonu olarak görmek gerekir. Bilindiği üzere filtrelerde geçiş frekans bandı için S_{11} minimum ve S_{21} ise maksimum, durduran bant frekansında ise tam tersi hedeflenmektedir. Sakarmeke algoritması ile $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) kullanılarak elde edilen en optimum sonuç için filtre modeli Şekil 4.7'da *S* Parametrelerinin 1-5 GHz arasındaki değişimi tipik genlik-frekans olarak Şekil 4.8'de verilmiştir. Kaz algoritması için $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) kullanılarak elde edilen en optimum sonuçta filtre modeli Şekil 4.9'de *S* Parametrelerinin 1-5 GHz arasındaki değişimi tipik genlik-frekans olarak Şekil 4.10'de verilmiştir. Vahşi Kazlar algoritması ve $OF_{p\text{-}s1}$ (3.29-3.30) ile elde edilen en optimum sonuçta filtre modeli Şekil 4.11'da *S* Parametrelerinin 1-5 GHz arasındaki değişimi tipik genlik ve frekans olarak Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Yine bilindiği üzere filtreler S_{11} için -10 dB ve daha düşük bir değer için ilgili frekansta geçirgenlik gösterirler. Elde edilen grafikler incelendiğinde hedeflenen merkez frekanslarda (2,5 GHz ve 3,0 GHz) S_{11}'in -10dB den daha düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir. Buda bant geçiren filtre tasarımlarının her birinin ayrı ayrı başarılı olduğunu kanıtlar. İçlerinde en başarılı algoritmanın ise gerek bant genişliği gerekse de -45dB ye kadar uzanan S_{11} ile Sakarmeke algoritması olduğu görülmektedir.



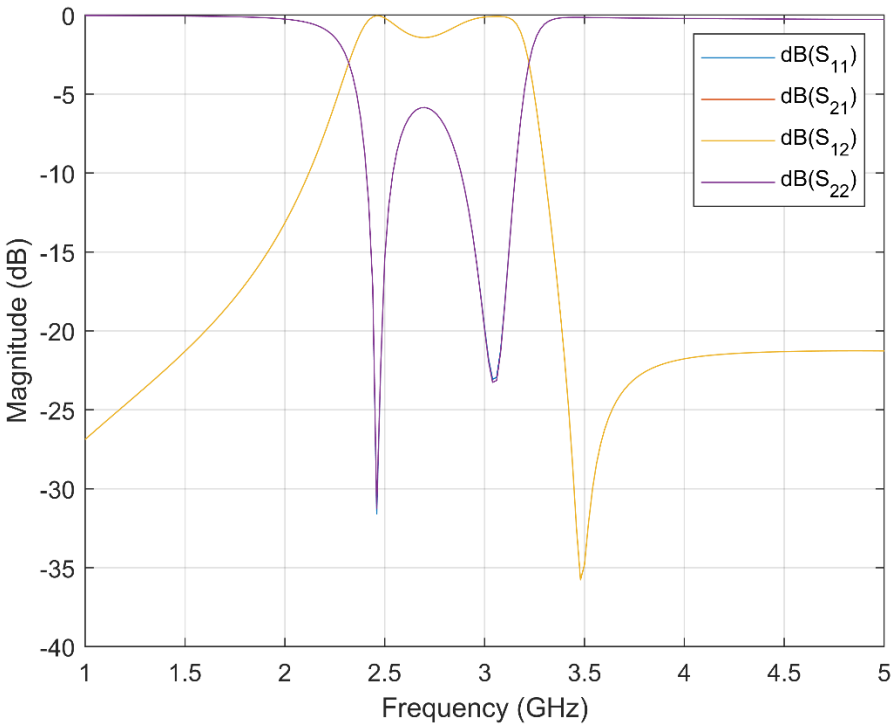
Şekil 4.7: Sakarmeke algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin 3 boyutlu görünümü,



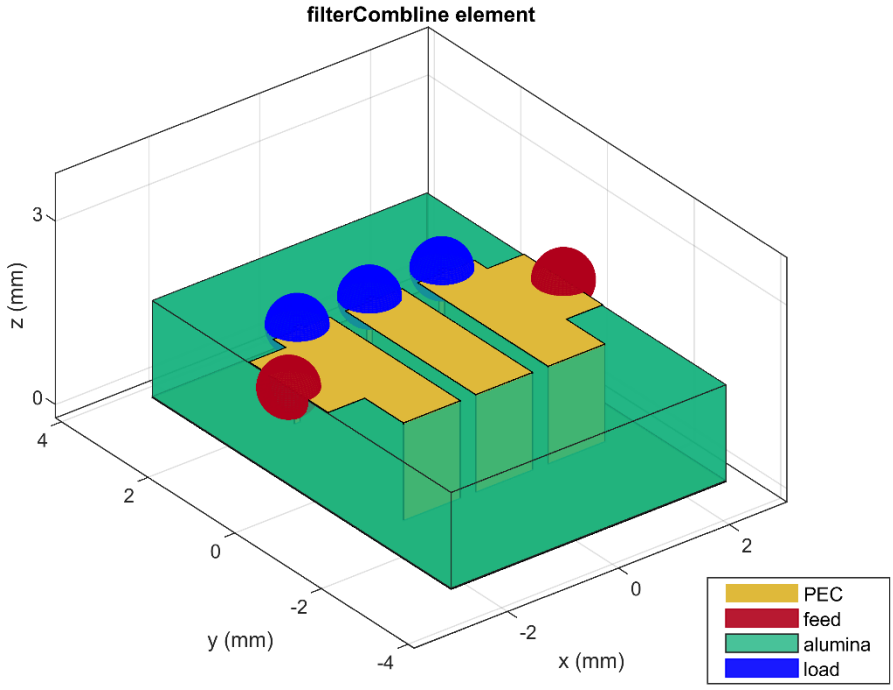
Şekil 4.8: Sakarmeke algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin *S* parametreleri



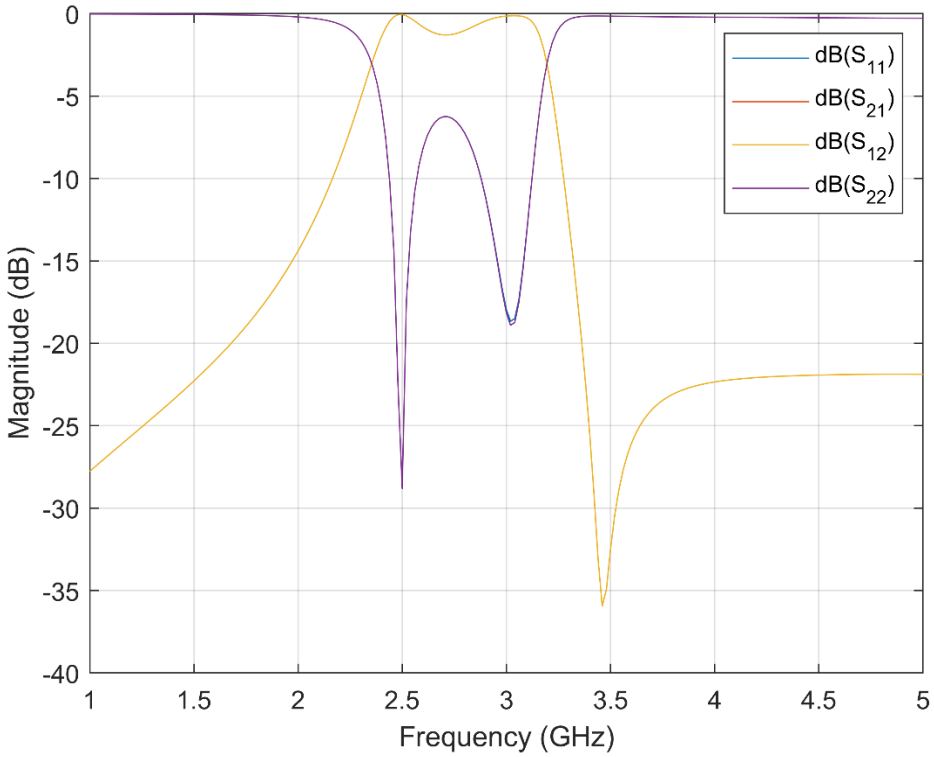
Şekil 4.9: Kaz algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin 3 boyutlu görünümü



Şekil 4.10: Kaz algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin *S* parametreleri



Şekil 4.11: Vahşi Kazlar algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin 3 boyutlu görünümü



Şekil 4.12: Vahşi Kazlar algoritması ile optimuma ait 3 sıralı mikroşerit formunda bir birleştirme filtresinin *S* parametreleri

5. TARTIŞMA

Çalışma için kullanılan bilgisayar güçlü bir donanıma sahip olunduğundan dolayı optimizasyon süreçleri çok fazla uzamamıştır. Fakat yine de bu süreçleri daha da kısaltmak adına süreçlere yapay sinir ağı modelleme desteği eklenebilir. Filtre tasarım mimarisi olarak 3 sıralı değişken sabit olmayıp değişken tasarım parametresi olarak optimizasyona eklenebilir fakat bu durum süreçleri ne kadar uzatır veya başarıyı ne kadar arttırır tartışılır. Seçilen algoritmalar standart optimizasyon problemleri ile geleneksel algoritmalar karşısında başarılı sonuçlar yakalamış olsa bile burada ek olarak değişken sayısını arttırmak algoritmanın sınırlarını ne kadar zorlayacağı ve ne kadar daha başarılı sonuçlar elde edilebileceği bir problem olarak gelecekte karşımıza çıkabilir. Bu durum belki potansiyel dezavantaja dönüşebilir. Gelecekteki çalışmalarda modelleme desteğinde kullanılan ağı değiştirerek süreçlerin daha da hızlı tamamlanması mümkün kılınabilir. Farklı çalışma alanı olarak anten optimizasyonu, ilaç modellemesi veya süperkapasitör modellemesi gibi zorlu problemler içinde önerilen rekabetçi algoritmalar denenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kablosuz uygulamalar ve çok bantlı radyo dalgası başta olmak üzere son gelişmelerde yoğun olarak talep gören bir çift bantlı bant geçiren filtrenin S_{11} ve S_{21} arasındaki eş zamanlı takas ilişkisi, filtre tasarımı gibi zorlu bir alanda herhangi bir uzmanlığa ihtiyaç duyulmadan tek amaçlı ve çok boyutlu bir optimizasyon süreci kullanarak hızlı ve verimli bir şekilde elde edilmiştir. Son 3 yıl içerisinde önerilmiş, mevcut geleneksel algoritmalar karşısında başarılı sonuçlar vermiş ve henüz herhangi bir filtre optimizasyon tasarım probleminde karşılaşılmamış 3 güçlü meta-sezgisel algoritma Sakarmeke, Kaz ve Vahşi Kazlar bir Mikroşerit Bağlantılı Kombine Bant Geçirgen Filtre için 2,5 GHz ve 3,0 GHz merkez rezonans frekanslı çalışması için S_{11} ve S_{21} arasındaki eş zamanlı takas ilişkilerini elde etmek üzere bir çalışma vakası olarak karşılaştırmalı olarak uygulanmıştır. Son olarak, Sakarmeke algoritmasının tipik takas ilişkilerini göstermek için en başarılı algoritma olduğu bulunmuştur. Mikroşerit Bağlantılı Kombine Bant Geçirgen Filtre için elde edilen bu takas ilişkilerinin, yalnızca meta-sezgisel bir optimizasyon süreci kullanılarak 6 tanesi değişken olmak üzere toplam 13 tasarım parametrelerini kapsayan bir performans veri tabanına olanak sağladığı sonucuna varılabilir. Ayrıca kullanılan değişken modeller başka bir çalışmada daha fazla performans sonucunun bulunmasında etkin rol oynamıştır [41]. Çalışmanın son kısımlarında her bir algoritma için en optimal sonuçlar 3B EM simülasyonu olarak doğrulanmaktadır. Çalışmadaki tüm bu sonuçlar dikkate alındığında, önerilen rekabetçi algoritmalar ile yapılan optimizasyon süreçleri karmaşık ve çok boyutlu filtre tasarım optimizasyon uygulamaları için kolay, hızlı ve verimli bir çözümdür. Tüm bu yönleriyle, çalışma birçok yeniliği içermekte ve gelecekteki çalışmalar için basamak oluşturmaktadır. Gelecekte çok sayıda tasarım parametresi içeren herhangi bir optimizasyon tasarım problemi için, rekabetçi meta sezgisel algoritmalar amaç fonksiyonları değiştirilerek uyarlanabilir.

KAYNAKLAR

[1.] Zheng, X., Gao, P., & Han, Y. (2021). Design of Dual Band Microstrip Filter Based on SIR. *2021 19th International Conference on Optical Communications and Networks (ICOCN)*, 1–3. https://doi.org/10.1109/ICOCN53177.2021.9563816

[2.] Tsai, L.-C., & Hsue, C.-W. (2004). Dual-Band Bandpass Filters Using Equal-Length Coupled-Serial-Shunted Lines and<tex>$ Z$</tex>-Transform Technique. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, *52*(4), 1111–1117. https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.825680

[3.] Baluni, P., Awasthi, S., & Biswas, A. (2013). Dual mode dual bandpass filter using semicircular Dielectric Resonator in mushroom configuration. *2013 IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC)*, 1–2. https://doi.org/10.1109/AEMC.2013.7045083

[4.] Virdee, B. S., Farhat, M., & Riaz, M. (2017). Compact quad-band bandpass filter based on stub-loaded resonators. *2017 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, 1927–1929. https://doi.org/10.1109/MWSYM.2017.8059038

[5.] Zhou, M., Tang, X., & Xiao, F. (2008). Compact Dual Band Bandpass Filter Using Novel E-Type Resonators With Controllable Bandwidths. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, *18*(12), 779–781. https://doi.org/10.1109/LMWC.2008.2007696

[6.] Zaqumi, M. N., Lalbakhsh, A., Moloudian, G., & Esselle, K. (2023). Design of a Multi-layer Dual-band Frequency Selective Surface Bandpass Filter. *2023 International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications (ICEAA)*, 037–038. https://doi.org/10.1109/ICEAA57318.2023.10297741

[7.] Liu, X. Y., Cheng, D., Feng, L. Y., & Li, Y. J. (2018). Compact Dual-Mode Bandpass Filter Using Square Loop Resonator with Both Capacitance and Inductance Stubs Loaded. *2018 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, 1–3. https://doi.org/10.1109/ICMMT.2018.8563841

[8.] Yang, Y., Gu, L., & Dong, Y. (2022). Microstrip Bandpass Filter Based on Dual-mode Folded SIR Resonator. *2022 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT)*, 1–3. https://doi.org/10.1109/ICMMT55580.2022.10023430

[9.] Fatah, S. Y. A., Taher, F., Mohamadien, K. H., Haweel, M. T., & Sree, M. F. A. (2022). Design A Microstrip Bandpass Filter Antenna from 2 GHz to 4.7 GHz for Biomedical Applications. *2022 32nd International Conference on Computer Theory and Applications (ICCTA)*, 183–189. https://doi.org/10.1109/ICCTA58027.2022.10206245

[10.] Tang, C.-W., & Jiang, J.-M. (2023). Design of a Microstrip Dual-/Quad-band Switchable Bandpass Filter with Dual-band Bandpass Filters. *2023 IEEE/MTT-S*

International Microwave Symposium - IMS 2023, 948–950. https://doi.org/10.1109/IMS37964.2023.10188217

[11.] Sani, M. M. A., Khan, Z. I., Rashid, N. E. A., & Mohd Salleh, M. K. (2015). Single ring dual-band bandpass filter with meander for 2.5 GHz and 5.2 GHz. *2015 IEEE International RF and Microwave Conference (RFM)*, 22–26. https://doi.org/10.1109/RFM.2015.7587704

[12.] Wen-guan Wang, Ying-biao Ling, Zhang, J., & Yuping Wang. (2012). Ant colony optimization algorithm for design of analog filters. *2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 1–6. https://doi.org/10.1109/CEC.2012.6252942

[13.] Perkowski, M., Chebotarev, A., & Mishchenko, A. (b.r.). Evolvable hardware or learning hardware? induction of state machines from temporal logic constraints. *Proceedings of the First NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware*, 129–138. https://doi.org/10.1109/EH.1999.785444

[14.] Schumacher, A., Schmidt, A., & Aufderheide, D. (2022). A Hardware-in-the-Loop Approach for the Design of Analog Filter Structures for Weighing Systems. *2022 IEEE 18th International Colloquium on Signal Processing & Applications (CSPA)*, 341–346. https://doi.org/10.1109/CSPA55076.2022.9781832

[15.] Yao, X., & Higuchi, T. (1999). Promises and challenges of evolvable hardware. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, *29*(1), 87–97. https://doi.org/10.1109/5326.740672

[16.] Chen, J., & Xiao, Z. (2017). Research on adaptive genetic algorithm based on multi-population elite selection strategy. *2017 2nd IEEE International Conference on Computational Intelligence and Applications (ICCIA)*, 108–112. https://doi.org/10.1109/CIAPP.2017.8167190

[17.] Wu, T., Wang, L., Huang, H., Lai, Z., & Ling, Q. (2021). A Multi-population Adaptive Genetic Algorithm for Test Paper Generation. *2021 33rd Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 5157–5162. https://doi.org/10.1109/CCDC52312.2021.9602353

[18.] Rikatsih, N., & Mahmudy, W. F. (2018). Adaptive Genetic Algorithm Based on Crossover and Mutation Method for Optimization of Poultry Feed Composition. *2018 International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET)*, 110–114. https://doi.org/10.1109/SIET.2018.8693167

[19.] Mahouti, P. (2019). Design optimization of a pattern reconfigurable microstrip antenna using differential evolution and 3D EM simulation-based neural network model. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, *29*(8). https://doi.org/10.1002/mmce.21796

[20.] Gunes, F., Uluslu, A., & Mahouti, P. (2020). Pareto Optimal Characterization of a Microwave Transistor. *IEEE Access*, *8*, 47900–47913. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2978415

[21.] Güneş, F., Belen, M. A., & Mahouti, P. (2018). Competitive evolutionary algorithms for building performance database of a microwave transistor. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, *46*(2), 244–258. https://doi.org/10.1002/cta.2386

[22.] ULUSLU, A. (2021). Rekabetçi Evrimsel Algoritmalar ile Yuvarlak Papyon Anten Tasarımı. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 551–564. https://doi.org/10.24012/dumf.1001870

[23.] Rana, K. P. S., Kumar, V., & Nair, S. S. (2016). Efficient FIR filter designs using constrained genetic algorithms based optimization. *2016 2nd International Conference on Communication Control and Intelligent Systems (CCIS)*, 131–135. https://doi.org/10.1109/CCIntelS.2016.7878215

[24.] Pan, S.-T., & Chen, C.-F. (2012). Design of Stable IIR Filter by Improved Genetic Algorithm. *2012 Third International Conference on Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*, 122–126. https://doi.org/10.1109/IBICA.2012.25

[25.] Amirthalingam, M., & Ponnusamy, R. (2023). Wireless Capsule Endoscopic Image Classification using Seeker Optimization Algorithm with Deep Learning Model. *2023 7th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 110–116. https://doi.org/10.1109/ICICCS56967.2023.10142708

[26.] Ahmad, S., & Antoniou, A. (2006). Cascade-Form Multiplierless FIR Filter Design Using Orthogonal Genetic Algorithm. *2006 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, 932–937. https://doi.org/10.1109/ISSPIT.2006.270931

[27.] Stubberud, P. (2019). The Design of Digital IIR Filters Using a Differential Evolution Optimization Algorithm with Taguchi Crossover. *2019 IEEE 10th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, 0462–0468. https://doi.org/10.1109/UEMCON47517.2019.8993041

[28.] Karaboga, D., Horrocks, D. H., Karaboga, N., & Kalinli, A. (b.r.). Designing digital FIR filters using Tabu search algorithm. *Proceedings of 1997 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Circuits and Systems in the Information Age ISCAS '97*, 2236–2239. https://doi.org/10.1109/ISCAS.1997.612766

[29.] Ma, R., Wang, Y., Hu, W., Zhu, X., & Zhang, K. (2018). Optimum design of multistage half-band FIR filter for audio conversion using a simulated annealing algorithm. *2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 74–78. https://doi.org/10.1109/ICIEA.2018.8397692

[30.] Fang, C., Huang, X., & Xia, K. (2022). Optimal Design of FIR Filter Based on Improved Artificial Bee Colony Algorithm. *2022 21st International Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering and Science (DCABES)*, 155–158. https://doi.org/10.1109/DCABES57229.2022.00047

[31.] KURBAN, T., & BESDOK, E. (2019). 3 Dimensional Point Cloud Filtering Using Differential Evolution Algorithm. *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*, 653–657. https://doi.org/10.1109/JEEIT.2019.8717440

[32.] Toktas, A., & Ustun, D. (2022). Design Optimization of Multilayer Microwave Filter Using Differential Evolution Algorithm. *2022 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream)*, 1–5. https://doi.org/10.1109/eStream56157.2022.9781753

[33.] Pateriya, P., Beniwal, N. S., & Dwivedi, A. K. (2021). Fractional Order Butterworth Filter Design Using Bit Level Cat Swarm Optimization Technique. *2021 7th International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)*, 177–181. https://doi.org/10.1109/ICSC53193.2021.9673364

[34.] Gao, H., & Diao, M. (2010). Differential Cultural Algorithm for Digital Filters Design. *2010 Second International Conference on Computer Modeling and Simulation*, 459–463. https://doi.org/10.1109/ICCMS.2010.466

[35.] Hang, D., & Li, X. (2018). Application of Improved Particle Swarm Optimization Algorithm Based on GSO in Optimization Design of FIR Digital Filter. *2018 IEEE International Conference of Safety Produce Informatization (IICSPI)*, 84–87. https://doi.org/10.1109/IICSPI.2018.8690503

[36.] Dhanarasi, G., Kumar, P. S., & T, K. B. (2022). Design of Infinite Impulse Response Filter Using Particle Swarm Optimization and its Invariants. *2022 International Conference on Smart and Sustainable Technologies in Energy and Power Sectors (SSTEPS)*, 306–310. https://doi.org/10.1109/SSTEPS57475.2022.00082

[37.] Belen, A., Gunes, F., Belen, M. A., & Moule, M. R. (2018). Design Optimization of Low-Pass Filter with Exponential Transmission Lines Using Differential Evolutionary Algorithm. *Journal of Intelligent Systems with Applications*, 93–97. https://doi.org/10.54856/jiswa.201812030

[38.] Naruei, I., & Keynia, F. (2021). A new optimization method based on COOT bird natural life model. *Expert Systems with Applications*, *183*, 115352. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115352

[39.] Hamad, R. K., & Rashid, T. A. (2024). GOOSE algorithm: a powerful optimization tool for real-world engineering challenges and beyond. *Evolving Systems*, *15*(4), 1249–1274. https://doi.org/10.1007/s12530-023-09553-6

[40.] Ghasemi, M., Rahimnejad, A., Hemmati, R., Akbari, E., & Gadsden, S. A. (2021). Wild Geese Algorithm: A novel algorithm for large scale optimization based on the natural life and death of wild geese. *Array*, *11*, 100074. https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100074

[41.] Uluslu, A. (2023). Fitting nonlinear mathematical models to the cost function of the quadrafilar helix antenna optimization problem. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, *115*(3), 307–318. https://doi.org/10.1007/s10470-023-02174-8

[42.] Andreica, S., Munteanu, C., Gliga, M., Giurgiuman, A., Pacurar, C., & Contantinescu, C. (2023). Development and Optimization of a Broadside-Coupled Dual-Band Microstrip Bandpass Filter for Wireless Communication Systems. *2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, 1–4. https://doi.org/10.1109/MPS58874.2023.10187504

[43.] Nocella, V., Pelliccia, L., Tomassoni, C., & Sorrentino, R. (2016). Miniaturized Dual-Band Waveguide Filter Using TM Dielectric-Loaded Dual-Mode Cavities. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, *26*(5), 310–312. https://doi.org/10.1109/LMWC.2016.2549181

[44.] Azizi, S., Canale, L., Ahyoud, S., El Halaoui, M., Dupuis, P., & Asselman, A. (2020). Dual-band CPW Transparent Bandpass Filter for Wireless Communication. *2020 Fifth Junior Conference on Lighting (Lighting)*, 1–4. https://doi.org/10.1109/Lighting47792.2020.9240568

[45.] Chi-Feng Chen. (2013). A compact reconfigurable microstrip dual-band filter using varactor-tuned stub-loaded stepped-impedance resonators. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, *23*(1), 16–18. https://doi.org/10.1109/LMWC.2012.2235061

[46.] Al-Yasir, Y., Abd-Alhameed, R. A., Noras, J. M., Abdulkhaleq, A. M., & Parchin, N. O. (2018). Design of Very Compact Combline Band-Pass Filter for 5G Applications. *Loughborough Antennas & Propagation Conference 2018 (LAPC 2018)*, 61 (4 pp.)-61 (4 pp.). https://doi.org/10.1049/cp.2018.1482

[47.] Lahmissi, A., & Challal, M. (2019). Design and analysis of a compact dual-band bandpass filter using V- and W-shaped microstrip open lines. *Microwave and Optical Technology Letters*, *61*(4), 920–925. https://doi.org/10.1002/mop.31653

[48.] Paillisson, J.-M., & Marion, L. (2001). Interaction between coot (Fulica atra) and waterlily (Nymphaea alba) in a lake: the indirect impact of foraging. *Aquatic Botany*, *71*(3), 209–216. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00182-6

[49.] Randler, C. (2005). Coots Fulica atra reduce their vigilance under increased competition. *Behavioural Processes*, *68*(2), 173–178. https://doi.org/10.1016/j.beproc.2004.12.007

[50.] Varo, N., & Amat, J. A. (2008). Differences in foraging behaviour of sympatric coots with different conservation status. *Wildlife Research*, *35*(7), 612. https://doi.org/10.1071/WR07179

[51.] Zhang, W., Liu, W., & Ma, J. (2011). Territory and territorial behavior of migrating Common Coot (Fulica atra). *Journal of Forestry Research*, *22*(2), 289–294. https://doi.org/10.1007/s11676-011-0164-x

[52.] Mirjalili, S., Gandomi, A. H., Mirjalili, S. Z., Saremi, S., Faris, H., & Mirjalili, S. M. (2017). Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems. *Advances in Engineering Software*, *114*, 163–191. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.07.002

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

Tez V15.1

ORİJİNALLİK RAPORU

%16	%15	%13	%9
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%2
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%1
3	ouci.dntb.gov.ua İnternet Kaynağı	%1
4	link.springer.com İnternet Kaynağı	%1
5	Iraj Naruei, Farshid Keynia. "A New Optimization Method Based on Coot Bird Natural Life Model", Expert Systems with Applications, 2021 Yayın	%1
6	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
7	Submitted to University of Greenwich Öğrenci Ödevi	<%1
8	eprints.uthm.edu.my İnternet Kaynağı	<%1
9	Submitted to King Mongkut's University of Technology Thonburi Öğrenci Ödevi	<%1
10	ijnaa.semnan.ac.ir İnternet Kaynağı	<%1

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Kervendurdy ALLABERDIYEV